



UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS, MECÁNICAS, SUPERFICIALES
Y COMPORTAMIENTO ADHESIVO DE ENDOPOSTES GENÉRICOS**

Trabajo final de investigación aplicada sometido a la consideración de la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Odontología para optar al grado y título de Maestría Profesional en Odontología con énfasis en Prostodoncia

MARIANA ALVARADO ARCE

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica
2025

“Este trabajo final de investigación aplicada fue aceptado por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Odontología de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Maestría Profesional en Odontología con énfasis en Prostodoncia.”



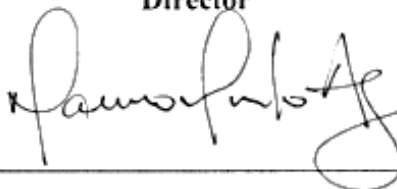
PhD. Tatiana Ramírez Mora

Representante de la Decana del Sistema de Estudios de Posgrado



PhD. Daniel Chavarría Bolaños

Director



MSc. Mauricio Montero Aguilar

Asesor



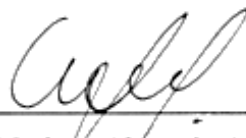
PhD. Fabián Murillo Gómez

Asesor



MSc. Tatiana Vargas Koudriavtsev

Representante del Director del Programa de Posgrado en Odontología



Mariana Alvarado Arce

Sustentante



SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO
TRABAJO FINAL DE INVESTIGACIÓN APLICADA
Acta 3136-2025

El día 18 de junio de 2025, **Mariana Alvarado Arce**, carné universitario **B20249**; estudiante de la Maestría Profesional en Odontología con énfasis en Prostodoncia

Mención Honorífica Aprobó Reprobó

su Trabajo Final de Investigación Aplicada con el proyecto titulado: **“Características fisicoquímicas, mecánicas, superficiales y comportamiento adhesivo de endopostes genéricos”**

TRIBUNAL EXAMINADOR

Nombre	Firma	No. Cédula
PhD. Tatiana Ramírez Mora Representante de la Decanatura Sistema de Estudios de Posgrado		109040875
PhD. Daniel Chavarría Bolaños Director		1-1142-0889
Mag. Mauricio Montero Aguilar Asesor		109900997
PhD. Fabián Murillo Gómez Asesor		1-1307-0372
Dra. Tatiana Vargas Koudriavtsev Representante del Director del Programa de Posgrado		1-1210-0400
POSTULANTE Mariana Alvarado Arce Estudiante		1-1546-0049

Observaciones:

Nota: En cada caso, firmarán el acta solamente los responsables de la actividad descrita.



Resumen

Objetivo general: Comparar las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de endopostes genéricos, con endopostes comerciales.

Metodología: Se utilizaron 6 tipos de postes de fibra de vidrio: Parapost, Coltene (PP); Nexpost, MetaBiomed (NP); Exacto (E) y Reforpost (RP), Angelus, disponibles en depósitos comerciales y, 2 postes genéricos adquiridos en una plataforma digital. De estos, se utilizaron 150 postes, y se distribuyeron según cada prueba: análisis térmico con calorimetría diferencial de barrido (DSC) y análisis termogravimétrico (TGA); composición química con espectroscopía infrarroja (FTIR), espectroscopía de Raman y espectroscopía de energía dispersa (EDS). El análisis de micro morfología superficial se realizó con microscopía electrónica de barrido (SEM) en la vista lateral y transversal. Además, se analizó la apariencia radiográfica y la capacidad de transmitancia de luz de cada poste. Por último, se realizó la prueba de 3 puntos de flexión, para determinar la resistencia a la flexión y deformación máxima.

Resultados: En el TGA, el mayor % de pérdida de peso de los postes fue en el rango de 400 – 450 ° C, existe diferencia en % de pérdida de peso máximo en los grupos. En DSC, los postes no son termosensibles. El EDS mostró que sí existen diferencias en % de elementos, PP presenta flúor y bario; RP, NP y E presentan zirconio; todos presentan silicio en distintos porcentajes. En Raman, tanto en fibra y matriz presentan bandas similares, con más o menos intensidad, PP es el más amorfo. Dentro del SEM, en vista lateral, existen diferencias en continuidad de fibras; en vista transversal hay diferencias en diámetro, siendo NP las más grandes; y dentro de la densidad de fibras, la mayor corresponde a PP. Según la radioopacidad, PP y E son comparables, los genéricos son menos radioopacos. La transmitancia de luz, es nula en RP, mínima en TB, y comparables en los demás. Existen diferencias significativas en la resistencia a la flexión con fuerza máxima de los postes y porcentaje de deformación total entre comerciales y genéricos.

Conclusión: Existen claras diferencias en las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de endopostes genéricos, con endopostes comerciales.

1. INTRODUCCIÓN

Una pieza dental tratada endodónticamente no es igual a una pieza dental vital, por varias razones estudiadas previamente, por ejemplo, la pérdida de la estructura dental en la preparación, cambios en contenido de agua, alteración del colágeno, influencia de los irrigantes y medicamentos intra conducto, los materiales y técnicas de obturación (1), entre otras. Existe evidencia que indica que dichas piezas, por ende, tienen más probabilidad de fallos, comparadas a aquellas vitales. Por esta razón, los investigadores a lo largo de los años han intentado generar protocolos de restauración para estas piezas, sin embargo, existen distintos factores que se deben considerar, como, la forma de la restauración, la localización de la pieza en el arco y la estabilidad oclusal. Es aquí donde no se ha logrado determinar una guía inequívoca para el tipo de restauración en las piezas con tratamiento de conducto radicular.

Cuando los tratamientos radiculares son más invasivos, debido a caries, trauma o a la misma preparación de la cavidad, se puede llegar a presentar una pérdida importante de estructura dental, que entonces, se vuelve un reto todavía más grande para el clínico en cuanto a la retención y resistencia de la restauración. (2) En conclusiones de estudios pertinentes a supervivencia de piezas con tratamiento radicular, demuestran que la cantidad de estructura dental sana y la elección de restauración son los factores principales de éxito. (3)

La colocación de un endoposte es una de las opciones de tratamiento que surge, que, dicho sea de paso, ha causado gran discusión y controversia, dado que actualmente no existe evidencia certera para apoyar o rechazar el uso de los mismos, ya sea para cavidades sin paredes, restauraciones directas o indirectas. (4) El propósito de este, es solamente facilitar la retención del muñón de material restaurador; no aumenta la resistencia de la raíz.

Ahora bien, Según Fráter (2) existen autores que apoyan la idea del uso de postes en premolares con gran pérdida de estructura, y, que mejora la resistencia a la fractura de dichas piezas, algunos autores mencionan que el uso de postes sí brinda un efecto positivo en el modo de fractura; sin embargo, otros, asumen que realmente no refuerza la pieza dental. Lo que sí se sabe que presentan las premolares, es una cámara pulpar más pequeña y menos estructura, por lo que, al realizar la cavidad, se puede generar una deflexión de las cúspides en función, provocando fracturas (3) Otras piezas en las que se insta a usar postes son los incisivos maxilares, que suelen verse afectados por fuerzas oclusales, todavía más cuando han perdido altura en sus paredes de dentina. (5) (4) Existen estudios y guías, que recomiendan el uso de postes de fibra de vidrio en la zona anterior y en premolares cuando han tenido una pérdida importante de estructura dental, por ejemplo, cuando no presentan paredes coronales de dentina. (3) (6) Si los postes están

indicados, cabe destacar, que su colocación debe involucrar la menor preparación, o más bien ser colocados pasivamente para no generar más desgaste en la preparación biomecánica.

Entendiendo esto, existe una importancia y necesidad de obtener un soporte interno en casos específicos. (7) En la década de 1960 inició el uso de postes prefabricados para obtener un sistema de poste – muñón (8) Pero, un sistema poste – muñón puede remontarse al año 1728, donde Pierre Fauchard detalló la utilización de postes de metal atornillados en la raíz de las piezas dentales para la retención de prótesis (8). Claude Mouton, en el año 1746, introdujo el diseño de una corona de oro con un poste de oro implantado dentro de la raíz dental (8) A mediados del siglo XIX se popularizaron los postes de madera y los postes de porcelana. La técnica de dos pasos, donde se utiliza un poste independiente de la restauración coronal, reemplazó las técnicas anteriores(8). Esta técnica mejoró la adaptación marginal y extendió la vía de inserción de la corona (8). Otro aditamento que se creó fue la corona de Richmond en 1880, que era un poste con retenciones que incluía la corona en una sola estructura.

Por muchos años los postes con espigas coladas fueron el tratamiento de elección para las piezas endodónticamente tratadas, los cuales ofrecían un buen ajuste en el canal ya que era una fiel y directa impresión del conducto, manteniéndose en su posición gracias a una retención basada en fricción. (9) A pesar de que estos postes se utilizaron por mucho tiempo, algunas desventajas son su pérdida de retención, corrosión y necesidad de una mayor preparación. (10) Otro punto negativo es que existe una gran diferencia en propiedades físicas, principalmente en su módulo de elasticidad en comparación a la dentina. Esta diferencia sugiere que existe una inequitativa fuerza de distribución y concentración de estrés, por lo tanto, tienden a ser peligrosos, ya que pueden generar la fractura catastrófica de la raíz. (11) Además, estudios de laboratorio han demostrado que los postes metálicos resisten fuerzas laterales sin distorsionarse, lo cual transfiere el estrés a la dentina con menos soporte, causando una potencial fisura en la raíz, con su consecuente fractura. (12) Debido a esto, los fabricantes se vieron en la necesidad de buscar otras alternativas que llevaron a la introducción de sistemas de postes con fibras de carbono. (10)

Los postes de fibra se introdujeron en 1990, como postes de fibra de carbono, Composiposts, que presentaban 64% de fibras alineadas, responsables de la resistencia a la flexión, y están empacadas en una matriz de resina epóxica, que le brindan resistencia contra la compresión e interactúa con el cemento de adhesión. (10) Estos presentaban propiedades mecánicas consideradas buenas (rigidez, resistencia a la tracción, conductividad a la electricidad y una toxicidad comparativamente más baja). (13) Su módulo de elasticidad es similar al de la dentina, y distribuyen las fuerzas de estrés uniformemente a lo largo de la interfase cemento-dentina y la estructura dental remanente (14). Distintos estudios (10) evaluaron el desempeño de dichos postes retrospectiva y prospectivamente, y como resultados, se puede observar que el rango de supervivencia, es decir, piezas dentales sin indicación de extracción, se mantiene arriba del 90%.

Existen amplia gama de formas de estos postes: paralelos, cónicos, aserrados, entre otros, sin embargo, los postes de fibras de carbono son de color negro y se quedan cortos en cuanto a desempeño a nivel de estética. Es por esto que los fabricantes empezaron a instaurar otro tipo de fibras a los postes, como cuarzo y vidrio.

Los postes de fibra de vidrio, se introdujeron en el mercado como respuesta a las demandas estéticas odontológicas (15), debido a que estos postes son translúcidos y más homogéneos en color con el diente, además que mantienen las propiedades físicas de los postes de fibra de carbono (12). Naumann et al, realizó varios estudios prospectivos, de evaluación de 1 a 2 años de supervivencia en piezas con postes de fibra de vidrio, con distintas formas, paralelos o cónicos, y, el rango de fallas fue de 4 a 12%, siendo mayormente fractura del poste o pérdida de retención, ambas complicaciones restaurables, y la forma de los postes no influyó de ninguna manera el resultado. (4) En cuanto a la rigidez y la resistencia a la flexión, los estudios mencionan que el uso de un sistema más rígido, y un diámetro más pequeño de poste son ventajosos (16) otros mencionan que un módulo de Young más cercano a la dentina es deseable (12). En las pruebas de flexión en 3 puntos, en efecto, existe evidencia que los postes de fibra de vidrio son menos rígidos que los metálicos, e incluso que los de carbono, y elementos como la inmersión en agua y el termociclado puede afectar su resistencia a la flexión. (12) Por otro lado, estudios en microscopía electrónica de barrido, mencionan que las fallas en los postes ocurren en la interfase fibra – matriz, o incluso agrietamientos dentro de la misma matriz. (12)

Como se denota anteriormente, los postes de fibra de vidrio, poseen características como el diseño, material, el diámetro y densidad de fibras, que contribuyen a su desempeño clínico. Esto aplica de la misma manera que materiales diversos a nivel odontológico, como limas y brocas, que se necesitan en alto volumen y tienen un costo relativamente alto. En los últimos años se han empezado a desarrollar productos genéricos o “grises” a nivel de la industria odontológica que inicialmente se venden como una alternativa más barata, y que se desconoce su proceso de manufactura y características. (17) En setiembre del 2016, la Federación Internacional de Odontología, en su asamblea general, se refirió al tema y declaró su posición al respecto, definiendo como “mercado gris”, también llamado mercado paralelo, a un canal de comercio fuera de los ya establecidos, legal, sin embargo, con intención desconocida, no están autorizados y no están controlados por las empresas de manufactura y calidad. Un “producto gris” es aquel genérico que se vende fuera de los canales estipulados por las autoridades. Realmente estos productos no son parte del mercado negro, porque no necesariamente se hacen de forma ilegal, sino que son réplicas, distribuidas fuera de las casas comerciales encargadas de vender los productos, con selle de calidad. (18)

La industria dental está regulada por la FDA (U.S. Food and Drug Administration) la cual asegura que los productos considerados de uso médico, sigan ciertos estándares. Además, se encargan de supervisar las empresas y procesos por los que tienen que pasar dichos productos. (19) Los productos grises, se saltan

ese canal de control de calidad, y simplemente llegan a los consumidores sin saber qué tienen realmente en sus manos. Algunas de las características de estos productos que deben llamar la atención son la carencia de fecha clara de expiración, alteración del producto anunciado, falsificación franca y falta de responsabilidad legal asociada. (19) Es una realidad, hoy en día, en distintas plataformas grises, como Amazon, Ebay, entre otras, encontrar postes de fibra de vidrio.

