



**Evaluación de irradiancia de las lámparas de fotocurado de luz LED y halógena de las
clínicas odontológicas de la universidad Antonio Nariño sede Armenia**

Eileen Youlieth Prado Muñoz

Código: 20571627879

Leidy Yadhira Alarcón Díaz

Código: 20571422591

Nohemy Andrea Barona Bolívar

Código: 20571627850

Universidad Antonio Nariño

Programa de Odontología

Facultad de Odontología

Armenia, Colombia

2021

**Evaluación de irradiancia de las lámparas de fotocurado de luz LED y halógena de las
clínicas odontológicas de la universidad Antonio Nariño sede Armenia**

Eileen Youlieth Prado Muñoz

Leidy Yadhira Alarcón Díaz

Nohemy Andrea Barona Bolívar

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Odontólogas

Directora:

Martha Lucía Rocha Jiménez, Odontóloga especialista en Rehabilitación Oral

Línea de investigación:

Equipos biomédicos

Universidad Antonio Nariño

Programa de Odontología

Facultad de Odontología

Armenia, Colombia

2021

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado “Evaluación de irradiancia de las lámparas de fotocurado de luz LED y halógena de las clínicas odontológicas de la universidad Antonio Nariño sede Armenia”, cumple con los requisitos para optar al título de **odontólogas**.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Armenia, 22 de octubre de 2021

AGRADECIMIENTOS

A Dios por su bondad, guiándonos como sus hijas durante todas nuestras vidas y lo cual nos ha permitido llegar al punto en el que estamos, pidiéndole que lo siga haciendo para alcanzar nuestros objetivos.

A nuestras familias, por ser ese apoyo incondicional que nos impulsa a prepararnos para algún día llegar a ser grandes personas y profesionales.

A todos los docentes y directivos que han hecho parte de nuestro proceso de formación en la Universidad Antonio Nariño, gracias por todas las enseñanzas.

A la Dra. Martha Lucía Rocha, por ser una guía durante el proceso de realización del presente trabajo y sobre todo durante toda nuestra carrera.

DEDICATORIA

A nuestras familias, por habernos formado como personas, por confiar en nosotros en cada paso que damos, por ser nuestros benefactores incondicionales.

Contenido

1.	Introducción	13
2.	Marco teórico y antecedentes	15
2.1	Fotopolimerización	15
2.1.2	Fotoiniciadores.....	15
2.1.3.	Tipos de fotoiniciadores.....	15
2.1.4.	Determinante de una polimerización adecuada o inadecuada.....	16
2.1.5.	Consecuencias de una polimerización inadecuada	16
2.1.6.	Lámparas de fotocurado (LCU)	17
2.1.6.1.	Evolución y tipos de LCU.....	17
2.1.6.1.1.	Lámparas de radiación ultravioleta (UV).....	18
2.1.6.1.2.	Lámparas de luz halógena de cuarzo-tungsteno (QTH).....	18
2.1.6.1.3.	Lámparas de plasma (de arco o xenón).....	19
2.1.6.1.4.	Lámparas láser	19
2.1.6.1.5.	Lámparas de luz emitida por diodos (LED).....	20
2.2.1.	Irradiancia: mW/cm^2	21
2.2.1.1	Pérdida de irradiancia en las LCU	23
2.2.1.2	Radiómetro.....	24
2.2.2.	Dosis de exposición radiante (J/cm^2)	26
2.2.2.1.	Distancia entre la salida de luz y la restauración	27
2.2.2.2.	Espesor de la restauración.....	27
2.2.2.3.	Control de la temperatura.....	28
2.2.2.4.	Fibra óptica	28
2.2.2.5.	Posición de la salida de luz con respecto a la restauración	29
2.2.3	Longitud de onda	29
2.2.4.	Materiales fotopolimerizables.....	30
2.2.4.1.	Resinas	30
2.2.4.2.	Cementos.....	32
2.2.4.2.	Adhesivos.....	32
2.3.	Antecedentes	33
3.	Planteamiento del problema.....	37
4.	Objetivos	38

4.1. Objetivo general.....	38
4.2. Objetivos específicos	38
5. Metodología	39
5.1 Tipo de estudio.....	39
5.2 Población.....	39
5.2.1 Criterios de selección.....	39
5.2.2 Criterios de inclusión	39
5.2.3 Criterios de exclusión.....	39
5.3 Muestra	39
5.4 Variables y escalas de medición	40
5.5 Descripción del procedimiento	41
5.6 Análisis Estadísticos	42
5.7 Aspectos éticos de la investigación.....	43
6. Resultados	44
6.1 Caracterización y enumeración de la muestra.....	44
6.2 Medición de irradiancia	44
6.3 Cumplimiento de parámetros mínimos de irradiancia reportados en la literatura	47
6.4 Correlación tiempo de uso y disminución de irradiancia.....	52
6.5. Tiempo de fotopolimerización en base a irradiancia	52
7. Discusión.....	55
8. Conclusiones.....	58
9. Recomendaciones	59
Bibliografía	59
Anexos	65

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Variables y unidad de medición de datos.	40
Tabla 2. Enumeración de las LCU, tipo, marca, modelo, serie.	44
Tabla 3. Irradiancia de las las LCU de tipo QTH de las clínicas UAN sede Armenia, registrada por el radiómetro.....	45
Tabla 4. Irradiancia de las LCU de tipo LED de las clínicas UAN sede Armenia registrada por el radiómetro.	46
Tabla 5. Cumplimiento de irradiancia recomendada por la literatura.....	48
Tabla 6. Tabla de frecuencias de la irradiancia de las LCU de ambos tipos.	49
Tabla 7. Tabla de frecuencias de la irradiancia de las LCU de tipo QTH.	49
Tabla 8. Tabla de frecuencias de la irradiancia de las LCU de tipo LED.....	49
Tabla 9. Tiempo de fotopolimerización requerido con respecto a la irradiancia de cada LCU para entregar dosis de exposición radiante adecuada.	53

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Niveles mínimos de irradiancia que deben tener las LCU basados en ocho fuentes.. 23

Gráfica 2. Operación para calcular dosis de exposición radiante entregada a las restauraciones

..... **¡Error! Marcador no definido.**

Gráfica 3. Irradiancia de las LCU de la UAN sede Armenia. 47

Gráfica 4. Polígono de frecuencias de la irradiancia de las LCU de la UAN sede Armenia.

..... **¡Error! Marcador no definido.**

Gráfica 5. Porcentaje de LCU que cumplen con la irradiancia mínima recomendada por cinco

fuentes (300 mW/cm^2). **¡Error! Marcador no definido.**

Gráfica 6. Porcentaje de LCU que cumplen con la irradiancia mínima recomendada por tres

fuentes (400 mW/cm^2). **¡Error! Marcador no definido.**

Gráfica 7. Irradiancia de las LCU de la UAN sede Armenia respecto a recomendaciones

consultadas. **¡Error! Marcador no definido.**

Abreviaturas**Abreviatura Término**

CQ	Canforoquinonas
J/cm ²	Joules por centímetro cuadrado
LED	Luz emitida por diodos
LCU	Lámpara de fotocurado
mW/cm ²	Miliwatts por centímetro cuadrado
QTH	Halógena de cuarzo-tungsteno
PPD	Phenyl-propanedione
TPO	Trimethylbenzoyl-diphenylphosphine
UAN	Universidad Antonio Nariño

Resumen

Las clínicas odontológicas de la universidad Antonio Nariño (UAN) sede Armenia son un espacio para la preparación de los futuros profesionales, éstas cuentan con los equipos necesarios para realizar diversos procedimientos que tienen como objetivo brindar competencias necesarias para la labor del odontólogo.

Se pretendió con el presente proyecto, evaluar mediante el uso de un radiómetro los niveles de irradiancia de las once lámparas de fotocurado (LCU) con las que cuentan las clínicas mencionadas.

Se recopiló información obtenida de diferentes fuentes donde se mencionan factores determinantes para obtener una fotopolimerización exitosa de los materiales, entre los cuales sobresale el nivel de irradiancia entregado por las LCU. Se compararon entonces los resultados mostrados por las lámparas en la medición realizada con respecto a los reportes de la literatura que hablan sobre un nivel mínimo de irradiancia recomendado para evitar al máximo posibles fallas en las restauraciones a corto, mediano y largo plazo.

De las ocho fuentes que hablaban sobre una irradiancia mínima aceptada, cinco determinaron los 300 mW/cm^2 y tres los 400 mW/cm^2 . De las once LCU evaluadas, una no cumplió con el primer rango, mientras que, con respecto al segundo rango, cuatro LCU no cumplieron. Una vez conocida la irradiancia de las LCU fue posible calcular el tiempo de fotocurado necesario para alcanzar dosis de exposición radiante adecuadas.

Palabras clave: Lámpara de fotocurado, radiómetro, irradiancia, dosis de exposición radiante.

Abstract

The dental clinics of the University Antonio Nariño (UAN), Armenia campus, are a space for the preparation of future professionals, these have the necessary equipment to perform various procedures that aim to provide the necessary skills for the work of the dentist.

The aim of this project was to evaluate the irradiance levels of the eleven light curing units (LCU) the which are found in the mentioned clinics.

Information obtained from several sources was compiled where determining factors were mentioned to obtain a successful photopolymerization of the materials, among which the level of irradiance delivered by the LCUs stood out. The results shown by the devices in the measurement were then compared with the reports in the literature that talk about a minimum level of irradiance recommended to avoid possible failures in the restorations in the short, medium and long term as much as possible.

Of the eight sources that spoke about a minimum accepted irradiance, five determined the 300 mW/cm² and three the 400 mW/cm². Of the eleven LCUs evaluated, one did not comply the first rank, while four LCUs did not comply the second range.

Key words: Light curing unit, radiometer, irradiance, radiation exposure dose.

1. Introducción

Las lámparas de fotocurado (LCU) son un instrumento de crucial importancia para la odontología restauradora, adhesiva y conservadora; en la actualidad, encontramos una gran variedad de estos equipos en el mercado que cumplen con diferentes condiciones y necesidades de la odontología. Estos equipos requieren unas características lumínicas esenciales para una óptima fotopolimerización de los materiales, es por esto que, con el paso del tiempo, se ha podido evidenciar un cúmulo de aportes clínicos y científicos en la búsqueda de la obtención de una irradiancia y una longitud de onda adecuada.

Desde hace aproximadamente 50 años, las LCU han llegado al mercado odontológico, iniciando por los años setenta con las lámparas unísono, equipos que emitían energía ultravioleta, pasando poco a poco por un desarrollo tecnológico; continuando con las de luz halógena de cuarzo-tungsteno (QTH), hasta llegar a las de luz emitida por diodos (LED); convirtiéndose en equipos indispensables para las clínicas odontológicas, en las cuales se debe tener disponibilidad de LCU de alta calidad, tomando como factor de elección fundamental, la irradiancia emitida por éstas.

Un nivel inadecuado de irradiancia, puede ocasionar problemas como la citotoxicidad, cambios de color en las restauraciones, falta de adhesión o inadecuada profundidad de penetración en el material, mientras que un inadecuado rango de longitud de onda puede afectar la estimulación de los fotoiniciadores, entre ellos las canforoquinonas y las lucerinas. Convirtiéndose en una necesidad relevante y de vital importancia, el realizar una revisión periódica de las condiciones lumínicas de las LCU de las clínicas odontológicas, dado que, como se ha nombrado anteriormente, éstas pueden verse afectadas por el paso del tiempo y su continuo uso.

Actualmente, las clínicas odontológicas de la UAN sede Armenia, cuentan con lámparas de tipo QTH y LED, por lo que se hizo relevante evaluar sus niveles de irradiancia; teniendo en cuenta el constante uso a las que se han visto sometidas durante varios años, pudiendo generar una disminución de su irradiancia lumínica; dado que, como se ha anunciado anteriormente, diversos estudios han demostrado que dichas unidades lumínicas son determinantes en la calidad de los procesos de los diferentes biomateriales odontológicos.

El objetivo del presente trabajo fue medir los niveles de irradiancia de las LCU encontradas en las clínicas mencionadas, para ello se utilizó el radiómetro Woodpecker modelo Im-1, el cual arroja los resultados en miliwatts por centímetro cuadrado (mW/cm^2), posteriormente, se procedió a categorizar los dispositivos evaluados en lámparas de tipo QTH y LED. Se realizó una revisión a diferentes fuentes literarias que plantean recomendaciones del nivel mínimo de irradiancia que deben tener las LCU para evitar las posibles fallas en las restauraciones; posteriormente, se compararon los niveles de irradiancia mostrados por las LCU en la medición con el radiómetro con respecto a las recomendaciones encontradas, además, una vez conocida la irradiancia de cada LCU, fue posible calcular el tiempo requerido por cada una de éstas para suministrar una dosis de exposición radiante adecuada.

Se obtuvo como resultado que, de las once LCU evaluadas, una (9,1%) no cumple con la recomendación mínima de irradiancia de $300 \text{ mW}/\text{cm}^2$ encontrada en cinco fuentes, mientras que, cuatro LCU (36,36%) no cumplieron con la recomendación mínima de irradiancia de $400 \text{ mW}/\text{cm}^2$ encontrada en tres fuentes. El promedio de irradiancia para las LCU de ambos tipos fue de $433 \text{ mW}/\text{cm}^2$; para las de tipo LED fue de $506,4 \text{ mW}/\text{cm}^2$, mientras que, para las QTH fue de $304,7 \text{ mW}/\text{cm}^2$.

2. Marco teórico y antecedentes

2.1 Fotopolimerización

La fotopolimerización es el proceso mediante el cual, los materiales fotosensibles (resinas, cementos, adhesivos) son expuestos a una fuente de luz. Estos materiales están compuestos inicialmente de monómeros, los cuales, al recibir la estimulación radiante, generan radicales libres promoviendo así la transformación de los monómeros en polímeros, obteniendo restauraciones similares a la naturaleza del diente (AlShafi, 2017).

