

LED Infrared Lamp for musculoskeletal treatments in post pandemic patients.

Lámpara Infrarroja a base de LED'S para tratamientos musculoesqueléticos en pacientes con secuelas post pandemia.

Solange Ivette Rivera Manrique¹ Ángel Cerritos Rodríguez¹ Edgar García León¹ Adrián Gil Carreño Pineda,¹Xóchitl Razo Hernández ¹, Carlos Villaseñor Mora ¹, Alejandro Cimental Chávez¹, Paula Sofía Vargas Morales¹.

¹División de Ciencias e Ingenierías Universidad de Guanajuato campus León, ²División de Ciencias e Ingenierías Universidad de Guanajuato campus León, ³División de Ciencias e Ingenierías Universidad de Guanajuato campus León.

si.rivera@ugto.mx¹, a.cerritosrodriguez@ugto.mx, e.garcia.leon@ugto.mx³, ag.carrenopineda@ugto.mx⁴

Resumen

Durante la pandemia ocasionada por COVID-19 aumentaron las lesiones musculares en primer lugar por las complicaciones propias de la enfermedad, así como por el aumento de ejercicio en casa. Algunas de las lesiones provocadas representan el 50% lesiones musculares, el 25% lesiones en rodilla, el 16% tendinopatías y un 9% esguinces. Tratamientos como el reposo, tratamiento local con frío y medicamentos son los indicados; sin embargo, terapias con radiación infrarroja producen una recuperación mayor debido a al aumento y estimulación de la síntesis de ATP intracelular y el ADN, aumento de la síntesis proteica y enzimática, normal. El presente trabajo consta de un dispositivo de fisioterapia usando la radiación infrarroja como medio de tratamiento muscular, el cual consiste en un molde hecho de resina epóxica, donde descansan una serie de leds que transmitirán la radiación infrarroja al paciente directamente. El dispositivo tiene el mismo principio que las lámparas de fisioterapia infrarroja (IR), excepto que este es un dispositivo más ligero y adaptable a la necesidad de la tarea a realizar en el paciente. El molde está pensado específicamente para la eficiencia del dispositivo, usando un tipo de resina transparente para el beneficio de la luz infrarroja y la penetración sobre el miembro a tratar.

Palabras clave: Rehabilitación; Fisioterapia; Leds infrarrojos; Lámpara infrarroja (IR).

Introducción

La OMS el 11 de marzo de 2020[1] da a conocer la enfermedad causada por el virus SARS-CoV-2 en Wuhan China se convierte en pandemia terminado el 5 de mayo del 2023 [2]. Algunas de las secuelas que dejó esta enfermedad son secuelas físicas a nivel musculoesquelético, respiratorias a nivel pulmonar y neurológicas en pacientes que superaron la enfermedad [3]. Aunado a esto se ha reportado que durante dicha pandemia la población comenzó a ejercitarse más en casa; sin embargo, esto trajo como consecuencia las lesiones musculoesqueléticas, el tipo de lesiones reportadas son las siguientes: 50% son lesiones musculares, 25% lesiones en rodilla, 16% tendinopatías y un 9% esguinces [4]. El tratamiento que se recomienda en la mayoría de estas lesiones son los analgésicos, contrastes de calor y frío en la zona y en algunas ocasiones cirugía. Existen otros tipos de terapias como puede ser el tratamiento de estas lesiones con radiación infrarroja (IR), ya que esta es una radiación electromagnética no ionizante e invisible localizada entre las microondas y la

luz visible con longitudes de onda entre 780 nm y 1000 μm , dividida en tres rangos (acorde a la norma ISO20473:2007): cercano infrarrojo localizado entre 0.78 μm y 3.0 μm , mediano infrarrojo entre 3.0 μm y 50.0 μm y lejano infrarrojo 50.0 μm and 1000.0 μm [5]. En la presente propuesta se trabajaron con LED's con longitud de onda centrado en el cercano infrarrojo (CIR); esto es debido a que cuando la radiación en estas longitudes de onda se encuentra en contacto con el tejido vivo este se calienta produciendo alteraciones en los potenciales de la membrana celular provocando que exista un aumento en el transporte de iones de calcio en el líquido intracelular. Esto ocurre debido a que la permeabilidad de Ca^+ aumenta en la membrana y la liberación de este ion en el retículo endoplásmico es mayor como respuesta a la generación especies reactivas de oxígeno (ROS; por sus siglas en inglés) generadas por la exposición a la radiación en las células. La generación de ROS está asociado con la reducción de estrés oxidativo y vasodilatación, lo que estimula la producción de factores de crecimiento en la matriz extracelular promoviendo la reparación del tejido [6].

