

Artículo de Revisión Bibliográfica

Poliepóxido: Relevancia y Beneficios

Polyepoxide: Relevance and Benefits

Alejandra Marcia Ayala Allende 1. Nicole Cartagena Siles 2. Andrea Betina Villarpando Quaglini 3.
Mikaela Pantoja Rocabado 4.

1. Departamento de Ingeniería Biomédica. Facultad de Informática y Electrónica, Universidad Privada del Valle, Cochabamba, Bolivia. Correo electrónico: aaa0023827@est.univalle.edu - alejandraayalaallende@outlook.es
2. Departamento de Ingeniería Biomédica. Facultad de Informática y Electrónica, Universidad Privada del Valle, Cochabamba, Bolivia. Correo electrónico: csn0023776@est.univalle.edu - nicky23.ncs@gmail.com
3. Departamento de Ingeniería Biomédica. Facultad de Informática y Electrónica, Universidad Privada del Valle, Cochabamba, Bolivia. Correo electrónico: vqa0023972@est.univalle.edu - abvq97@gmail.com
4. Departamento de Ingeniería Biomédica. Facultad de Informática y Electrónica, Universidad Privada del Valle, Cochabamba, Bolivia. Correo electrónico: prm0024087@est.univalle.edu - mikaela.p.r@hotmail.com

RESUMEN

En la actualidad, gracias a la evolución de la tecnología, se puede reconocer a la bioingeniería como un área que ha demostrado grandes descubrimientos tanto en el ámbito médico como tecnológico, para el diseño y la creación de dispositivos, equipos de diagnóstico, prótesis, sustitutos biocompatibles con propósitos terapéuticos como reparación y reemplazo de una función o parte del organismo.

El artículo presentado recopila información mediante revisión bibliográfica, dando a conocer las propiedades, ventajas, usos y aplicaciones de las resinas epoxi, con la finalidad de brindar diferentes soluciones por medio de esta nueva alternativa para mejorar la calidad de vida de las personas. Las características más importantes son la termoestabilidad y biocompatibilidad. Las ventajas que presentan estas resinas son la eficaz adherencia y excelente humectación que poseen, en comparación con otros materiales.

Las aplicaciones biomédicas tienen mejor respuesta a la combinación con fibra de carbono. Este trabajo de investigación desarrolló dos de las aplicaciones biomédicas existentes, como ser: Ingeniería de tejidos, que se refiere a una composición bioactiva obtenida por un procedimiento de electroestirado que comprende un polímero termoestable. Por otro lado, se tiene la aplicación a modelos odontológicos que presentan buena estabilidad dimensional y mejor capacidad de reproducir detalles finos. Se espera que el trabajo pueda dar paso a futuras implementaciones, para poder brindar diferentes soluciones por medio de esta nueva alternativa y así mejorar la calidad de vida de las personas.

Palabras Clave: Biocompatibilidad. Biomédica. Curado. Resina epoxi. termoestable.

ABSTRACT

Nowadays, thanks to the evolution of technology, we can recognize bioengineering as an area that has shown great discoveries in the medical and technological fields, for the design and creation of devices, diagnostic equipment, prosthetics, biocompatible substitutes for therapeutic purposes, such as repair and replacement of a function or an organism part.

This paper compiles information through bibliographic review, which reveals the properties, advantages, uses and applications of epoxy resins, in order to provide different solutions through this new alternative to improve the quality of people's life. Recognizing its thermostability and biocompatibility as the most important characteristics. The advantages of these resins are the effective adhesion and excellent moisture that they have compared to other materials.

Biomedical applications have a better response to the combination with carbon fiber. This research work developed two of the existing biomedical applications, such as: tissue engineering that refers to a bioactive composition obtained by an electrospray procedure that comprises a thermoset polymer. On the other hand, it is applied to dental models that have good dimensional stability and a better ability to reproduce fine details. We expect that this work can give way to future implementations, in order to provide different solutions through this new alternative and thus improve people's life quality.