Planteamiento del problema y justificación

La comercialización de materiales genéricos en el campo de la odontología es una situación prevalente a nivel global (20) .A diferencia de los materiales vendidos en el mercado negro o de contrabando, los materiales genéricos se venden a través medios legales, como las plataformas de compra por internet (20). Los productos genéricos presentan un componente atrayente, basándose principalmente en la reducción del costo monetario del material en comparación a los materiales obtenidos directamente del distribuidor autorizado por el fabricante (comerciales) (20)

El incremento en la demanda por restauraciones estéticas produjo la introducción de los endopostes de fibra de vidrio, además de la búsqueda de un material más compatible con la dentina (15). Los endopostes de fibra son materiales dentales cuya función se centra en la restauración de dientes endodónticamente tratados con pérdida de estructura dental severa para mejorar la retención de los materiales de reconstrucción. (15)

Resulta importante el dato que los endopostes de fibra de vidrio se pueden obtener tanto en versiones comerciales, como genéricas, y que, por la alta demanda, los clínicos puedan considerar usar materiales de menos costo. Actualmente, no hay un estudio comparativo de las propiedades mecánicas y micro-mofológicas entre los postes de fibra de vidrio genéricos y comerciales.

Esta investigación plantea comparar las propiedades mecánicas, superficiales y fisicoquímicas de endopostes genéricos, contra endopostes comerciales.

Pregunta de investigación

¿Existe diferencia en las propiedades fisicoquímicas y mecánicas entre postes comerciales y genéricos?

Objetivo General

Comparar las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de endopostes genéricos, con endopostes comerciales.

Objetivos específicos

1. Describir la micromorfología superficial por medio de caracterización microscopía electrónica de barrido, de los postes de fibra de vidrio.
2. Comparar los cambios de temperatura de los postes por medio de calorimetría diferencial de barrido y análisis termogravimétrico de propiedades viscoelásticas
3. Describir la composición química de los postes por medio de espectroscopía infrarroja, de energía dispersa y RAMAN.
4. Analizar la radioopacidad y la transmitancia de luz de los postes comerciales y genéricos
5. Estimar la fuerza máxima de flexión por medio de la prueba de flexión de 3 puntos.

Hipótesis

1. Hipótesis nula (H0)

No existe diferencia significativa entre los postes genéricos y comerciales en cuanto a pruebas fisicoquímicas, mecánicas y de superficie.

2. Hipótesis alternativa (H1)

Sí existe una diferencia significativa entre los postes genéricos y comerciales en cuanto a pruebas fisicoquímicas, mecánicas y de superficie.

2. MARCO METODOLÓGICO

Diseño de estudio

Esta investigación se clasifica como un estudio experimental in vitro.

Lugares donde se realizó el estudio

El estudio se realizó en cuatro instituciones

1. Laboratorio de Materiales Dentales, Facultad en Odontología, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
2. Laboratorio Nacional de Nanotecnología (LANOTEC), Centro Nacional de Alta Tecnología, San José, Costa Rica.
3. Centro de Investigación en Ciencia e Ingeniería de Materiales (CICIMA), Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
4. Universidad de Halifax, Canadá.

Determinación del tamaño de la muestra

Para esta investigación se utilizaron 150 postes de fibra de vidrio, con la siguiente distribución:

- SEM (n=12), 2 postes de cada uno.
- DSC, de calorimetría de barrido diferencial (n=18), 3 postes de cada uno.
- TGA, análisis termogravimétrico (n=6), 1 poste de cada uno.
- FT-IR, espectroscopía infrarroja (n=6), 1 poste de cada uno.
- RAMAN (n=6), 1 poste de cada uno.
- EDS (n=18), 3 postes de cada uno.
- Radioopacidad (n=6), 1 poste de cada uno.
- Transmisión de luz (n=18), 3 postes de cada uno.
- 3 puntos de flexión (n=60), 10 postes de cada uno.

VARIABLES DEL ESTUDIO

VARIABLES INDEPENDIENTES: POSTES DE FIBRA DE VIDRIO

- Parapost, Coltene
- Nexpost, MetaBiomed
- Exacto, Angelus
- Reforpost, Angelus
- Genérico transparente
- Genérico blanco

Tabla 1. Operacionalización de las variables independientes

Postes	Definición conceptual	Definición operacional
<i>Parapost, Coltene</i>	Poste de fibra paralelo con 60% de fibra de vidrio con un 40% de relleno. Con una resistencia a la flexión de 1600 MPa, resistencia a la presión de 630 MPa, resistencia a la tracción de 1475 MPa y módulo de elasticidad de 45 GPa.	Espécimen comercial de color negro: 1.5 mm porción coronal, 1.5 mm porción apical. Almacenado a 37° en frasco plástico hermético
<i>Nexpost, MetaBiomed</i>	Poste de fibra translúcido, paralelo, que se vuelve cónico a partir de su tercio medio. Compuesto por fibras de vidrio en una matriz resinosa de Bis – GMA. Presenta una óptima resistencia a la flexión cercana a la dentina	Espécimen comercial de color rojo: 1.5 mm porción coronal, 0.9 mm porción apical, largo de 20mm. Almacenado a 37° en frasco plástico hermético
<i>Exacto, Angelus</i>	Poste de fibra translúcido, de doble conicidad, con módulo de elasticidad es de 30 a 40 MPa, y resistencia a la flexión de 1000 a 1430 MPa. Su composición química está compuesta de 80% fibras de vidrio y 20% de resina epoxi.	Espécimen comercial de color amarillo: 1.6 mm porción coronal, 0.9 mm porción apical, largo de 17mm. Almacenado a 37° en frasco plástico hermético
<i>Reforpost, Angelus</i>	Poste de fibra blanco, paralelo, con 80% fibras de vidrio, 19% de resina pigmentada y 1% del filamento de acero inoxidable. Su módulo de elasticidad es de 35 a 45 MPa, y su resistencia a la flexión es de 1000 a 1470 MPa.	Espécimen comercial de color celeste: 1.5 mm porción coronal, 1.1 mm porción apical, largo de 20mm. Almacenado a 37° en frasco plástico hermético
<i>Genérico translúcido</i>	Poste cónico, translúcido, se desconocen sus características.	Espécimen genérico de color negro: 1.6 mm porción coronal, 0.5 mm porción apical, largo de 19mm. Almacenado a 37° en frasco plástico hermético
<i>Genérico blanco</i>	Poste cónico, blanco, se desconocen sus características.	Espécimen genérico de color negro: 1.3 mm porción coronal, 0.6 mm porción apical, largo de 18.6mm. Almacenado a 37° en frasco plástico hermético

VARIABLES DEPENDIENTES

3.1.1.1 Análisis de superficie

- SEM

3.1.1.2 Análisis de propiedades termogravimétricas

- TGA
- DSC

3.1.1.3 Análisis químico

- Espectroscopía de Raman
- EDS
- FTIR

3.1.1.4 Análisis de radioopacidad

- Sensor de RX

3.1.1.5 Análisis de capacidad de transmitancia de luz

- Láser

3.1.1.6 Análisis mecánico

- Resistencia a la flexión

Tabla 2. Operacionalización de las variables dependientes

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Escala de medición
<i>SEM</i>	Método para medir la rugosidad de la superficie caracterizar, después de un baño de oro, se toman fotografías con magnificación para analizar radio, densidad, diámetro, distribución y defectos estructurales .	Microscopio electrónico de barrido	µm Medición cualitativa
<i>DSC</i>	Técnica para el análisis térmico que evalúa el efecto de la temperatura sobre la variación de la capacidad calorífica (Cp) de un material, para medir una serie de transiciones de temperatura en materiales, como la Tg y la temperatura de fusión (Tm).	Calorímetro	°C
<i>TGA</i>	Técnica para el análisis térmico. Mide continuamente la masa mientras la temperatura de una muestra cambia con el tiempo.	Analizador termogravimétrico	Razón % Pérdida de peso y °C
<i>FTIR</i>	Técnica para caracterizar moléculas y para monitorear reacciones químicas. Cada producto químico y enlace entre los átomos de un material tiene una específica característica vibracional. Lo cual genera interferencia en ondas electromagnéticas en longitudes de onda altamente específicas.	Espectrómetro infrarrojo	Razón Longitud onda (cm ⁻¹) y % de absorbancia

<i>Raman</i>	Técnica de caracterización química, con dispersión inelástica, los fotones en la luz monocromática cambian al interactuar con una muestra y son absorbidos por la muestra y luego reemitidos. La frecuencia genera el efecto Raman. Este cambio proporciona información sobre las transiciones vibracionales, rotacionales y otras de baja frecuencia en las moléculas.	Espectrómetro de Raman	Número de onda Raman (cm ⁻¹)
<i>EDS</i>	Técnica que permite la caracterización química/análisis elemental de materiales. La posición de los picos en el espectro identifica el elemento, mientras que la intensidad de la señal corresponde a la concentración del elemento.	Espectrómetro de dispersión de rayos X	Picos de elementos
<i>Radiopacidad</i>	Cuerpo o sustancia que ofrece resistencia al paso de rayos X Valor promedio de grises.	Sensor de rayos X	Medición cualitativa
<i>Transmitancia de luz</i>	Técnica analítica con la que es posible evaluar la radiación electromagnética absorbida, transmitida o reflejada por un material –bien en estado sólido o líquido- para cada longitud de onda.	Microscopio de transmisión luz óptica acoplado con un espectrómetro	% de luz incidente medida en la longitud opuesta del poste
<i>Resistencia a la flexión</i>	Medida aplicando una carga en el medio de una viga que está simplemente apoyada (no fija) en cada extremo determina no solo la resistencia del material sino también la cantidad de deflexión esperada.	Máquina de pruebas universal	MPa

Aspectos bioéticos

El presente proyecto de investigación es un estudio In Vitro, el cual no involucra variables que indiquen someter el proyecto en el Comité Ético Científico de la Universidad de Costa Rica.

3. MARCO EXPERIMENTAL

Materiales y métodos

En este estudio se caracterizaron 6 tipos de postes de fibra de vidrio, 4 de ellos disponibles en el mercado, y 2 de ellos, genéricos, obtenidos de una plataforma digital.

Tabla 3. Materiales utilizados en este estudio

Material	Fabricante	País	Lote	Referencia	Color de hule	Sigla
<i>Parapost® Taperlux™</i>	Coltene, Whaledent	<i>Alemania</i>	<i>J95730</i>	<i>60018580</i>	Negro	<i>PP</i>
<i>Nexpost™ Fibre</i>	Meta® Biomed Co.Ltd.	<i>Korea</i>	<i>NPK2206141</i>	<i>1639</i>	Rojo	<i>NP</i>
<i>Exacto</i>	Angelus®	<i>Brazil</i>	<i>63364</i>	<i>9177</i>	Amarillo	<i>E</i>
<i>Reforpost®</i>	Angelus®	<i>Brazil</i>	<i>65041</i>	<i>726</i>	Celeste	<i>RP</i>
<i>Genérico translúcido</i>	Desconocido	-	-	-	Negro	<i>TT</i>
<i>Genérico blanco</i>	Desconocido	-	-	-	Negro	<i>TB</i>

Preparación de especímenes

TGA, DSC, FTIR

Para las pruebas, los postes de fibra de vidrio se cortaron en partes iguales, de 2 mm x 2mm, las muestras se sometieron a un protocolo de limpieza con alcohol y 5 minutos en el ultrasónico. Cada fragmento se mantuvo en un frasco de plástico hermético, para mantener una temperatura relativa de 37 grados centígrados.

