

Recibido: 04.02.2023 • Aceptado: 08.08.2023

Palabras clave: Ingeniería biomédica, manufactura aditiva, quemaduras.

Férulas en Impresión 3D para pacientes pediátricos quemados

LUIS CARLOS ORTIZ DOSAL

carlos.ortiz@alumnos.uaslp.edu.mx

MAESTRÍA EN CIENCIA E INGENIERÍA DE LOS MATERIALES, UAZ

ISMAEL AGUILAR ORTEGA

ELEAZAR SAMUEL KOLOSOVAS MACHUCA

samuel.kolosovas@uaslp.mx

INSTITUTO DE FÍSICA, UASLP



Una quemadura es una lesión en la piel u otros órganos causada por una fuente de energía térmica, eléctrica, química, mecánica o radioactiva. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) (2018), al año se producen alrededor de 180 mil muertes por esta causa. Las quemaduras no fatales son una de las principales causas de morbilidad, pues pueden llegar a una hospitalización prolongada, desfiguración y discapacidad, lo que suele generar problemas como la estigmatización y el rechazo social. De acuerdo con datos de la Secretaría de Salud (2021), cada año cerca de 13 mil personas sufren quemaduras; entre el cinco y el ocho por ciento son población infantil y es la quinta causa más común de lesiones no fatales durante la infancia. El 90 por ciento de los casos de quemaduras en infantes son por escaldaduras, es decir, causadas por líquidos calientes como el agua, aceite y alimentos preparados. El resto son ocasionadas por fuego directo, descargas eléctricas o por contacto con productos químicos. Las quemaduras en mayores de 10 años más comunes son por escaldadura y fuego directo. Las zonas más afectadas sin tomar en cuenta la edad son la cara, las manos y los antebrazos.

El tratamiento para dichos casos consiste en retirar la piel dañada con cuchillas especiales para llegar al tejido sano y realizar un injerto de piel; un factor que permite una adecuada curación es suspender la movilidad de la parte afectada mediante el uso de férulas, las cuales son dispositivos (rígidos o flexibles) utilizados para inmovilizar y posicionar áreas lesionadas. Actualmente existe una colaboración entre la Maestría en Ciencia e Ingeniería de los Materiales de la Universidad Autónoma de Zacatecas, la Coordinación para la Innovación y Aplicación de la Ciencia y la Tecnología (CIACyT) de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí y el Hospital Central Dr. Ignacio Morones Prieto, para la fabricación de férulas personalizadas para pacientes pediátricos quemados, mediante manufactura aditiva, también conocida como impresión 3D. La tecnología actual de fabricación de férulas no permite obtener con rapidez una férula personalizada además de sus costos altos, por lo que se plantea la impresión 3D como una alternativa para solventar estas dificultades.

El funcionamiento de las férulas fabricadas en este proyecto consiste en inmovilizar la mano e impedir que pueda cerrarse, ya que este movimiento interfiere con la

cicatrización y al ser heridas dolorosas, de forma instintiva el paciente tiende a cerrar, tocarse y mover la mano buscando una posición antiálgica (una posición que adopta un paciente para evitar el dolor), situación que es más difícil de controlar especialmente en pacientes de edad temprana. La cicatrización retráctil supondría limitación funcional, esto derivaría en un tratamiento quirúrgico y extendería el tiempo de recuperación.

Materiales y fabricación de férulas

Para el proceso de fabricación, los médicos miden las manos del paciente para que la férula se ajuste de manera correcta. Una vez que se obtienen las medidas se realiza un modelo diseñado por computadora (CAD); posteriormente, se fabrica la pieza utilizando una impresora 3D. Esta tecnología se fundamenta en el principio de manufactura por capas, en el que los materiales se depositan una capa a la vez. Existen diferentes tecnologías para llevarla a cabo, la más antigua y extensamente estudiada es la estereolitografía, en dicha técnica se cura un fotopolímero líquido con un haz de luz ultravioleta (UV). Es un método de impresión muy preciso y puede ser utilizado para una amplia gama de materiales.

