

# Características mecánicas de la fibra de carbono unidireccional y multidireccional en subestructuras implanto soportadas

## Unidirectional and multidirectional carbon fiber mechanical characteristics in implant supported substructures

## Características mecánicas de fibra de carbono unidireccional e multidireccional em subestruturas suportadas por implantes

Katya Sofía Alvarado Rosero   
David Alejandro Regalado Berrú 

### Endereço para correspondência:

Katya Sofía Alvarado Rosero  
Facultad de Odontología - Universidad de los Hemisferios  
Avenida Mariana de Jesús e Inglaterra  
Quito - Ecuador  
E-mail: ksalvador@estudiantes.uhemisferios.edu.ec

**Recebido:** 12.10.2020

**Modificado:** 04.11.2020

**Aceito:** 11.12.2020

### RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue comparar las características mecánicas de la fibra de carbono unidireccional y multidireccional en subestructuras implanto soportadas mediante la literatura científica del año 2015 al 2020. La búsqueda se realizó en la base de datos PubMed utilizando las palabras claves que respondieron al análisis PICO propuesto, P: Pacientes edentulos, I: Prótesis híbrida, C: Fibra de carbono unidireccional o multidireccional, O: Características mecánicas. De la búsqueda de la literatura en la base de datos PubMed se obtuvo un total de 13 artículos científicos, según los criterios de inclusión y exclusión se eliminaron 9 artículos, quedando 4 artículos los cuales fueron leídos a texto completo siendo posteriormente clasificados mediante el Software Microsoft Excel tomando en consideración Autor, Año, Titulo, Resultados. El emplear fibra de carbono compuesta con filamentos multidireccionales disminuye el comportamiento anisotrópico de la fibra de carbono aumentando así sus características por encima de la fibra de carbono compuesta con filamentos unidireccionales, de esta manera la estructura protésica tendrá mejores características mecánicas. La revisión de literatura ejecutada nos lleva a decir que la fibra de carbono con filamentos multidireccionales presenta mejores características mecánicas que la fibra de carbono con filamentos unidireccionales.

**PALABRAS CLAVE:** Implantes dentales. Fibra de carbono. Arcada edéntula.

## ABSTRACT

The objective of this work was compare the mechanical characteristics of unidirectional and multidirectional carbon fiber in implant-supported substructures through the scientific literature from 2015 to 2020. The search was carried out in the PubMed database using the keywords that responded to the analysis. Proposed PICO, P: Edentulous patients, I: Hybrid prosthesis, C: Unidirectional or multidirectional carbon fiber, O: Mechanical characteristics. From the literature search in the PubMed database, a total of 13 scientific articles were obtained, according to the inclusion and exclusion criteria, 9 articles were eliminated, leaving 4 articles which were read in full text and were later classified using Microsoft Software Excel taking into consideration Author, Year, Title, Results. Using composite carbon fiber with multidirectional filaments reduces the anisotropic behavior of carbon fiber, thus increasing its characteristics over composite carbon fiber with unidirectional filaments, in this way the prosthetic structure will have better mechanical characteristics. The literature review carried out leads us to say that carbon fiber with multidirectional filaments has better mechanical characteristics than carbon fiber with unidirectional filaments.

**KEYWORDS:** Dental implants. Carbon fiber. Jaw, edentulous.

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi comparar as características mecânicas da fibra de carbono unidireccional e multidireccional em subestruturas suportadas por implantes por meio da literatura científica de 2015 a 2020. A busca foi realizada na base de dados PubMed usando as palavras-chave que responderam à análise PICO proposta. , P: Pacientes desdentados, I: Prótese híbrida, C: Fibra de carbono unidireccional ou multidireccional, O: Características mecânicas. A partir da busca bibliográfica na base de dados PubMed, foi obtido um total de 13 artigos científicos, de acordo com os critérios de inclusão e exclusão, 9 artigos foram eliminados, restando 4 artigos que foram lidos na íntegra e posteriormente classificados no software Microsoft Excel levando em consideração Autor, Ano, Título, Resultados. O uso de fibra de carbono composta com filamentos multidireccionais reduz o comportamento anisotrópico da fibra de carbono, aumentando assim suas características sobre a fibra de carbono composta com filamentos unidireccionais, desta forma a estrutura protética terá melhores características mecânicas. A revisão de literatura realizada nos leva a afirmar que a fibra de carbono com filamentos multidireccionais apresenta melhores características mecânicas do que a fibra de carbono com filamentos unidireccionais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Implantes dentários. Fibra de carbono. Arcada edêntula.