2.1.2 Fotoiniciadores

Los fotoiniciadores son moléculas presentes en los materiales odontológicos fotopolimerizables; estos son activados por la energía radiante brindada por las LCU, causando así la generación y estímulo de los radicales libres (Fadul, Molina, Yáñez, & Luna, 2008).

2.1.3. Tipos de fotoiniciadores

Canforoquinonas (CQ): Son el fotoiniciador más comúnmente encontrado en las resinas compuestas; para activarse, éstas requieren ser expuestas a una luz con rango de longitud de onda de entre 450-500 nanómetros (nm), teniendo un pico de 468 nm (Soares, y otros, 2017).

trimethylbenzoyl-diphenylphosphine (TPO): Estas lucerinas han surgido como alternativa a la CQ, tienen un rango de activación en una longitud de onda de entre 375 y 410 nm (Price, 2017).

Phenyl-propanedione (PPD): Este fotoiniciador requiere un rango de longitud de onda de 400-410 nm para ser activado efectivamente (Soares, y otros, 2017).

2.1.4. Determinante de una polimerización adecuada o inadecuada

El éxito o fracaso de un proceso de polimerización depende de la cantidad total de monómeros que se hayan convertido en polímeros; si bien, en la matriz del material no todos los monómeros logran ser estimulados y convertidos, es fundamental que se logre transformar la mayor cantidad posible para asegurar un buen estado físico, mejores propiedades mecánicas, estabilidad de color y biocompatibilidad de la restauración (AlShafi, 2017).

2.1.5. Consecuencias de una polimerización inadecuada

En concordancia con lo nombrado anteriormente, un bajo grado de conversión de monómeros a polímeros equivale a una polimerización inadecuada, lo cual puede generar diversos efectos negativos.

Se plantea que, si no hay una adecuada irradiancia de las LCU se tiene como resultado una inadecuada fotopolimerización que puede ocasionar gran variedad de daños, afectando así la pulpa dental, la falla por estrés de la resina y generación de aumento de la microfiltración (Hao, Luo, Wu, & Zhu, 2013).

A su vez, Jadhav, Hegde, Aher, & Fajandar (2011) afirman que:

Una polimerización inadecuada da como resultado un mayor deterioro en los márgenes de la restauración, disminución de la fuerza de unión entre el diente y la restauración, mayor

citotoxicidad y reducción de la dureza. Por tanto, el odontólogo debe utilizar una LCU que entregue la energía adecuada y suficiente para optimizar la polimerización del composite.

(Souza, y otros, 2019) También plantean que las fallas en los procesos de polimerización pueden contribuir a diferentes condiciones clínicas como decoloración, irritación pulpar, sensibilidad postoperatoria, falta de adhesión, microdureza inapropiada y eventual falla de la restauración.

2.1.6. Lámparas de fotocurado (LCU)

Las lámparas de uso odontológico para fotopolimerización o lámparas de fotocurado, son los aparatos de uso más común, utilizados en las clínica dentales para robustecer o polimerizar materiales restauradores y también como agentes aceleradores para el blanqueamiento dental (HenrySchein, 2021). Dichas lámparas, son unidades emisoras de luz que, al cumplir con ciertos parámetros, polimerizan diferentes biomateriales fotosensibles. Esta fuente de luz, activa los componentes de los materiales odontológicos, haciendo que los monómeros al enlazarse, se conviertan en polímeros, logrando así la obtención de materiales similares y biocompatibles con la naturaleza del diente.

2.1.6.1. Evolución y tipos de LCU

Las LCU se han convertido en un instrumento de primera necesidad a la hora de realizar restauraciones odontológicas, las primeras lámparas que se desarrollaron generaban rayos ultravioletas no visibles; hasta la actualidad, estos instrumentos han venido evolucionando hasta conseguir lámparas ergonómicas, con una mayor confiabilidad de polimerizado y un riesgo de efectos adversos para médico y paciente mucho más bajo que el de las primeras unidades. (Chaple, Montenegro, & Álvarez, 2016).

2.1.6.1.1. Lámparas de radiación ultravioleta (UV)

Los primeros dispositivos de energía radiante que fueron usados para polimerización datan de finales de la década de los sesenta y principios de los setenta, estos usaban radiación ultravioleta (longitud de onda promedio de 350 nanómetros) para polimerizar diferentes materiales sensibles a este tipo de energía, empleados para procedimientos de carácter restaurativo, de ortodoncia y sellantes. Sin embargo, cuando este tipo de dispositivos se encontraban en un creciente auge, aparecieron diferentes publicaciones que alertaban sobre los efectos nocivos que puede generar la radiación ultravioleta; entre estos se destaca un artículo de la Asociación Dental Americana (1976) denominado “Directrices en el uso de radiación ultravioleta en odontología” en éste se manifiesta que las radiaciones ultravioletas pueden generar diferentes complicaciones como deterioro celular, eritema, conjuntivitis, quemaduras, ampollas; y, a largo plazo puede generar arrugas, queratosis y cáncer de piel.

En relación con la publicación de la asociación dental americana, Birdsell, Bannon & Webb (1977) publican un estudio titulado “Efectos nocivos de la radiación ultravioleta utilizada para la polimerización de un sellador y una resina compuesta” donde se manifiestan tres principales riesgos asociados a la utilización de este tipo de radiación: cáncer de piel, daño ocular y eritema; riesgos presentes tanto para pacientes como para odontólogos.

Presentadas estas publicaciones, las unidades de polimerización con radiaciones ultravioletas fueron gradualmente dejadas de un lado en los procedimientos odontológicos.

2.1.6.1.2. Lámparas de luz halógena de cuarzo-tungsteno (QTH)

A mediados de los años ochenta aparecen las lámparas QTH, siendo éstas las predilectas hasta mediados de los noventa; con respecto a estos dispositivos, no se presentaron muchos avances

puesto que los esfuerzos para la mejora de la polimerización se centraron en avances de la composición de los materiales (Chaple, Montenegro, & Álvarez, 2016).

Las lámparas QTH presentaban un amplio rango de longitud de onda, lo cual les permitía polimerizar materiales con diferentes fotoiniciadores, por tal razón fueron las más usadas hasta la aparición de las lámparas LED; hasta el punto que en la actualidad aún se pueden encontrar en clínicas y consultorios. Sin embargo, éstas presentaban ciertas desventajas como desperdicio de una gran cantidad de energía, alto desgaste de los niveles de irradiancia, altas temperaturas (requiriendo sistemas de ventilación) y necesitaban de sistemas de filtros para regular las longitudes de onda.

2.1.6.1.3. Lámparas de plasma (de arco o xenón)

Estas lámparas fueron implementadas en el año 1995, emiten luz en forma de un arco voltaico en medio de dos electrodos de tungsteno; éstas LCU en su interior contienen gas Xenón que tiene como objetivo evitar la evaporación de los electrodos.

Ofrecen altos niveles de irradiancia (entre 1300 y 2700 mW/cm²); en cuanto a longitud de onda, éstas tienen un estrecho espectro de 460-480 nm, por lo que no son efectivas para activar fotoiniciadores diferentes a las CQ (Cabanés, 2003).

2.1.6.1.4. Lámparas láser

Para usos odontológicos, se pueden encontrar lámparas de láser de diodos y de láser argón; las primeras poseen una longitud de onda de entre 830 y 904 nm, lo cual se encuentra en el espectro infrarrojo, por ende, no son útiles para fotopolimerización; han tenido aplicaciones quirúrgico-

terapéuticas. Mientras que, las de láser argón tiene longitud de onda adecuada para fotopolimerizar materiales con diferentes fotoiniciadores, sin embargo, se ha demostrado que pueden generar altos niveles de contracción en las resinas (Cabanes, 2003).

2.1.6.1.5. Lámparas de luz emitida por diodos (LED)

Hasta inicios del siglo XXI las lámparas QTH fueron las que mostraron un menor índice de contracción y microfiltración de las resinas, comparándose con las de plasma y láser. Fue para ese entonces que aparecieron las lámparas LED para convertirse en la mejor alternativa dadas sus múltiples ventajas, entre ellas una mayor ergonomía, ya no se necesitaron filtros, temperaturas no muy altas, bajo uso de energía, mayor eficacia para convertir la energía en luz, mayor durabilidad y mayor facilidad para su desinfección (Chaple, Montenegro, & Álvarez, 2016).

Las lámparas LED de primera generación tenían unos niveles bajos de irradiancia; al implementarse las LED de segunda generación se lograron mejorar esos niveles, sin embargo, los espectros de longitud de onda eran muy estrechos para las dos primeras generaciones (entre 450 y 500 nm) lo cual no permitía fotopolimerizar materiales con fotoiniciadores diferentes a la CQ. En las LED de última generación se han implementado diodos adicionales con la capacidad de emitir luz con longitudes de onda más bajas, las cuales generan luz violeta; sin embargo, se advierte que estas variaciones en las lámparas podrían producir efectos negativos para la polimerización, debido a la falta de uniformidad de la luz irradiada en diferentes zonas de la restauración (Soares, y otros, 2017).

2.2. Factores determinantes para la obtención de una polimerización adecuada

En la actualidad, muchos profesionales odontólogos han subestimado la importancia de las prácticas y estándares adecuados para los procesos de fotopolimerización; se han estandarizado factores como el tiempo de curado, sin tener en cuenta las particularidades de cada restauración; y en muchas ocasiones se desconocen las características lumínicas de los equipos. Sin embargo, el hecho de que las LCU generen luz azul y logren endurecer los materiales no es suficiente para garantizar una polimerización adecuada; por tal razón, a continuación, se hablará sobre un conjunto de factores que se deben tener en cuenta para evitar polimerizaciones inadecuadas que puedan generar consecuencias negativas en las restauraciones.

2.2.1. Irradiancia: mW/cm^2

Cuando las LCU presentan un adecuado nivel de irradiancia se garantiza la presencia de una cantidad óptima de fotones, lo cual hace posible que se estimule una mayor cantidad de CQ u otro fotoiniciador que contenga el material. En caso de que la irradiancia de la luz esté por debajo de los niveles adecuados, habrá una cantidad de fotones insuficiente para penetrar las partes más profundas de la restauración, lo cual trae como resultado la inactivación del iniciador presente en esas zonas, generando así una polimerización superficial e inadecuada (Villarreal, 2003).

Si una LCU presenta un nivel bajo de irradiancia puede compensarse aumentando el tiempo de fotopolimerización (Piva, y otros, 2008), sin embargo, múltiples estudios han nombrado los niveles mínimos de irradiancia que deben tener las LCU para polimerizar adecuadamente.

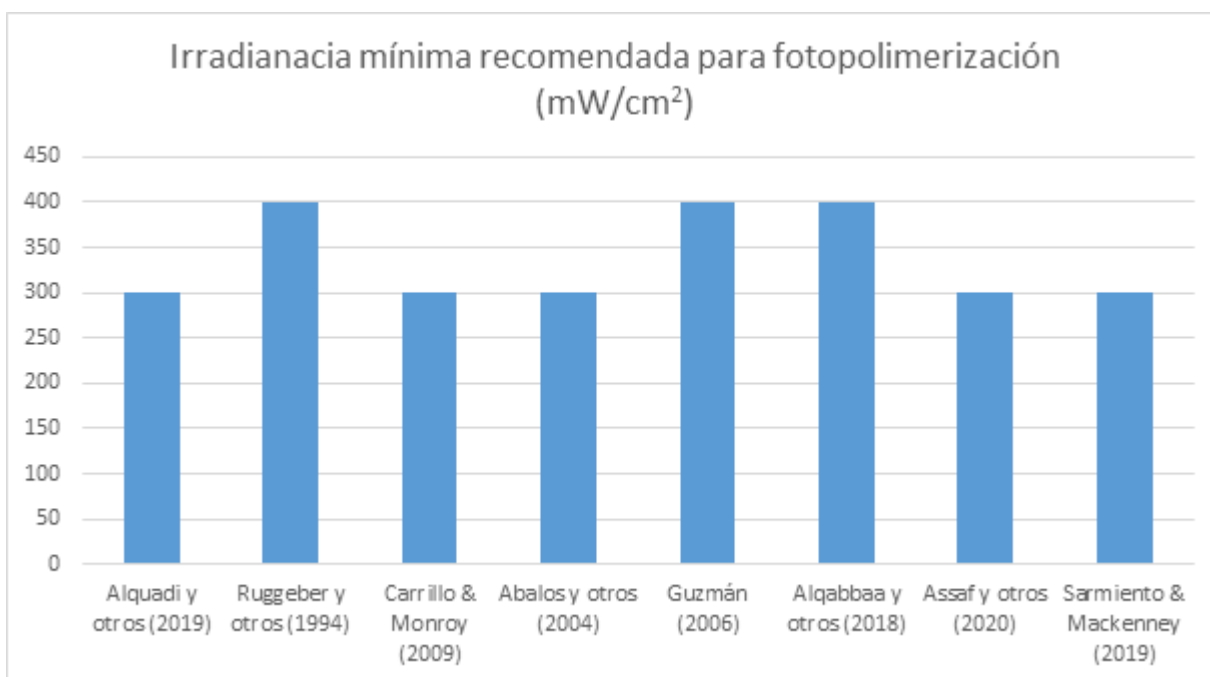
(Carrillo & Monroy, 2009) plantean que la irradiancia apropiada para lograr una adecuada polimerización de los materiales odontológicos, se alcanza con lámparas que generan una potencia

mayor de 300 mW/cm^2 , puesto que con potencias de 200 a 300 mW/cm^2 se hace imperioso un aumento de la exposición del material a la luz, para adquirir el mismo efecto catalizador; y potencias menores a 200 mW/cm^2 no sólo son imperfectas, sino que presentan un mayor riesgo, siendo más nocivas, por al aumento en la emisión de radiación UV de tipo C, determinada como la más perjudicial para el ojo humano. Éste último caso corresponde a los equipos más antiguos, los cuales pueden aún ser utilizados en la práctica odontológica diaria.

