

Fecha de presentación del Informe: Día Mes Año

1. Datos generales del Proyecto

Código del proyecto: 1846			
Título del proyecto: Elaboración y caracterización biomecánica de pilares provisionales anatómicos mediante un tipo de prototipeado con ácido poliláctico.			
Facultad o Instituto Académico: Salud			
Departamento o Escuela: Escuela de Odontología			
Grupo (s) de investigación: Biomateriales dentales			
Entidades:			
Palabras claves: Pilares provisionales, impresión 3D, Implantología, Rehabilitación oral			
Investigadores ¹	Nombre	Tiempo asignado	Tiempo dedicado
Investigador Principal	Martha Lucia Rodríguez Paz	2 H/S	2 H/semanales
Coinvestigadores	Carlos Humberto Valencia Llanos	2 H/S	2 H/semanales
Otros participantes	Maria Alejandra Barragán (Estudiante)	4 Horas/S	4 H/semanales
	Isabella Mosquera (Estudiante)	4 Horas/S	4 H/semanales
	Carlos Alberto Viveros (Estudiante)	4 Horas/S	4 H/semanales

2. Resumen ejecutivo:

Se espera que describa el proyecto, planteamiento del problema, objetivos, metodología, principales resultados obtenidos y las conclusiones. La extensión debe ser de máximo de 500 palabras (en español y en inglés).

¹ Todas las personas relacionadas en el informe y que participen en el proyecto deben haber suscrito el acta de propiedad intelectual de acuerdo con los formatos establecidos.

RESUMEN:

Introducción: El manejo de pacientes parcialmente edéntulos con implantes dentales es una opción ideal actualmente pero está restringida debido a su alto costo. Para realizar una restauración definitiva se necesita de varios aditamentos, uno de ellos son los pilares provisionales, existen en el mercado varias casas comerciales que los ofrecen de diferentes materiales, pero todos con un elevado costo. El objetivo de esta investigación fue desarrollar y caracterizar pilares provisionales anatómicos fabricados en impresión 3D con ácido poliláctico y resina fotopolimerizable. **Materiales y métodos:** Se diseñaron pilares anatómicos temporales y se obtuvieron por impresión 3D en PLA y Resina fotopolimerica, estos fueron sometidos a pruebas de biocompatibilidad, caracterización biomecánica y pruebas de adhesión. **Resultados:** Se logró realizar el diseño de los pilares y la obtención de los mismos por técnica de impresión 3D, fueron biocompatibles ambos materiales según la prueba de artemia salina, aunque mostraron un menor rendimiento en las pruebas de compresión y flexión respecto a los pilares controles (PEEK), los pilares de resina fotopolimerica demostraron un valor de mas de el doble para las pruebas de adhesión con respecto a sus controles. Conclusiones: Es posible el diseño y obtención de pilares anatómicos temporales por medio de impresión 3D

Palabras clave: Pilar provisional, PLA, Resina fotopolimérica, Implantes dentales, Temporalización.

ABSTRACT:

Introduction: The management of partially edentulous patients with dental implants is currently an ideal option but it is restricted due to its high cost. To carry out a definitive restoration, several abutments are needed, one of them is the provisional abutment, there are several commercial houses on the market that offer them in different materials, but all with a high cost. The objective of this research was to develop and characterize anatomical provisional abutments made in 3D printing with polylactic acid and light-curing resin. **Materials and methods:** Temporary anatomical abutments were designed and obtained by 3D printing in PLA and photopolymeric resin, these were subjected to biocompatibility tests, biomechanical characterization and adhesion tests. **Results:** It was possible to carry out the design of the abutments and obtain them by 3D printing technique, both materials were biocompatible according to the brine shrimp test, although they showed a lower performance in the compression and flexion tests compared to the control abutments (PEEK), the photopolymeric resin abutments demonstrated a value of more than double for the adhesion tests with respect to their controls. **Conclusions:** It is possible to design and obtain temporary anatomical abutments by 3D printing.

Key words: Provisional abutment, PLA, Photopolymeric resin, Dental implants, Temporalization.

3. Síntesis del proyecto:

En una extensión máxima de 5 páginas, se debe mostrar el cumplimiento de los objetivos del proyecto y debe incluir:

3.1 Tema: Desarrollo de pilares provisionales para rehabilitación implantológica

3.2 Objetivos:

Objetivo general: Desarrollar y caracterizar pilares provisionales anatómicos fabricados en impresión 3D con ácido poliláctico y resina fotopolimerizable.