## INTRODUCCIÓN

La ausencia parcial o total de piezas dentales se define como edentulismo<sup>1</sup>. Esta pérdida dental tiene consecuencias negativas para los tejidos orofaciales del paciente destacando principalmente un deterioro de crestas alveolares<sup>1-2</sup>. Usualmente se emplean prótesis híbridas para rehabilitar esta pérdida dental<sup>3</sup>, las cuales tienen una estructura interna anclada a implantes que será la encargada de proveer de características estructurales como la rigidez, distribuyendo las fuerzas oclusales propias del acto de masticación, disipando el estrés hacia los implantes y posteriormente al tejido óseo<sup>4-5</sup>.

Las estructuras internas de las prótesis híbridas generalmente son elaboradas empleando elementos metálicos<sup>6</sup> como el Ti (Titanio) o aleaciones como el Cr-Co (Cromo Cobalto), sin embargo ambos poseen un módulo de elasticidad de 107Gpa y 225Gpa correspondientemente<sup>7-8</sup>, sin embargo estos valores son distantes al valor de 20Gpa que presenta el tejido óseo. Esta desemejanza entre ambos módulos de elasticidad puede provocar una reabsorción ósea y un fracaso de los implantes<sup>9</sup>.

El desarrollo de hipersensibilidad a las aleaciones metálicas ha desencadenado una búsqueda por desarrollar materiales los cuales presenten mayor biocompatibilidad y mejores propiedades físico mecánicas<sup>10-12</sup>. Como respuesta a esta búsqueda, en los últimos años se han empleado materiales poliméricos como la fibra de carbono<sup>9</sup>.

Las estructuras elaboradas con fibra de carbono se componen de un refuerzo de filamentos de carbono los cuales soportan las cargas oclusales proporcionando una mejor distribución de fuerzas y una matriz polimérica la cual une estos filamentos, transfiere la carga en dirección perpendicular al eje axial y proporciona disipación térmica<sup>13-14</sup>. Sin embargo, la fibra de carbono no es un material isotrópico al estar estructurado mediante la superposición de diferentes capas de filamentos de carbono en distintas direcciones, por lo tanto las propiedades mecánicas son variables dependiendo de la dirección en la que sean medidas<sup>14</sup>.

Frente a lo expuesto el objetivo del presente trabajo es comparar las características mecánicas de la fibra de carbono unidireccional y multidireccional en subestructuras implanto soportadas mediante la literatura científica del año 2015 al 2020.

Se planteó una revisión bibliográfica de artículos que evaluaron las características mecánicas de la fibra de carbono unidireccional y multidireccional en subestructuras implanto soportadas; la búsqueda se realizó en la base de datos PubMed utilizando las palabras claves que respondieron al análisis PICO propuesto, P: Pacientes edentulos, I: Prótesis híbrida, C: Fibra de carbono unidireccional

o multidireccional, O: Características mecánicas, en un periodo comprendido desde el 2015 al 2020.

De la búsqueda de la literatura en la base de datos PubMed se obtuvo un total de 13 artículos científicos, los criterios de exclusión que se tomaron en cuenta fueron estudios que involucren fibra de carbono reforzada con Peek (Polieteretercetona), estudios que se realizaron en pacientes edentulos parciales y estudios fuera del periodo de tiempo comprendido.

Como criterios de inclusión fueron considerados estudios in vitro, estudios in vivo, revisiones bibliográficas, revisiones sistemáticas, estudios retrospectivos y estudios prospectivos.