Key Words: Biocompatibility. Biomedical. Curing. Epoxy resin. Thermoset.

INTRODUCCIÓN

Los biomateriales están diseñados para ser implantados o incorporados dentro del cuerpo humano, tienen el fin de sustituir o regenerar sus tejidos y funciones. Pueden ser utilizados en dispositivos biomédicos por su facilidad para interactuar con los sistemas biológicos. Se dividen en cuatro grupos: polímeros, metales, cerámicos y naturales (Renou et al., 2010).

Los polímeros termoestables se definen como una red polimérica formada por la reacción química de diversos monómeros, en los que uno de ellos tiene funcionalidad igual o superior a tres. La formación de esta red polimérica se da gracias a la reacción de curado, en la que el sistema forma una estructura molecular de forma reticular tridimensional. El curado de polímeros termoestables, ya sea de forma térmica o mediante radiación ultravioleta, es un proceso irreversible, porque el polímero no puede recuperar su estructura anterior. Las resinas epoxi son un tipo muy importante de polímeros termoestables que se utilizan en gran variedad de aplicaciones gracias a sus propiedades mecánicas, su relativamente baja contracción, y su alta resistencia química y térmica (González, 2006).

Estas resinas suelen ser frágiles, por lo que se usan en combinación con otros compuestos, dando lugar a la obtención de piezas más resistentes. Puede ser utilizada en aplicaciones biomédicas que implican el uso de materiales compuestos de fibra de carbono para uso odontológico, placas óseas, tornillos, fijaciones externas y demás. Este tipo de biomateriales y sus derivados tienen la ventaja de poseer alta biocompatibilidad, buenas reacciones inmune in vivo, funcionalidad y durabilidad (Osorio-Delgado et al., 2017).

Este artículo está orientado a la identificación de propiedades y beneficios de las resinas epoxi en el área de la biomédica debido a las características que presenta, como ser la resistencia a altas temperaturas, propiedades mecánicas, resaltando el alto grado de biocompatibilidad que podemos obtener.

Las aplicaciones desarrolladas en este documento son: la elaboración de materiales compuestos de alto rendimiento; ingeniería de tejidos por el método de electroestirado; modelos odontológicos; electrodos de epoxi-grafito para la detección de virus de la inmunodeficiencia humana tipo 1 (VIH-1); réplica de huesos empleando técnicas experimentales optomecánicas, y fabricación de una prótesis transtibial.

DESARROLLO

Este trabajo está basado en una revisión bibliográfica de diferentes fuentes, siendo las más relevantes respecto a los poliepóxidos y sus más recientes aplicaciones. Los artículos científicos provienen de congresos y revistas reconocidas: Congreso Anual de la Sociedad Española de Ingeniería Biomédica (Almeida-Galarraga et al., 2017); Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo (Vera-Lázaro et al., 2020); Revista de la Universidad Nacional de Colombia (Osorio-Delgado et al., 2017); Revista de la Facultad de Odontología, Universidad de Buenos Aires (Renou et al., 2010); revista Acta odontológica venezolana (Alandia y Rodrigues, 2014); Revista Ingenius de Ciencia y Tecnología (Lascano et al., 2020); Anales de la Academia de Ciencias de Cuba (Balbin et al., 2019) y revista Matéria de Rio de Janeiro (Siqueiros et al., 2018).

Nos hemos basado también en tesis de maestría de la Universidad Politécnica de Catalunya del BarcelonaTech (González, 2006); tesis de maestría para el grado de especialización en química aplicada con opción a análisis y evaluación de polímeros del Centro de Investigación de Química Aplicada, Saltillo Coahuila (Esdras-Juárez, 2012); tesis de maestría en tecnología de polímeros del Centro de Investigación de Química Aplicada (Navarro-Tovar, 2013).