Objetivos específicos:

- 1) Desarrollar pilares para temporalización por medio de prototipeado rápido
- 2) Caracterizar biomecánicamente los pilares para temporización

3.3 Metodología:

En este estudio se elaboraron y caracterizaron biomecánicamente pilares temporales para implantes dentales a partir de PLA y resina fotopolimérica; adicionalmente se realizaron estudios de biocompatibilidad mediante el ensayo con artemia salina. Como control se utilizaron pilares comerciales elaborados en PEEK (MIS, Galilea, Israel). El trabajo se realizó en las siguientes fases:

3.3.1 Obtención de los dispositivos: Haciendo uso de dos programas de modelado 3D, se realizaron dos diseños de pilares anatómicos temporales, en el programa Solidworks® (2013, Dassault Systemes, Massachusetts, Estados Unidos), en la línea de Diseño e Ingeniería de Tecnoparque (Servicio Nacional de Aprendizaje, SENA, Cali, Colombia) y en OnShape® (Cambridge, Estados Unidos), en el Laboratorio de fabricación (FabLab) de la Universidad Autónoma de Occidente (Cali, Colombia). El primer diseño fue materializado en PLA (Verbatim, Estados Unidos), mediante impresión 3D en una impresora de deposición fundida, Ultimaker 2+ (Ultimaker, Waltham, Massachusetts, Estados Unidos) ubicada en Tecnoparque; por su parte, el segundo diseño se fabricó en resina fotopolimerizable, CLEAR FLGP04 (Formlabs, Massachusetts, Estados Unidos), haciendo uso una impresora 3D Formlabs 2+ (Formlabs, Massachusetts, Estados Unidos) con técnica de estereolitografía.

3.3.2 Pruebas de Biocompatibilidad:

En este estudio se elaboraron y caracterizaron biomecánicamente pilares temporales para implantes dentales a partir de PLA y resina fotopolimérica; adicionalmente se realizaron estudios de biocompatibilidad mediante el ensayo con artemia salina. Como control se utilizaron pilares comerciales elaborados en PEEK (MIS, Galilea, Israel). El trabajo se realizó en las siguientes fases:

Se realizaron pruebas de Biocompatibilidad de los diferentes pilares obtenidos mediante la técnica de artemia salina (*Brineshrimprlarvae*), de acuerdo con el protocolo propuesto por Meyer y demás autores (Meyer, 1982) y también utilizada por otros investigadores

como Sánchez y Neira (Sánchez, Lizberth; Neira, 2005).

Las larvas fueron obtenidas a partir de huevos de artemia salina adquiridas con un distribuidor piscícola local y los procedimientos se realizaron en el Laboratorio de Investigación odontológica de la Escuela de odontología de la Universidad del Valle (Cali, Colombia).

Diseño del experimento: Se preparó solución de agua de mar (3,8 g de sal marina sin yodo por cada 100 ml de agua destilada); continuando luego con la hidratación de 2,5 g de huevos de artemia salina en 1 litro de solución de agua de mar con aireación y temperatura de 37°C e iluminación con una lámpara de 110V y 80W durante 24 horas en un frasco beaker. Se trasladaron los huevos hidratados a una caja de incubación en la solución por 48 horas hasta obtener la eclosión de las larvas; Se depositaron en una caja de cultivos celulares de 12 pozos, 10 artemias por pozo y los pilares a testar según el siguiente diseño:

A1 resina Pilar	A2 Pilar PLA	A3 Pilar PEEK	A4 Control artemia
B1 resina Pilar	B2 Pilar PLA	B3 Pilar PEEK	B4 Control artemia
C1 resina Pilar	C2 Pilar PLA	C3 Pilar PEEK	C4 Control artemia

El experimento se realizó por triplicado, el control positivo fueron 10 artemias por pozo sin ningún material y no se utilizó el control negativo.

3.3.3 Caracterización biomecánica de los pilares:

3.3.3.1 Evaluación de las propiedades a compresión y flexión: Se llevaron a cabo pruebas de compresión y flexión únicamente a los pilares temporales de resina fotopolimérica y a los pilares controles en PEEK, debido a que no se obtuvo buena definición de impresión en los pilares fabricados en PLA.

3.3.3.2 Pruebas de adhesión: Utilizando una impresión en silicona pesada (Spedex, Coltene, Altstätten, Suiza) de un diente premolar superior se elaboraron provisionales para 12 pilares (6 pilares experimentales y 6 pilares controles) en PMMA (Veracryl, Antioquia, Colombia) de forma similar a las que se fabrican en procedimientos odontológicos. Se dejaron polimerizar in situ a una temperatura de 24 °C, durante dos semanas.