Luego de una revisión según los criterios de inclusión y exclusión se eliminaron 9 artículos, quedando 4 artículos los cuales fueron leídos a texto completo, siendo posteriormente clasificados mediante el Software Microsoft Excel tomando en consideración Autor, Año, Título, Resultados.

Autor	Año	Título	Resultados
Pesce Paolo et al.	2019	Mechanical characterisation of multi vs. uni-directional carbon fiber frameworks for dental implant applications	La fibra de carbono multidireccional en estructuras unitarias, puede disminuir la anisotropía del material. La fibra de carbono unidireccional, se adapta fácilmente a la anatomía del arco dental, por lo cual es óptima para el uso en arcos completos.
Menini Maria et al.	2017	Biological and mechanical characterization of carbon fiber frameworks for dental implant applications	Empleando capas unidireccionales, se puede obtener una estructura de rendimiento mecánico extremadamente alto.
Castorina Giuseppe	2019	Carbon-Fiber Framework for Full-Arch Implant-Supported Fixed Dental Prostheses Supporting Resin-Based Composite and Lithium Disilicate Ceramic Crowns: Case Report and Description of Features	Estructuras de Fibra de carbono reforzadas con grafito (CGFP) presentan fracturas en los pilares distales. El uso de Fibra de Carbono reforzada con PMMA, merma este problema.
Pera F. et al.	2017	Carbon fibre versus metal framework in full-arch immediate loading rehabilitations of the maxilla – a cohort clinical study	La fibra de carbono multidireccional provee de característica isotrópica al material.

Figura 1 - Datos obtenidos de los 4 artículos empleados.

## REVISIÓN DE LA LITERATURA

### Edentulismo

De acuerdo al glosario de términos prostodónticos, el edentulismo se caracteriza por ser el estado de ausencia de piezas dentales<sup>15</sup>, es una condición irreversible que se evidencia en mayor frecuencia en grupos de mayores de

65 años<sup>16-17</sup>. A pesar de estar considerado como un proceso normal del envejecimiento esta pérdida dental está estrechamente ligada a factores de riesgo como son caries, patologías periodontales, patologías pulpares, traumatismos y tabaquismo<sup>18</sup>.

El edentulismo siempre está acompañado de una reducción de la calidad de vida<sup>19</sup>, debido a que el habla y la fonética y función masticatoria se ven afectados por la ausencia de las piezas dentales<sup>20</sup>, además de esto, biomecánicamente se produce un aumento en la tasa de reabsorción de las crestas residuales, lo que genera una reducción del apoyo de prótesis y la altura facial<sup>15,21</sup>. Numerosos estudios han demostrado que las prótesis híbridas son un tratamiento eficaz para rehabilitar arcos edentulos completos, con tasas de éxito que van de 94% al 100%<sup>15,22</sup>.

Las prótesis híbridas son elementos protésicos fijos compuestos por una estructura metálica comúnmente revestida con materiales y dientes acrílicos o resinosos<sup>23-24</sup>, implanto sustentados donde los implantes actúan como métodos para mejorar las deficiencias que presentan las prótesis removibles<sup>25</sup>. El uso de este tipo de prótesis está indicado en pacientes que han sufrido una alteración anatómica en los tejidos de soporte<sup>26</sup>. Se ha demostrado que tiene una mejor retención y estabilidad a comparación de otras prótesis, siendo estos dos factores importantes para determinar la satisfacción del paciente promoviendo una mejora en el estilo de vida<sup>26-27</sup>.

### Estructuras Internas de las Prótesis Híbridas

Las estructuras internas de estas prótesis comúnmente metálicas se emplean para proveer de rigidez, reduciendo las probabilidades de una fractura en la misma<sup>3</sup>. La literatura informa que la rigidez de estas estructuras internas es requisito fundamental para la osteointegración de los implantes dentales de carga inmediata y evitar una reabsorción ósea a largo plazo<sup>4,28</sup>. Las aleaciones metálicas permiten su fabricación incluso si el espacio prostodóntico es limitado, pese a esto su fabricación conlleva un tiempo extenso y un costo elevado sumado al posible desarrollo de hipersensibilidad<sup>10</sup>, por este motivo, están surgiendo posibles sustitutos de estas aleaciones metálicas, siendo uno de ellos la fibra de carbono<sup>4</sup>.