Así como también en otras fuentes, como el trabajo de investigación patentado del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) Madrid, España (Gimeno-Alcañiz et al., 2011); OBS Business School (Remesar, 2015), e información auxiliar publicada por instituciones de investigación del área que aporta al estado de conocimiento sobre este tema.

Las resinas termoestables, según Osorio-Delgado et al. (2017), se obtienen a partir del curado de resinas termoplásticas precursoras. Estas resinas, por lo general líquidas, se transforman en sólidos duros mediante entrecruzamiento. De acuerdo con Navarro-Tovar (2013), el carácter

entrecruzado de los polímeros epóxicos resulta en materiales con buena resistencia a la humedad, al ataque de fluidos corrosivos, solventes y productos químicos. También son resistentes a altas temperaturas y presentan poca contracción o encogimiento durante la polimerización.

Según González (2006), la síntesis de los polímeros termoestables empieza desde una fase soluble formada por monómeros, a medida que la reacción avanza los monómeros se juntan y forman cadenas poliméricas con un grado de ramificación creciente. Posteriormente, tiene lugar el fenómeno de gelificación, en el que aparece una macromolécula que engloba todo el sistema.

Por otra parte, Esdras-Juárez (2012) afirma que existen algunas desventajas de este tipo de resinas, una es debido a la alta densidad de entrecruzamiento que hace que estos materiales sean muy frágiles, y otra que tienen como característica el ser demasiado rígidas, lo cual da como consecuencia una alta fragilidad, por lo que sería deseable disponer de un sistema polimérico que, mantenga entre otras propiedades la rigidez, y se encuentre dotado de cierta tenacidad, de manera se puedan evitar fracturas. Esto puede llevar a fallas catastróficas en los dispositivos o aparatos en los que estén presentes estos polímeros como menciona Navarro-Tovar (2013).

Debido a su alta reticulación, son materiales frágiles y para contrarrestar este efecto. Las resinas epoxi son reforzadas con fibra de vidrio (FV), de carbono (FC), entre otros (Osorio-Delgado et al., 2017).

La biocompatibilidad y respuesta inmune que se puedan generar después del proceso de curado representa una de las principales razones por las cuales no se hace un mayor uso de esta resina, a pesar de que las interacciones biológicas del tejido humano con los biomateriales no son lo suficientemente conocidas, se pueden optimizar estos mecanismos y así ampliar su

uso en diferentes presentaciones, para mejorar o restaurar la calidad de vida de los individuos (Osorio-Delgado et al., 2017). Por otro lado, las ventajas que presentan las resinas epoxi son las excelentes características de adherencia y humectación que poseen en comparación con otros materiales. Así mismo, también presentan buenas propiedades de aislamiento eléctrico (Navarro-Tovar, 2013).

Las aplicaciones biomédicas tienen mejor respuesta a la combinación con fibra de carbono, debido a que generan menor efecto alergénico. Estas se usan en aplicaciones odontológicas, placas óseas, tornillos, fijaciones externas (brindan igual resistencia y un menor peso en comparación a las metálicas) y reemplazo total de cadera (Osorio-Delgado et al., 2017).

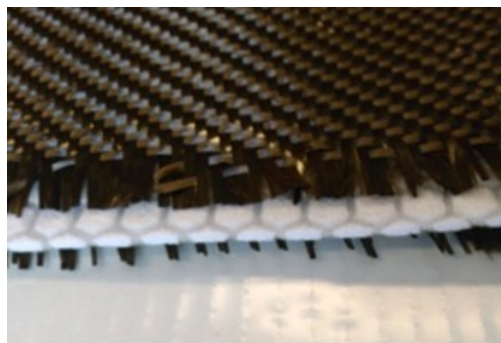
Las matrices basadas en resinas epoxi son las más utilizadas, debido a las excelentes propiedades mecánicas, térmicas y de recubrimiento que proporcionan a materiales compuestos. En general, esto se logra por los grupos funcionales que se encuentran en su estructura, concretamente anillos epoxi/oxirano que pueden polimerizarse para formar estructuras de red 3D. Las propiedades finales de los materiales compuestos híbridos están relacionadas a la

resistencia de las fibras; por lo tanto, es necesaria una buena sinergia entre estas y la matriz, debido a que una interacción funcional entre las fibras y la matriz resultará en propiedades mecánicas superiores (Lascano et al., 2020).