Actualmente en el tratamiento de lesiones musculares se utilizan láseres con rangos en el infrarrojo, lámparas también centradas en estas longitudes de onda, las cuales a pesar de no ser una radiación ionizante se han presentado quemaduras en los pacientes, esto es debido a que los usuarios finales no tienen un manejo cuidadoso en cuanto a la potencia que se usa en el láser, por ejemplo. Es por esta razón que se propone el diseño de una lámpara a base de LED's en el cercano infrarrojo que sea capaz de penetrar lo suficiente en el tejido para alcanzar a estimular diferentes cromóforos como la hemoglobina, la desoxihemoglobina [7] y el agua intracelular. Cuando la energía infrarroja es absorbida a través de la absorción del agua, existe un incremento en la temperatura afectando el plasma de la membrana, alterando la capacidad eléctrica, así como una despolarización de las células diana. Lo anterior promueve cambios fisiológicos en la temperatura, pH, osmosis y en el ATP [8].

Un LED (Light Emitting Diode, o Diodo Emisor de Luz); es un componente electrónico en el cual la emisión de luz se produce por la recombinación de electrones y de iones positivos, cuando se polariza de forma directa la unión p-n, todo ello bajo la influencia de un campo eléctrico continuo[9] . Estos dispositivos tienen la ventaja que pueden diseñarse para emitir en cualquier longitud de onda específicas para aplicaciones en diferentes áreas.

A pesar de que estas longitudes de onda son seguras en las aplicaciones biomédicas se optó por comprobar el funcionamiento de la lámpara propuesta y la penetración de los fotones que emite en un medio "in vitro" mejor conocido como "phantom, así mismo esto es para cuidar la bioética. Estos dispositivos no sólo emulan las propiedades del tejido humano, sino también la propagación de luz y la interacción radiación-tejido [10]. Existen diferentes tipos de phantoms, los más comunes son los phantom de de tejido líquido, phantoms sólidos hechos de polímeros o silicón, phantoms de hidrogeles de gelatina, agarosa o agar, y los de tejido animal. Algunos autores agregan algunas macromoléculas como pueden ser dinucleótido flavina adenina, dinucleótido adenina nicotinamida y colágeno; esto no sólo hace que sea más real al tejido, sino que le da estabilidad al phantom. En la presente propuesta se trabajó con phantoms de agar, se realizaron las pruebas en dos medios; el primero de ellos esta constituido 100% de colágeno y el segundo tiene un porcentaje de colágeno para hacer más realista la simulación.

METODOLOGÍA Y MATERIALES

En la presente sección se detallará el modelo que se propuso para la fabricación de la lámpara a base de LED's con longitud de onda centrada en el cercano infrarrojo, así como la fabricación de los phantoms.

A) LÁMPARA IR

El diseño está basado en una plantilla tipo cuadrícula de 30x30 cm con 15 filas y 15 espacios en dónde se colocarán los LED's. Se busca un espacio cóncavo para cada LED, de manera que la luz emitida se dirija de manera óptima hacia la zona de interés. Se desarrollo un circuito para la colocación conjunta de 225 LED's con su respectiva resistencia como se muestra en la Figura 1.

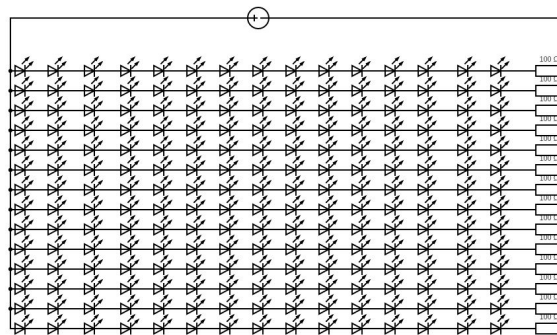


Figura 1. Matriz de LED's con su respectiva resistencia.