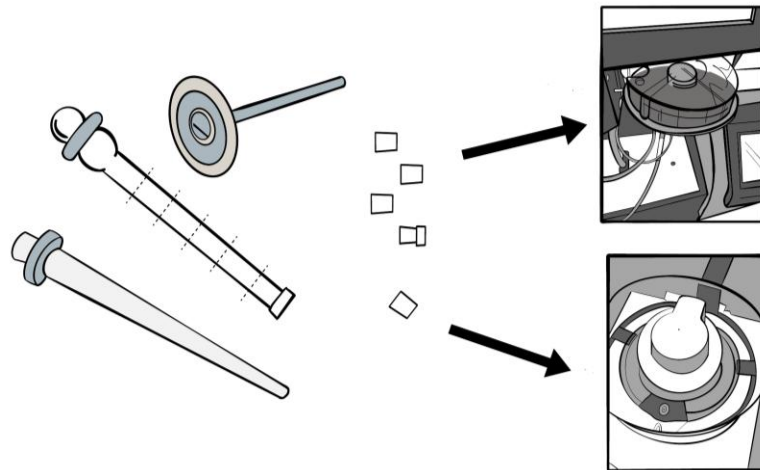


Figura 1. Preparación de especímenes para TGA, DSC.

RAMAN y EDS

Para estas pruebas, se realizó un instrumento de aluminio con seis agujeros de 1.6 mm. El largo de 2 cm del instrumento permite la colocación de los postes completos en cada uno de los agujeros, estos se embeben en resina epóxica, y posteriormente se da un tiempo de espera de 24 horas. Una vez polimerizada la resina, se procede a cortar dicho instrumento, de un alto de 2mm con cortadora de hilo Diamond WireTec, modelo DWS100 y se pule con lijas para agua de grano 600, 1000, 1500, 2000 y 2500. Se verifica que dicho pulido esté correcto con un microscopio de luz. Ambas pruebas, espectroscopía de Raman y FTIR, utilizan las mismas 6 muestras, debido a que ambos experimentos no destruyen los especímenes.

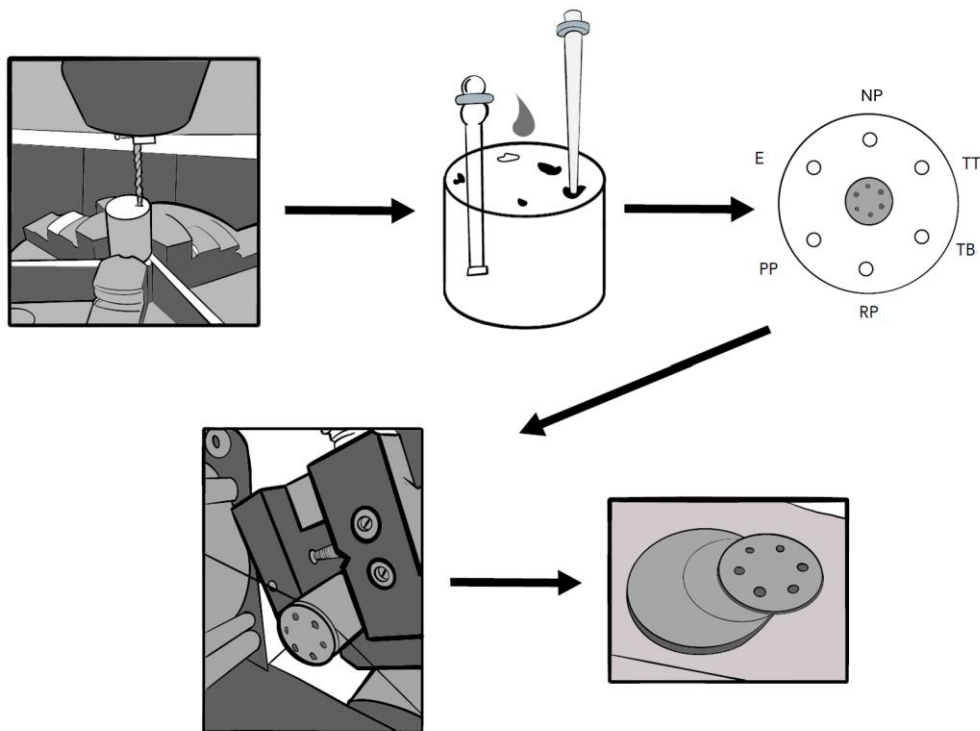


Figura 2. Preparación de especímenes para RAMAN, FTIR.

SEM lateral y transversal

Para el SEM lateral los postes de fibra de vidrio se cortaron en partes iguales, de 2 mm x 2mm, las muestras se sometieron a un protocolo de limpieza con alcohol y 5 minutos en el ultrasónico. Cada fragmento se mantuvo en un frasco de plástico hermético, para mantener una temperatura relativa de 37 grados centígrados. Estos posteriormente se montan en un porta muestras de aluminio y se fijan con cinta de carbón, para su posterior tratamiento con baño de oro paladio.

Para el SEM transversal, se realizan discos de acrílico de autocurado, en moldes cilíndricos, de manera que los postes quedan embebidos en acrílico de autocurado, se realizan 2 cilindros, con 3 postes cada uno. Se seccionan perpendicularmente al eje longitudinal de la muestra en una cortadora IsoMet 1000, Buehler con disco de diamante, a una velocidad de 30. Posteriormente se realiza un pulido y acabado metalográfico con lijas de agua de 600, 1000, 1500, 2000. Se colocan en una base de aluminio SEM-strub, cubierta por oro.

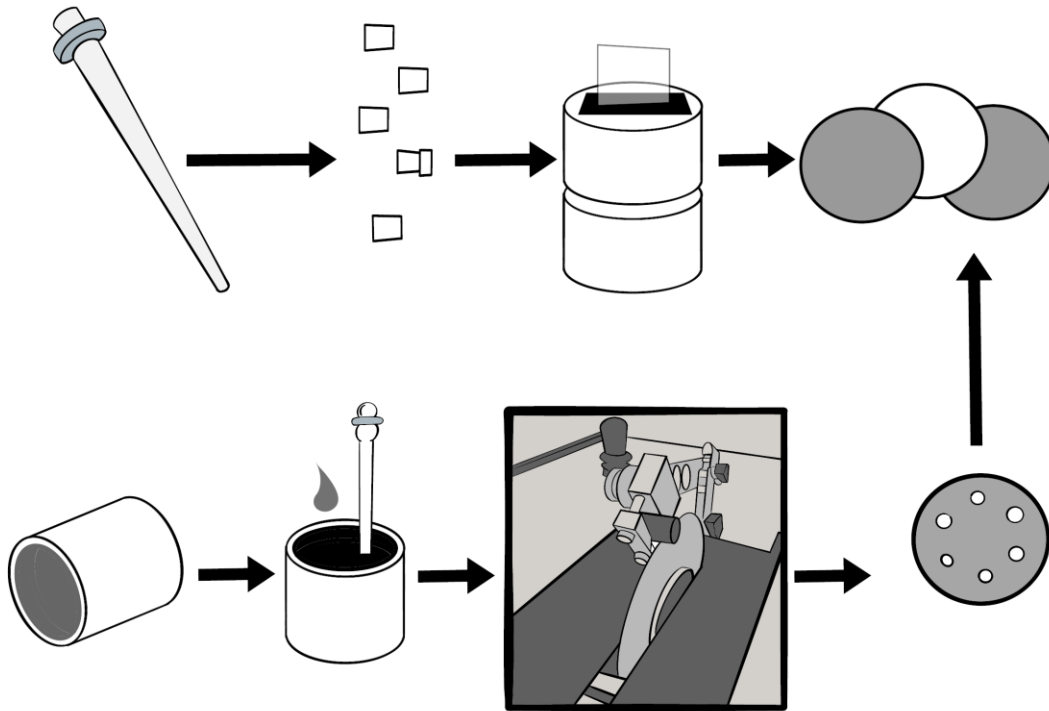


Figura 3. Preparación de especímenes para SEM transversal

Radiopacidad, transmitancia de luz, prueba de 3 puntos

Para las 3 pruebas se utilizan postes completos, vírgenes, se limpian bajo protocolo de alcohol en ultrasónico por 5 minutos.

Análisis de superficie

SEM

El análisis SEM se realizó con un microscopio JEOL JSM-6390LV (JEOL, MA, EE. UU.) bajo los siguientes parámetros: voltaje de aceleración de 20 kV, distancia de trabajo de 10,2 mm, campo de visión de $128,0 \times 96,0 \mu\text{m}$, corriente de sonda estándar de 40,0, rotación de barrido de $343,8^\circ$ y modo de alto

vacío. Se adquirieron tres imágenes representativas de la superficie lateral de cada poste con aumentos de 50×, 500× y 5000× para realizar una comparación descriptiva entre los grupos. Las secciones transversales se analizaron por triplicado con un aumento de 1000×. Las imágenes seleccionadas se procesaron con el software J Image para la evaluación cuantitativa de la densidad y el diámetro de la fibra. Se tomaron cuatro imágenes por poste (n = 24), cada una con un área total de 12 782,15 μm². Se contó el número de fibras en cada imagen y se calculó el recuento promedio de fibras. La densidad de las fibras se determinó mediante la fórmula: densidad de las fibras = número de fibras / área (mm²). Se realizó ANOVA de una vía, prueba de Wilcoxon y Kruskal – Wallis y prueba HSD de Tukey – Kramer para el diámetro y la densidad de la fibra. Además de la evaluación cuantitativa, se realizó una comparación cualitativa de la distribución de las fibras y los defectos estructurales en todas las muestras [14,15].

Análisis de propiedades térmicas

DSC

Se utiliza un equipo DSC 4000, PerkinElmer donde se procesan 10 muestras de cada poste. Para un total de 60 muestras, dentro de un crisol de aluminio. Se calientan las muestras de 5 mg a 400 °C a una velocidad de 20 °C /min en atmósfera inerte (atmósfera de N₂). Se realizan 2 ciclos de enfriamiento para cada grupo compuesto. Los datos se calculan a partir del segundo ciclo de calentamiento para evitar el efecto de impurezas en la historia térmica durante el procesamiento que pueden influir en los datos del análisis térmico. (15) (21)

TGA

Para esta prueba se utilizó un TGA5500, TA. Se equilibra el equipo a 25,0000 °C, isotérmico 0.5 minutos. Para un total de 6 muestras, dentro de un crisol de platino (100 uL). Se realiza con cada muestra una rampa de 20,00 °C/min a 900,000 °C. (22) (23)

Análisis de composición química

FTIR

Se utilizó un espectrómetro FTIR-FIR (Frontier, PerkinElmer, MA, EE. UU.) para caracterizar la composición química de los postes [5]. Se obtuvieron espectros en un rango de 4000 a 750 cm⁻¹ para identificar las señales de absorción de cada muestra [14]. Las mediciones se realizaron a temperatura ambiente con una resolución espectral de 20×. Esta prueba se diseñó para el análisis químico general; por lo tanto, se evaluaron dos áreas de cada muestra: la superficie lateral y la superficie transversal (Figura 4).

No se analizaron regiones específicas como la matriz o la fibra. Se realizó un análisis cualitativo basado en los espectros resultantes. (15, 22, 24, 25)

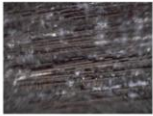
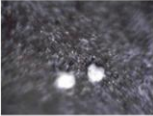

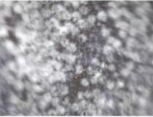



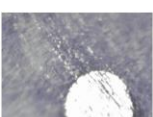



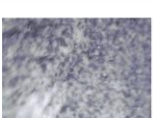
POST	CONFOCAL FTIR	
	LATERAL	CROSS-SECTIONAL
PP		
NP		
E		
RP		
TT		
TB		

Figura 4. Micro Confocal de la espectroscopía infrarroja a 20x

RAMAN

La espectroscopía Raman se realizó con un espectrómetro Alpha 300 R (WiTec, Abingdon, Reino Unido). Se centró una muestra de 1 mm de diámetro de cada poste bajo el haz de luz del microscopio. El tamaño del punto láser se ajustó a 1-2 μm , con una distancia focal de 0,9 mm y un aumento de 100 \times . La longitud de onda de excitación fue de 532,20 nm y la potencia del láser se mantuvo a 0,50 mW. Se obtuvieron espectros Raman para identificar bandas características de dos regiones distintas de cada poste: la matriz y la fibra (Figura 6). Se realizó un análisis cualitativo para interpretar las diferencias espectrales entre estos componentes.