Hallazgos similares fueron reportados en fibras basadas en sílice (fibras de vidrio) y una matriz epoxi. Estos muestran la efectividad de un tratamiento de silanización en las fibras, que está directamente relacionado con las propiedades mecánicas mejoradas.

Finalizada esta investigación, se ha confirmado que el uso de un núcleo poroso como un medio de difusión en un moldeado por infusión de resina asistida por vacío (VARIM) convencional, es un proceso alternativo exitoso para fabricar estructuras compuestas livianas tipo sándwich (Figura 1), utilizando una resina epoxi con base biológica parcial (con 31 % en peso de contenido de base biológica derivado de aceites vegetales epoxidados). El uso de un material núcleo de infusión permite reducir el peso y los costos de fabricación de partes compuestas de alta tecnología, dado que los materiales consumibles típicos en un proceso VARIM pueden ser reducidos (Lascano et al., 2020).

Figura 1. Esquema del proceso de fabricación de compuestos tipo sándwich basalto/lino por moldeado por infusión de resina asistida por vacío (VARIM) con núcleo no tejido como medio de infusión



Fuente: Lascano et al. 2020.

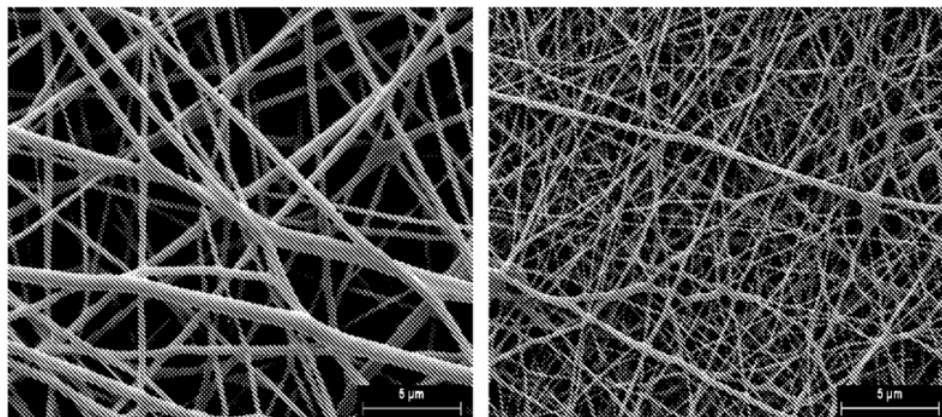
Gimeno-Alcañiz et al. (2011) investigaron la aplicación de la resina epoxi para ser utilizada en la ingeniería de tejidos. Los autores hacen referencia a una composición bioactiva obtenida por la técnica de electroestirado y compuesta por al menos un polímero. Además, la invención también describe un procedimiento de incorporación de esta composición a modo de recubrimiento sobre una matriz plástica para obtener materiales compuestos para su uso en implantes biomédicos y en ingeniería de tejidos.

El uso de la composición electroestirada en aplicaciones biomédicas que comprenden la fabricación de prótesis e implantes, el recubrimiento de implantes, fabricación de suturas, sustitución directa de tejidos, tanto de remplazo permanente como temporal, en huesos, piel, músculos y órganos dañados, y como sistema de liberación controlada de fármacos. El material que comprende una matriz plástica recubierta por la composición electroestirada bioactiva comprende un polímero termoestable,

un polímero elastomérico o un polímero termoplástico (Gimeno-Alcañiz et al., 2011).