La figura 2 muestra la manera en cómo se colocaron los LED's en cada uno de los espacios que se designaron a cada uno de ellos, para su correcta colocación se realizó una perforación en la plantilla mostrada, es importante cuidar la orientación de cada uno de estos ya que el ángulo de incidencia es importante para que la penetración absorción por los cromóforos indicados sea exitosa.

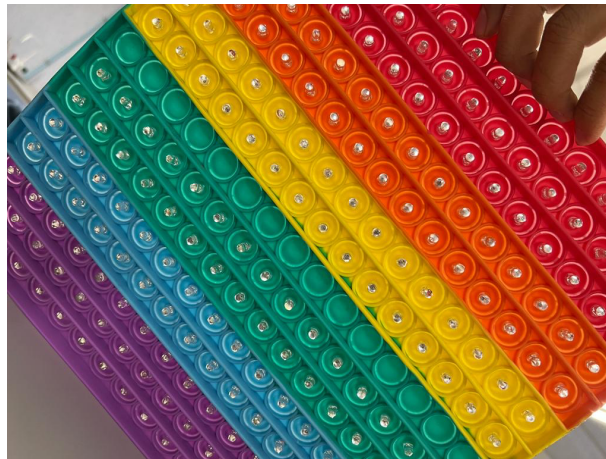


Figura 2. LED's colocados en la plantilla de silicón.

Durante la colocación de los LED's en la plantilla de silicón se observó que no quedaban fijos en los espacios asignados, por lo que se realizó un arreglo con material epóxico, el cual consistió en preparar una resina utilizando una proporción de 20 gotas de catalizador por cada 100 ml de resina, con el fin de cubrir el molde donde se colocaron los LED's como se muestra en la figura 3. Para asegurar que los LED's quedarían fijos en la plantilla se dejó expuesta a la luz solar durante 3 horas.

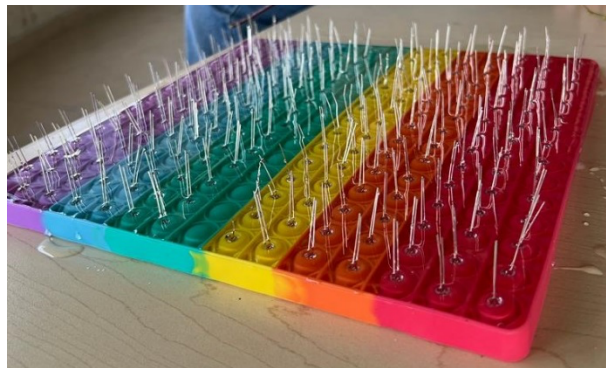


Figura 3. Vaciado de la resina cubriendo en su totalidad los LED's.

Una vez que los LED's se encontraban fijos en la plantilla es necesario soldar los 15 LED's de cada fila de manera individual, prestando atención para evitar cualquier tipo de puente entre ellos y dejando un sobrante de cable para que no afecte el movimiento al circuito (figura 4).



Figura 4. Proceso de soldadura para conectar los LED's.

El arreglo de estos LED's consta de una resistencia de 100 ohm al inicio de cada fila y posteriormente se unieron todas las filas entre sí. Para comprobar que todos los LED's estuvieran funcionando de manera adecuada se realizaron pruebas utilizando una fuente de alimentación de 25 V para verificar que todos los emitan correctamente y no exista algún otro problema.

B) PHANTOM DE AGAR, AGAR-COLÁGENO-

Para la fabricación de los agares se siguió la propuesta de Curto, et. al [11]. La cual consiste en 1g de benzoato de sodio y 2g de agar y 100 ml de agua destilada, se vierte el agua destilada en un recipiente estéril, posteriormente se agrega el benzoato de sodio y el agar (mezclar muy bien) por último dejar gelificar a temperatura ambiente.

Para los phantom de agar-colágeno se necesita 1g de benzoato de sodio, 1g de agar, 2g de colágeno y 100 ml de agua destilada, se vierte el agua destilada en un recipiente estéril para después agregar el benzoato de sodio, el agar y el colágeno (mezclar muy bien) por último dejar gelificar a temperatura ambiente.

C) ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE IMÁGENES:

Para obtener las imágenes fue necesario hacer el montaje experimental que se muestra en la Figura 5, donde la cámara infrarroja Xenics modelo Gobi+ 640 está apuntando al phantom y la distancia que hay entre ambos es de 4 pulgadas. En ambos costados del phantom se colocaron dos objetos los cuales su temperatura no oscila fácilmente. La cámara infrarroja se sostuvo con la ayuda de un trípode el cual se ajustó su altura para la adquisición de imágenes. Para evitar posibles alteraciones en las imágenes tanto el lente de la cámara, los dos objetos y el phantom quedaron aislados en una cámara oscura para lo cual se utilizó una caja de cartón.

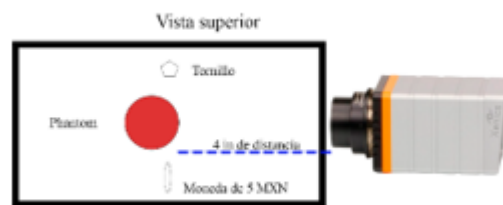


Figura 5. Montaje experimental para la adquisición de imágenes mediante el uso de la cámara infrarroja.

Con el montaje experimental se hicieron las conexiones de la cámara infrarroja las cuales fueron cable ETHERNET y fuente de alimentación para después configurar en la computadora el software y este mismo detectara la cámara infrarroja. Para la configuración de software se utilizó lo siguiente

en la interfaz: Connection setup > Enumerate device > se selecciona Gobi-640 GigE y se dejó la calibración de la cámara > en la pestaña Application settings > apartado de Units > debemos tener los siguientes ajustes: Temperature unit: "Celsius", Distance unit: "pixels", Object distance: "0.1m", Detector pitch: "17 um" y Focal Length; "25 mm" > por último se usó la función connect.

Una vez configurado el software se programaron tomas consecutivas cada 5 segundos por un tiempo de 5 minutos para cada una de las muestras teniendo en la parte superior de la caja de cartón a la lámpara previamente conectada a la fuente de alimentación. Para el análisis de las imágenes se implementó el software tracker en donde para cada imagen se colocó los ejes de coordenadas haciendo coincidir estos respectivos ejes con el fondo del vaso y su extremo lateral izquierdo del mismo, después, se colocó la vara de calibración tomando la altura máxima y mínima del vaso y asignando el valor de 0.08m por último se implementó la regla para medir el desplazamiento que se tuvo al final de la irradiación.

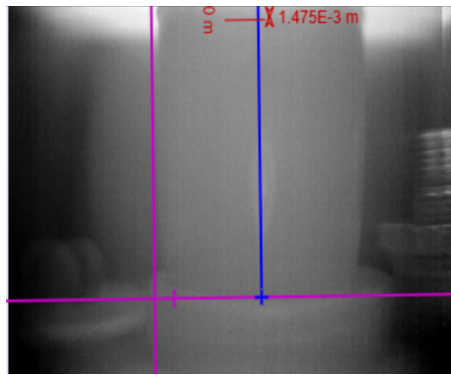
RESULTADOS

De las muestras experimentales se obtuvo los siguientes grupos: phantom 2 sin colágeno, phantom colágeno, phantom colágeno 28 V, phantom colágeno lámpara, phantom sin colágeno, phantom sin colágeno 28 V y prueba vacía este último se hace referencia a el vaso irradiado sin nada en su interior. A continuación, las imágenes procesadas de cada uno de los grupos:



a)

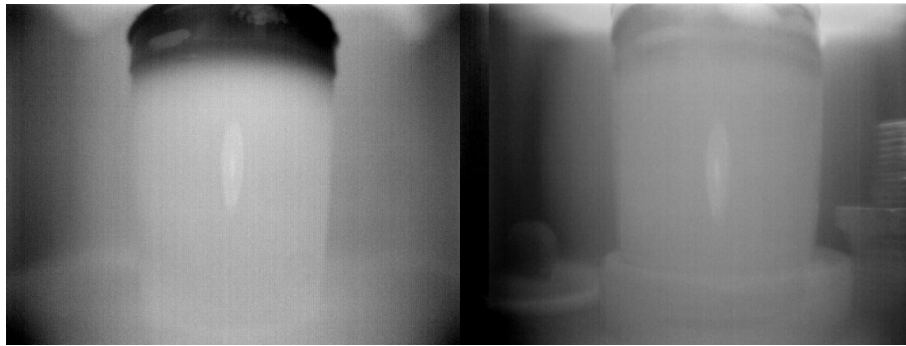
b)



c)

Figura 6. Phantom sin colágeno irradiado a 22 volts. a) imagen adquirida por cámara termográfica con dos objetos de referencia. b) imagen procesada para adquirir la profundidad alcanzada por la radiación.