### Fibra de Carbono en Prótesis Híbridas

Las estructuras internas elaboradas con fibra de carbono pueden distribuir cargas de manera adecuada hacia los implantes evitando un aumento en la actividad de reabsorción ósea<sup>9</sup>, los filamentos de carbono químicamente puro que posee el material en su composición tienen un diámetro entre 5 - 10  $\mu$  m y proporcionan al material alta rigidez, bajo peso estructural y una óptima resistencia a la fatiga, la matriz polimérica que une a estos filamentos le

da la característica de ser un material resistente a la fluencia, buena conductividad eléctrica y compatibilidad biológica<sup>4,13</sup>. La fibra de carbono no es un material isotrópico, disminuyendo o aumentando sus características dependiendo de la disposición de los filamentos de carbono en la matriz polimérica<sup>14</sup>.

Siendo la fibra de carbono un material anisotrópico, la disposición de los filamentos de carbono alterará sus propiedades físico mecánicas, ya que empleando filamentos multidireccionales se puede disminuir la anisotropía dado que los filamentos ocuparan dos planos espaciales, por otra parte, el emplear fibra de carbono compuesta por filamentos unidireccionales en la elaboración de arcos protésicos se adaptará de mejor manera a la anatomía del arco edentulo<sup>14</sup>.

Debido a que los filamentos unidireccionales consiguen ocupar únicamente un plano espacial, al emplear capas de filamentos de carbono unidireccionales superpuestos uno sobre otro y disminuyendo el espacio de matriz polimérica entre ellos se puede obtener una estructura protésica con un rendimiento mecánico extremadamente alto<sup>4</sup>.

La disposición de los filamentos de carbono deben ocupar la mayor cantidad de planos posibles con el fin de proveer de la característica isotrópica al material, para lo cual precisa el uso de filamentos de carbono multidireccionales, esto con objetivo de proveer de características óptimas a la estructura protésica<sup>29</sup>.

El uso de filamentos de carbono unidireccionales con refuerzo de PMMA (polimetilmetacrilato) brinda al material de mayor resistencia, ya que estructuras internas de prótesis híbridas elaboradas con filamentos de carbono unidireccional con un refuerzo de CGFP (grafito) presentan un alto índice de fracturas en los pilares distales<sup>30</sup>.

## DISCUSIÓN

El emplear filamentos multidireccionales disminuye el comportamiento anisotrópico de la fibra de carbono aumentando así sus características por encima de la fibra de carbono estructurada con filamentos unidireccionales<sup>14,29-30</sup>. Así mismo se ha determinado que emplear filamentos unidireccionales en el material, ocasiona una disminución en las características de las estructuras protésicas, lo que puede resultar en una fractura de las estructuras, una carente disipación térmica y una transferencia de estrés inadecuada sobre los implantes<sup>30</sup>.

Estudios previos han determinado que disminuir el espacio de matriz polimérica en la fibra de carbono estructurada con filamentos de carbono unidireccional superpuestos uno sobre el otro, disminuye la anisotropía del

material, sin embargo las características físico mecánicas no llegan a ser semejantes a las de la fibra de carbono estructurada por filamentos multidireccionales, esto debido a que los filamentos unidireccionales no pueden ocupar los tres planos espaciales, sagital, frontal y transversal<sup>4</sup>.