El polímero termoestable fue seleccionado de la lista que comprende resinas acrílicas, resinas epoxi, poliésteres insaturados, policetonas, resinas fenólicas, poliimidadas, poliuretanos, siliconas, cauchos, gomas naturales o cualquiera de sus combinaciones. Estando aún más preferiblemente este polímero termoestable curado, sin curar o pre-curado. Con este procedimiento se logra una óptima adhesión del recubrimiento sobre el implante, lo que resulta clave en el éxito clínico. Preferiblemente, si el polímero es termoestable, el tratamiento térmico de adhesión se realiza a un intervalo de temperaturas de 70 a 300°C y durante un tiempo de 0,1 minutos a 5 horas. El tratamiento térmico de curado no solo va a otorgar una excelente adhesión entre el recubrimiento de las fibras electroestiradas (Figura 2) y el implante plástico, sino también va a aumentar el entrecruzamiento del polímero (Gimeno-Alcañiz et al., 2011)

Figura 2. Muestra las fibras electroestiradas, antes y después del tratamiento térmico, tomadas por un microscopio de barrido electrónico



Fuente: Gimeno-Alcañiz et al., 2011.

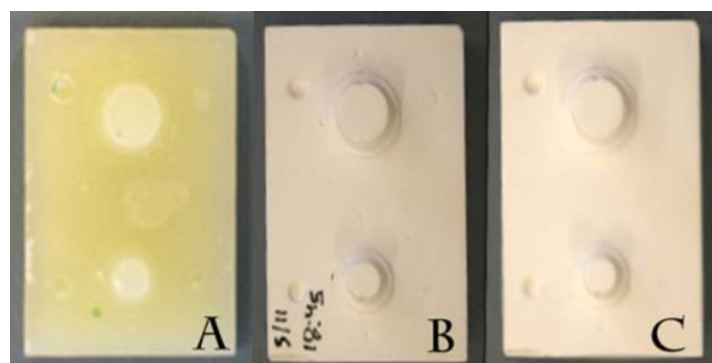
Alandia y Rodrigues (2014) realizaron una evaluación para comparar la fidelidad de copia y estabilidad dimensional entre los modelos odontológicos. Emplearon tres materiales para la comparación, yeso tipo IV resinado de dos diferentes marcas y resina epoxi. Se confeccionó una matriz de acero inoxidable para obtener treinta muestras, dicha matriz simulaba dos piezas dentarias talladas para recibir coronas totales, con

diámetros diferentes y canaletas laterales para orientar la colocación de dos moldes que tenían el propósito de dar forma a la pieza dental, estos se llaman copings; por lo general son metálicos y poseen aletas horizontales en dirección al centro de la prótesis fija simulada, para medir la distancia entre las mismas y realizar un control de dimensiones, además se deben posicionar sobre los modelos.

Para la obtención de los modelos, efectuaron la impresión de la matriz de acero con silicona de adición y, posteriormente, estos sirvieron para la producción de las piezas de yeso y resina experimental mediante un proceso de espatulado mecánico con vibración, y finalmente, después del proceso de polimerización y obtención de los modelos (Figura 3) fue ejecutada la evaluación al microscopio y se cumplieron las mediciones estadísticas, fueron verificadas tres mediciones en dos tiempos: la primera en 24 horas, y la

segunda a las 48 horas. Concluyeron que, de los tres materiales empleados, la resina epóxica es el material más resistente y además presenta una mayor resistencia a la abrasión, también probaron que se obtienen piezas con mayor detalle superficial, además, presentó buena estabilidad dimensional, por lo que es una potencial nueva alternativa de material para la obtención de modelos odontológicos (Alandia y Rodrigues, 2014).