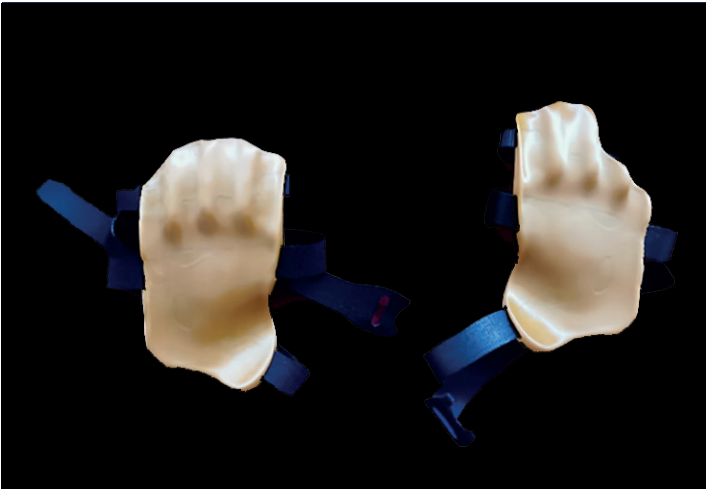


Figura 1.
Férulas impresas



Figura 2.
Modelo computarizado de las férulas

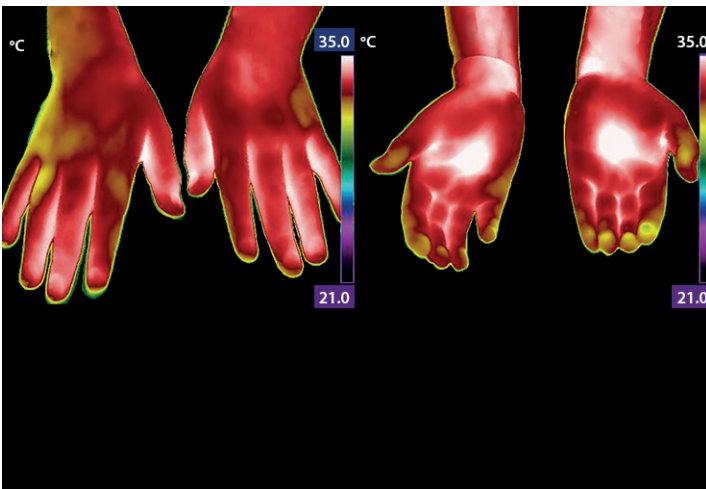


Figura 3.
Termografía infrarroja de manos de un paciente

Otra tecnología es la PolyJet. Los modelos fabricados mediante esta tecnología están hechos de un fotopolímero curado con luz UV, además de que es posible utilizar hasta seis materiales. Su amplia gama de materiales y su alta calidad en la producción de superficies son las principales ventajas del uso de PolyJet; es adecuada para fabricar pequeños modelos con un alto grado de detalle. El espesor típico de una capa individual es de 16 a 30 micrómetros (μm). Un cabezal de impresión de una impresora PolyJet tiene 96 boquillas y es mucho más rápida que la tecnología de filamento fundido difuso. Aunque una desventaja de las impresoras PolyJet es la baja resistencia térmica de los materiales (entre 60 y 90 °C). Cabe señalar que durante la producción del prototipo se crea una estructura de soporte del material hecha a base de un gel, el cual debe removerse de forma mecánica utilizando agua a presión.

En el caso de las férulas fabricadas en este proyecto se utiliza la tecnología de fabricación por filamento fundido (FFF). Este método se basa en la aplicación de capas delgadas de polímeros termoplásticos, los cuales se encuentran en principio almacenados en forma de filamentos sólidos. Este material se funde al pasar por una boquilla, ésta se mueve en el plano X-Y por encima de la mesa de trabajo y crea el perfil de una capa (este perfil es generado por computadora). La estructura de la misma puede rellenarse total, parcialmente o sólo formar un contorno superficial. Después de que se imprime una capa, la mesa de trabajo se mueve un step predefinido en el eje Z. Durante la impresión de cada capa también se construye la estructura de soporte, que es mecánica o químicamente eliminada después de la impresión. El espesor de una sola capa es de décimas de milímetro. En la figura 1 se muestra el modelo impreso de las férulas y en la figura 2 se muestra el diseño de las férulas por computadora.