(Ruggeberg, Myers, & Caughman, 1994) recomiendan una irradiancia mínima de 400 mW/cm^2 ; (Alqhuria, Al Gady, Khabeer, & Ali, 2019) plantean que, al aplicar un método de polimerización continuo de resina se debe tener una irradiancia de entre 300 y 600 mW/cm^2 como mínimo aceptado. Por su parte, (Abalos, Jimenez, Hernández, & Jimenez, 2004) recomiendan una irradiancia entre 300 - 800 mW/cm^2 en su estudio realizado con el composite Tetric Ceram A3 (microhíbrida). (Guzmán, 2006) dice que, cuando se habla de la irradiancia lumínica de las LCU, se debe tener en cuenta que el mínimo aceptable para un buen proceso de polimerización es de 400 mW/cm^2 , plantea, además, que si la irradiancia está por debajo de dicha medida la fuente de luz debe reemplazarse.

Por otra parte en una investigación realizada en la ciudad de Riad, Arabia Saudita, donde se medía la irradiancia de doscientas lámparas mediante la implementación de un radiómetro, se utilizó la siguiente clasificación: se recopilaron datos, subcategorizando tres grupos: intensidad inadecuada $<400 \text{ mW/cm}^2$, intensidad marginal entre 400 y 850 mW/cm^2 e intensidad adecuada más de 850 mW/cm^2 , (Alqabbaa, Alsenani, Alsaif, Alsaif, & Binalrimal, 2018).

(Assaf, Fahd, & Sabbagh, 2020) en su revisión donde plantean pautas para una polimerización exitosa, indican que un valor de irradiancia de 300 a 400 mW/cm² es el requisito mínimo para curar los materiales de manera eficiente. En concordancia con lo anterior, (Sarmiento-Cornejo & Mackenney-Palamara, 2019) plantean los 300 mW/cm² como mínima irradiancia aceptable.



Gráfica 1. Niveles mínimos de irradiancia que deben tener las LCU basados en ocho reportes encontrados en la literatura.

2.2.1.1 Pérdida de irradiancia en las LCU

En un estudio realizado en la ciudad de Changchun, China, se describe la existencia de una correlación negativa entre los años de operación de las LCU y su irradiancia lumínica, dado que, estos equipos sufren de un desgaste por el paso del tiempo y su constante uso, esto afecta sus niveles de irradiancia, disminuyéndose notablemente (Hao, Luo, Wu, & Zhu, 2013).

Con el paso del tiempo y dada la disminución en los niveles de irradiancia, el odontólogo sin darse por enterado podría estar usando una LCU inapropiada para procesos de polimerización

óptimos, por tal razón es importante realizar un monitoreo periódico de las condiciones de las lámparas, conociendo así el momento en que éstas deban ser reparadas o remplazadas (Guzmán, 2006).

Sumado al tiempo de uso, otra razón que puede generar la disminución de los niveles de irradiancia son los procesos de desinfección, (Ruggeberg, Caughman, & Comer, 1996) realizaron un estudio en el cual se evidenció una pérdida de irradiancia en LCU después de ser esterilizadas en autoclave; llegando a demostrar pérdidas de hasta el 50% de irradiancia luego de tres ciclos de esterilización; esta disminución se creyó pudo ser consecuencia de una indeseada acumulación de residuos minerales. Sin embargo, se evidenció que, si las salidas de luz eran pulidas con un kit de pulido posterior a su esterilización, se podría recuperar casi la totalidad de irradiancia lumínica inicial; es por esto que los autores basándose en los resultados del estudio y también en recomendaciones de los fabricantes, aconsejan realizar un protocolo de pulido de las lámparas periódicamente.

2.2.1.2 Radiómetro

Es el instrumento que permite medir la irradiancia de las LCU, el objetivo de estos es proporcionar un método sencillo para evaluar el rendimiento de la luz emitida por la unidad, para que el odontólogo pueda establecer si la salida de luz ha presentado cambios considerables y, de ser así, se tomen las medidas necesarias para contrarrestarlo (Giannini, André, Gobbo, & Rueggeberg, 2019).

Debido a las variaciones en la irradiancia de las LCU, todas éstas deben ser sometidas periódicamente a una evaluación mediante el uso de radiómetros para monitorear posibles cambios

en los valores que generen alerta, y se puedan garantizar los niveles mínimos de irradiancia recomendados para procesos de polimerización exitosos (Vaca, 2019). Además, es fundamental para todos los odontólogos conocer los niveles de irradiancia de la LCU que utiliza, dado que, esto les permite calcular qué dosis de exposición radiante le están dando a sus restauraciones.

Con respecto a la precisión de los radiómetros (Giannini, André, Gobbo, & Rueggeberg, 2019) realizaron un estudio donde compararon pruebas realizadas con radiómetros portátiles y de laboratorio aplicadas a cuatro modelos de LCU: Elipar S10, Elipar DeepCure-S, Corded VALO y Bluephase Style. De los ocho modelos de radiómetros portátiles utilizados ninguno arrojó los mismos valores que los radiómetros de laboratorio, siendo algunos más altos y otros más bajos.

Debido a que algunos radiómetros tienen la entrada de luz estrecha, la mayoría de radiómetros no miden toda la luz, puesto que, es rara la vez que la luz emitida en toda la punta de la LCU es uniforme; esto puede explicar por qué la mayoría de estudios de radiómetros dentales dan como resultado que estos aparatos suelen ser inexactos, considerando que dependiendo donde se ubique la luz sobre el detector se pueden obtener valores diferentes. Un estudio reciente demostró que el radiómetro Bluephase meter II podía medir con exactitud los valores de irradiancia de lámparas LED diferentes (Price, 2017).

Sin embargo, se recomienda realizar mediciones periódicas mediante el uso de radiómetros portátiles, dado que, estos pueden alertar sobre variaciones abruptas en los niveles de irradiancia de cada LCU; además, se recomienda el uso de equipos certificados.

2.2.2. Dosis de exposición radiante (J/cm^2)

La profundidad de curado diferencia una buena polimerización de una errónea; para que una restauración sea adecuadamente polimerizada se requiere de un balance entre irradiancia de la LCU y tiempo de exposición, esto dependiendo de la profundidad de cada restauración. Por esta razón es incorrecto afirmar que se requiere del mismo tiempo de fotocurado para todas las restauraciones en general (Price, 2017).

Este balance entre irradiancia y tiempo es la dosis de exposición radiante requerida por cada restauración, se mide en Joules sobre centímetros cuadrados (J/cm^2) y se obtiene multiplicando el tiempo de exposición (segundos) por la irradiancia de la lámpara (mW/cm^2). Estudios han mostrado que para una restauración de 2mm de espesor se requiere una dosis de exposición de entre 16 y 24 J/cm^2 para lograr una polimerización exitosa (AlShafi, 2017):

$$DER (J/cm^2) = I (mW/cm^2) \times T (\text{segundos}).$$

Si una resina con un espesor menor a 2mm es fotopolimerizada durante 60 segundos con una irradiancia de 400 mW/cm^2 tendría una exposición radiante de 24 J/cm^2 . Si esa resina se fotopolimeriza con los mismo 400 mW/cm^2 durante 40 segundos la exposición sería de 16 J/cm^2 , lo cual es el mínimo recomendado, por lo tanto, usando esa intensidad no se deben emplear menos de 40 segundos para poder brindarle a la restauración la dosis mínima de energía.

(Wiggins, Hartung, Althoff, Wastian, & Mitra, 2004) Realizaron un estudio en el cual fotopolimerizaron resinas utilizando LCU de cuatro tipos diferentes: Una LED de primera generación, una QTH convencional, y una LED y una QTH de alta potencia. Para las lámparas de alta potencia se usó un tiempo de polimerización de 10 segundos, mientras que, para las otras dos lámparas se utilizaron 20 segundos. Al evaluar las características de las resinas ya polimerizadas

con las diferentes lámparas, no se encontraron muchas diferencias de calidad y microdureza, con lo que se concluyó que las lámparas de alta potencia pueden disminuir el tiempo de polimerización necesario y aun así entregar una buena calidad de polimerización. Sin embargo, tiempos de exposición muy reducidos (menores a 5 segundos) podrían requerir irradiancias exageradamente altas, lo cual podría causar contracción en las restauraciones.

2.2.2.1. Distancia entre la salida de luz y la restauración

La distancia entre la salida de la luz y la restauración es un factor fundamental a tener en cuenta, dado que, estudios han demostrado que por el hecho de alejar sólo 6 mm la salida de luz sobre el diente, una parte de la energía puede dispersarse, llegando a disminuirse hasta en un 50% la dosis de irradiación absorbida por la restauración; se concluye entonces que, cuando se requiere polimerizar materiales que estén profundos o de difícil acceso, se debe polimerizar de 20 a 60 segundos adicionales dependiendo de la distancia a la que se encuentre y la irradiación de la LCU, con lo que se puede garantizar una exposición radiante óptima (Ruggeberg & Jordan, 1993).

El hecho de no adicionar dosis de exposición radiante cuando se trata de una restauración profunda, debido a la dispersión de la energía mencionada anteriormente, suele ser una de las razones más recurrentes por las cuales se presenta conversión insuficiente de monómeros y por lo tanto, una polimerización inadecuada (AlShafi, 2017).

2.2.2.2. Espesor de la restauración

(Villarroel, 2003) advierte sobre la disminución de irradiación que se presenta a medida que la energía se transporta desde la superficie hasta el centro de la restauración, dada la dispersión y la

absorción de la luz; se plantea que a 1mm de profundidad ya se ha perdido el 50% de la energía, a 2mm únicamente el 25% sigue estando presente, mientras que a 3mm solo el 3% de esa energía sigue estando disponible para activar el material de esas zonas profundas; por lo que es relevante aumentar la dosis de exposición radiante cuando la restauración presenta un alto espesor.

(Moradas & Álvarez, 2017) recomienda que el grosor de la capa de composites no exceda los 2 mm, debido a que mayor grosor de la capa, producirá una mayor contracción del material, provocando el posterior despegamiento con la capa adhesiva.

2.2.2.3. Control de la temperatura

Como se dijo anteriormente, la medida para contrarrestar la dispersión de la energía en casos de restauraciones profundas, de difícil acceso o de elevado espesor, es aumentar la dosis de exposición radiante (aumentar tiempo y/o irradiancia); sin embargo, esto puede generar altas temperaturas que podrían causar daños a nivel pulpar. Para controlar los niveles de temperatura en casos en los que la dosis de energía a entregar sea muy alta, se recomienda ventilar con jeringa triple durante el proceso de fotopolimerizado, además, otro mecanismo para controlar la temperatura es fotopolimerizar en intervalos de 10 segundos y 2 segundos de descanso (Price, 2017).

2.2.2.4. Fibra óptica

El tamaño de la fibra óptica de la LCU es otro factor a tener en cuenta, ya que, si éste es muy pequeño y la restauración es grande, podrían quedar zonas sin polimerizar; para contrarrestar esto se requeriría una exposición a la luz dividida por zonas, lo cual aumentaría el tiempo necesario.

Además, la acumulación de residuos y posibles daños o roturas en la salida de la luz pueden generar pérdidas significativas de niveles de irradiancia (Price, 2017).

2.2.2.5. Posición de la salida de luz con respecto a la restauración

La luz azul puede generar daños oculares tanto para el paciente como para el personal odontológico, por tal razón, se deben usar gafas protectoras especiales de color naranja durante la utilización de la LCU. Este uso de protección ocular trae beneficios para el proceso de polimerización, dado que, el odontólogo puede observar directamente la restauración mientras está siendo fotopolimerizada, evitando posibles desviaciones de la luz y procurado concentrarla en los lugares indicados. Además, el odontólogo encargado de manipular la lámpara durante el proceso de fotopolimerización debe estar bien capacitado y concentrado para ello, puesto que se debe garantizar que la punta de salida de luz esté en una posición adecuada con respecto al diente (Price, 2017).

2.2.3 Longitud de onda

La longitud de onda es la distancia existente entre dos puntos, cada uno de estos ubicado en el mismo lugar del ciclo continuo de repetición de la onda, ésta se mide en nanómetros (nm) y dependiendo de este espectro es el color de luz irradiado (Guzmán, 2006).

Las CQ son el fotoiniciador más comúnmente encontrado en los materiales fotopolimerizables, éstas se activan de manera más efectiva cuando se exponen a una luz cuya longitud de onda sea de 468 nm o cercana; las LCU LED tradicionales tienen un promedio de longitud de onda de entre 450 y 500 nm, lo cual las hace idóneas para activar las CQ; sin embargo, se han implementado

nuevos fotoiniciadores como alternativa de las CQ, tales como el óxido trimethylbenzoyl-diphenylphosphine (TPO) el cual se activa en un rango de entre 375-410 nm y la fenilpropadoina (PPD) que requiere un máximo de 410 nm. . Se han desarrollado nuevas lámparas LED las cuales tienen algunos diodos adicionales con la capacidad de emitir luz con esas longitudes de onda más bajas, las cuales generan luz violeta; sin embargo; algunas investigaciones advierten que estas variaciones en las lámparas podrían producir efectos negativos para la polimerización, debido a la falta de uniformidad de la luz irradiada en diferentes zonas de la restauración (Soares, y otros, 2017).