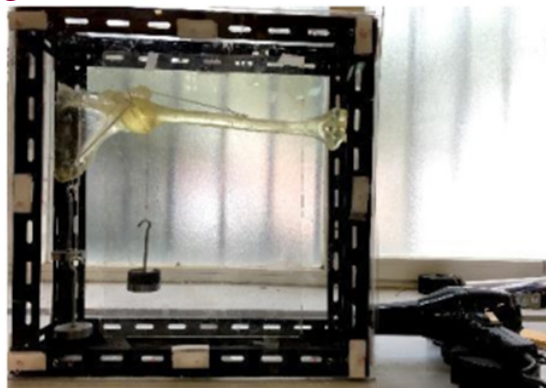
Figura 3. Modelos de: A) Resina epóxica; B) Yeso Implant Stone; C) Yeso Fuji Rock EP



Fuente: Alandia y Rodrigues, 2014.

Balbín et al. (2019) trabajaron en la obtención de un electrodo elaborado con una mezcla epoxi-grafito, cuya superficie fue fácil de modificar para hacerla sensible a la hibridación del ácido desoxirribonucleico (ADN), capaz de detectar una secuencia de ADN, con potencial aplicación en la detección de microorganismos y enfermedades genéticas. Por primera vez fue detectado el ADN proviral del VIH-1 en muestras clínicas por un método electroquímico empleando estos electrodos. Se utilizó un material compuesto conductor que consta de epoxi-grafito modificado con óxido de grafeno para preparar un electrodo para la detección voltamétrica de la señal de oxidación de la guanina del oligonucleótido que codifica una región del ADN proviral de VIH-1 en muestras clínicas.

Almeida-Galarraga et al. (2017) realizaron una réplica de los huesos reales con resina epoxi mediante técnicas de moldeo en bloque. La técnica de moldeo es por colada de resina en moldes de silicona. La resina epoxi es un polímero termoestable con propiedades ópticas adecuadas para el análisis de fotoelasticidad, además replica fielmente los huesos y tiene propiedades mecánicas similares. El peso de las réplicas tiene que ser equivalente a los huesos reales. Para realizar el ensayo y tratamiento térmico el conjunto se introduce en una cámara isoterma a 60° centígrados (C) (Figura 4), algo superior a la de transición vítrea de la resina epoxi empleada.

Figura 4. Ensayo en cámara isoterma a 60°C


Fuente: Almeida-Galarraga et al., 2017.

Vera-Lázaro et al. (2020) expusieron que lo pesado y voluminoso de los antiguos pies protésicos ha evolucionado tanto en diseño como manufactura, fabricándolos con materiales de alta tecnología y principalmente de fibra de carbono y resina epóxica.

Siqueiros et al. (2018), para garantizar el comportamiento dinámico de la prótesis de pie (Figura 5), se caracterizó un material compuesto, el cual se empleó fibra de carbono 3K como refuerzo, este material es utilizado en prótesis

debido a su capacidad de absorber energía durante su deformación, la cual es almacenada y sirve de impulso durante la marcha humana. Utilizaron resina epoxi la cual actúa como un medio de distribución de esfuerzos en las fibras y protege de agentes externos, además cuenta con un curado completo a temperatura ambiente de 22 a 25 C con tiempos de curado de 48 a 72 horas. Las propiedades mecánicas que conforman el material compuesto utilizado se muestran en la Tabla 1.

Figura 5. Prótesis unida con remaches


Fuente: Siqueiros et al., 2018.

Tabla 1. Propiedades mecánicas por material

PROPIEDADES MECÁNICAS	FIBRA DE CARBONO	RESINA EPÓXICA
Resistencia a la tracción	3,45 – 4,83 GPa	0,294 GPa
Módulo de Young	220-241 GPa	18,477 GPa
Elongación	1,4-1,95%	1,68%
Densidad	1,8 g/cm ³	1,13 g/cm ³

Fuente: Siqueiros et al., 2018.

CONCLUSIONES

Este trabajo tuvo por finalidad dar a conocer los diferentes usos y aplicaciones de las resinas epoxi, así como sus beneficios para potenciar su uso e implementación en el campo de la ingeniería biomédica. En relación con la exhaustiva revisión bibliográfica se puede resaltar que el proceso de curado es muy importante debido a que las resinas epoxi son polímeros frágiles y necesitan de un proceso de entrecruzamiento para dar como resultado piezas más resistentes.