En la Figura 6 se muestra el phantom irradiado con la lámpara teniendo en cuenta un suministro de voltaje a 22 para este caso no se analizó la muestra en Tracker ya que se consideró que la exposición de la lámpara interrumpió la captura de datos por la cámara infrarroja.



a)

b)



c)

Figura 7 Phantom sin colágeno irradiado a 22 volts. a) imagen adquirida por cámara termográfica con dos objetos de referencia. b) imagen procesada para adquirir la profundidad alcanzada por la radiación.

En la figura 7 mostramos lo que fue una prueba hermana de la primera con un Phantom sin colágeno expuesto a radiación por 5 minutos teniendo un suministro de voltaje igual de 22V. Lo que se busca era encontrar una variación en la penetración del tejido en dos muestras relativamente iguales, la diferencia encontrada fue de 6.788 mm lo que puede mostrar una alteración en la forma de montaje o medición de una prueba a otra.



a)

b)



c)

Figura 8. Phantom con colágeno irradiado a 22 V: a) Phantom con colágeno sin irradiar b) Phantom con colágeno después de 5 minutos de exposición a radiación infrarroja c) Phantom analizado con el programa Tracker

Para esta prueba se usó el mismo voltaje que para la primera prueba del Phantom sin colágeno (22V). Pero en este caso se hizo más evidente la absorción de la radiación IR por parte de Phantom siendo esta la prueba que mostro más penetración de esta, pero de igual manera se realizó el análisis de la imagen en Tracker mostrando como ya se mencionó la segunda penetración más grande de 11.74 mm (figura 8).

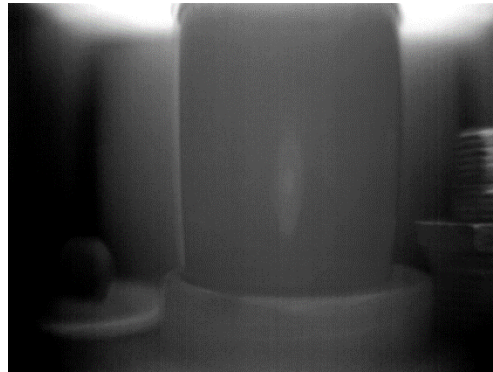


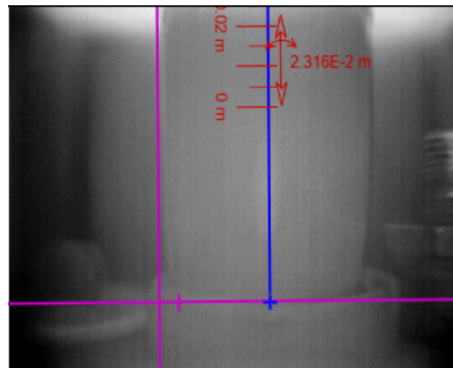
Figura 9- Phantom colágeno 28v

En la figura 9 se muestra la imagen de control que se toma antes de iniciar con las de pruebas de radiación en los Phantom, como podemos observar el aumento de voltaje creo una saturación en la imagen porque se modificó el filtro de negros para poder tener una mejor visibilidad de la imagen y del cambio que esta pudiera llegar a tener. Este cambio se realizó únicamente para esta prueba y las demás con un voltaje de 28V.



a)

b)



c)

Figura 10. Phantom con colágeno irradiado a 28 V: a) Phatom con colágeno sin irradiar b) Phantom con colágeno después de 5 minutos de exposición a radiación infrarroja c) Phantom analizado con el programa Tracker

En este caso queríamos ver la penetración de la radiación IR a un Phantom con colágeno, pero ahora con un aumento de voltaje dejándolo en 28 V. Como era de esperarse fue la prueba que tuvo mejor resultado de todas las pruebas dando una penetración de 23.16 mm medidos con el programa Tracker.