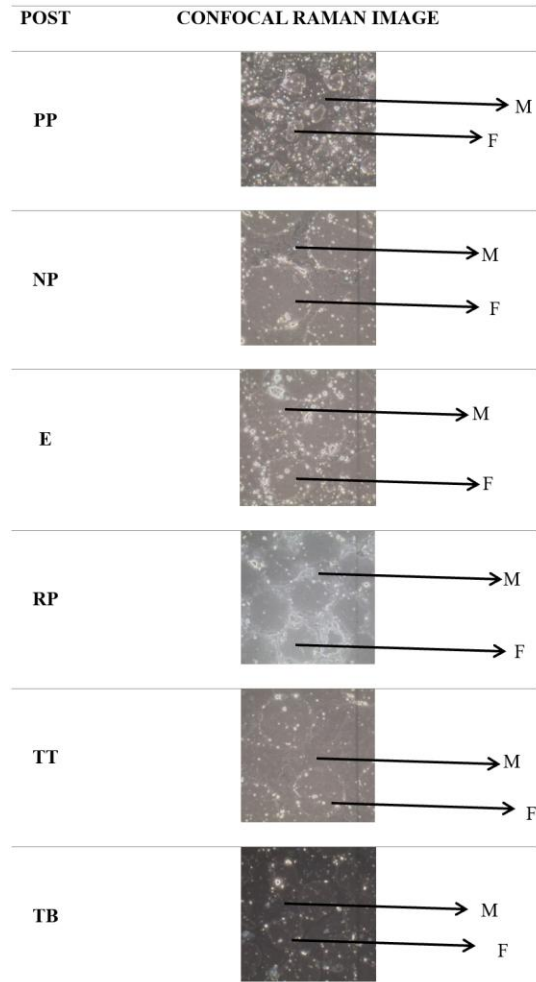


Figura 5. Micro Confocal de la espectroscopía de Raman a 100x

EDS

Se utilizó un espectrómetro de dispersión de rayos X (Oxford INCA X-Sight 7582 M, Oxford, UK) para el análisis de elementos de los postes. Se realizaron 3 análisis, el primero de manera lateral, que mostró los componentes químicos de manera general, en el cual se seleccionan 6 áreas de manera aleatoria para analizarlo, a una magnificación de 1000x, a 10.0 kV de voltaje, WD 10.2 mm, FOV 128.0 x 96.0 μm , sonda Std. 40. Y rotación del escaneo de 343.8°, con alto vacío. Otro análisis se realizó de manera transversal que incluyera un sector de fibra y matriz, a 3000x, con los mismos parámetros anteriores y FOV 42.67 x 32.00 μm . Con la ayuda del software del SEM JSM-IT500, se realizó un mapeo por zonas de los elementos químicos, y se obtuvieron imágenes de las mismas. Por último, se realizó un análisis de cada zona específica, fibra y matriz por aparte, a una magnificación de x20000 con un voltaje de 20.0 kV. Se reportan los resultados como óxidos para esta prueba. (24) (26)

Análisis de radioopacidad

Sensor de rayos X

Con los postes endodónticos, se utiliza un sensor intraoral The Woodpecker Ai Ray Portable X-Ray Machine, China. y éstos son radiografiados utilizando una máquina de rayos X dental a 70 kV, 7 mA, 0,04 s con sensor objetivo a la distancia de 30 cm. Se realiza un análisis comparativo entre cada uno de los postes, de manera cualitativa según el valor promedio de grises. (15) (21) (27)

Análisis de perfil de haz de luz

Los perfiles de los haces de luz se capturaron utilizando una cámara CCD (SP620U, Ophir Spiricon), con una lente de longitud focal de 50 mm, y se procesaron utilizando BeamGage Professional (6.14, Ophir-Spiricon). (mksOphir. Logan, UT, EE. UU.).

El software Beamgage produjo imágenes codificadas por colores de la luz emitida por el poste. Se colocaron un filtro de densidad neutra UV-NIR metálico (n.º de pieza 130FA46-50S, Andover Corporation, Salem, NH, EE. UU.) y dos filtros de paso de banda de vidrio coloreado UV-VIS (Hoya B-410, Edmund Optics, Barrington, NJ, EE. UU.) delante de la cámara para reducir la intensidad de la luz. Estos filtros aplanaron la respuesta espectral de la cámara de modo que las diferentes longitudes de onda de la luz entre 400 y 500 nm se registraron por igual para obtener una respuesta espectral plana en el rango azul-violeta. Los filtros de exposición y densidad neutra se ajustaron a 0 mm para maximizar el rango dinámico de la cámara, pero luego se mantuvieron constantes para permitir comparaciones cuantitativas entre las imágenes de todos los postes.

La salida de luz de un Bluephase G4 (Ivoclar, Schaan, Liechtenstein) se montó en una orientación fija a 0 mm del final del poste. Todas las imágenes fueron capturadas por la cámara a la misma distancia, posición y tiempo de exposición, lo que las hace comparables. (28)

Análisis mecánico

Se utilizó una máquina de ensayos universal (ElectroPuls E3000, Instron, MA, EE. UU.) para evaluar la carga máxima de flexión (N) y la deformación correspondiente, expresada como desplazamiento (mm) y porcentaje, de las muestras (n = 10). El procedimiento de ensayo siguió el método de flexión en tres puntos descrito en la norma ISO 10477. Cada poste se colocó simétricamente sobre dos soportes separados 10 mm, mientras que un tercer rodillo aplicaba una carga de compresión perpendicularmente (90°) en el centro. La velocidad del cabezal transversal se ajustó a 1 mm/min.

Debido a la variabilidad en forma, longitud y conicidad entre los postes probados, solo se utilizaron para la comparación la carga máxima de flexión y la deformación correspondiente en ese punto. Se realizó un

análisis estadístico cuantitativo para ambas variables. Se aplicó la prueba de la mediana de Mood para evaluar las diferencias en la carga máxima de flexión, mientras que se utilizó un ANOVA unidireccional seguido de comparaciones post hoc para analizar la deformación máxima [14,21,29,30].

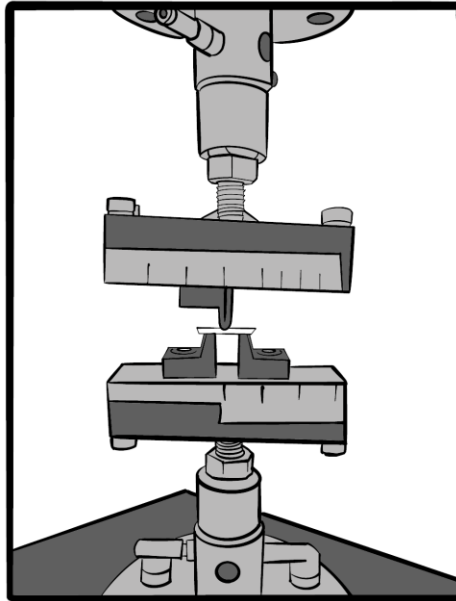


Figura 6. Prueba de 3 puntos de flexión, en Instron Electroplus E3000, ISO10477.

Diseño estadístico

Dentro de las vistas transversales, el análisis SEM utilizó ANOVA unidireccional, HSD y pruebas de Tuckey-Kramer para comparar el número de fibras. ANOVA unidireccional y Wilcoxon y Kruskal Wallis con comparación HSD Tuckey-Kramer se utilizó para la densidad de fibra. En la prueba de flexión de 3 puntos, hubo datos paramétricos y no paramétricos. Entre los no paramétricos, se utilizó la prueba de mediana de Mood. Para los datos paramétricos, se utilizó ANOVA unidireccional y comparación post-hoc para analizar diferencias significativas dentro de los diferentes sistemas de postes en términos de deformación. Estadística descriptiva para SEM lateral, TGA, DSC, FTIR, RAMAN, EDS, radioopacidad y transmitancia de luz.

4. RESULTADOS

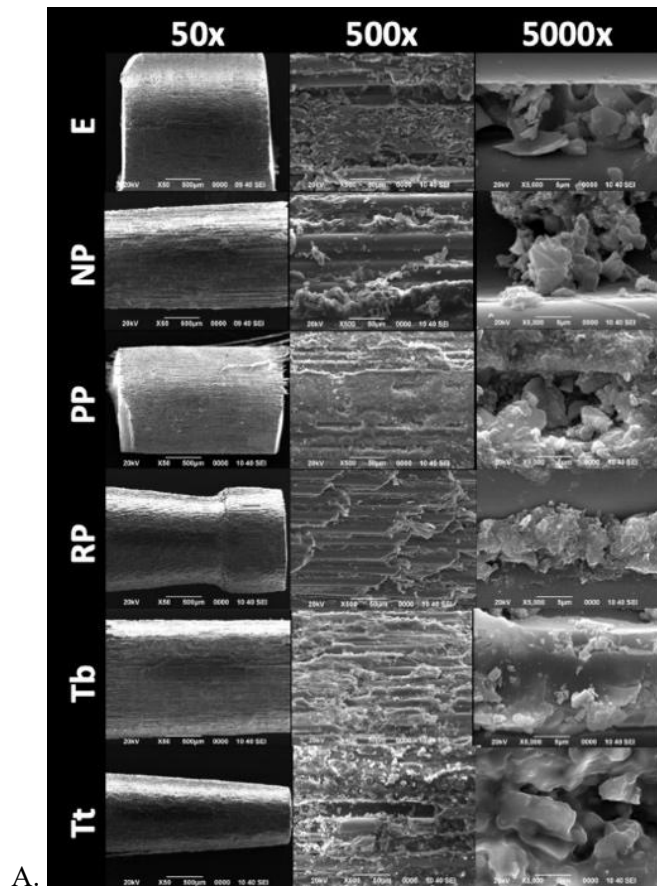
SEM

Tabla 4. Diámetro y densidad de fibras en el SEM transversal

Poste de fibra	Diámetro de fibra			Densidad de fibra		
	Promedio (μm)	s.d.	Significancia	Promedio (μm)	s.d.	Significancia
PP	9.60	0.79	F	5604.2	941.27	A
NP	26.97	1.89	A	979.2	142.32	D
E	19.56	1.35	C	2187.50	171.79	B C
RP	17.05	1.85	E	2666.7	616.14	B
TT	22.43	1.04	B	1500.0	180.02	C D
TB	17.90	1.39	D	2500.0	340.20	B C

*s.d.: desviación estándar

** Las letras diferentes entre los grupos representan diferencias estadísticamente significativas.



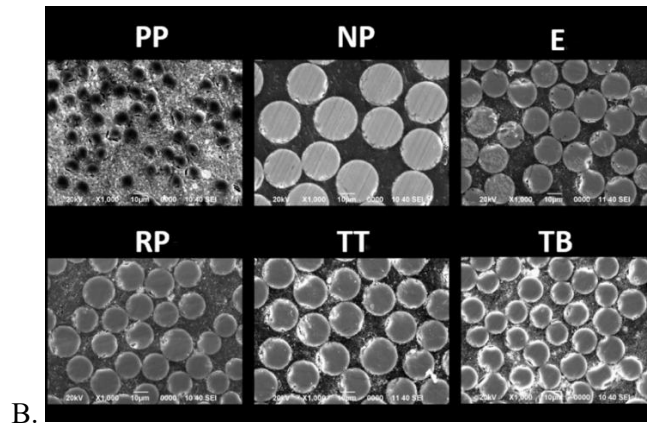


Figura 7. Análisis SEM. A. Vista lateral (50x, 500x, 5000x). B. Vista transversal (1000x)

La Figura 7 muestra las imágenes representativas obtenidas de los análisis SEM. Las vistas laterales (FIG. 7.A) en 50x mostraron superficies más lisas para E, PP y TT, en comparación con NP, RP y TB. A 500x, se puede observar una capa superficial de matriz irregular, y se pueden detectar algunas fibras en todas las muestras, sin embargo, en una vista lateral (FIG. 7.A) a 500x y 5000x, no fue posible hacer una comparación real entre los postes, porque todos parecen similares. En los análisis transversales (FIG. 7.B) la distribución de fibras fue evidentemente diferente entre todos los postes, y se utilizó para calcular la densidad de las fibras y el tamaño promedio individual. La TABLA 4 muestra las diferencias entre el diámetro de la fibra y la densidad de la fibra. Primero, en diámetro, todos los postes fueron significativamente diferentes entre sí ($p < .0001$), siendo RP y TB los más similares entre ellos. Las fibras de PP mostraron el diámetro más pequeño ($9,60 \mu\text{m}$), mientras que las de NP mostraron el diámetro medio de fibra más alto ($26,97 \mu\text{m}$). La Figura 5 (FIG 7.B) muestra la clara distinción entre ellas. Curiosamente, los datos de densidad de fibra mostraron que las de PP tenían la densidad más alta con $5604,2 \mu\text{m}$, siendo estadísticamente diferentes de todos los demás postes ($p < .0001$). No se apreciaron diferencias de proporción entre los postes RP, TB y E. Además, TT, un poste genérico, no presentó diferencias estadísticas con E, un poste comercial.