Se debe entonces, exponer los materiales a luz con longitud de onda adecuada dependiendo de lo fotoiniciadores que estos contengan, pues de lo contrario, podrían quedarse muchos de estos sin estimularse generando una polimerización inadecuada (Fadul, Molina, Yáñez, & Luna, 2008).

2.2.4. Materiales fotopolimerizables

2.2.4.1. Resinas

Las resinas compuestas son el biomaterial más utilizado en la actualidad en el campo de las restauraciones odontológicas y del que más se han realizado estudios; éste material aparece a finales de los años sesenta creado por el Dr. Ray L. Bowen, como una alternativa a las restauraciones realizadas hasta ese entonces con silicatos y resinas acrílicas, las cuales presentaban muy poca resistencia al desgaste y un alto nivel de contracción. (Rodriguez & Pereira, 2008). Desde su aparición hasta la actualidad, las resinas compuestas han evolucionado exponencialmente, mejorando cada vez más sus características de composición con el fin de minimizar sus desventajas, como la contracción por polimerización y el estrés que esto genera.

Componentes estructurales de las resinas compuestas: Matriz, relleno, agente de conexión, sistema activador, pigmentos de coloración e inhibidores de polimerización (Rodríguez & Pereira, 2008):

Matriz: Se constituye por un grupo de monómeros, el más frecuente es el Bisfenol-A- Glicidil Metacrilato (Biss-GMA), el cual por su alto peso molecular presenta una menor cantidad de contracción al fotopolimerizarse. Sin embargo, esto hace que pueda presentar una alta viscosidad, por lo que se agregan otros monómeros como el trietilenglicol dimetacrilato (TEGDMA) para controlar los niveles de viscosidad. Otro monómero que en algunos casos se le añade a la matriz es el dimetacrilato de uretano (UDMA).

Relleno: Son partículas de cuarzo o de vidrio de bario las cuales tienen como objetivo controlar la dimensión de la matriz resinosa y mejorar sus propiedades.

Agente de conexión: Son moléculas encargadas de generar una conexión entre el relleno y la matriz, están conformadas por grupos silanos y grupos metacrilatos.

Sistema iniciador-activador de polimerización: Se requiere de un estímulo externo para la generación de los radicales libres. Para las resinas que requieren fotopolimerización se utilizan como iniciadores diquetonas, como lo son la canforoquinona, leucerin, el ivocer y la fenilpropadoina, siendo las dos primeras las más utilizadas. Mientras que, en las resinas de autopolimerización se utiliza el peróxido de benzoilo como iniciador. (Dentidesk, 2015)

Inhibidores de polimerización: El objetivo de los inhibidores es evitar que las moléculas presentes en las resinas compuestas se auto-activen indeseadamente, debido a que estas tienen un alto nivel de reactividad.

Pigmentos: Permiten la obtención de un color similar al diente, los más usados son el óxido de aluminio y de titanio.

2.2.4.2. Cementos

Los cementos dentales son un biomaterial utilizado en diferentes ramas de la odontología, estos son usados con el fin de unir superficies y protegerlas de la aparición de microfiltración. Su presentación suele constar de un líquido y un polvo para mezclado manual, sin embargo, también pueden encontrarse en cápsulas predosificadas que se mezclan mecánicamente.

La composición de los cementos resinosos es similar a la de las resinas compuestas, pues estos poseen una matriz compuesta por Bis-GMA, UEDMA y monómeros de más bajo peso como el TEGDMA, poseen también metacrilatos que conforman grupos hidrofílicos que tienen como fin el promover la adhesión a la dentina (Santana, Braz, & Da Costa, 2009). Los cementos dentales pueden usarse como agente de cicatrización en cirugía dental, cementado de prótesis, sellado de conductos, selladores de fosas y fisuras, y para cementado de ortodoncia a dentina.

Los tipos de cemento más usado son los de ionómero de vidrio (populares por su liberación de flúor) y los reforzados con resina. Pueden clasificarse según su mecanismo de polimerización:

Fotopolimerizables: El principal fotoiniciador de estos cementos es la canforoquinona (Araujo & Behrens, 2018).

Autopolimerizables: Usan como iniciador el peróxido de benzoil y una amina aromática terciaria.

Polimerización dual: Combinan los mecanismos de activación de los cementos fotopolimerizables.

2.2.4.2. Adhesivos

(Nojiri, y otros, 2015) evaluaron la influencia que tiene la irradiancia de la luz para la fotopolimerización de los adhesivos en la energía libre de la superficie y la fuerza de unión de la dentina de los adhesivos de auto grabado de un solo paso, en este estudio, se utilizaron 120

incisivos vacunos y tres adhesivos; los cuales fueron: universal Scotchbond™ (3M ESPE, St. Paul, MN, EE. UU.); Clearfil™ Tri-S Bond (Kuraray Noritake Dental, Tokio, Japón); y G-Bond™ Plus (GC, Tokio, Japón). Se fotopolimerizaron en irradiancias de luz de 0 (sin irradiación), 200, 400 y 600 mW/cm² arrojando como resultado, que al fotopolimerizar con mayor irradiancia, se reduce la energía libre superficial y que el rendimiento de unión a la dentina se ve afectado por el rango de la irradiancia, ya que al fotopolimerizar a 200 mW/cm² o menos, el rendimiento de unión fue inferior y la mayor fuerza de unión se presentó al fotopolimerizar con una irradiancia de 400 mW/cm² o más. El estudio concluyó que, el sistema de adhesivo de autograbado de un solo paso se ve afectado por la intensidad de la luz con la que se irradia en el momento de la fotopolimerización.

2.3. Antecedentes

(Hao, Luo, Wu, & Zhu, 2013) realizaron un estudio que tenía como objetivo describir la existencia de una correlación negativa entre los años de operación de las LCU y sus niveles de irradiancia. En este estudio se evaluaron las condiciones lumínicas de 196 LCU, el promedio de irradiancia de la medición fue de 453 mW/cm², donde se pudo observar que las lámparas que tenían irradiancias más bajas tenían ya una antigüedad avanzada.

(Abalos, Jimenez, Hernández, & Jimenez, 2004) (Lopez Soto, Acebedo, Lopez Macías, & Joya, 2011) realizaron un estudio que tenía como objetivo medir la irradiancia lumínica de 64 LCU de una clínica odontológica mediante el uso de radiómetros. Para la investigación se tuvieron en cuenta las siguientes variables: tipo de lámpara, intensidad marcada en un tiempo de 40 segundos y estado de la fibra óptica.

Se obtuvo como resultado que, 25 de las 64 lámparas (38,9%) tenían una irradiancia por debajo de los 300 mW/cm², considerándose éstas como inadecuadas para los procedimientos de polimerización; el 29,6% de las lámparas estaban en un rango de irradiancia de entre 300-399 mW/cm², si bien este rango cumple con el mínimo de irradiancia, esto debe generar alerta pues algunos autores plantean un mínimo irradiante de 400 mW/cm²; mientras que, sólo el 31.1% de las lámparas tenían una irradiancia mayor a 400 mW/cm².

El estudio también arrojó como resultado que el 48.3% de las lámparas presentaban contaminación en la parte activa de la fibra óptica. Se concluye entonces que el 40% de las lámparas evaluadas presentaron una irradiancia de luz adecuada y una integridad total de la fibra óptica, siendo éstas las únicas que podrían garantizar una óptima polimerización.

(Alqabbaa, Alsenani, Alsaif, Alsaif, & Binalrimal, 2018) en su investigación realizada en la ciudad de Riad, Arabia Saudita, titulada: "Salida de irradiancia de luz de las unidades de transmisión de luz visible y el conocimiento y la actitud de los médicos entre las clínicas privadas de Riad" donde se midió la irradiancia lumínica doscientas LCU mediante la implementación de un radiómetro, se utilizó la siguiente clasificación: se recopilaron datos, subcategorizando tres grupos: irradiancia inadecuada <400 mw/cm², irradiancia marginal entre 400 y 850 mw/cm² e irradiancia adecuada más de 850 mw/cm², al mismo tiempo, se aplicó un cuestionario de diez preguntas cerradas, a una muestra de 100 odontólogos de las clínicas privadas, que indagaban sobre: la demografía, el conocimiento y la actitud hacia las LCU. Posteriormente se analizaron los datos, arrojando como resultados que el 78% de los dentistas indicaron que no miden la salida de irradiancia de luz, además, sólo el 31% conocía la longitud de onda adecuada para polimerizar. También se arrojó que el 9% de las unidades LED presentaban una irradiancia inadecuada,

mientras que el 40,5% mostraron una irradiancia marginal, y 50,5% de irradiancia adecuada. Concluyendo que: Los odontólogos de las clínicas privadas de Riad expresan un conocimiento, mantenimiento y actitud deficientes hacia las LCU. Por lo que se recomendaron implementar metodologías educativas y el monitoreo rutinario estos equipos como medida de prevención.

(Sarmiento-Cornejo & Mackenney-Palamara, 2019) evaluaron una muestra de 507 LCU, de las cuales 107 eran QTH y 400 LED; durante aproximadamente un mes, por medio del uso dos radiómetros como instrumentos de medición; en los que para las unidades LED se valieron del radiómetro Bluephase Meter®, de Ivoclar-Vivadent™, y para las QTH del uso del Coltolux® de Coltène™. Obteniendo como resultado que el 85% de las unidades LED y QTH alcanzaron los requisitos mínimos de irradiancia necesarios para la polimerización de biomateriales dentales. No obstante, solo el 25% de las unidades a las que se les aplicó la prueba, alcanzaron una irradiancia de 1000 mW / cm².

(Matallana, y otros, 2010) en el estudio titulado “Intensidad de la luz emitida por lámparas de fotocurado en los consultorios odontológicos de Bucaramanga y su área metropolitana” que tenía como objetivo determinar la irradiancia de la luz de las LCU empleadas en los consultorios odontológicos de la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana, y evaluar el conocimiento de los odontólogos acerca del tema; realizaron un estudio observacional descriptivo de corte transversal en 110 centros odontológicos, las variables incluidas en este estudio fueron las sociodemográficas (municipio, estrato socioeconómico), acerca de la LCU (tipo de luz, marca, mantenimiento, personal que realiza el mantenimiento), acerca de la desinfección de la lámpara

(sustancia utilizada y la frecuencia) y, variables de conocimiento del profesional acerca de la unidad de curado; se realizó el cálculo de medidas de resumen y para el análisis bivariado se aplicaron la prueba de test exacto de fisher y anova. Como resultados se encontró que el 30.8% de lámparas QTH y 11.5% de las LED no eran aptas para fotopolimerizar materiales.

(Encalada, 2018) en el estudio titulado “Evaluación de desempeño de la intensidad de la salida de luz de las lámparas de fotocurado utilizadas por los estudiantes de noveno semestre de la facultad piloto de odontología” en la universidad de Guayaquil, tuvo como objetivo hacer la evaluación del desempeño de la irradiancia de la salida de luz de las LCU utilizadas por los estudiantes de la facultad piloto de odontología. Con respecto a la metodología, éste fue un estudio observacional, descriptivo, transversal; la muestra se conformó por 91 LCU. Se efectuó una visita a los estudiantes, en la clínica, se explicó sobre el estudio y se solicitó una autorización para participar en él, luego, con un radiómetro, se inspeccionó el rango de irradiancia de las LC y el tiempo de fotocurado. Los resultados encontrados fueron que el 81% de las LCU se encontraron por debajo de los 300 mW/cm² de irradiancia y el 19% en un rango de 400 a 500 mW/cm². Se concluyó también que el 60% de los estudiantes encuestados, no tienen conocimiento sobre el rango mínimo de irradiancia de luz para el correcto fotocurado de las resinas.

3. Planteamiento del problema

Diversos estudios han demostrado que la irradiancia de la luz emitida por las LCU, la cual no debe estar por debajo de 300-400 mW/cm² puede disminuir con el paso del tiempo, afectando así los procesos de fotopolimerización de los materiales odontológicos, lo anterior como resultado de su constante uso.

En la práctica clínica, las LCU se ven sometidas a un desgaste que puede perjudicar sus condiciones técnicas; considerando que la irradiancia de la emisión de la luz es un factor fundamental para la utilización de materiales fotopolimerizables de calidad, se presenta entonces, una situación de desconocimiento de las condiciones de irradiancia de las LCU de las clínicas odontológicas de la UAN sede Armenia.

Teniendo en cuenta que éstas han sido sometidas a un uso constante durante ya varios años, lo cual posiblemente ha podido afectar la emisión de la luz, y por ende los procesos de fotopolimerización que con ellas se realicen, situación que puede causar problemas en las restauraciones, como una inadecuada adhesión, cambios de color, citotoxicidad, microfiltración, contracción, entre otros.

Sumado a lo anterior, erróneamente se han estandarizado los tiempos de fotopolimerización, sin tener en cuenta particularidades de cada restauración de las cuales depende qué tiempo y qué dosis de exposición radiante se debe suministrar, cálculos para los cuales son fundamentales conocer los niveles de irradiancia de las LCU que se utilizan.

Por lo anterior se formuló la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es el estado de la irradiancia de la luz emitida por las LCU de las clínicas odontológicas de la UAN sede Armenia?

4. Objetivos

4.1. Objetivo general

Evaluar si las LCU, tanto de tipo LED como QTH de las clínicas odontológicas de la UAN sede Armenia, se encuentran dentro de los niveles de irradiancia de luz adecuados, recomendados en las fuentes bibliográficas consultadas.