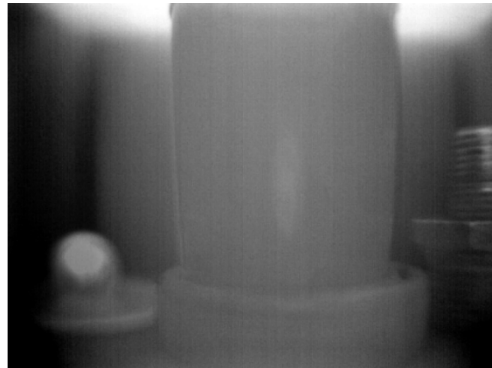


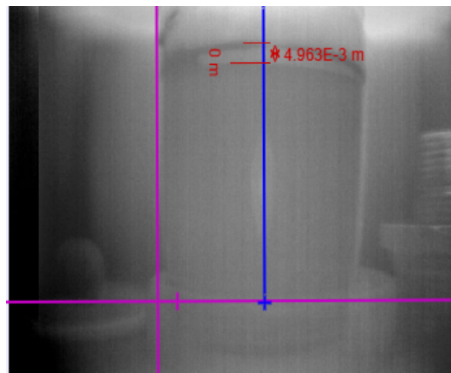
Figura 11. Phantom sin colágeno 28v.

En la Figura 11 mostramos la imagen control que se tomó para las pruebas a el Phantom sin colágeno con la fuente de voltaje a 28V y como de igual manera se tuvo que modificar el filtro de negros para la apreciación de la imagen.



a)

b)



c)

Figura 12. Phantom 1 sin colágeno irradiado a 28 volts. a) imagen adquirida por cámara termográfica con dos objetos de referencia. b) imagen procesada para adquirir la profundidad alcanzada por la radiación.

La figura 12 se muestra nuevamente la comparativa de la muestra sin irradiar contra la muestra irradiada después de 5 minutos de exposición. Lo que podemos observar es como el aumento de voltaje en este caso ahora con 28V se observa un incremento en la penetración del IR en el Phantom ahora de 4.963 mm.



Figura 13. Phantom prueba con el vaso vacío

En la Figura 13 se muestra el vaso sin Phantom el cual se irradia con la lampara la cual fue utilizada en el procesamiento de imágenes como referencia para encontrar la diferencia a cuando si se emplea un Phantom.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Uno de los objetivos principales de la presente propuesta era verificar si la lámpara diseñada podría estimular los cromóforos indicados para generar ROS y así activar la regeneración tisular. Sin embargo, es sabido que cuando los fotones se propagan a través del tejido puede penetrar este, desde que la dispersión y la absorción tienen lugar [7]. Durante la dispersión los fotones interactúan con la materia cambiando de dirección, con (dispersión inelástica) o sin (dispersión elástica o difusa) perdiendo energía. Con respecto a la absorción, esta se presenta cuando el fotón empata con la longitud de onda que puede ser absorbida por determinados cromóforos (agua, hemoglobina y desoxihemoglobina en nuestro caso). Esto lo podemos reforzar con las pruebas realizadas con los phantoms, como lo describimos anteriormente el voltaje que se le suministra a la lámpara es de suma importancia, debido a que se verá reflejado en la penetración que puede alcanzar los fotones.

Cuando se utiliza un voltaje de 28 V en el phantom enriquecido con colágeno existe una mayor penetración de fotones esto es debido a que la energía que no es absorbida por los cromóforos se transmite al tejido vecino en forma de calor, esto es debido a que existe una mayor potencia. Se observa que la penetración que alcanza con dicho phantom es de 23.16 mm suficientes para alcanzar al músculo, este comportamiento es debido a que al agregar el colágeno existe otra interfase que permite la dispersión de los fotones permitiendo que la energía de estos pueda transmitirse con mayor profundidad. Opuesto a cuando sólo se interactúa con el phantom realizado con agar, los fotones sólo penetran hasta 4.963 mm; ya que la mayor parte de este está constituido por agua y la longitud de onda que emiten los LED's interactúan con el cromóforo del agua, sin existir colágeno que permita una mayor dispersión de fotones a través del phantom, estos solo son absorbidos por las primeras moléculas de este. Cuando en ambos phantoms se utiliza un voltaje de 22 V la penetración no es tan profunda y se va perdiendo con el paso del tiempo, una vez más este comportamiento permite afirmar que es importante la potencia que se está empleando en el uso de estos dispositivos.