Análisis DSC

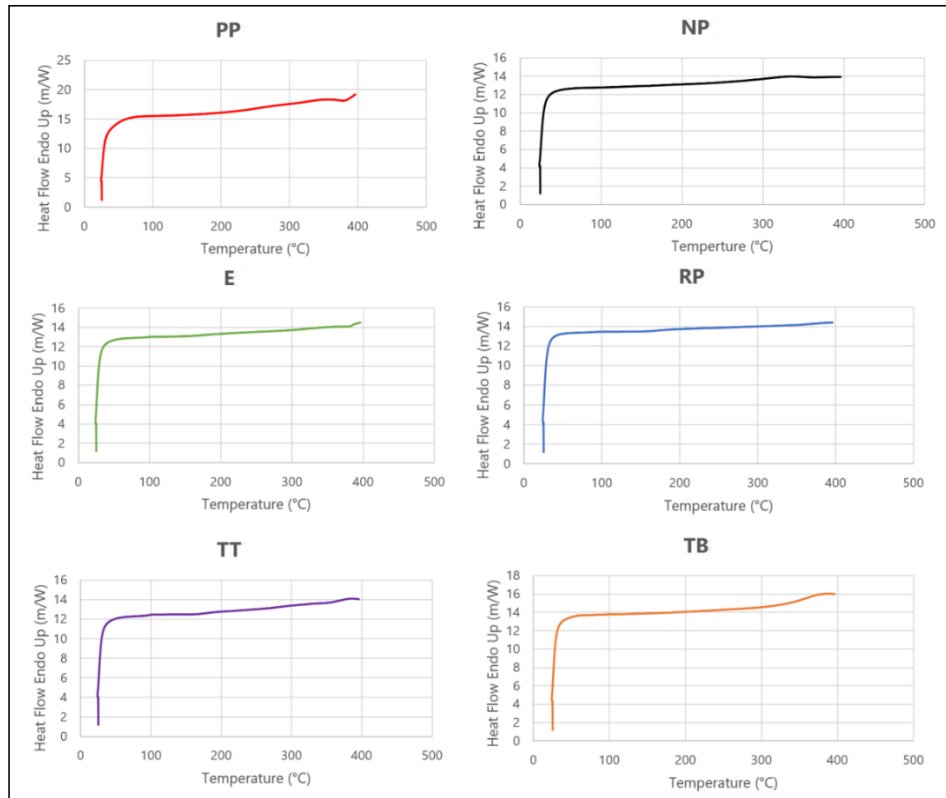


Figura 8. Análisis DSC

Los análisis DSC (FIG. 8) mostraron un patrón similar de cambios térmicos entre 100 °C y 400 °C. Hay una clara similitud de las curvas, sin diferencias evidentes en los valores de entalpía y entropía, ni una fase de transición que pueda sugerir puntos de cristalización o fusión, lo que sugiere que todos los postes tienen propiedades térmicas similares.

Análisis TGA

Tabla 5. Análisis de TGA. Punto de inicio (To), punto de inflexión (Tp) and porcentaje de masa perdida a 800°C (Tmax 800)

Poste de fibra	To (°C)	Tp (°C)	Tmax 800 (%)
PP	354.25	382.561	24.39
NP	358.70	421.67	29.40
E	360.59	422.74	30.10
RP	389.50	397.64	12.65
TT	386.02	405.70	32.02
TB	364.27 / 638.74	400.48 / 678.19	24.64

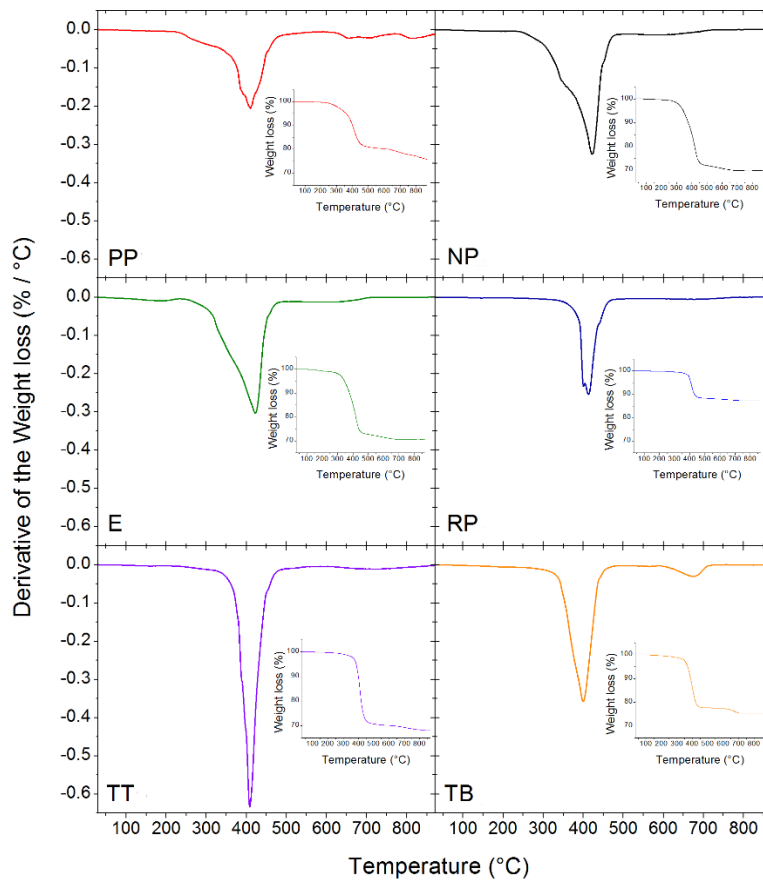


Figura 9. Análisis TGA

Las curvas de TGA para cada poste se presentan en la Figura 9. La TABLA 5 mostró diferentes valores de inflexión, lo que indica que las diferencias en la sensibilidad al calor pueden estar relacionadas con la composición variable de cada poste. Todos los postes presentaron pérdida de peso en un rango de 400 - 450°C. (FIG. 9) Los postes RP tuvieron el porcentaje de pérdida de peso más bajo con 12,65%. Los PP y TB tuvieron porcentajes comparables cercanos al 24%. E y TT tuvieron el porcentaje de pérdida de peso más alto de todos los grupos con 30,10 y 32,02% respectivamente. Por otro lado, TB mostró un comportamiento diferente, con 2 puntos de inicio y de inflexión. (FIG. 9)

Espectroscopía FTIR

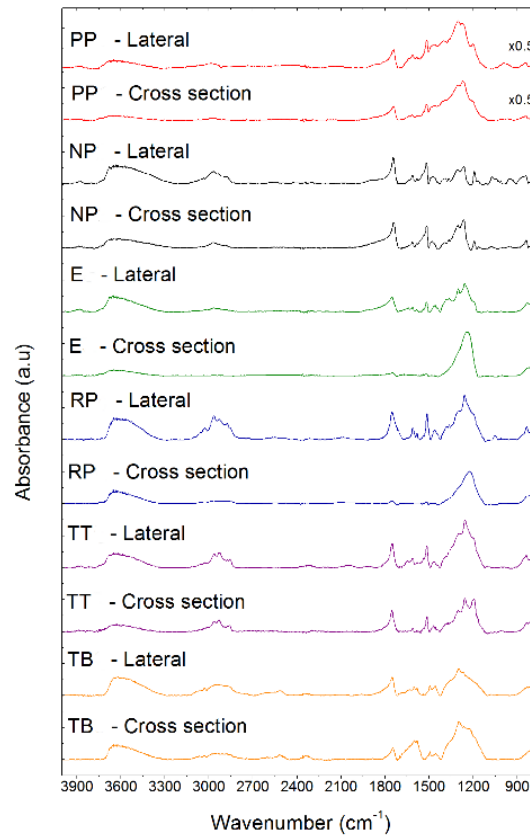


Figura 10. Análisis espectroscopía infrarroja.

Los espectros FTIR (Figura 10) se obtuvieron de ubicaciones aleatorias en los postes (áreas lateral y transversal, Figura 4). En el análisis de la vista lateral, todos los postes mostraron picos de absorbancia similares entre 700 y 1200 cm^{-1} , asociados principalmente con componentes orgánicos como enlaces C-H, C-C y C-O, lo que indica la presencia de grupos metacrilato. En los análisis transversales, E y RP mostraron picos adicionales a ~ 1200 , 1800, 2800 y 3000 cm^{-1} , consistentes con componentes inorgánicos, específicamente Si-O, lo que sugiere la presencia de vidrio.

Espectroscopía de Raman

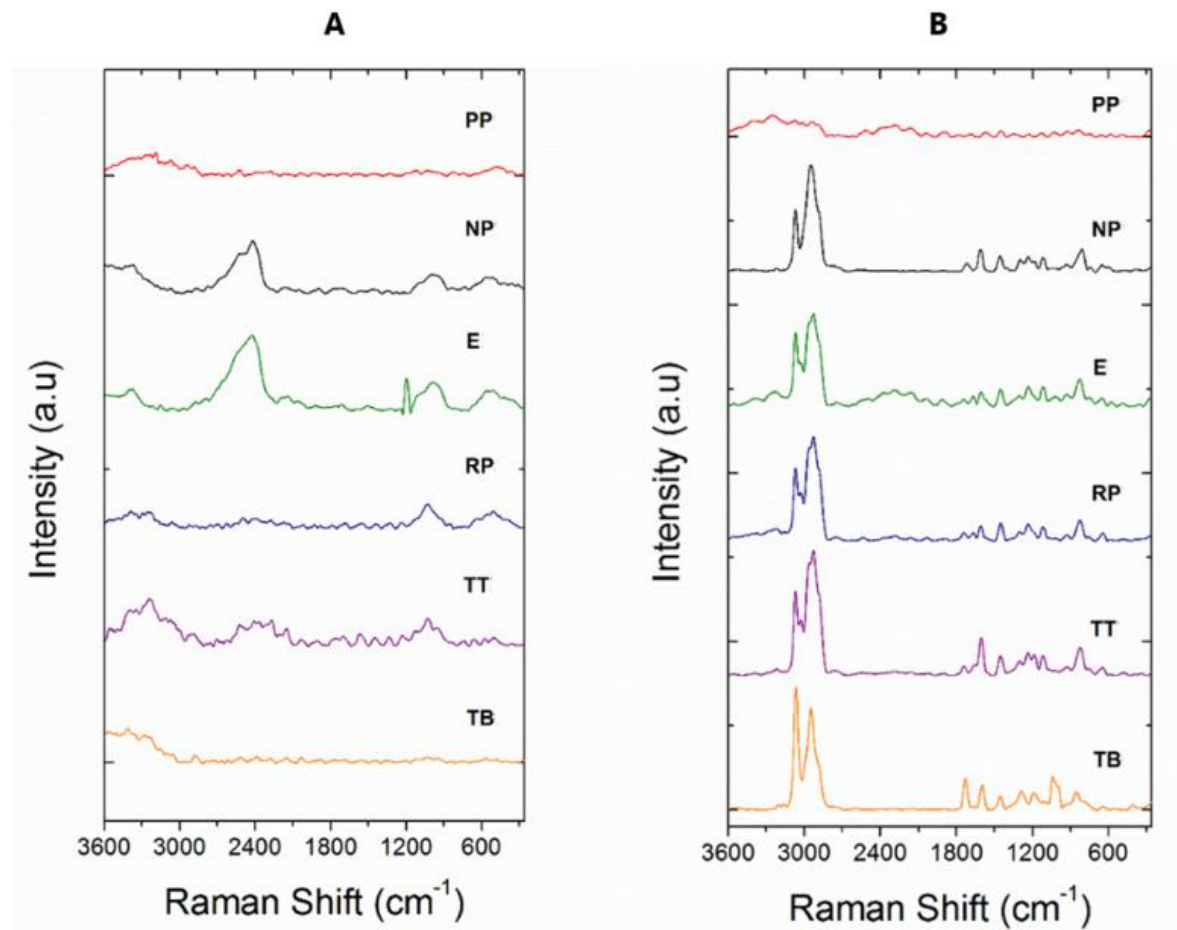


Figura 11. Análisis de espectroscopía de Raman. A. Fibra. B. Matriz.