4.2. Objetivos específicos

- Medir la irradiancia actual de las LCU de las clínicas odontológicas de la UAN sede Armenia.
- Comparar los niveles de irradiancia mostrados por las LCU de las clínicas odontológicas de la UAN sede armenia con los datos de irradiancia mínima aceptada, tomados de las fuentes bibliográficas, para establecer si se cumple o no con los parámetros consultados.
- Analizar si existe correlación entre tiempo de uso y variación de la irradiancia lumínica de las lámparas de fotocurado de las clínicas odontológicas de la UAN sede armenia.
- Calcular los tiempos de fotopolimerización requeridos por cada LCU de la UAN sede Armenia, en relación a sus niveles de irradiancia, para entregar dosis de exposición radiante adecuada en restauraciones con resina compuesta de 2mm de espesor.

5. Metodología

5.1 Tipo de estudio

- Descriptivo.

5.2 Población

- 7 lámparas LED
- 4 lámparas QTH

5.2.1 Criterios de selección

5.2.2 Criterios de inclusión

- Lámparas de fotocurado de las clínicas odontológicas de la UAN sede Armenia:
- Led y QTH.
- Lámparas que puedan encender y ejecutar la medición correctamente.

5.2.3 Criterios de exclusión

- Lámparas pertenecientes a estudiantes.

Lámparas que tengan:

- Tengan fuente de alimentación en mal estado.
- Tengan bulbos quemados o no puedan prender correctamente.
- Presenten algún desperfecto en su funcionamiento eléctrico.
- Que no tengan botón de encendido o fallo que evite el encendido correcto.
- Que no presenten fibra óptica.

5.3 Muestra

La muestra de LCU es igual a la población debido a su reducido tamaño: Once LCU en total de las cuales cuatro son QTH y siete son LED.

5.4 Variables y escalas de medición

Tabla 1. Variables y unidad de medición de datos.

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Unidad de medida	Recomendaciones encontradas en la literatura
Irradiancia actual de las LCU de las clínicas odontológicas de la UAN sede Armenia	<p>Cuando las LCU presentan una adecuada irradiancia se garantiza la presencia de una cantidad óptima de fotones, lo que hace posible que se estimule una mayor cantidad de CQ u otro fotoiniciador que contenga el material. En caso de que la irradiancia de la luz esté por debajo de los niveles adecuados, habrá una cantidad de fotones insuficiente para penetrar las partes más profundas de la restauración, lo cual trae como resultado la inactivación del iniciador presente en esas zonas, generando así una polimerización superficial e inadecuada (Villarroel, 2003).</p>	<p>Se medirán los niveles de irradiancia de las LCU de la UAN sede Armenia mediante la utilización del radiómetro Woodpecker, modelo lm-1.</p>	<p>mW/cm²</p>	<p>Obras que recomiendan irradiancia mínima de 300 mW/cm² para una fotopolimerización adecuada: (Alqhuria, Al Gady, Khabeer, & Ali, 2019), (Carrillo & Monroy, 2009), (Abalos, y otros, 2004), (Assaf, y otros, 2020) y (Sarmiento, y otros, 2019).</p> <p>Obras que recomiendan irradiancia mínima de 400 mW/cm² para una fotopolimerización adecuada: (Ruggeber, y otros, 1994), (Guzmán, 2006) y (Alqabbaa, y otros, 2018).</p>

5.5 Descripción del procedimiento

Para la medición de irradiancia de las LCU, el procedimiento fue llevado a cabo por el ingeniero biomédico Carlos Torres, graduado en el año 2015 y quien desde ese entonces se ha desempeñado en el área de servicios técnicos a equipos de uso odontológico. Se utilizó un radiómetro de marca Woodpecker, modelo lm-1.

Se realizaron dos tipos de prueba: en el primer tipo se realizó una medición en la cual, cada LCU se colocaba en el radiómetro durante 5 segundos, repitiéndose tres veces; mientras que, el segundo tipo de prueba consistió en tomar la medida registrada por el radiómetro durante 60 segundos continuos para cada LCU. El promedio de medida de irradiancia mostrado en el segundo tipo de prueba fue el utilizado para el análisis de datos.

Pasos para la medición de irradiancia de las LCU de la UAN sede Armenia:

1. Caracterización de la población: aspectos técnicos, e indagaciones previas, antigüedad, marca, tipo.
2. Evaluación del estado de las lámparas: se realizó un análisis del estado físico de las lámparas de fotocurado, verificando así, que no presentaran fracturas, roturas de la fibra óptica, rayones, variaciones del mango, contaminación, residuos de materiales odontológicos; de ser encontrados residuos de materiales dentales se tomaría el rango de luz para realizar el cuadro de variable del estado de las fibras y luego se le realizaría una limpieza para la evaluación de irradiancia lumínica.
3. Lista de chequeo y formato de evaluación de las lámparas: donde se anexaron las variables del estado de las fibras ópticas de la LCU y su nivel de irradiancia.

4. Evaluación de irradiancia: se aplicó mediante el uso del radiómetro Woodpecker que mide la energía de curado útil hasta 3500 mW/cm^2 . Este instrumento mide la irradiancia lumínica que emerge de la punta de la guía de luz de las LCU, este equipo posee un detector circular sobre el cual se ubica la punta de la guía de luz. Se procede a activar la lámpara y el radiómetro arroja el resultado del rango de irradiancia pudiendo así cuantificarse en mW/cm^2 (guzman,2006).

Se realizó una prueba de irradiancia durante 60 segundos continuos y se calculó el promedio mostrado durante ese tiempo por cada LCU, además a cada una de éstas se le realizó tres mediciones rápidas.

5. Análisis de datos y comparación con la literatura consultada.

5.6 Análisis Estadísticos

- Cálculo de la irradiancia promedio total.
- Cálculo de la irradiancia promedio según el tipo (LED y QTH).
- Cálculo del porcentaje de LCU que cumplen con las recomendaciones consultadas de las fuentes bibliográficas (300 y 400 mW/cm^2).
- Frecuencia de LCU en tres rangos de irradiancia: $<300 \text{ mW/cm}^2$, $300-400 \text{ mW/cm}^2$ y $400 > \text{mW/cm}^2$.
- Operación matemática para conocer el tiempo requerido en relación con la irradiancia de cada LCU, para entregar una dosis de exposición radiante adecuada ($16-24 \text{ J/cm}^2$) a restauraciones de resinas compuestas de 2mm de espesor (AlShafi, 2017):

$$\text{DER (J/cm}^2\text{)} = I (\text{mW/cm}^2) \times T (\text{segundos})$$

5.7 Aspectos éticos de la investigación

Los criterios éticos de la presente investigación estuvieron fundamentados en una odontología personalista, tomando como base, los aportes de Elio Sgreccia; para lo cual se presentan tres principios fundamentales que servirán como guías de la acción, que deben especificarse en cada decisión que se tome. Para el cual el principio es: principio de socialización, a través de este principio el investigador se compromete a difundir y explicar los resultados y beneficios de la investigación, tanto a los sujetos de investigación como las instituciones con que se asemejen o encuentren afinidad con el contexto para que reflexionen sobre el tema investigado (Sgreccia, 2018).

6. Resultados

6.1 Caracterización y enumeración de la muestra

De las 11 LCU evaluadas, 7 son LED (63,6%) y 4 QTH (36,4%); todas las de tipo LED son de marca Liang YA modelo LY-A180, mientras que, todas las de tipo QTH son marca Sunlite modelo 1275. La medición con el radiómetro a todas las LCU fue realizada el día 6 de abril de 2021. Las LCU No. 1, 2, 3, 4, 5, 10 y 11 son de tipo LED, mientras que las No. 6, 7, 8 y 9 son de tipo QTH; véase en la tabla 2.

Tabla 2. Enumeración de las LCU, tipo, marca, modelo, serie.

No. de LCU	Tipo	Marca	Modelo	Fecha de medición	Serie
1	LED	Liang Ya	LY-A180	06/04/2021	1804180214
2	LED	Liang Ya	LY-A180	06/04/2021	1804180348
3	LED	Liang Ya	LY-A180	06/04/2021	1804180357
4	LED	Liang Ya	LY-A180	06/04/2021	1804180318
5	LED	Liang Ya	LY-A180	06/04/2021	1804180313
6	QTH	Sunlite	1275	06/04/2021	125642
7	QTH	Sunlite	1275	06/04/2021	125640
8	QTH	Sunlite	1275	06/04/2021	125626
9	QTH	Sunlite	1275	06/04/2021	125608
10	LED	Liang Ya	LY-A180	06/04/2021	1804180319
11	LED	Liang Ya	LY-A180	06/04/2021	1804180277

6.2 Medición de irradiancia

Los resultados de irradiancia que se tomaron en cuenta para el análisis de resultados fue el promedio mostrado por las LCU en la prueba continua de 60 segundos, dado que, el radiómetro mostraba cambios leves de irradiancia durante el tiempo de medición de cada lámpara, por lo que

para medir la energía entregada y hacer el cálculo de dosis de exposición radiante, los resultados mostrados en esta prueba resultaban más confiables que los mostrados en la prueba rápida.

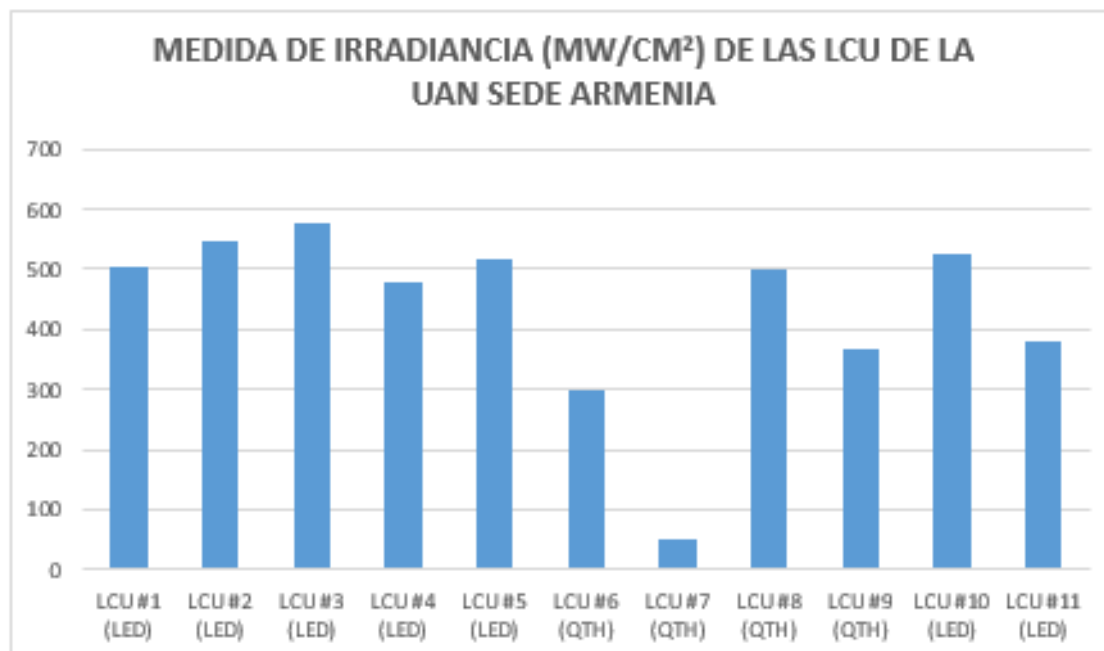
El promedio de irradiancia mostrado por todas las LCU de la UAN sede Armenia fue de 433 mW/cm²; el promedio de irradiancia de las LCU de tipo QTH fue de 304,7 mW/cm²; mientras que, el promedio de irradiancia mostrado por las LCU de tipo LED fue de 506,4 mW/cm²; véase en las tablas 3 y 4.

Tabla 3. Irradiancia de las las LCU de tipo QTH de las clínicas UAN sede Armenia, registrada por el radiómetro

LCU QTH			
No. de LCU	Medida de irradiancia en prueba de 5 segundos (realizada 3 veces)	Promedio de irradiancia mostrado en prueba de 60 segundos continuos	Irradiancia promedio de todas las QTH en la prueba de 60 segundos.
6	300 mW/cm ²	300 mW/cm ²	
	300 mW/cm ²		
	300 mW/cm ²		
7	100 mW/cm ²	51 mW/cm ²	304,7 mW/cm²
	100 mW/cm ²		
	100 mW/cm ²		
8	450 mW/cm ²	500 mW/cm ²	
	500 mW/cm ²		
	500 mW/cm ²		
9	350 mW/cm ²	368 mW/cm ²	
	375 mW/cm ²		
	375 mW/cm ²		

Tabla 4. Irradiancia de las LCU de tipo LED de las clínicas UAN sede Armenia registrada por el radiómetro.

LCU LED			
No. de LCU	Medida de irradiancia en prueba de 5 segundos (realizada 3 veces)	Promedio de irradiancia mostrado en prueba de 60 segundos continuos	Irradiancia promedio de todas las LED en la prueba de 60 segundos.
1	550 mW/cm ²	522 mW/cm ²	506,4 mW/cm²
	575 mW/cm ²		
	525 mW/cm ²		
2	550 mW/cm ²	547 mW/cm ²	
	500 mW/cm ²		
	550 mW/cm ²		
3	600 mW/cm ²	575 mW/cm ²	
	575 mW/cm ²		
	600 mW/cm ²		
4	500 mW/cm ²	479 mW/cm ²	
	475 mW/cm ²		
	475 mW/cm ²		
5	550 mW/cm ²	518 mW/cm ²	
	550 mW/cm ²		
	525 mW/cm ²		
10	550 mW/cm ²	525 mW/cm ²	
	525 mW/cm ²		
	550 mW/cm ²		
11	375 mW/cm ²	379 mW/cm ²	
	400 mW/cm ²		
	400 mW/cm ²		



Gráfica 2. Irradiancia mostrada por cada LCU de la UAN sede Armenia en la prueba realizada con el radiómetro.