3.3.4 Comparación de resultados: Por medio de las curvas esfuerzo-deformación se determinaron y compararon las propiedades mecánicas a compresión y flexión de los pilares temporales de resina fotopolimérica y los pilares controles en PEEK.

Al igual que en los ensayos mecánicos, la resistencia a la adhesión se determinó en la

maquina universal de ensayos, descrita anteriormente; aquí, los pilares con sus respectivos provisionales de PMMA fueron ubicados y sujetos por la mordaza inferior desde el análogo en una posición vertical. Por medio de la mordaza superior del equipo, la cual sujetó la muestra desde el provisional, se aplicó una fuerza de tracción hasta el fallo. Se repitió este proceso 6 veces con los pilares experimentales y 6 veces con los pilares del grupo control.

Para contrastar los resultados se planteó como hipótesis nula que, los pilares provisionales fabricados con resina polimérica Clear FLGPCL04, por medio de impresión 3D, tienen propiedades mecánicas a compresión, flexión y adhesión al PMMA, similares a los pilares fabricados en PEEK

Las pruebas fueron realizadas en el laboratorio de Ingeniería de Materiales de la Universidad Javeriana en Cali utilizando una Máquina Universal de ensayos Instron 3366 (Instron, Norwood, Massachusetts, Estados Unidos).

Con el fin de evaluar las propiedades mecánicas a compresión de los pilares, estos se ajustaron con su tornillo pasante de titanio a un análogo de implante standard MIS® (MIS, Galilea, Israel.) a un torque de 15 newtons; el análogo y el pilar fueron ubicados en la parte inferior del equipo Instron y sujetado con la mordaza. La ubicación del análogo y el pilar fue siguiendo la axialidad de la aplicación a la carga, para luego aplicar fuerzas de compresión por medio de un plato a una velocidad de ensayo 0.5 mm/min hasta su falla. Se repitió este proceso 6 veces con los pilares experimentales y 6 veces con los pilares del grupo control.

Para evaluar las propiedades mecánicas a flexión, se sujetó la muestra en un extremo y en el otro se aplicó una fuerza de tipo cantiliver hasta que se produjo su falla del pilar, el ensayo se ejecutó a una velocidad de 1 mm/min. Se repitió este proceso 6 veces con los pilares experimentales y 6 veces con los pilares del grupo control.

.

3.4 Resultados obtenidos

3.4.1 Obtención de los dispositivos:

Mediante impresión 3D no fue posible obtener pilares provisionales en PLA (Figura No.1) con buena definición

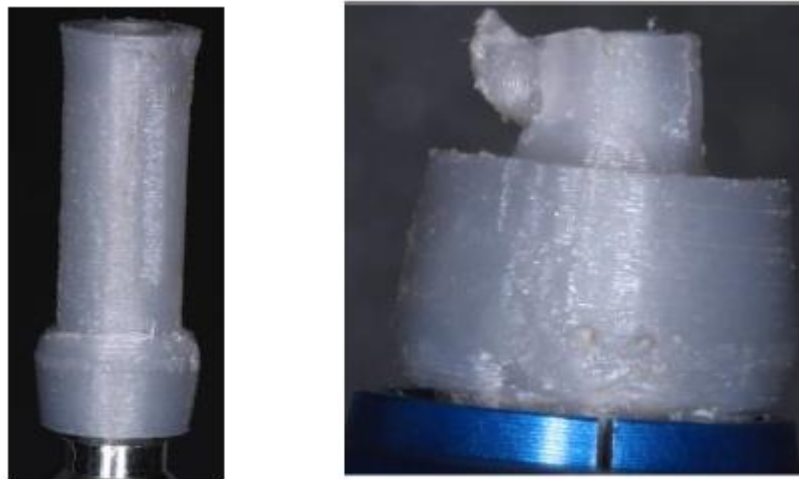


Figura No. 1. Pilar impreso en PLA

Los principales problemas se presentaron en la elaboración del hexágono y en el espacio interno; En contraste, al utilizar material de resina fotopolimérica y mediante la impresión 3D por medio de estereolitografía fue posible lograr la impresión de pilares con alto detalle (Figura No.2).