Los espectros Raman (Figura 11) revelaron que E y NP presentaron perfiles similares en la región de la fibra, mostrando picos entre 2300-3100 cm^{-1} (metacrilato) y $\sim 1100 \text{ cm}^{-1}$ (vidrio u óxido de sílice). Estos picos fueron menos prominentes en TB y PP. En la región de la matriz, todos los grupos mostraron patrones espectrales similares, incluyendo bandas intensas a $\sim 3000 \text{ cm}^{-1}$, indicativas de enlaces C-H, C-C y Si-O. Los postes PP presentaron un perfil más amorfo tanto en la región de la fibra como en la de la matriz, similar al TB en la zona de la fibra.

Análisis EDS

Tabla 6. Porcentaje de masa atómica del elemento determinado por EDS, para la fibra y la matriz interfibrilar

Poate de fibra	Fibra (%)								Matriz (%)							
	C	O	Mg	Al	Si	Ca	Fe	Zr	C	O	Al	Si	Ti	Zr	F	Ba
PP	8.75	46.10	5.77	12.03	27.34	-	-	-	41.41	23.83	-	9.95	-	-	11.23	13.58
NP	-	47.08	-	-	33.19	4.93	-	14.80	74.13	24.87	-	-	-	-	-	-
E	13.65	42.53	-	-	27.44	4.11	-	12.28	77.50	22.50	-	-	-	-	-	-
RP		42.7	1.93	7.3	30.5	17.58	-	-	76.45	21.21	0.40	0.19	1.37	0.37	-	-
TT	4.85	41.82	0.51	7.7	28.02	17.11	-	-	79.12	20.88	-	-	-	-	-	-
TB	4.55	41.95	0.59	7.28	16.74	-	0.37	-	78.74	21.26	-	-	-	-	-	-

El análisis elemental mostró diferencias en la composición química de los postes. La TABLA 6 muestra el porcentaje del elemento en cada poste tanto a nivel de fibra como de matriz. Comparando los resultados a nivel de fibra, se detectó oxígeno y silicio en todos los postes en un rango porcentual de 41.82 – 47.08 y 16.74 – 33.19, respectivamente. El PP, RP, TT y TB también contenían magnesio y aluminio en un porcentaje menor, excepto el PP, que reportó 5.77% de Mg y 12.03% de Al. El carbono se encontró en el PP, E, TT y TB en un rango porcentual de 4.55 – 13.65. El calcio se detectó en los postes NP y E en un porcentaje menor (4.93 y 4.11) que en los postes RP y TT, que tuvieron un porcentaje mayor (17.58 y 17.11). Finalmente, se encontraron dos metales de transición en las fibras de los postes. Se encontró un pequeño porcentaje de hierro en el poste TB (0,37) y se detectó un mayor porcentaje de circonio en los postes NP y E (14,8 y 12,28, respectivamente).

A nivel de matriz, los análisis detectaron los elementos no metálicos carbono y oxígeno en todos los postes en un rango de 41,41 – 79,12 para C y 20,88 – 24,87 para O. Los postes RP también mostraron pequeños porcentajes de aluminio (0,40), silicio (0,19), titanio (1,37) y circonio (0,37). Los postes PP tuvieron el porcentaje más bajo de carbono de todos los postes (41,41), mientras que silicio (9,95), hierro (11,23) y bario (13,58) también se encontraron en su matriz.

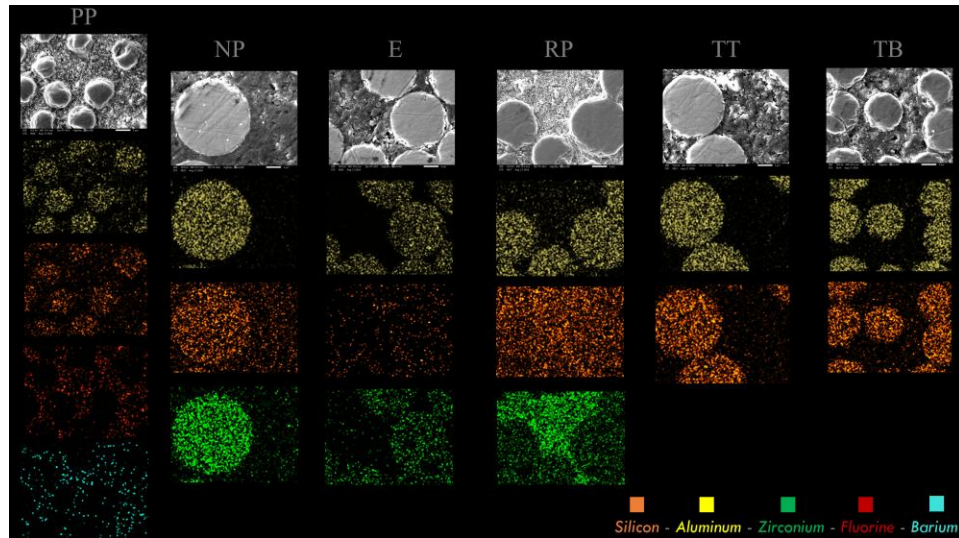


Figura 12. Imagen confocal y mapeo de EDS a 3000x

Análisis comparativo de radioopacidad

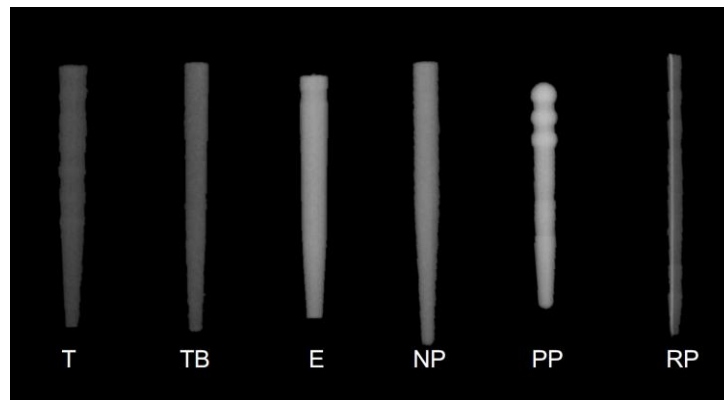


Figura 13. Imágenes de rayos X representativas por poste.

La Figura 13 ejemplifica las radiografías de los postes endodóncicos. Dentro del análisis descriptivo (FIG. 13) es posible comparar la radiopacidad entre cada poste. El más radiopaco es el PP, seguido del E y NP respectivamente. Tanto los genéricos como los RP son los menos radiopacos, pero el RP, tiene en su interior un pin de aluminio, lo que mejora su radiopacidad.

Análisis de transmitancia de luz

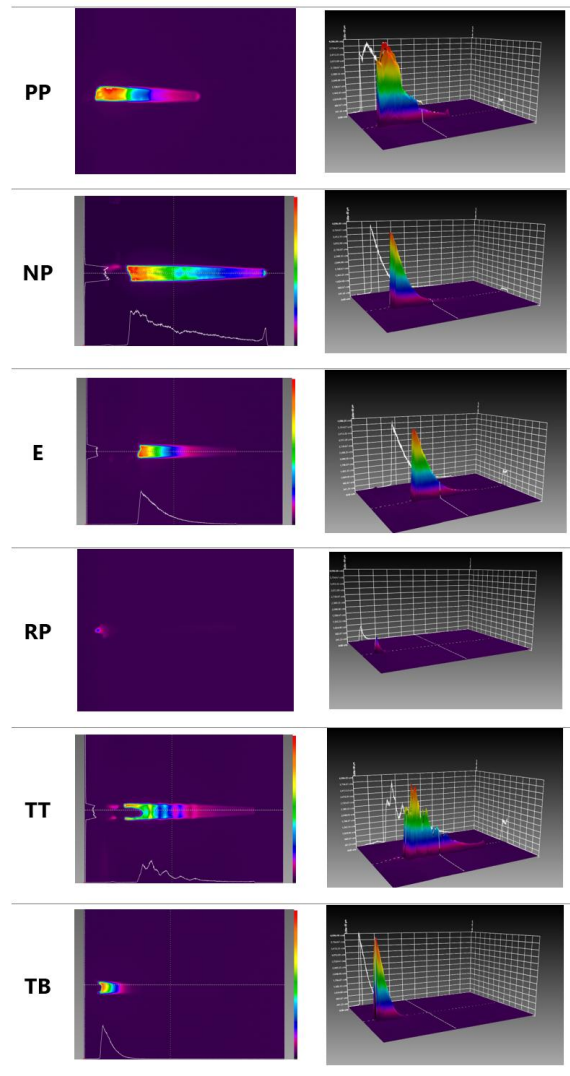


Figura 14. Perfilometría de haz de luz

En cuanto a la transmitancia de luz, (FIG. 14) se observaron claras diferencias entre los postes, con transmitancia de luz nula se encontró RP, y TB presentó una transmitancia baja en comparación con los demás postes, ya que TB transmite luz, pero solo en su porción más coronal. NP y E presentan un área de transmitancia similar, ambos alcanzan un pico de energía mayor a 3754.67 cnts, sin embargo, E, su transmitancia se presenta principalmente en la mitad del poste. NP lo hace, en toda su longitud total. De la misma manera PP, logró un espectro similar, pero primero tuvo un pico en 3413.33 cnts, este disminuye y luego aumenta a más de 3754.67 cnts. TT se comporta de manera similar a PP. Estos 2 últimos son los postes que presentan mejor transmitancia.

Carga de Flexión y Deformación

Tabla 7. Carga de falla por flexión (N) por poste de fibra

Poste	Mediana (N)	IC 95%	
PP	129.55	(124.78 - 135.96)	A
NP	89.90	(81.69 - 97.49)	B
E	124.25	(118.67 - 129.06)	A
RP	110.75	(107.60 - 111.92)	C
TT	124.64	(110.08 - 133.32)	A
TB	103.19	(98.94 - 109.86)	C

Tabla 8. Desplazamiento total y deformación total por flexión de los postes.

Fiber post	Desplazamiento total (mm)	s.d. (+/-)	Deformación total (%)	s.d. (+/-)	Tukey
PP	0.88	0.12	7.34	0.97	B
NP	0.71	0.10	5.95	0.85	C
E	0.72	0.09	6.07	0.79	BC
RP	0.68	0.07	5.74	0.62	C
TT	1.05	0.19	8.80	1.62	A
TB	0.78	0.09	6.50	0.75	BC

No se observaron fracturas completas durante las pruebas; todas las muestras presentaron flexión, con fracturas parciales ocasionales de las fibras. Los valores de carga última de flexión se presentan en la Tabla 6. La prueba de mediana de Mood indicó diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ($p < 0,0001$). Los grupos PP, E y TT mostraron las mayores capacidades de carga, mientras que NP mostró la menor. La Tabla 8 presenta los resultados de deformación como desplazamiento (mm) y porcentaje de deformación. El ANOVA de una vía reveló diferencias significativas entre los grupos ($p < 0,0001$). Según el análisis post hoc de Tukey, TT presentó la mayor deformación, seguido de PP, TB y E. TB y E también fueron estadísticamente comparables a RP, que mostró la menor deformación. En general, los postes con mayor resistencia a la flexión también mostraron una mayor deformación bajo carga.

4. Discusión

Este estudio tuvo como objetivo comparar las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de postes endodónticos de fibra de vidrio comerciales y sin marca. Los postes sin marca o del mercado gris a menudo carecen de información esencial proporcionada por el fabricante, como especificaciones técnicas, composición, números de lote o fechas de caducidad. A pesar de ello, están fácilmente disponibles en diversas plataformas comerciales. Debido a la ausencia de documentación regulatoria y control de calidad, existe evidencia científica limitada que respalde su uso clínico, y sus verdaderas características siguen siendo en gran medida desconocidas. No obstante, al ser más asequibles y accesibles, su uso se ha vuelto cada vez más común, ya que a menudo se perciben como "similares" a los postes comerciales certificados. Con base en este contexto, la hipótesis nula del presente estudio afirmó que no se observarían diferencias significativas entre los postes evaluados. Sin embargo, esta hipótesis fue rechazada, ya que se encontraron diferencias estadísticamente significativas en múltiples parámetros probados.