El material utilizado como filamento para la fabricación de las férulas es el ácido poliláctico (PLA), un polímero de origen biológico que se obtiene a partir de almidón de maíz, yuca o caña de azúcar, así que es biodegradable bajo condiciones de composta industrial. Es un termoplástico, es decir, se funde cuando se le aplica una cierta cantidad de calor, por eso puede ser utilizado como filamento en una impresora 3D y sus propiedades mecánicas son similares a otro termoplástico más ampliamente utili-



LUIS CARLOS ORTIZ DOSAL

Realizó el Doctorado Institucional en Ingeniería y Ciencia de Materiales (DICIM) de la UASLP y en la actualidad es profesor investigador en la Maestría en Ciencia e Ingeniería de los Materiales en la Universidad Autónoma de Zacatecas, en donde trabaja en el proyecto "Detección de proteínas mediante espectroscopia vibracional".

zado, como el tereftalato de polietileno (PET). Además, es biocompatible, es decir, no tiene un efecto adverso en el organismo de las personas. Debido a estas características mecánicas fue seleccionado el PLA.

Evaluación para el proceso de curación

Para evaluar el proceso de curación, se debe examinar la diferencia de temperatura entre la herida y el tejido circundante, lo que se conoce como asimetría de temperaturas. Este parámetro está relacionado con el flujo sanguíneo y el suministro de sangre a la herida; mientras menor sea la diferencia de temperaturas, significa que el tejido está sanando. Para medir dicho parámetro se utiliza una técnica llamada termografía infrarroja, la cual consiste en tomar una imagen con una cámara especial que detecta el calor en forma de radiación infrarroja, una región de menor energía que la luz visible en el espectro electromagnético. Cualquier superficie cuya temperatura se encuentre por encima del cero absoluto (-273.15 °C o 0 K) emitirá radiación infrarroja. Esta técnica se ha usado con anterioridad por el grupo de trabajo en la evaluación de quemaduras y heridas. La figura 3 muestra una imagen termográfica de una mano.

Se han reportado otros usos de la impresión 3D en aplicaciones de ingeniería biomédica, tales como prótesis de dedos y manos, así como impresión de orejas y narices para personas que las han perdido en accidentes e incluso impresión de estructuras similares a vasos sanguíneos e implantes de hueso utilizando la llamada bioimpresión 3D. En ella se utilizan biotintas para imprimir células vivas con las que se desarrollan estructuras capa por capa que imitan el comportamiento y las estructuras de los tejidos naturales. Los biotintas que se utilizan como material en la bioimpresión están hechas de biomateriales naturales o sintéticos que pueden mezclarse con células vivas. La característica principal de los biomateriales es la biocompatibilidad, que es la

propiedad de ciertos materiales para realizar una función deseada con respecto a una terapia médica, sin infligir un daño o un efecto sistémico indeseable en el receptor o beneficiario de dicha terapia.

En este proyecto con la colaboración entre la Universidad Autónoma de Zacatecas, la Universidad Autónoma de San Luis Potosí y el Hospital Central Dr. Ignacio Morones Prieto, se fabricaron férulas mediante impresión 3D de ácido poliláctico con el proceso de fabricación por filamento fundido para el tratamiento de pacientes pediátricos que sufrieron quemaduras u otro tipo de heridas en las manos; se evaluó el progreso en la curación de las heridas y se determinó que contribuyen a un menor tiempo de recuperación por lo que se considera que el proyecto es exitoso y tiene un resultado positivo en la vida de los pacientes. **UP**

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer el apoyo del Dr. Mario Aurelio Martínez Jiménez, jefe de paraclínicos del Hospital Central Dr. Ignacio Morones Prieto y profesor de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí por su apoyo para la evaluación clínica de este proyecto. También agradecemos a los valientes niños que participan en el proyecto.

Referencias bibliográficas:

- Organización Mundial de la Salud (2018). Quemaduras. Recuperado de: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/burns>
- Secretaría de Salud. (2021). 170. Cuenta México con centro de alta especialidad para atender quemaduras graves. Recuperado de: <https://www.gob.mx/salud/prensa/170-cuenta-mexico-con-centro-de-alta-especialidad-para-atender-quemaduras-graves>