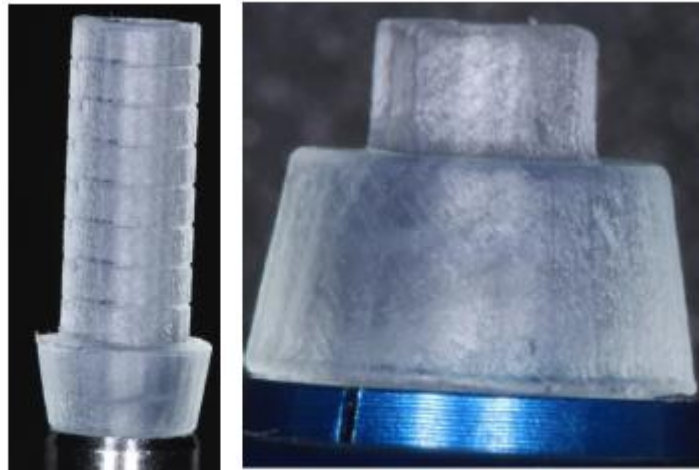


Figura No. 2. Pilar impreso en resina fotopolimérica

Comparación de 3 pilares elaborados en PLA, resina polimérica y PEEK (Figura No.3)

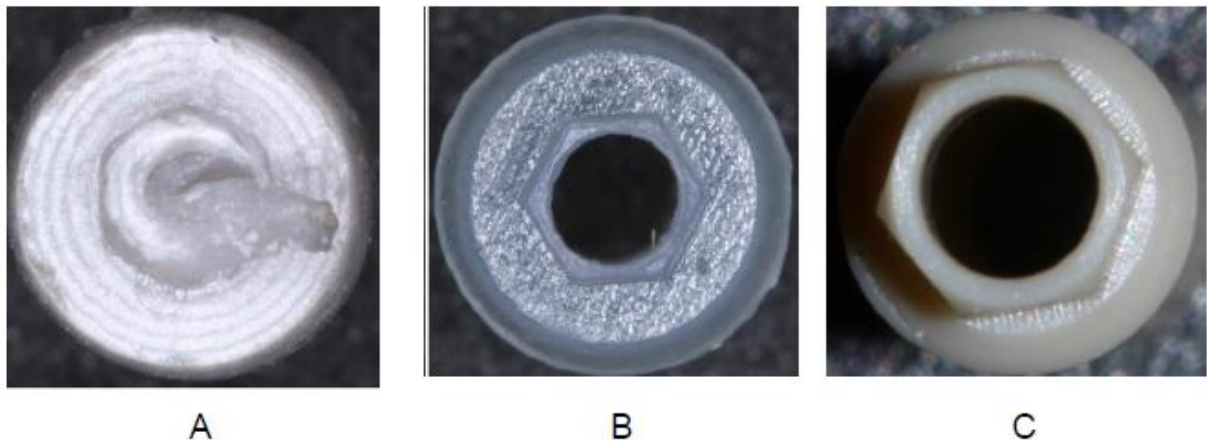


Figura No. 3. A. Hexágono pilar elaborado en PLA. B. Hexágono pilar elaborado en Resina fotopolimérica. C. Hexágono pilar elaborado en PEEK.

3.4.2 Pruebas de Biocompatibilidad

La figura No.4 muestra los pilares provisionales en PEEK, PLA y resina fotopolimérica expuestas a las larvas (Neutilius).

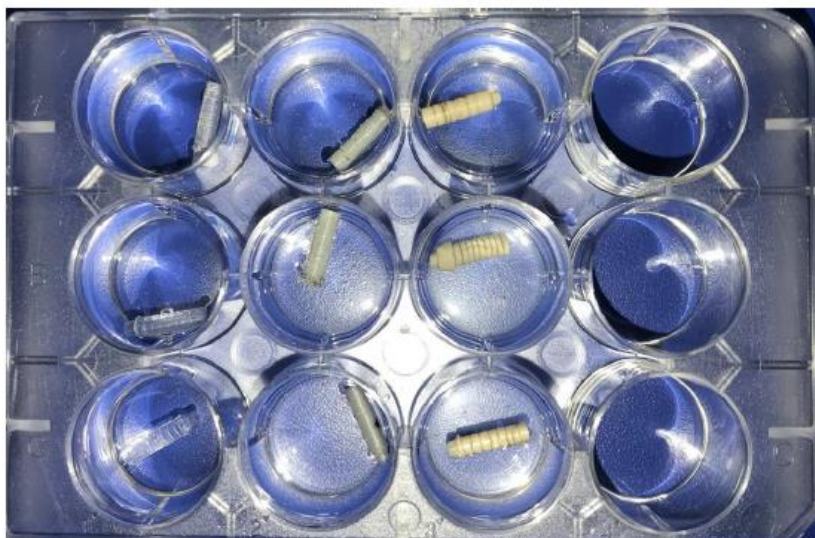


Figura 4. Pilares provisionales en PEEK, PLA y Resina fotopolimérica
expuestas a las larvas