La micro morfología superficial se considera un aspecto fundamental de la evaluación de postes y proporciona información esencial sobre la integridad estructural y la calidad de fabricación de los postes endodónticos [14,15,29,31]. En este estudio se aplicó un análisis SEM dual, examinando tanto las superficies laterales como las transversales. Si bien las vistas laterales (Figura 7.A) mostraron solo irregularidades superficiales menores, como superficies más lisas en E, PP y TT, las más notables se observaron diferencias en la vista transversal (Figura 7.B), donde el diámetro y la distribución de las fibras variaron considerablemente entre las muestras. Estudios previos han enfatizado la relevancia de la relación fibra/matriz, definida como la superficie ocupada por fibras por milímetro cuadrado, como un factor clave que influye en la resistencia a la flexión [14]. Según nuestros hallazgos (Tabla 4), el PP exhibió el diámetro de fibra más pequeño, pero la densidad de fibra más alta. Estas fibras estaban bien distribuidas en toda la matriz de resina, aunque menos compactadas que en otros postes. No obstante, un mayor número de fibras por unidad de área generalmente se traduce en mejores propiedades mecánicas, y la arquitectura del PP es consistente con esta expectativa [29]. Curiosamente, el PP también presentó un patrón microestructural distinto en comparación con los otros postes, con fibras que parecían incrustadas de manera más uniforme en la matriz. Esta observación concuerda con estudios previos donde se reportó que el PP tenía fibras dispersas homogéneamente, pero menos densamente empaquetadas [14]. Por el contrario, el NP mostró el mayor diámetro de fibra y la menor densidad de fibra, una configuración que probablemente limitó la interpenetración de los polímeros de la matriz entre las fibras y contribuyó al menor rendimiento a la flexión del material [32]. El RP y el TB mostraron diámetros de fibra similares, pero difirieron en la densidad de la fibra, probablemente debido a diferencias en la disposición y orientación de las fibras dentro de la matriz. El TB, en particular, mostró una estructura menos homogénea, lo que puede explicar sus propiedades

mecánicas más deficientes. Estos hallazgos resaltan la importancia de la interfaz fibra-matriz y la presencia de un empaquetamiento de fibras desorganizado o discontinuo, los cuales pueden servir como áreas de debilidad mecánica [29]. Otro factor estructural que influye en el comportamiento mecánico es el diseño de la superficie del poste. El RP es un poste dentado en lugar de liso. Investigaciones previas han demostrado que la configuración dentada, diseñada para mejorar la retención mecánica, puede comprometer la resistencia a la flexión al interrumpir la continuidad de la fibra [33]. Aunque no se observaron huecos o defectos importantes en RP durante la evaluación SEM, pueden existir discontinuidades o irregularidades microscópicas que sirvan como sitios de concentración de tensión, lo que lleva a una integridad estructural comprometida [30]. Curiosamente, si bien la densidad de fibra de E fue estadísticamente similar a la de TB, su rendimiento mecánico difirió sustancialmente. Esta discrepancia probablemente se deba a la distribución más heterogénea de la fibra de TB. También subraya el papel de otras variables más allá de la densidad de la fibra, como la composición de la resina, la calidad del curado y el posprocesamiento, en la determinación del comportamiento mecánico general. En resumen, entre todos los postes analizados, TT, PP y E mostraron las propiedades mecánicas más favorables. A pesar de las variaciones en el diámetro y la densidad de la fibra, estos postes probablemente se beneficiaron de otras ventajas estructurales o compositivas. Cabe destacar que las imágenes de SEM no mostraron defectos superficiales graves, vacíos ni agrupamiento de fibras en ningún poste, lo que indica una calidad de fabricación general aceptable, aunque las diferencias en la microarquitectura influyeron significativamente en el comportamiento mecánico.

El análisis térmico desempeña un papel crucial en la caracterización de materiales, ya que determina su comportamiento y estabilidad bajo exposición al calor [26]. En este estudio, se emplearon dos técnicas complementarias: calorimetría diferencial de barrido (DSC) y análisis termogravimétrico (TGA). La DSC se utilizó para evaluar la capacidad térmica de cada poste, lo que permitió comprender mejor el comportamiento del material en condiciones biológicas y térmicas. Esto es especialmente relevante para los postes endodónticos, ya que las fluctuaciones de temperatura intraoral podrían inducir cambios físicos en su composición [26]. Además, la DSC es lo suficientemente sensible como para detectar transiciones sutiles o la presencia de impurezas que puedan afectar el perfil térmico del material. En nuestros resultados (Figura 8), todos los postes evaluados mostraron un termograma similar, sin transiciones endotérmicas ni exotérmicas visibles. La ausencia de estos eventos térmicos sugiere que los materiales son térmicamente estables dentro del rango probado y es improbable que experimenten cambios en condiciones fisiológicas. Estos hallazgos concuerdan con informes previos que describen perfiles de DSC indicativos de matrices resinosas altamente reticuladas con buena estabilidad térmica [15]. En otras palabras, a pesar de las diferencias en marca u origen, la matriz orgánica de los postes, compuesta principalmente por resinas de metacrilato o epoxi, muestra propiedades de resistencia al calor similares en todos los ámbitos.

Paralelamente, se utilizó TGA para monitorizar el porcentaje de pérdida de masa en un amplio rango de temperaturas, lo que permitió evaluar la estabilidad compositiva y los perfiles de degradación térmica [34]. La TGA proporciona datos clave como la temperatura pico (T_p), que corresponde al punto de máxima pérdida de masa, y ayuda a cuantificar la vulnerabilidad del material a la degradación térmica [26]. En este estudio, la mayoría de los postes presentaron una pérdida de masa de entre el 20 % y el 30 %, excepto RP, que mostró una degradación notablemente menor (Figura 9). Entre las muestras, los valores más altos de T_p se observaron en E, seguido de NP, y ambos mostraron porcentajes comparables de pérdida de peso. Curiosamente, los dos postes sin marca (TT y TB) también mostraron valores de T_p similares, aunque TB presentó una fase de degradación adicional, con un segundo punto de inflexión a 678,19 °C. Esto sugiere una composición más heterogénea, posiblemente relacionada con la presencia de múltiples fases o aditivos que se degradan a diferentes temperaturas.

Las diferencias en la pérdida de masa entre los grupos reflejan la variabilidad composicional de estos materiales. En general, una menor pérdida de peso se asocia con una mayor cristalinidad y una mayor estabilidad térmica, características esenciales para mantener la integridad estructural de los materiales dentales en el entorno oral [34]. Sin embargo, las variaciones observadas también podrían explicarse por la presencia de surfactantes o agentes humectantes utilizados durante la fabricación. Estos agentes pueden ser más sensibles térmicamente y degradarse a temperaturas más bajas, como se ha observado en otros estudios [23]. Por lo tanto, se justifican investigaciones adicionales, como la TGA acoplada a la cromatografía de gases o la espectrometría de masas, para identificar qué componentes específicos son más susceptibles a la degradación térmica. El hallazgo más notable en la TGA fue que el RP mostró la menor pérdida de masa y la mayor estabilidad térmica. Esta observación es consistente con la inclusión por parte del fabricante de un núcleo de aluminio en la composición del RP, un metal conocido por su resistencia a altas temperaturas. En comparación con los postes de solo fibra, el refuerzo metálico en el RP proporciona una clara ventaja térmica. Esta propiedad puede resultar beneficiosa en escenarios clínicos específicos que involucran desafíos térmicos, aunque también podría comprometer otras propiedades funcionales, como se analiza más adelante.

Todos los postes de este estudio se caracterizaron químicamente y se compararon mediante tres técnicas espectroscópicas: espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), espectroscopia Raman y espectroscopia de rayos X por dispersión de energía (EDS). Según la bibliografía actual, la mayoría de los postes de fibra de vidrio disponibles en el mercado consisten en una matriz de resina polimérica, generalmente basada en monómeros de epoxi o metacrilato, con un alto grado de reticulación. Estas matrices suelen incorporar diversos rellenos y agentes radiopacos, y también pueden contener cadenas de PMMA de alto peso molecular [14]. Las fibras integradas en estas matrices generalmente están compuestas

de vidrio eléctrico (vidrio E), que contiene óxidos de metales alcalinos en una fase amorfa, aunque algunos sistemas de alto rendimiento utilizan fibras de vidrio S.

El FTIR proporcionó una visión general de la composición molecular de los postes, ya que se realizó tanto en superficies laterales como transversales sin distinguir entre las regiones de la matriz y de la fibra (Figura 10). Esta técnica de infrarrojo medio mide la absorción de la radiación IR debido a las transiciones vibracionales en enlaces covalentes, ofreciendo una amplia huella química de los materiales compuestos [35]. Debido a que las zonas analizadas se seleccionaron aleatoriamente, se esperaba cierta variabilidad en los datos espectrales. La mayoría de los postes, excepto RP y E en las vistas transversales, se muestrearon en regiones dominantes de la matriz y exhibieron bandas de absorción características relacionadas con el metacrilato: estiramiento de CH₂ a 2915 y 2848 cm⁻¹, y estiramiento de C=O a 1720 y 1465 cm⁻¹. Estos picos son consistentes con los componentes de la resina orgánica. Khan (2021) identificó picos similares, incluyendo el estiramiento C=O (1750–1670 cm⁻¹) y el estiramiento C=C a 1636 cm⁻¹, este último correspondiente a bis-GMA, un componente común de la resina [25]. Alhashimi et al, también reportó bandas de absorción prominentes a 1720 cm⁻¹ y entre 1300–1200 cm⁻¹, estas últimas atribuidas a grupos Si–O de agentes de acoplamiento de silano [14]. Un hallazgo relevante en nuestro estudio fue la variación en la intensidad del pico del grupo fosfato entre los seis postes, lo que sugiere diferencias en la composición del relleno. En general, los espectros FTIR de las regiones dominadas por la matriz mostraron la huella característica de las resinas de metacrilato a base de polietileno, sin signos de degradación oxidativa [15]. Por el contrario, se analizaron RP y E en regiones ricas en fibra (sección transversal). Sus espectros mostraron picos dominantes a 1300 cm⁻¹ (Si–O) y 1022 cm⁻¹ (P–O), correspondientes a la fase vítrea inorgánica [5]. Estos espectros coincidieron estrechamente con los reportados por Khan et al, 2021 para estructuras de Si–O en el rango de 1210 a 1080 cm⁻¹. Además, todas las muestras, independientemente de la región analizada, exhibieron un pico de O–H a 3500 cm⁻¹, indicativo de grupos hidroxilo superficiales. Estos grupos son capaces de sufrir hidrólisis y condensación para formar redes Si–O–Si, lo que puede mejorar la unión con adhesivos a base de silano [23].

La espectroscopia Raman proporcionó una mayor comprensión de la estructura química de los postes, con la ventaja de permitir el análisis localizado de distintas regiones, específicamente, la fibra y la matriz. Como se ilustra en la Figura 11, las regiones de fibra (Figura 11.A) revelaron espectros característicos del vidrio inorgánico. E y NP mostraron perfiles Raman similares, incluyendo una fuerte absorción de C–H entre 2850–3000 cm⁻¹ y una banda de silicato cerca de 1100 cm⁻¹, ambos consistentes con las estructuras de Si–O descritas en la literatura [16]. También se observó una señal de C–H comparable en TT. No se observaron irregularidades ni anomalías espectrales. Sin embargo, al igual que en estudios previos, la interferencia de fluorescencia de las fibras de vidrio limitó la claridad espectral en algunos casos [36]. Los espectros Raman

de las regiones de la matriz (Figura 11.B) confirmaron la presencia de grupos orgánicos como C–O, C=O, C–C, C–H y C=C. Se encontraron picos clave a 2300 cm^{-1} y 3000 cm^{-1} , ambos consistentes con la química del metacrilato. Señales adicionales a 1230 y 1280 cm^{-1} probablemente surgieron de efectos de enlaces de hidrógeno en el grupo carbonilo. Estas características son propias de las redes poliméricas reticuladas, en particular aquellas que involucran los grupos funcionales C=C y C=O, fundamentales para la estructura de la matriz de la resina [37].