Así también, se pudo evidenciar que las resinas epoxi presentan buena estabilidad y durabilidad en combinación de otros compuestos como ser la fibra de vidrio y la de carbono. En cuanto a la biocompatibilidad, se ha demostrado que presenta una buena respuesta inmune en cuanto a las interacciones biológicas del tejido humano con este polímero.

Se determinó que las ventajas que presentan las resinas epoxi están dadas por sus excelentes características de humectación y adherencia en comparación con otros materiales. Sin embargo, algunas desventajas que presentan son la fragilidad y efecto alergénico que presentan si no son combinadas con los elementos adecuados.

Frente a la evidencia recaudada, mencionamos la aplicación en modelos odontológicos que brinda mayor realismo, gracias a que las resinas epoxi dan como resultado piezas con mayor detalle y buena estabilidad dimensional. De igual forma, creemos importante la aplicación en ingeniería de tejidos, debido a que podemos expandir el campo de la biocompatibilidad en el campo de las suturas, prótesis e implantes en huesos, piel, músculos y órganos.

A lo largo de los años la utilidad y manejo de las resinas epoxi han expandido su utilidad en diversas áreas, resaltando su relevancia, beneficios y aplicación en el área biomédica. Se espera que este trabajo pueda servir de base para investigaciones futuras y así dar paso a mayores descubrimientos no sólo en teoría, sino, también en la práctica y poder brindar diferentes soluciones por medio de esta nueva alternativa para mejorar la calidad de vida de las personas.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a la Lic. Erika Fernández Terrazas por ser nuestra guía durante la realización de este artículo de revisión bibliográfica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alandia Roman, C.C., Rodrigues Cruvinel, D. (2014). Evaluación de una Resina Epóxica experimental como material alternativo para obtención de modelos odontológicos. *Acta Odontológica Venezolana*. Universidad Central de Venezuela. Recuperado de: <https://www.actaodontologica.com/ediciones/2014/3/art-11/>
- Almeida-Galarraga, D., Ros-Felip, A., Serrano-Mateo, L., Marco-Martinez, F. (2017). Estudio de deformaciones en la articulación del hombro con técnicas experimentales optomecánicas. *Congreso Anual de Sociedad Española de Ingeniería Biomédica*. Recuperado de: http://oa.upm.es/51692/1/INVE_MEM_2017_280731.pdf
- Balbín Tamayo, A.I., López Riso, L.S., Esteva Guas, A.M., Blanco de Armas, M. (2019). Nuevo electrodo epoxi-grafito para la detección de ADN. Aplicación en la detección del VIH-1. *Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*. Departamento de Química Analítica; Facultad de Química. Universidad de La Habana, Cuba. Recuperado de: <http://www.revistaccuba.sld.cu/index.php/revacc/article/view/728/0>
- Esdras-Juárez D.A. (2012). Análisis y evaluación de propiedades térmicas y mecánicas de materiales resínicos del tipo Epoxi/Amina [tesis de especialización en química aplicada Opción Análisis y Evaluación de Polímeros, Centro de especialización en Química Aplicada.] Saltillo, Coahuila. Recuperado de: <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/361/1/Esdras%20David%20Juarez%20Alonzo.pdf>