Las figuras 5, 6 y 7 corresponden a las larvas expuestas a los pilares provisionales después 72 de horas, tomadas con microscopio estereoscópico Thomas Scientific®

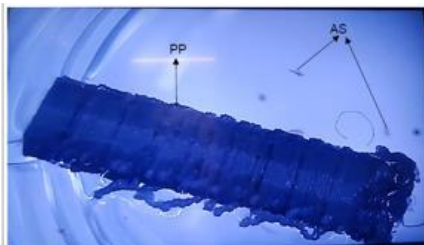


Figura 5. Exposición al pilar provisional en PLA
después 72 de horas.
AS: Artemia salina. PP: Pilar PLA. 1x.

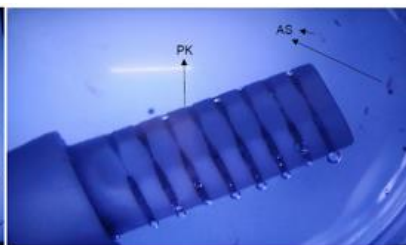


Figura 6. Exposición al pilar provisional en PEEK
después 72 de horas.
AS: Artemia salina. PK: Pilar PLA. 1x

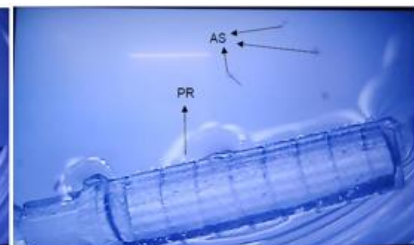


Figura 7. Exposición al pilar provisional en resina
después 72 de horas.
AS: Artemia salina. PR: Pilar resina. 1x

Las siguientes 3 tablas muestran los resultados de biocompatibilidad con artemia salina después de una exposición de 72 horas con los diferentes pilares.

Tabla No. 1

Día 1 Larvas vivas							
A1 Pilar resina	10	A2 Pilar PLA	10	A3 Pilar PEEK	10	A4 Control artemia	10
B1 Pilar resina	10	B2 Pilar PLA	10	B3 Pilar PEEK	10	B4 Control artemia	10
C1 Pilar resina	10	C2 Pilar PLA	10	C3 Pilar PEEK	10	C4 Control artemia	10

Tabla No. 2

Día 2 Larvas vivas							
A1 Pilar resina	10	A2 Pilar PLA	10	A3 Pilar PEEK	10	A4 Control artemia	10
B1 Pilar resina	10	B2 Pilar PLA	10	B3 Pilar PEEK	10	B4 Control artemia	10
C1 Pilar resina	10	C2 Pilar PLA	10	C3 Pilar PEEK	10	C4 Control artemia	10

Tabla No. 3

Día 3 Larvas vivas							
A1 Pilar resina	10	A2 Pilar PLA	10	A3 Pilar PEEK	10	A4 Control artemia	10
B1 Pilar resina	10	B2 Pilar PLA	10	B3 Pilar PEEK	10	B4 Control artemia	10
C1 Pilar resina	10	C2 Pilar PLA	10	C3 Pilar PEEK	10	C4 Control artemia	10

La biocompatibilidad/Toxicidad se determinó mediante la fórmula de mortalidad para artemia salina :

$$\% \text{ Mortality} = \frac{\text{Number of dead } A. \text{ salina}}{\text{Initial number of } A. \text{ salina}} \times 100$$

La biocompatibilidad /toxicidad de los biomateriales con la prueba de artemia se determinó mediante la relación entre larvas vivas y muertas de acuerdo a la fórmula mencionada, (Demarchi et al., 2020) :