Una de las limitaciones encontradas en la ejecución del estudio, constituyó la poca literatura existente sobre el tema, los cuatro estudios existentes refieren evaluaciones del material en determinadas condiciones limitándolo, de esta forma los resultados y por ende la comparación con materiales existentes de forma tradicional para este fin. Hace falta por tanto que nuevas investigaciones se ejecuten considerando la variabilidad del material existente, sus aplicaciones y modificaciones existentes, investigaciones que aborden tanto a través de pruebas mecánicas su desempeño como a través de testes biológicos, como pruebas microbiológicas, una gran labor espera a los investigadores para poder profundizar en el tema.

El uso de fibra de carbono en la confección estructuras protésicas, brinda características como una alta rigidez, bajo peso, adecuado módulo de elasticidad, buena biocompatibilidad, adecuada distribución del estrés y disipación térmica (Skirbutis, Dzingut, Masili nait, Šulcait, & Žilinskas, 2018; Smith, 2018). Pese a esto, dichas características se ven alteradas debido a la disposición de los filamentos de carbono en la matriz polimérica del material (Pesce et al., 2019), por lo que se sugiere emplear fibra de carbono estructurada con filamentos multidireccionales<sup>14,29-30</sup>.

## CONCLUSIÓN

La revisión de literatura ejecutada nos lleva a decir que la fibra de carbono con filamentos multidireccionales presenta mejores características mecánicas que la fibra de carbono con filamentos unidireccionales.

## REFERENCIAS

- Gupta A, Felton DA, Jemt T, Koka S. Rehabilitation of edentulism and mortality: a systematic review. *J Prosthodont.* 2019;28(5):526-35.
- Lauritano D, Moreo G, Carinci F, Borgia R, Lucchese A, Contaldo M, et al. Aging and oral care: an observational study of characteristics and prevalence of oral diseases in an Italian cohort. *Int J Environ Res Public Health.* 2019;16(19):3763.
- Menini M, Pesce P, Bevilacqua M, Pera F, Tealdo T, Barberis F, et al. Effect of framework in an implant-supported full-arch fixed prosthesis: 3D finite element analysis. *Int J Prosthodont.* 2015;28(6):627-30.
- Menini M, Pesce P, Pera F, Barberis F, Lagazzo A, Bertola L, et al. Biological and mechanical characterization of carbon fiber frameworks for dental implant applications. *Mater Sci Eng C.* 2017;70(Pt 1):646-55.
- Amaral CF, Gomes RS, Garcia RCMR, Cury AADB. Stress distribution of single-implant-retained overdenture reinforced with a framework: a finite element analysis study. *J Prosthet Dent.* 2018;119(5):791-6.
- Tiozzi R, Gomes ÉA, Faria ACL, Rodrigues RCS, Ribeiro RF. Biomechanical behavior of titanium and zirconia frameworks for implant-supported full-arch fixed dental prosthesis. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2017;19(5):860-6.
- Brizuela A, Herrero-Climent M, Rios-Carrasco E, Rios-Santos JV, Pérez RA, Manero JM, et al. Influence of the elastic modulus on the osseointegration of dental implants. *Materials.* 2019;12(6):980.
- Gong N, Montes I, Nune KC, Misra RDK, Yamanaka K, Mori M, et al. Favorable modulation of osteoblast cellular activity on Zr-modified Co-Cr-Mo alloy: The significant impact of zirconium on cell-substrate interactions. *J Biomed Mater Res - Part B Appl Biomater.* 2020;108(4):1518-26.
- Rahmitasari F, Ishida Y, Kurahashi K, Matsuda T, Watanabe M, Ichikawa T. PEEK with reinforced materials and modifications for dental implant applications. *Dent J.* 2017;5(4):35.
- Cekic-Nagas I, Egilmez F, Ergun G, Vallittu PK, Lassila LVJ. Load-bearing capacity of novel resin-based fixed dental prosthesis materials. *Dent Mater J.* 2018;37(1):49-58.
- Ouzer A. The Evolution and fabrication of implant-supported full-arch hybrid prostheses. from conventional casted metal to an all-ceramic zirconia. *N Y State Dent J.* 2015;81(6):44-9.
- Rosner GA, Fonacier LS. Hypersensitivity to biomedical implants: prevention and diagnosis. *Allergy Asthma Proc.* 2017;38(3):177-83.
- Smith M. New developments in carbon fiber. *Reinf Plast.* 2018;62(5):266-9.
- Pesce P, Lagazzo A, Barberis F, Repetto L, Pera F, Baldi D, et al. Mechanical characterisation of multi vs. uni-directional carbon fiber frameworks for dental implant applications. *Mater Sci Eng C.* 2019;102:186-91.
- El-Wegoud MA, Fayyad A, Kaddah A, Nabhan A. Bar versus ball attachments for implant-supported overdentures in complete edentulism: a systematic review. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2018;20(2):243-50.
- Olofsson H, Ulander EL, Gustafson Y, Hörnsten C. Association between socioeconomic and health factors and edentulism in people aged 65 and older - a population-based survey. *Scand J Public Health.* 2018;46(7):690-8.
- Lee DJ, Saponaro PC. Management of edentulous patients. *Dent Clin North Am.* 2019;63(2):249-61.
- Silva Junior MF, Batista MJ, da Luz Rosário de Sousa M. Risk factors for tooth loss in adults: a population-based prospective cohort study. *PLoS One.* 2019;14(7):e0219240.
- Schuster A, Pastorino D, Marcello-Machado R, Faot F. Influence of age and time since edentulism on masticatory function and quality of life in implant-retained mandibular overdenture wearers: 1-year results from a paired clinical study. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2019;34(6):1466-74.
- Ali Z, Baker SR, Shahrabaf S, Martin N, Vettore MV. Oral health-related quality of life after prosthodontic treatment for patients with partial edentulism: a systematic review and meta-analysis. *J Prosthet Dent.* 2019;121(1):59-68.e3.