6.3 Cumplimiento de parámetros mínimos de irradiancia reportados en la literatura

Se consultaron ocho fuentes las cuales hablan de un mínimo de irradiancia que deben cumplir las LCU para poder ser utilizadas en procesos de fotopolimerización. De éstas, cinco plantean un mínimo de 300 mW/cm^2 (Carrillo & Monroy, 2009), (Sarmiento-Cornejo & Mackenney-Palamara, 2019), (Assaf, Fahd, & Sabbagh, 2020), (Abalos, Jimenez, Hernández, & Jimenez, 2004) y (Alqhuria, Al Gady, Khabeer, & Ali, 2019); mientras que, las otras tres plantean un mínimo de 400 mW/cm^2 (Alqabbaa, Alsenani, Alsaif, Alsaif, & Binalrimal, 2018), (Ruggeberg, Myers, & Caughman, 1994) y (Guzmán, 2006). En la tabla 5 se puede observar cuáles LCU cumplieron esos parámetros de irradiancia.

Tabla 5. Cumplimiento de irradiancia mínima recomendada por la literatura.

No. de LCU	Tipo	Irradiancia (mW/cm ²)	Recomendación de irradiancia mínima de 300 mW/cm ²	Recomendación de irradiancia mínima de 400 mW/cm ²
1	LED	522	Cumple	Cumple
2	LED	547	Cumple	Cumple
3	LED	575	Cumple	Cumple
4	LED	479	Cumple	Cumple
5	LED	518	Cumple	Cumple
6	QTH	300	Cumple	No cumple
7	QTH	51	No cumple	No cumple
8	QTH	500	Cumple	Cumple
9	QTH	368	Cumple	No cumple
10	LED	525	Cumple	Cumple
11	LED	379	Cumple	No cumple

Se dividieron entonces las LCU en tres rangos de irradiancia: Menor a 300 mW/cm², entre 300 y 400 mW/cm² y mayor a 400 mW/cm². De las once LCU, una se ubicó en el primer rango, tres en el segundo y siete en el tercero; véase en la gráfica 3 también según el tipo.

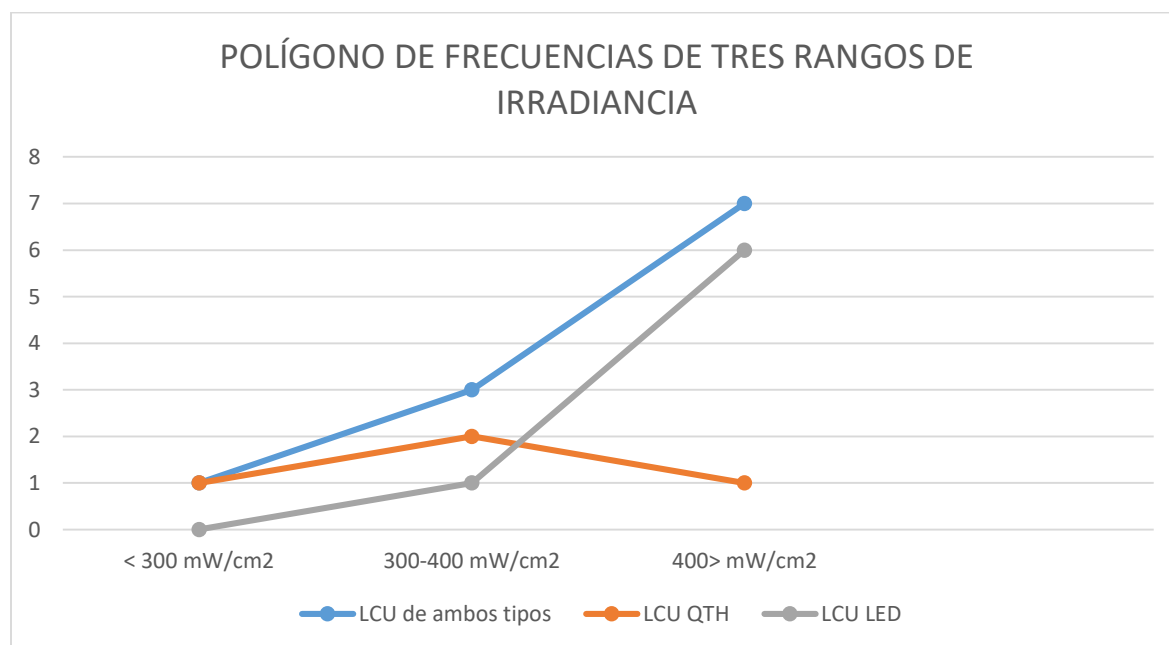
**Gráfica 3.** Cantidad de LCU ubicadas en tres rangos diferentes de irradiancia.

Tabla 6. Tabla de frecuencias de la irradiancia de las LCU de ambos tipos.

Irradiancia actual [mW/cm²]	Frecuencia absoluta (ni)	Frecuencia absoluta acumulada (Ni)	Frecuencia relativa (fi)	Frecuencia relativa acumulada (Fi)
Menor a 300	1	1	9,1%	9,1%
Entre 300 y 400	3	4	27,27%	36,36%
Mayor a 400	7	11	63,63%	100%

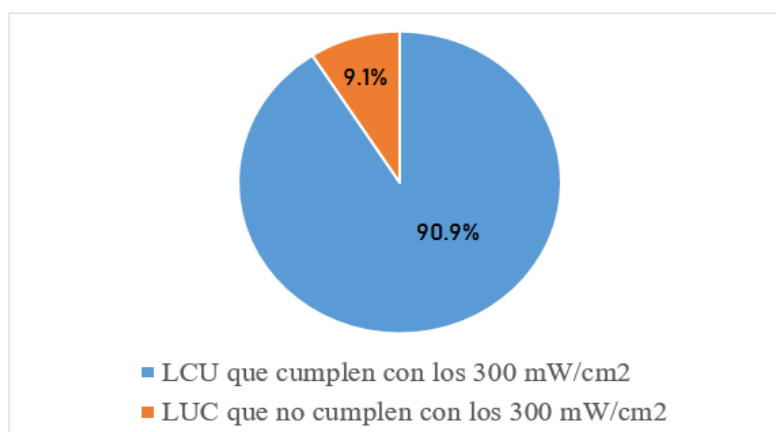
Tabla 7. Tabla de frecuencias de la irradiancia de las LCU de tipo QTH.

Irradiancia actual [mW/cm²]	Frecuencia absoluta (ni)	Frecuencia absoluta acumulada (Ni)	Frecuencia relativa (fi)	Frecuencia relativa acumulada (Fi)
Menor a 300	1	1	25%	25%
Entre 300 y 400	2	3	50%	75%
Mayor a 400	1	4	25%	100%

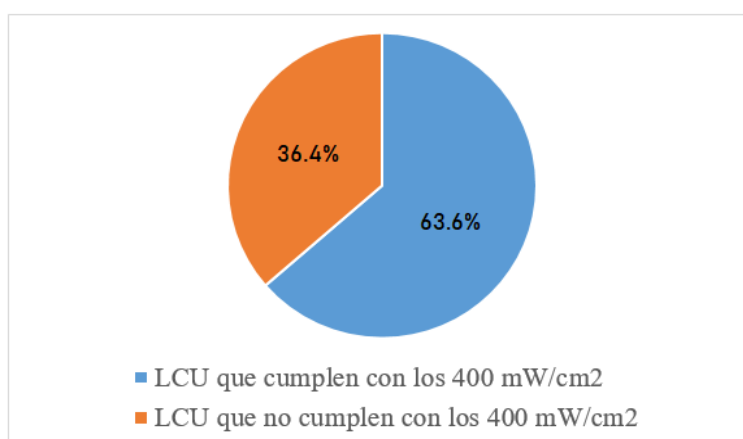
Tabla 8. Tabla de frecuencias de la irradiancia de las LCU de tipo LED.

Irradiancia actual [mW/cm²]	Frecuencia absoluta (ni)	Frecuencia absoluta acumulada (Ni)	Frecuencia relativa (fi)	Frecuencia relativa acumulada (Fi)
Menor a 300	0	0	0%	0%
Entre 300 y 400	1	1	14,28%	14,28%
Mayor a 400	6	7	85,72%	100%

Del total de LCU de ambos tipos de la UAN sede Armenia, el 90,9% cumplió con la irradiancia mínima de 300 mW/cm² recomendada por (Carrillo & Monroy, 2009), (Abalos, Jimenez, Hernández, & Jimenez, 2004), (Assaf, Fahd, & Sabbagh, 2020), (Alqhuria, Al Gady, Khabeer, & Ali, 2019) y (Sarmiento-Cornejo & Mackenney-Palamara, 2019); mientras que el 9,1% no cumplió (gráfica 4). Por otro lado, del total de LCU de ambos tipos de la UAN sede Armenia, el 63,6% cumplió con la irradiancia mínima de 400 mW/cm² recomendada por (Alqabbaa, Alsenani, Alsaif, Alsaif, & Binalrimal, 2018), (Guzmán, 2006) y (Ruggeberg, Myers, & Caughman, 1994) mientras que el 36,4% no cumplió (gráfica 5).



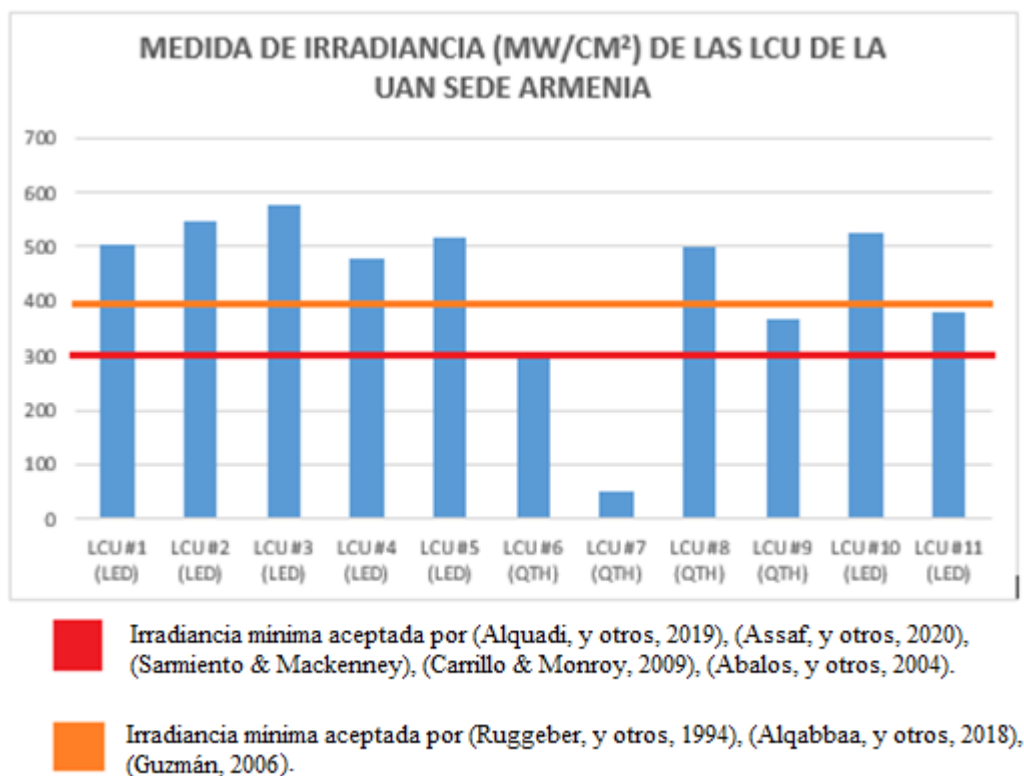
Gráfica 4. Porcentaje de LCU que cumplen con la irradiancia mínima recomendada por cinco fuentes (300 mW/cm²).



Gráfica 5. Porcentaje de LCU que cumplen con la irradiancia mínima recomendada por tres fuentes (400 mW/cm²).

Con respecto a las LCU de tipo QTH, el 25% de éstas no cumplió con la recomendación de irradiancia mínima de 300 mW/cm², mientras que el 75% sí cumplió. Por otro lado, con respecto a la recomendación de irradiancia mínima de 400 mW/cm², el 75% de las LCU de tipo QTH no la cumplió mientras que el 25% de éstas sí lo hizo.

De las LCU de tipo LED, el 100% de éstas sí cumplió con la recomendación de irradiancia mínima de 300 mW/cm². Por otro lado, con respecto a la recomendación de irradiancia mínima de 400 mW/cm², el 14,28% de las LCU de tipo LED no la cumplió mientras que el 25% de éstas sí lo hizo.



Gráfica 6. Irradiancia de las LCU de la UAN sede Armenia respecto a recomendaciones consultadas.

6.4 Correlación tiempo de uso y disminución de irradiancia

Como objetivo inicial, se había planteado analizar si existe una correlación entre el tiempo de uso y una disminución de irradiancia de las LCU de las clínicas odontológicas de la UAN sede Armenia; sin embargo, no fue posible desarrollarlo debido a que, se requerían resultados de mediciones de irradiancia realizados con anterioridad, los cuales no fueron encontrados.

6.5. Tiempo de fotopolimerización en base a irradiancia

(AlShafi, 2017) plantea que, para lograr un grado de conversión suficiente de monómeros a polímeros, que garantice un proceso de fotopolimerización exitoso, se debe brindar a las restauraciones a base de resina compuesta, las cuales tengan un espesor de hasta 2mm y que no sean profundas (sin distancia entre salida de luz de la LCU y restauración) una dosis de exposición radiante de entre 16 y 24 J/cm². Para lograr esa dosis de energía, se debe tener un balance entre irradiancia de la LCU y tiempo de exposición a la luz, ya que esto se calcula multiplicando estas dos variables; lo anterior es otra razón por la que se debe conocer siempre la irradiancia actualizada de las LCU.