Mortalidad día 1: 0%

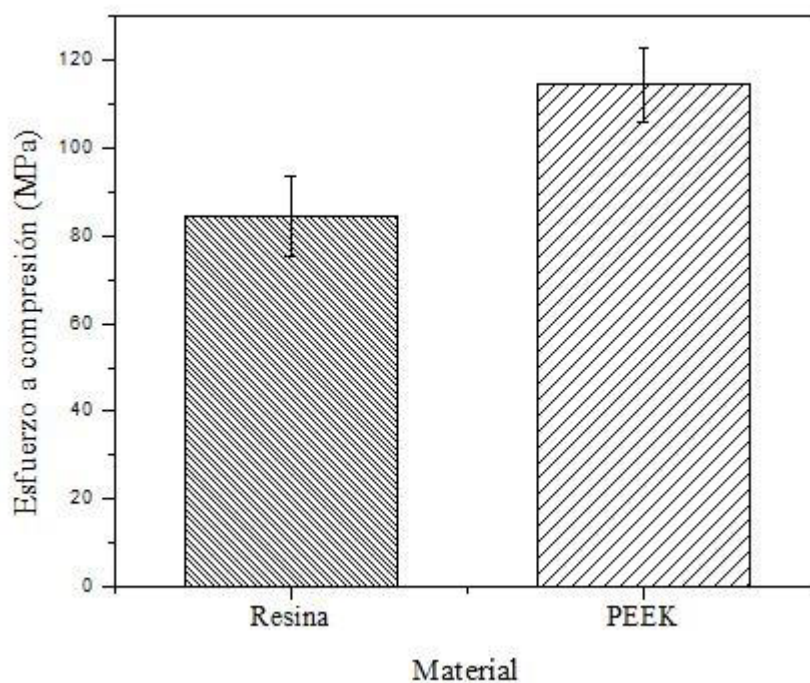
Mortalidad día 2: 0%

Mortalidad día 3: 0%

3.4.3 Pruebas Biomecánicas

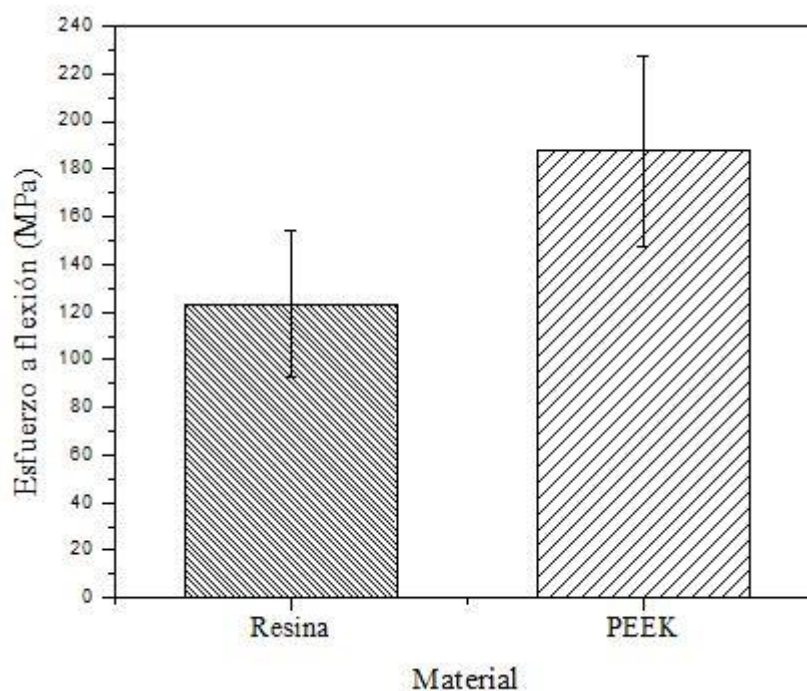
3.4.3.1 Prueba de Compresión y Flexión

3.4.3.1.1 Prueba de Compresión



Promedio Pilares Resina: 84,50 MPa
Desviación Estándar: 8,93 MPa
Promedio Pilares PEEK: 114,41MPa
Desviación Estándar: 8,54 MPa