CONCLUSIONES

Se puede concluir que la lámpara diseñada cumple con su objetivo principal de penetrar o suficiente para alcanzar a excitar a los cromóforos indicados y así poder regenerar de manera adecuada al tejido y al estar utilizando longitudes de onda en el infrarrojo cercano, aseguramos que este diseño no será un problema para el paciente. El uso de phantoms es gran ayuda debido a que permiten de manera segura y ética simular la interacción radiación-tejido. Lo que permite en experimentos como el presente validar el funcionamiento de nuevos dispositivos sin dañar al paciente.

Bibliografía

- [1] ["https://www.paho.org/es/noticias/11-3-2020-oms-caracteriza-covid-19-como-pandemia."](https://www.paho.org/es/noticias/11-3-2020-oms-caracteriza-covid-19-como-pandemia)
- [2] ["https://www.paho.org/es/noticias/6-5-2023-se-acaba-emergencia-por-pandemia-pero-covid-19-continua."](https://www.paho.org/es/noticias/6-5-2023-se-acaba-emergencia-por-pandemia-pero-covid-19-continua)
- [3] Zambrano Anzulez Daniel Alejandro, Farfán Vélez Leonella Carolina, and Briones Macías Carlos Elías, "Covid-19 a largo plazo, consecuencias musculares, neurológicas y respiratorias," *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 6, no. 1, pp. 4298-4311, Mar. 2022, doi: 10.37811/cl_rcm.v6i1.1800.
- [4] J. J. Lopez Martinez, J. M. Rodríguez-Roiz, and C. Salcedo Cánovas, "Musculoskeletal injuries secondary to exercise during confinement by the pandemic COVID-19," *Med Clin (Barc)*, vol. 155, no. 5, pp. 221-222, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.medcli.2020.05.016.
- [5] Cristiano Luigi, "Use of infrared as a complementary treatment approach in medicine and aesthetic medicine," *Asploro Journal of Biomedical and Clinical Case Reports*, vol. 2, no. 2, pp. 77-81, Oct. 2019, doi: 10.36502/2019/asjbccr.6164.
- [6] C. Tsagkaris *et al.*, "Infrared Radiation in the Management of Musculoskeletal Conditions and Chronic Pain: A Systematic Review," *European Journal of Investigation in Health, Psychology and Education*, vol. 12, no. 3. MDPI, pp. 334-343, Mar. 01, 2022. doi: 10.3390/ejihpe12030024.
- [7] M. Chroboczek, A. Jabłońska, R. Kubiak, S. Kujach, M. Łuszczuk, and R. Laskowski, "Usage of near infrared spectroscopy in physiotherapy," *Balt J Health Phys Act*, vol. 9, no. 3, pp. 141-150, Sep. 2017, doi: 10.29359/bjhpa.09.3.14.
- [8] S. R. Tsai and M. R. Hamblin, "Biological effects and medical applications of infrared radiation," *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, vol. 170. Elsevier B.V., pp. 197-207, May 01, 2017. doi: 10.1016/j.jphotobiol.2017.04.014.
- [9] Fillipo Rugeles Victor Hugo, Baldomiro Cano Garzón Hugo, and Chaves Osorio José Andrés, "APLICACIONES DE ILUMINACIÓN CON LEDs," *Scientia et Technica Año XVI*, vol. 45, 2010, [Online]. Available: http://es.wikipedia.org/wiki/Temperatura_de_color
- [10] M. Z. Vardaki and N. Kourkoumelis, "Tissue Phantoms for Biomedical Applications in Raman Spectroscopy: A Review," *Biomed Eng Comput Biol*, vol. 11, p. 117959722094810, Jan. 2020, doi: 10.1177/1179597220948100.
- [11] S. Curto *et al.*, "Quantitative, multi-institutional evaluation of MR thermometry accuracy for deep-pelvic MR-hyperthermia systems operating in multi-vendor MR-systems using a new anthropomorphic phantom," *Cancers (Basel)*, vol. 11, no. 11, Nov. 2019, doi: 10.3390/cancers11111709.