Una vez conocida la irradiancia de cada LCU de las clínicas odontológicas de la UAN sede Armenia, se calculó el tiempo de exposición que se requiere al usar cada una de ellas para entregar dosis de exposición radiante de 16 y 24 J/cm². En la tabla 9 se muestran esos tiempos; allí se puede observar que a mayor irradiancia de la LCU menor es el tiempo de fotopolimerizado requerido. Los tiempos mostrados en dicha tabla para alcanzar los 16 J/cm² se toman entonces como el tiempo mínimo que requiere cada lámpara en base a su irradiancia mostrada en la medición con el radiómetro para entregar la dosis de exposición radiante mínima requerida por restauraciones con un espesor menor de 2mm.

Tabla 9. Tiempo de fotopolimerización requerido con respecto a la irradiancia de cada LCU para entregar dosis de exposición radiante adecuada.

No. de LCU	Tipo	Irradiancia (mW/cm ²)	Tiempo de fotopolimerización requerido para entregar dosis de 16 J/cm ²	Tiempo de fotopolimerización requerido para entregar dosis de 24 J/cm ²
1	LED	522	31.7 segundos	47,6 segundos
2	LED	547	29.3 segundos	44 segundos
3	LED	575	27.8 segundos	41,7 segundos
4	LED	479	33.4 segundos	50 segundos
5	LED	518	30.9 segundos	46,3 segundos
6	QTH	300	53.4 segundos	80 segundos
7	QTH	51	No aplica	No aplica
8	QTH	500	32 segundos	48 segundos
9	QTH	368	43,5 segundos	65,2 segundos
10	LED	525	30,5 segundos	47,7 segundos
11	LED	379	42,2 segundos	63,3 segundos

Con respecto a las restauraciones profundas, en las que la punta de salida de luz de la LCU queda alejada de la restauración, se deben aumentar los tiempos de fotopolimerización mostrados en la tabla anterior, ya que (Ruggeberg & Jordan, 1993) plantean que, por el hecho de alejar sólo 6 mm la salida de luz sobre el diente, una parte de la energía puede dispersarse, llegando a disminuirse hasta en un 50% la dosis de irradiancia absorbida por la restauración; se concluye entonces que, cuando se requiere polimerizar materiales que estén profundos o de difícil acceso, se debe polimerizar de 20 a 60 segundos adicionales dependiendo de la distancia a la que se encuentre y la irradiancia de la LCU, con lo que se puede garantizar una exposición radiante óptima.

Los problemas de aumento de temperatura que se pueden generar por fotopolimerizar durante un largo tiempo, se pueden contrarrestar ventilando con una jeringa triple o polimerizando en intervalos de 10 segundos y 2 segundos de descanso (Price, 2017).

Como se dijo en el capítulo de marco teórico y antecedentes, diversas fuentes plantean que una inadecuada fotopolimerización puede generar a mediano y largo plazo, problemas en las restauraciones como caries recurrente, microdureza y adhesión inadecuada, citotoxicidad, contracción y falla de la restauración. Entregar una dosis de exposición radiante adecuada es fundamental para prevenir las complicaciones nombradas anteriormente, por tal razón el odontólogo debe ser cuidadoso en manejar el balance entre tiempo e irradiancia correcto.

7. Discusión

Los resultados encontrados en la medición de irradiancia de las LCU de las clínicas odontológicas de la UAN sede Armenia, mostraron a nivel general que, la irradiancia promedio de todos los dispositivos evaluados fue de 433 mW/cm^2 , para los de tipo QTH fue de $304,7 \text{ mW/cm}^2$ y para los de tipo LED $506,4 \text{ mW/cm}^2$; estos resultados resultan similares a los mostrados en un estudio realizado en la ciudad de Changchun, China (Hao, Luo, Wu, & Zhu, 2013) en el cual se evaluó la irradiancia de 196 LCU en diferentes clínicas de la ciudad, donde la irradiancia promedio fue de 453.1 mW/cm^2 ; sin embargo, se puede observar en los resultados del presente estudio que, las LCU de tipo QTH presentaron una irradiancia promedio muy por debajo del presentado por las de tipo LED.

Una (9,1%) de las LCU evaluadas se ubicó en un rango de irradiancia menor a 300 mW/cm^2 , tres (27,27%) se encontraron en el rango de entre 300 y 400 mW/cm^2 , mientras que, siete (63,63%) se ubicaron en el rango de mayor a 400 mW/cm^2 ; en comparación con estos resultados, (Lopez Soto, Acebedo, Lopez Macías, & Joya, 2011) en un estudio donde evaluó la irradiancia de 64 LCU, encontraron que, el 38,9% de éstas estaban por debajo de 300 mW/cm^2 , el 29,6% entre 300 y 400 mW/cm^2 , y el 31,1% mayor a 400 mW/cm^2 .

Las LCU número 6, 7, 9 y 11 del presente estudio mostraron una irradiancia por debajo a los 400 mW/cm^2 , según lo planteado por (Alqabbaa, Alsenani, Alsaif, Alsaif, & Binalrimal, 2018), (Guzmán, 2006) y (Ruggeberg, Myers, & Caughman, 1994) estas LCU no serían aptas para

polimerizar, pues estos plantean una irradiancia mínima de 400 mW/cm^2 . La LCU número 7 fue la única que presentó una irradiancia inferior a los 300 mW/cm^2 , por lo que, sumado a los autores mencionados anteriormente, ésta no sería apta para fotopolimerizar según (Assaf, Fahd, & Sabbagh, 2020), (Sarmiento-Cornejo & Mackenney-Palamara, 2019), (Carrillo & Monroy, 2009), (Abalos, Jimenez, Hernández, & Jimenez, 2004) y (Alqhuria, Al Gady, Khabeer, & Ali, 2019), quienes plantean un mínimo de irradiancia aceptable de 300 mW/cm^2 .

Si bien las otras LCU cumplen con los parámetros mínimos de irradiancia, se puede observar que éstas no están muy por encima de las recomendaciones mínimas, teniendo en cuenta la correlación planteada por (Hao, Luo, Wu, & Zhu, 2013) entre tiempo de uso y disminución de irradiancia, esto debe ser una señal de alerta para realizar un monitoreo constante de las condiciones de irradiancia de las LCU de las clínicas odontológicas de la UAN sede Armenia, para de esta manera anticiparse a disminuciones en estos niveles que puedan afectar los procedimientos que se realizan en dichas clínicas.

Los tiempos de fotopolimerización requeridos por las LCU estudiadas para brindar dosis de exposición radiante adecuada mínima de 16 J/cm^2 planteada por (AlShafi, 2017) oscilan entre los 28 y 53 segundos según la irradiancia presentada. Las LCU más modernas, desarrolladas y traídas al mercado en los últimos años, presentan irradiancias superiores a los 1000 mW/cm^2 , esto permite una mejor fotopolimerización a la vez que se disminuye el tiempo de exposición requerido por las restauraciones (Araujo & Behrens, 2018). Si se compararan los niveles de irradiancia mostrados por las LCU de las clínicas odontológicas de la UAN sede Armenia con las LCU modernas, se

encontraría una gran brecha entre unas y otras; debido a esto, el tiempo de fotopolimerización requerido por las LCU del presente estudio debe ser relativamente alto para entregar dosis de exposición radiante adecuada, por lo tanto, se deberían llevar a cabo investigaciones sobre posibles efectos adversos que esto pueda producir, como ejemplo el aumento de la temperatura y la contracción de la restauración.

En este trabajo se tenía como objetivo inicial, el realizar una correlación para calcular la disminución de irradiancia presentada por cada LCU a lo largo del tiempo, similar a lo realizado por (Hao, Luo, Wu, & Zhu, 2013); sin embargo, esto tuvo que excluirse ya que no se encontraron resultados de evaluaciones de irradiancia anteriores, los cuales son indispensables para realizar dicho análisis. Otra limitación, además de la anterior, fue la utilización de un único radiómetro, puesto que en estudios previos, donde se han realizado pruebas con diferentes radiómetros, rara vez sus resultados coincidían (Price, 2017); por lo que la utilización de más radiómetros podría haber dado más confiabilidad a la prueba.

Para próximos estudios se recomienda también investigar sobre el nivel de conocimiento de los estudiantes sobre los parámetros fundamentales para fotopolimerización: irradiancia, longitud de onda y tiempo de exposición; enfatizando en el grado de conciencia que estos tengan sobre su importancia para garantizar procesos de fotopolimerización adecuados.

8. Conclusiones

- No es suficiente el hecho de que las LCU emitan luz de color azul y logren endurecer el material, éstas deben cumplir ciertos parámetros de irradiancia y longitud de onda para evitar una polimerización superficial y un bajo grado de conversión de monómero a polímero; el desconocimiento de los niveles de irradiancia de las LCU por parte del odontólogo que las usa puede llevar al fracaso de sus restauraciones.
- El tiempo de fotopolimerización adecuado para cada restauración es proporcional al nivel de irradiancia de la LCU a utilizar. Un desbalance entre estos dos factores puede generar una dosis de exposición radiante inadecuada causando así posibles fallas en las restauraciones.
- En las clínicas odontológicas de la UAN sede Armenia no se realiza un monitoreo periódico de los niveles de irradiancia de sus LCU.
- La lámpara número siete no cumple con ninguna de las recomendaciones de irradiancia mínima tomadas en ocho fuentes.
- Las lámparas número seis, siete, nueve y once no cumplen con las recomendaciones de irradiancia mínima dadas por tres de las ocho fuentes consultadas (400 mW/cm^2).
- De las lámparas que cumplen con las recomendaciones mínimas de irradiancia, todas tienen niveles muy por debajo a las LCU de últimas generaciones, por lo que el tiempo de exposición no puede disminuirse para garantizar una polimerización adecuada.
- El promedio de irradiancia de las LCU de tipo QTH estudiadas ($304,7 \text{ mW/cm}^2$) fue inferior al promedio de irradiancia de las LCU de tipo LED ($506,4 \text{ mW/cm}^2$).

- El 63,63% del total de LCU evaluadas están por encima de los 400 mW/cm², mientras que, sólo el 54,54% están por encima de los 500 mW/cm².

9. Recomendaciones

Se recomienda realizar evaluaciones periódicas a los niveles de irradiancia de las LCU de las clínicas odontológicas de la UAN sede Armenia, lo cual permitiría conocer posibles variaciones que se puedan presentar, además, se recomienda para futuros estudios la utilización de varios modelos de radiómetros para generar una mayor confiabilidad.

Se recomienda reemplazar la LCU número siete. Además, realizar otra prueba de irradiancia a las LCU número seis, nueve y once, ya que éstas no cumplen con la irradiancia mínima recomendada por tres de las ocho fuentes consultadas, lo cual debe generar alerta.

Se recomienda saber siempre la irradiancia de la LCU que el odontólogo utilice, ya que esto además de prevenir posibles complicaciones, le permite establecer el tiempo de curado requerido en sus restauraciones.

Bibliografía

- Abalos, C., Jimenez, A., Hernández, J., & Jimenez, E. (2004). Comportamiento de la intensidad en las lámparas halógenas a través de la resina compuesta. *Dentum*, 5(3), 102-106.
- Alqabbaa, I., Alsenani, M., Alsaif, N., Alsaif, R., & Binalrimal, S. (2018). Light intensity output of visible light communication units and clinicians' knowledge and attitude among Riyadh private clinics. *J Conserv Dent*, 21(6), 667-670.

- Alqhuria, T., Al Gady, M., Khabeer, A., & Ali, S. (2019). Types of polymerization units and their intensity output in private dental clinics of twin cities in eastern province, KSA; a pilot study. *Journal Taibah Univ Med Sci*, *14(1)*, 47-51.
- AlShafi, M. (2017). Factors affecting polimerization of resin-based composites: A literature review. *The Saudi Dental Journal*, *29(2)*, 48-58.
- Araujo, N., & Behrens, S. (2018). *Comparación in vitro del efecto del tipo de luz led de tercera generación (Valo-Ultradent) VS. Luz LED de segunda generación (Elipar-3M ESPE) en la resistencia de unión del cemento Relyx U200 al cerómero Sr Adoro - IVOCLAR Vivadent*. Lima: Universidad peruana de ciencias aplicadas.
- Assaf, C., Fahd, J., & Sabbagh, J. (2020). Assessing dental light-curing units' output using radiometers: a narrative review. *J Int Soc Prevent Community Dent*, *10(1)*, 1-8.
- Benetti, A., Asmussen, E., & Peutzfeldt, A. (2007). Influence of curing rate of resin composite on the bond strength to dentin. *Operative dentistry*, *32(2)*, 144-148.
- Birdsell, D., Bannon, P., & Webb, R. (1977). Harmful effects of near-ultraviolet radiation used for polymerization of a sealant and composite resin. *The Journal of the American Dental Association*, *94(2)*, 311-314.
- Burgess, J., Walker, R., Porche, C., & Rappold, A. (2002). Light curing-an update. *Compend Cotin Educ Dent*, *23(10)*, 889-906.
- Burtscher, P., & Rheinberger, V. (2003). Efficiency of various light initiators after curing with different light-curing units. *Journal Dentist Restaurative*, *5*, 15-18.
- Cabanes, G. (2003). Fuentes lumínicas para la fotoactivación en odontología. *Quintessence*, *16(3)*, 171-177.