3.4.3.1.2 Prueba de Flexión



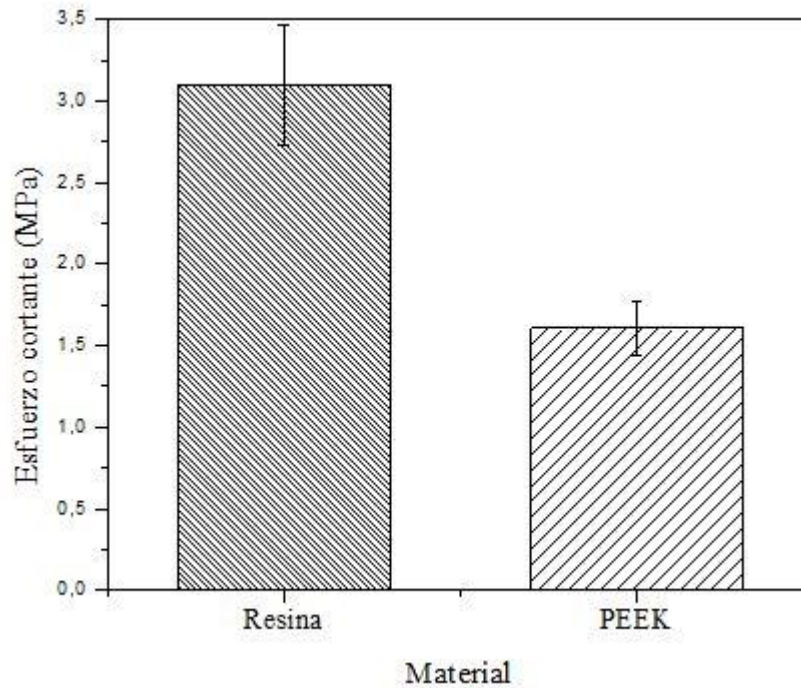
Promedio Pilares Resina: 123,09 MPa

Desviación Estándar: 30,68 MPa

Promedio Pilares PEEK: 187,55 MPa

Desviación Estándar: 39,97 MPa

3.4.3.2 Prueba de adhesión



3.8 Principales conclusiones y/o recomendaciones

Es posible utilizar programas como Onshape y SolidWorks para realizar el diseño de pilares temporales para implantes con características y proporciones adecuadas.

- No fue posible realizar la impresión de pilares temporales en PLA utilizando la impresora Multimaker 2+, por no contar con la resolución necesaria para crear pilares funcionales.
- Es viable la impresión de pilares temporales en resina fotopolimerizable Clear FLGPCL04 en la impresora Formlabs 2 con adecuadas proporciones para crear pilares anatómicos funcionales.
- Los pilares de PLA y Resina fotopolimérica mostraron ser biocompatibles según la prueba de artemia salina.
- Se evidenció que en las pruebas mecánicas de compresión y flexión, los pilares en Resina fotopolimérica obtuvieron un menor rendimiento que los pilares controles (PEEK).

- Los resultados de la prueba de adhesión de la Resina fotopolimérica al PMMA demostraron que presenta una fuerza de unión de casi el doble que los pilares controles en PEEK

Recomendaciones: Realizar estudios adicionales de caracterización biomecánica a los dientes provisionales que incluyan este tipo de pilares tipo prueba de desempeño o prueba de uso

4. Impactos actual o potencial:

Haga una descripción y/o relacione los impactos que tenga el proyecto en los diferentes ámbitos:

Académico (aportes a la docencia, aportes a la formación de recursos humanos):

En este proyecto se vincularon 3 estudiantes del posgrado de rehabilitación oral de la Universidad del valle, quienes tuvieron oportunidad de complementar competencias de investigación al participar como tesisistas.

Investigativo (divulgación de resultados): Los resultados de la investigación fueron presentados en el XXI Simposio de Investigaciones de la Facultad de Salud de la Universidad del Valle, en el año 2019 y en el VII Encuentro Nacional de Programas de Prostodoncia realizado en el Marco del Congreso Nacional de la asociación Colombiana de Prostodoncia en Marzo del 2020

Desarrollos futuros: Se espera continuar con el desarrollo del producto para en un futuro tener unos dispositivos con potencial de comercialización

Si posee información acerca de **los impactos actuales o potenciales de la investigación**, preséntela en máximo una página. Se refiere a los aportes que ofrece en el campo de investigación al que corresponde. Incluye las tecnologías y resultados de IDi que puedan transferirse a los sectores productivos y de servicios, tanto nacionales como internacionales.

Se realizó una solicitud de estudio de factibilidad de patente, se anexa certificado de la Oficina de transferencia de tecnología (OTRI) de la Vicerrectoría de Investigaciones

5. Productos:

Tabla No. 1. **Cantidad y tipo de productos pactados en el Acta de Trabajo y Compromiso y productos finalmente presentados**

TIPO DE PRODUCTOS	No. de PRODUCTOS PACTADOS				No. de PRODUCTOS PRESENTADOS			
Productos de nuevos conocimientos								
Artículo en revista ISI-SCOPUS:	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
Artículo completo publicado en revistas indexadas	A1	A2	B	C	A1	A2	B	C
			1				0	
Libros de autor que publiquen resultados de investigación								
Capítulos en libros que publican resultados de investigación								
Productos o procesos tecnológicos patentados o registrados					Se registro solicitud de estudio de factibilidad de patente ante la OTRI			
• Prototipos y patentes								
• Software								
Productos o procesos tecnológicos usualmente no patentables o protegidos por secreto industrial								
Normas basadas en resultados de investigación								
Formación de recursos humanos	No. de estudiantes vinculados		No. de tesis		No. De estudiantes Vinculados		No. De tesis	
Estudiantes de pregrado								
Semillero de Investigación								
Estudiantes de maestría/ Especialización odontológica					3		1	
Observación	A la investigación se vincularon 3 estudiantes, los 3 culminaron su proceso pero solo 2 aparecen en el acta de sustentación debido a que una se graduó antes							