- Jimeno-Alcañiz, J. V. y Ocio, M.J., Torres-Giner, S., Lagarón-Cabello, J. M. (2011). Desarrollo de recubrimientos electroestirados bioactivos para aplicaciones biomédicas. Digital.CSIC. Recuperado de <https://digital.csic.es/handle/10261/41451>
- González, S. (2006). Obtención de nuevas redes termoestables a partir de una resina epoxi modificada con grupos éster [tesis de maestría, Universidad Politécnica de Catalunya]. BarcelonaTech. Recuperado de: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/10749/memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Lascano, D., Valcárcel, J. Baker, R., Quiles-Carrillo, L., Boronat, T. (2020). Fabricación de materiales compuestos de alto rendimiento medioambiental con resina epoxi de origen renovable y núcleos ligeros permeables para infusión asistida por vacío. Ingenius Revista de Ciencia y Tecnología. Recuperado de: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-860X2020000100062
- Navarro-Tovar A. G. (2013). Desarrollo de un sistema fotocurable epoxi-amina/tiol- ene Amina [tesis de maestría en tecnología de polímeros, Centro de especialización en Química Aplicada]. Saltillo, Coahuila. Recuperado de: <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/26/1/Tesis%20MTP%20Ana%20Gabriela%20Navarro%20Tovar%20Jul%2015%202014.pdf>
- Osorio-Delgado, M. A., Henao-Tamayo, L. J., Velásquez-Cock, J. A., Cañas- Gutiérrez, A. I., Restrepo-Múnera, L. M., Gañán-Rojo, P. F., Zuluaga-Gallego, R. O., Ortiz-Trujillo, I C. y Castro-Herazo, C. I. (2017). Aplicaciones biomédicas de biomateriales poliméricos. DYNA, 84(201), 241-252. <https://doi.org/10.15446/dyna.v84n201.60466>
- Remesar, A. (2015). Fabricación Digital: entre el DIY (Do it yourself) y una nueva Revolución Industrial. OBS Business School. Escuela de negocios online Barcelona. Recuperado de: <https://universoabierto.org/2020/01/03/fabricacion-digital-entre-el-do-it-yourself-y-una-nueva-revolucion-industrial-obs/>
- Renou, S. Collet, A. Piloni, M. Steimetz, T. Sival, M. Navarro, V. (2010). Biomateriales para implantes intraóseos: Contribución y desafío en el área biomédica. Cátedra de Anatomía Patológica. Facultad de Odontología. Universidad de Buenos Aires. Recuperado de: https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/15281/CONICET_Digital_Nro.17536.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Siqueiros Hernandez, M., Reyna Carranza, M., Nuño, V., Huegel, West J., Castañeda, A. (2018). Metodología para la fabricación de una prótesis transtibial a base de material compuesto de fibra de carbono y resina epóxica. Matéria Rio de Janeiro. Cidade Universitaria de Brasil. <https://doi.org/10.1590/s1517-707620180002.0482>
- Vera-Lázaro, A., Aguilar, D., Campos, J., Campos, J., Carrasco, A., Jaime, H. (2020). Comparación estática estructural y de pandeo de dos materiales compuestos y acero inoxidable en una prótesis de miembro inferior. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Alejandro_Vera-Lazaro/publication/343961307_COMPARACION_ESTATICA_ESTRUCTURAL_Y_DE_PANDEO_DE_DOS_MATERIALES_COMPUESTOS_Y_ACERO_INOXIDABLE_EN_UNA_PROTESIS_DE_MIEMBRO_INFERIOR_STRUCTURAL_STATIC_AND_BUCKLING_COMPARISON_OF_TWO_COMPOUND_MATERIALS_AND/links/5f49e967299bf13c504e978e/COMPARACION-ESTATICA-ESTRUCTURAL-Y-DE-PANDEO-DE-DOS-MATERIALES-COMPUESTOS-Y-ACERO-INOXIDABLE-EN-UNA-PROTESIS-DE-MIEMBRO-INFERIOR-STRUCTURAL-STATIC-AND-BUCKLING-COMPARISON-OF-TWO-COMPOUND-MATERIALS-AND.pdf

Derechos de Autor (c) 2020 Alejandra Marcia Ayala Allende; Nicole Cartagena Siles; Andrea Betina Villalpando Quaglino; Mikaela Pantoja Rocabado.



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resum en de licencia](#) - [Texto completo de la licencia](#)