- Carrillo, C., & Monroy, M. (2009). Métodos de activación de la fotopolimerización. *Asociación dental mexicana*, 65(5), 18-28.
- Carvajal, M., Ferreto, I., & Lafuente, D. (2012). Adhesión de resina compuesta a ionómeros de vidrio con nano-relleno. *ADM*, 69(6), 277-281.
- Chaple, A., Montenegro, Y., & Álvarez, J. (2016). Evolución histórica de las lámparas de fotopolimerización. *Revista habanera de ciencias médicas*, 15(1), 8-16.
- Dentidesk. (2015). Obtenido de <https://www.dentidesk.com/sabes-de-que-estan-elaboradas-las-resinas-compuestas-que-utilizas-diariamente/>
- Encalada, H. (2018). *Evaluación de desempeño de la intensidad de la salida de luz de las lámparas de fotocurado utilizadas por los estudiantes de noveno semestre de la Facultad Piloto de Odontología*. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/29498>
- Fadul, J., Molina, C., Yáñez, E., & Luna, L. (2008). Profundidad de curado de resinas con diferentes fotoiniciadores polimerizadas con dos lámparas LED. *Univ Odontol*, 27(59), 15-22.
- Giannini, M., André, C., Gobbo, V., & Rueggeberg, F. (2019). Accuracy of irradiance and power of light-curing units measured with handheld or laboratory grade radiometers. *Brazilian dental journal*, 30(4), 397-403.
- Guzmán, H. (2006). *Biomateriales odontológicos de uso clínico*. Bogotá: ECOE Ediciones.
- Hao, X., Luo, M., Wu, J., & Zhu, S. (2013). A survey of power density of light-curing units used in private dental offices in changchun city, China. *Lasers in Medical Science*, 30(2), 493-497.
- HenrySchein. (15 de Marzo de 2021). Pequeña aparatología clínica odontológica. *Lámparas de fotopolimerización*. Barcelona, España. Obtenido de

https://www.henryschein.es/dentalclinica/pequena-aparatoologia/lamparas-de-fotopolimerizacion.aspx?sc_lang=es-es&hssc=1

- JADA. (1976). Guidelines on the use of ultraviolet radiation in dentistry. *The Journal of the American Dental Association*, 92(4), 775-776.
- Jadhav, S., Hegde, V., Aher, G., & Fajandar, N. (2011). Influence of light curing units on failure of direct composite restorations. *J Conserv Dent*, 14(3), 225-227.
- Lopez Soto, O., Acebedo, J., Lopez Macías, A., & Joya, L. (2011). Evaluación de la intensidad de salida de la luz de las lámparas de fotocurado de una clínica dental. *Revista Colombiana de Investigación en Odontología*, 2(4), 24-32.
- Matallana, J., Ortiz, A., Rincón, M., Sánchez, A., Aránzazu, G., & Concha, S. (2010). Intensidad de la luz emitida por lámparas de fotocurado en los consultorios odontológico de Bucaramanga y su área metropolitana. *UstaSalud*, 9(1), 41-49.
- Melara, A., Arregui, M., Guinot, F., Sáez, S., & Bellet, L. (2008). Actualización de los diferentes tipos de lámparas de fotopolimerización. Revisión a la literatura. *Odontol Pediatr*, 16(3), 140-152.
- Moradas, M., & Álvarez, B. (2017). Dinámica de la polimerización enfocada a reducir o prevenir el estrés de contracción de las resinas compuestas actuales. Revisión bibliográfica. *Av Odontoestomatol*, 33(6), 3-6.
- Negrete, N. (2016). *Efectividad del uso de lámparas de alta potencia en la profundidad de fotocurado en resinas compuestas*. Concepción, Chile: Universidad Andrés Bello.
- Obtenido de http://repositorio.unab.cl/xmlui/bitstream/handle/ria/3177/a117546_zambrano_n_efectiva

- Nojiri, K., Tsujimoto, A., Suzuki, T., Shibasaki, S., Matsuyoshi, S., Takamizawa, T., & Miyasaki, M. (2015). Influence of light intensity on surface-free energy and dentin bond strength of single-step self-etch adhesives. *Dental Materials Journal*, *34*(5), 611-617.
- Pelissier, B., Jacquot, B., Palin, W., & Shortall, A. (2011). Three generations of led lights and clinical implications for optimizing their use. 1: from past to present. *Dental Update*, *38*(10), 660-670.
- Piva, E., Correr-Sobrinho, L., Sinhoreti, M., Consani, S., Demarco, F., & Powers, J. (2008). Influence of energy density of different light sources on Knoop hardness of a dual-cured resin cement. *Journal of Applied Oral Science*, *16*(3), 189-193.
- Price, R. (2017). Light curing in dentistry. *Dental Clinics of North America*, *61*(4), 751-778.
- Rodriguez, D., & Pereira, N. (2008). Evolución y tendencias actuales en resinas compuestas. *Acta Odontol Venez*, *46*(3), 381-392.
- Rovira, M. (2006). Lámparas de fotopolimerización: Estado actual. *Journal Operative Dental Endodontics*, *5*(29).
- Rueggeberg, F., Blalock, J., & Callan, R. (2005). LED curing lights--What's new? *Compend Contin Educ Dent*, *26*(8), 586-591.
- Ruggeberg, F., & Jordan, D. (1993). Effect of light-tip distance on polymerization of resin composite. *Int J Prosthodont*, *6*(4), 364-370.
- Ruggeberg, F., Caughman, W., & Comer, R. (1996). The effect of autoclaving on energy transmission through light curing tips. *The Journal of the American Dental Association*, *127*(8), 1183-1187.

- Ruggeberg, F., Myers, M., & Caughman, F. (1994). Effect of restoration composition, shade, and thickness on the cure of photoactivated resin cement. *Journal of Prosthodontics*, 3(3), 149-157.
- Santana, G., Braz, R., & Da Costa, R. (2009). Cemento resinoso: ¿Todo cemento dual debe ser foto activado? *Acta Odontol Venez*, 47(4), 225-233.
- Sarmiento-Cornejo, J., & Mackenney-Palamara, M. (2019). Evaluation of intensity standards of tungsten-halogen and led curing units. *Journal of Oral Research*, 8(2), 104-107.
- Sgreccia, E. (2018). El debate en bioética. El personalismo en el pensamiento de Elio Sgreccia. *Medicina y ética: Revista internacion de bioética, deontología y ética médica*, 29(1), 143-158.
- Soares, C., Rodrigues, M., Oliveira, S., Braga, S., Barcelos, L., Silva, G., & Price, R. (2017). An evaluation of the light output from 22 contemporary light curing units. *Brazilian Dental Journal*, 28(3), 362-371.
- Souza, M., Briso, A., Ramos, F., Reis, B., Santos, P., & Fagundes, T. (2019). Influence of different types of light curing units and photoinitiators in microhardness and color of composite resins after immersion in wine. *Brazilian dental science*, 22(3), 371-377.
- Vaca, K. G. (2019). *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*.
Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/18385>
- Villarroel, M. (Mayo de 2003). *Fotopolimerización de resinas compuestas conceptos afines*.
Obtenido de <http://www.materialesdentales.cl/darticulos.php?p=1&art=articulo2>

Wiggins, K., Hartung, M., Althoff, O., Wastian, C., & Mitra, S. (2004). Curing performance of a new generation light-emitting diode dental curing unit. *The Journal of the American Dental Association*, *135*(10), 1471-1479.

Wilson, A., & Kent, B. (1972). A new translucent cement for dentistry. The glass ionomer cement. *British Dental Journal*, *132*(4), 132-135.

Anexos

	PRUEBA FINAL
--	-----------------

Evaluación de las lámparas de fotocurado de luz halógenas y luz LED, de las clínicas de la Universidad Antonio Nariño sede Armenia

FECHA:
06-04-21

VERSION:02

LISTA DE CHEQUEO LAMPARAS LED

Formato de evaluación de las lámparas de las clínicas odontológicas UAN actividad principal para el desarrollo del trabajo de grado titulado: Evaluación de las lámparas de fotocurado de luz halógenas y luz LED, de las clínicas de la Universidad Antonio Nariño sede Armenia.

HOJA DE VIDA DE LA LAMPARA

Reporte N°: _____ Tipo de mantenimiento: _____

Modelo: _____ Serie: _____

Activo: _____ Ubicación: _____

Fecha: _____ Marca: _____

Equipo: _____ TIPO: _____

PROCEDIMIENTO

Procedimiento Inicial

1. Indagar con el personal responsable del préstamo de las lámparas en las clínicas o usuario del equipo, que problemas han presentado los equipos.

Observaciones:

Pruebas de integridad y limpieza.

2. Para hacer un examen inicial, se diligencia la siguiente lista de chequeo, teniendo en cuenta los siguientes símbolos según corresponda: correcto (✓), incorrecto (χ), no aplica (N/A)

- ¿El equipo enciende? ____
- ¿La lámpara funciona correctamente? (revisión visual): ____
- ¿Los empaques de la fibra óptica son íntegros? ____
- El estado físico de la fibra óptica es:
 - Intacta ____
 - Fracturada ____
 - Sucia ____
 - Despiciada ____
 - Manchada ____
- ¿El compartimiento de batería se encuentra en buen estado? ____
- ¿El cargador funciona correctamente? ____
- El indicador de carga, ¿registra el estado de la carga? ____
- ¿La pantalla display se encuentra en buen estado? ____
- ¿Todos los botones están en funcionamiento?: ____
- ¿Presenta algún sonido o hallazgo en su funcionamiento? ____
- El estado físico del mago se encuentra:
 - Intacto ____
 - Fracturado ____
 - Manchado ____
 - Rayado ____
 - Sucio ____
- El estado físico de la pantalla es:
 - Intacto ____
 - Fracturado ____
 - Manchado ____
 - Rayado ____
- Contaminado ____
- Observaciones: _____

Prueba de intensidad Lumínica

3. Se realizará la prueba de intensidad tres veces usando el radiómetro, (se recomienda que esta intensidad sea mayor a $500\text{mw}/\text{cm}^2$):

A. Prueba 1: _____

B. Prueba 2: _____

C. Prueba 3: _____

4. Se realizará la prueba de intensidad continua (monitoreo de la intensidad de la luz durante 40 segundos): _____

5. Teniendo en cuenta los modos de funcionamiento de las lámparas, se realizará una prueba para cada uno de ellos.

A. Modo full: _____

B. Modo Rampante (10s): _____

C. Modo pulsante: _____

6. Se realizará una verificación de la funcionabilidad de la intensidad lumínica en los tiempos de solidificación establecidos por la lámpara.

A. Prueba 20s: _____

B. Prueba 30s: _____

C. Prueba 40s: _____

7. Observaciones:

Carlos Andrés Torres López

Encargado del procedimiento

Cargo: Ingeniero Biomédico.

CC. 1022387109

Registro INVIMA: RH-201804-183

Evaluación de las lámparas de fotocurado de luz halógenas y luz LED, de las clínicas de la Universidad Antonio Nariño sede Armenia	PRUEBA FINAL
	FECHA: 06-04-21
	VERSION:02
LISTA DE CHEQUEO LAMPARAS HALOGENAS	

Formato de evaluación de las lámparas de las clínicas odontológicas UAN actividad principal para el desarrollo del trabajo de grado titulado: Evaluación de las lámparas de fotocurado de luz halógenas y luz LED, de las clínicas de la Universidad Antonio Nariño sede Armenia.

HOJA DE VIDA DE LA LAMPARA

Reporte N°: _____ Tipo de mantenimiento: _____
 Modelo: _____ Serie: _____
 Activo: _____ Ubicación: _____
 Fecha: _____ Marca: _____
 Equipo: _____ TIPO: _____

PROCEDIMIENTO

Procedimiento Inicial

8. Indagar con el personal responsable del préstamo de las lámparas en las clínicas o usuario del equipo, que problemas han presentado los equipos.

Observaciones:

Pruebas de integridad y limpieza.

9. Para hacer un examen inicial, se diligencia la siguiente lista de chequeo, teniendo en cuenta los siguientes símbolos según corresponda: correcto (√), incorrecto (χ), no aplica (N/A)

- ¿El equipo enciende? ____
- ¿La lámpara funciona correctamente? (revisión visual): ____
- ¿La consola se encuentra completa? ____
- ¿La consola se encuentra en buen estado? ____
- ¿La lámpara posee soporte para pistola? ____
- ¿Se encuentra en buen estado el soporte para pistola? ____
- ¿Los empaques de la fibra óptica son íntegros? ____
- El estado físico de la fibra óptica es:
 - Intacta ____
 - Fracturada ____
 - Sucia ____
 - Despicada ____
 - Manchada ____
- ¿El cable de conexión se encuentra en buen estado? ____
- ¿Todos los botones están en funcionamiento?: ____
- El estado físico del mago se encuentra:
 - Intacto ____
 - Fracturado ____
 - Manchado ____
 - Rayado ____
 - Sucio ____
- ¿El sistema reflector de espejo preciso se encuentra en optimo estado? ____
- ¿La bombilla halógena se encuentra en buen estado? ____
- El estado físico de la pantalla es:
 - Intacto ____
 - Fracturado ____
 - Manchado ____
 - Rayado ____
- Contaminado ____
- El estado físico de la cabeza es:
 - Intacto ____
 - Fracturado ____
 - Manchado ____

- Rayado _____
- Contaminado _____

- Observaciones: _____

Prueba de intensidad Lumínica

10. Se realizará la prueba de intensidad tres veces usando el radiómetro, (se recomienda que esta intensidad sea mayor a 450mw/cm^2):

- A. Prueba 1: _____
- B. Prueba 2: _____
- C. Prueba 3: _____

11. Se realizará la prueba de intensidad continua (monitoreo de la intensidad de la luz durante 60 segundos): _____

12. Se realizará una verificación de la funcionabilidad de la intensidad lumínica en los tiempos establecidos por la lámpara.

- D. Prueba 20s: _____
- E. Prueba 40s: _____
- F. Prueba 60s: _____

13. Observaciones:

Carlos Andrés Torres López

Encargado del procedimiento

Cargo: Ingeniero Biomédico.

CC. 1022387109

Registro INVIMA: RH-201804-183