21. Shah K, Yilmaz B, McGlumphy E. Fabrication of a mandibular implant-supported overdenture with a new attachment system: a review of current attachment systems. *Int J Prosthodont.* 2017;30(3):245-7.
22. Zhong J, Guazzato M, Chen J, Zhang Z, Sun G, Huo X, et al. Effect of different implant configurations on biomechanical behavior of full-arch implant-supported mandibular monolithic zirconia fixed prostheses. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2020;102:103490.
23. López CS, Saka CH, Rada G, Valenzuela DD. Impact of fixed implant supported prostheses in edentulous patients: protocol for a systematic review. *BMJ Open.* 2016;6(2):e009288.
24. Riemann M, Wachtel H, Beuer F, Bolz W, Schuh P, Niedermaier R, et al. Biologic and technical complications of implant-supported immediately loaded fixed full-arch prostheses: an evaluation of up to 6 years. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2019;34(6):1482-92.
25. Gibreel MF, Khalifa A, Said MM, Mahanna F, El-Amier N, Närhi TO, et al. Biomechanical aspects of reinforced implant overdentures: A systematic review. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2019;91:202-11.
26. Laverty DP, Green D, Marrison D, Addy L, Thomas MBM. Implant retention systems for implant-retained overdentures. *Br Dent J.* 2017;222(5):347-59.
27. Kasani R, Rama Sai Attili BK, Dommeti VK, Merdji A, Biswas JK, Roy S. Stress distribution of overdenture using odd number implants - a finite element study. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2019;98:369-82.
28. Mezzari L, Primo B, Bavaresco C, Caminha R, Rivaldo E. Rehabilitation of the edentulous mandible with an immediately loaded full-arch fixed prosthesis supported by three implants: a 5-year retrospective analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2019;34(3):719-25.
29. Pera F, Pesce P, Solimano F, Tealdo T, Pera P, Menini M. Carbon fibre versus metal framework in full-arch immediate loading rehabilitations of the maxilla - a cohort clinical study. *J Oral Rehabil.* 2017;44(5):392-7.
30. Castorina G. Carbon-fiber framework for full-arch implant-supported fixed dental prostheses supporting resin-based composite and lithium disilicate ceramic crowns: case report and description of features. *Int J Periodont Rest Dent.* 2019;39(2):175-84.