TIPO DE PRODUCTOS	No. de PRODUCTOS PACTADOS		No. de PRODUCTOS PRESENTADOS	
Estudiantes de doctorado				
Joven investigador				
Productos de divulgación				
Publicaciones en revistas no indexadas				
Ponencias presentadas en eventos (congresos, seminarios, coloquios, foros)	No. de ponencias nacionales	No. de ponencias internacionales	No. de ponencias nacionales	No. de ponencias internacionales
Propuesta de investigación	1		2	
Propuestas presentadas en convocatorias externas para búsqueda de financiación.				

Tabla No. 2. Detalle de productos

Para cada uno de los productos obtenidos y relacionados en la tabla anterior, indique la información solicitada para cada uno, anexando copia de las respectivas constancias. Como anexo a este formato encontrará el instructivo para instructivo para la revisión de informes finales y productos

Tipo de producto:	Solicitud de patente entregado a la OTRI
Nombre General:	Formato de Notificación de Invención No. NI-025-20-FSOD-01 OTRI
Nombre Particular:	"Pilares universales anatómicos provisionales impresos en resina para rehabilitación implantológica"
Ciudad y fechas:	Cali, Julio 17/2020
Participantes:	Carlos Humberto Valencia Llano, Martha Lucia Rodríguez, María Alejandra Barragán Paredes, Isabella Mosquera Victoria, Carlos Alberto Viveros Rebolledo, Mario Fernando Muñoz Vélez .

Sitio de información:	Vicerrectoría de Investigaciones / OTRI.
Formas organizativas:	Grupo Biomateriales dentales

Tipo de producto:	Socialización de Resultados en evento de Investigación Regional
Nombre General:	XX Simposio de Investigaciones Facultad de Salud. Universidad del Valle
Nombre Particular:	Elaboración de pilares provisionales anatómicos mediante prototipeado con ácido poliláctico
Ciudad y fechas:	Cali, 23 de Octubre de 2018
Participantes:	Carlos Humberto Valencia Llano, Martha Lucía Rodríguez, María Alejandra Barragán Paredes, Isabella Mosquera Victoria, Carlos Alberto Viveros Rebolledo
Sitio de información:	Vicedecanatura de Investigaciones, Facultad de salud
Formas organizativas:	Grupo Biomateriales dentales

Tipo de producto:	Socialización de Resultados en evento de Investigación Nacional
Nombre General:	VII Encuentro de Investigación de posgrado de Prostodoncia/ Congreso Nacional Enrique Echeverry
Nombre Particular:	Elaboración de pilares provisionales anatómicos mediante prototipeado con ácido poliláctico
Ciudad y fechas:	Bogotá Marzo 6 de 2020
Participantes:	Carlos Humberto Valencia Llano, Martha Lucía Rodríguez P, María Alejandra Barragán Paredes, Isabella Mosquera Victoria, Carlos Alberto Viveros Rebolledo
Sitio de información:	Asociación Colombiana de Prostodoncia . https://acprostodoncia.org.co/congreso-nacional-enrique-echeverri-2020/



Formas organizativas:	Grupo Biomateriales dentales
Tipo de producto:	Sustentación trabajo de Investigación de posgrado odontológico
Nombre General:	Sustentación Especialización en rehabilitación oral
Nombre Particular:	“Elaboración de pilares anatómicos en impresora 3d elaborados en ácido poliláctico y resina polimérica “
Ciudad y fechas:	Cali, Mayo 22 del 2020
Participantes:	Isabella Mosquera Victoria, Carlos Alberto Viveros Rebolledo (Estudiantes Carlos Humberto Valencia Llano, Martha Lucia Rodríguez P.(Directores)
Sitio de información:	Escuela de Odontología , Oficina Investigaciones Odontología UV invodont@gmail.com
Formas organizativas:	Grupo Biomateriales dentales

La presente versión del informe contiene las observaciones de los evaluadores:

Firma del investigador principal

VoBo. Vicedecano de Investigaciones

Por favor presente su informe impreso y en formato digital en hoja tamaño carta, letra arial 11, con espacios de 1 1/2