Para un análisis elemental más específico, se empleó EDS para estimar la composición atómica tanto de la fibra como de las zonas de la matriz (Tabla 6, Figura 12). EDS identifica los elementos basándose en sus espectros de emisión de rayos X únicos tras la excitación con haz de electrones [38]. Todos los postes analizados contenían carbono y oxígeno dentro de la matriz. Se detectó silicio y aluminio en las fibras de todas las muestras, consistente con la composición de la fibra de vidrio E. Nuestros hallazgos de EDS para PP coinciden estrechamente con los reportados por Zicari et al., quienes documentaron la presencia de SiO_2 , CaO , B_2O_3 y Al_2O_3 en dicho producto, aunque también observamos flúor, el cual no reportaron [14]. De manera similar, otros estudios de postes Exacto (E) encontraron oxígeno, silicio y aluminio como componentes principales [39,40]. Sin embargo, muchos de estos estudios no distinguieron entre las zonas de fibra y matriz durante el análisis, y la mayoría de los datos se obtuvieron a partir de escaneos superficiales. Al igual que en nuestro análisis FTIR, esta limitación podría resultar en un subregistro de componentes inorgánicos incrustados en las capas más profundas del núcleo de la fibra. Uno de los hallazgos más reveladores del EDS fue la comparación entre postes comerciales y sin marca. Si bien ambas categorías compartían la misma estructura química fundamental, los postes comerciales presentaban una mayor probabilidad de contener elementos de refuerzo adicionales. Por ejemplo, el PP fue el único poste que contenía flúor y bario en la matriz, elementos que se añaden comúnmente para mejorar la radiopacidad. El RP incluía aluminio y circonio, mientras que el NP y el E presentaban circonio en sus fibras. Estas mejoras en la composición fueron consistentes con las diferencias observadas en la visibilidad radiográfica y el comportamiento térmico, como se explicó en secciones anteriores.

La radiopacidad es una característica crítica en los postes endodónticos, ya que permite a los clínicos verificar la colocación del poste y evaluar la adaptación a las paredes del conducto durante la evaluación radiográfica. En este estudio, la radiopacidad se evaluó cualitativamente mediante el análisis del contraste en escala de grises de cada poste en radiografías periapicales digitales (Figura 13). Entre todos los postes evaluados, el PP exhibió la radiopacidad más alta, lo que puede atribuirse a la presencia de bario identificado por EDS, un elemento detectado exclusivamente en este poste. El E ocupó el segundo lugar en radiopacidad, seguido del NP, que contiene circonio, un agente radiopacificante conocido [15]. Los postes sin marca (TT y TB), así como el RP, fueron los menos radiopacos. Sin embargo, todos demostraron al menos cierto grado

de radiopacidad. El RP presentó un perfil radiográfico mixto, debido a la presencia de un núcleo interno de aluminio [27]. Furtos et al. observaron que las resinas compuestas utilizadas para incrustar alambres metálicos en dichos postes generalmente muestran una radiopacidad menor que la dentina, mientras que el núcleo metálico puede exhibir una radiopacidad mayor que el esmalte. Esta combinación puede complicar la interpretación radiográfica de la interfaz post-dentina, particularmente en entornos clínicos [27].

Más allá de la radiopacidad, el comportamiento óptico de los postes de fibra, concretamente la translucidez y la opacidad, también es de relevancia clínica. La translucidez se refiere a la capacidad de un material para transmitir o reflejar difusamente la luz a través de un medio turbio, mientras que la opacidad denota resistencia a la penetración de la luz, típicamente causada por dispersión o absorción [41]. Estas propiedades ópticas son cruciales porque influyen en la profundidad de penetración de la luz durante la polimerización del cemento de resina, lo que, a su vez, afecta a la resistencia de la unión entre el poste, el cemento y la dentina [43]. En nuestro estudio, se observaron claras diferencias en la translucidez entre los postes. Los postes comerciales PP, NP y E, junto con el TT sin marca, fueron translúcidos, aunque difirieron en tono. RP y TB, por el contrario, fueron postes opacos, de color blanco. Para evaluar objetivamente el comportamiento de transmisión de la luz, aplicamos el perfilado de haz 3D, una técnica óptica moderna que compila una serie de imágenes de haz 2D adquiridas a distancias incrementales en un perfil 3D de alta resolución [42].

Este análisis reveló patrones distintivos de transmitancia de luz (Figura 14). Como se esperaba, el RP no exhibió transmisión de luz detectable, lo cual se correlaciona con su apariencia opaca y la presencia de un núcleo metálico. El TB también demostró una transmisión de luz muy limitada, la cual se confinó a su región más coronal. Este comportamiento refleja su estructura opaca y confirma además que su color blanco puede ser indicativo de alta dispersión y absorción. Estos resultados son consistentes con estudios previos que informan que la transmisión de luz ocurre predominantemente a través de las fibras y la matriz de resina, y que los postes estéticos con mayor contenido de relleno o pigmentación exhiben tasas de transmisión más bajas [34]. Los postes NP y E mostraron patrones de transmitancia similares; sin embargo, solo el NP permitió que la luz pasara a través de toda su longitud, mientras que el E limitó la transmisión al tercio medio. Estos hallazgos se alinean con los de dos Santos et al., quienes midieron la energía luminosa transmitida a lo largo de diferentes tipos de postes usando un fotómetro digital. Encontraron niveles bajos de energía a mayores profundidades, particularmente en el tercio apical [45]. Viera et al. También evaluaron los perfiles de transmisión de luz de los postes de fibra de vidrio e informaron que los postes sin tratar transmitían la mayor cantidad de luz, con aproximadamente el 75 % de ella localizada en el tercio cervical [43].

En nuestro estudio, se observaron los niveles más altos de transmitancia de luz en los postes PP y TT, que transmitían la luz de forma casi uniforme en toda su longitud. Este resultado destaca el potencial de estos postes para facilitar la polimerización profunda de los cementos de resina. La eficiencia de la transmisión de luz en un poste está estrechamente relacionada con la composición de su matriz de resina, el tamaño y la concentración del relleno, y las características de los pigmentos. Las diferencias en la composición química y estructural entre los postes parecen influir directamente en su rendimiento óptico. Estas observaciones enfatizan la importancia de combinar el tipo de poste con el cemento de resina adecuado. Para postes con baja o nula transmitancia, como RP y TB, se recomienda un cemento de resina de polimerización dual o autopolimerizable para asegurar una polimerización adecuada en las zonas no alcanzadas por la luz. Por el contrario, para postes translúcidos como PP, TT y NP, los cementos fotopolimerizables pueden ser suficientes, siempre que la profundidad clínica se encuentre dentro del rango de polimerización efectivo. Por lo tanto, un conocimiento profundo de las propiedades ópticas de los postes endodónticos es esencial para optimizar los resultados adhesivos en los procedimientos restauradores.

Se realizó un análisis mecánico en los seis tipos de postes de fibra de vidrio mediante una prueba estandarizada de flexión de tres puntos. Como se esperaba, y en consonancia con los hallazgos publicados en la literatura, ninguna de las muestras analizadas experimentó una fractura completa. En cambio, se observó una delaminación parcial de las fibras en algunos casos. Este comportamiento es característico de las estructuras compuestas reforzadas con fibra, donde la disposición interna de las fibras y la composición del material están diseñadas para promover la distribución de la tensión y la redundancia estructural. Estas propiedades mejoran colectivamente la resistencia a fallos catastróficos cuando el poste se somete a cargas funcionales dentro del conducto radicular [14]. Se analizaron dos parámetros: la carga máxima de flexión (N) y la deformación correspondiente en el punto de máxima tensión. Se seleccionó la carga máxima de flexión en lugar de la resistencia a la flexión debido a la variabilidad en la geometría y la conicidad entre los postes, lo que dificultó la medición precisa del área de la sección transversal, un requisito para cálculos precisos de la resistencia a la flexión. Además, dado que ninguno de los postes se fracturó completamente, la carga máxima se consideró una métrica más fiable y clínicamente relevante para la comparación. Como se muestra en la Tabla 7, los postes comerciales PP y E, junto con el poste TT sin marca, presentaron los valores más altos de carga de flexión última. En cambio, el NP mostró el menor rendimiento en este parámetro. Estudios previos, como el de Grandini et al., han confirmado que las fibras son significativamente más rígidas que la matriz de resina circundante, y que una mayor densidad de las fibras suele correlacionarse con un mejor rendimiento mecánico [29].

Esta relación puede explicar por qué el PP, que tenía la mayor densidad de fibra (Tabla 4), también alcanzó la mayor capacidad de carga de flexión. Por el contrario, el NP tenía tanto la menor densidad de fibra como

el peor comportamiento mecánico, lo que refuerza esta asociación directa. Curiosamente, el NP también tenía el mayor diámetro de fibra (26,97 μm), lo que sugiere una posible relación inversa entre el diámetro de la fibra y la resistencia mecánica. Sin embargo, esta tendencia no se aplicó universalmente. El TT, por ejemplo, tenía el segundo mayor diámetro de fibra (22,43 μm) pero aun así demostró un excelente comportamiento mecánico. Estos resultados sugieren que si bien el diámetro de la fibra puede influir en el rendimiento, no es el único factor determinante. Más importante aún, la menor densidad de fibra puede resultar en un mayor contenido de resina interfibrilar, como se muestra en las micrografías SEM (Figura 7), creando zonas con menor refuerzo y mayor susceptibilidad a la concentración de tensiones. Estas regiones estructuralmente más débiles pueden explicar el inferior rendimiento del NP. Sin embargo, la respuesta mecánica también está influenciada por otras variables, como la composición del monómero de resina, el grado de polimerización y el contenido de relleno, que determinan colectivamente la integridad de la interfaz matriz-fibra.

Los valores de deformación en el punto de carga máxima, presentados en la Tabla 8, revelaron un patrón similar. Los postes que demostraron la mayor capacidad de carga (PP, TT y E) también exhibieron la mayor deformación. Por el contrario, NP, TB y RP, que presentaron menor resistencia a la flexión, mostraron una deformación reducida. Este comportamiento podría atribuirse en parte a la inclusión de rellenos de zirconio en NP y RP, que pueden aumentar la rigidez, pero reducen la capacidad del material para flexionarse bajo tensión [14]. Sin embargo, una explicación más plausible reside en la flexibilidad inherente de PP, TT y E, que permitió una mejor distribución de la tensión y retrasó la aparición de fallas estructurales. Una mayor deformación bajo carga, cuando no se acompaña de fractura, indica una capacidad de absorber y disipar energía, características asociadas con una mayor durabilidad en aplicaciones clínicas. Cabe destacar que no se observó una tendencia definitiva con respecto al estado comercial del poste (con marca o sin marca) ni al comportamiento mecánico. PP y TT, uno comercial y otro genérico, obtuvieron los mejores resultados, mientras que NP y TB, también uno comercial y otro genérico, obtuvieron los peores resultados. Esta variabilidad sugiere que el rendimiento mecánico no está determinado estrictamente por la clasificación de mercado del producto, sino por sus propiedades estructurales y compositivas específicas.

Si bien los hallazgos de este estudio brindan información comparativa valiosa, deben reconocerse algunas limitaciones. En primer lugar, el análisis FTIR se realizó utilizando un enfoque generalizado, sin focalización de área específica de la fibra o la matriz. Las investigaciones futuras deben considerar el uso de accesorios de reflectancia total atenuada (ATR) para permitir un análisis más preciso y localizado. En segundo lugar, la radiopacidad se evaluó únicamente mediante radiografía digital convencional. Las imágenes complementarias mediante tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) podrían mejorar la precisión de las evaluaciones de radiopacidad y ayudar a diferenciar variaciones sutiles del material.

Además, los estudios futuros podrían basarse en estos resultados mediante la integración de técnicas de topografía de superficie 3D para explorar más a fondo las diferencias microestructurales. Las propiedades mecánicas relacionadas con la adhesión, como la resistencia de unión por empuje, también deben evaluarse para evaluar las interfaces poste-cemento-dentina. Las pruebas en dientes humanos extraídos, combinadas con termociclado, simularían mejor las condiciones intraorales y mejorarían la relevancia clínica de futuros hallazgos.

5. Conclusiones

Este estudio demuestra que existen diferencias significativas en las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de los postes endodónticos de fibra de vidrio comerciales y genéricos. Si bien todos los postes mostraron una estabilidad térmica similar, se observaron variaciones notables en la configuración de la fibra, la composición química, la radiopacidad, la transmitancia de luz y el comportamiento mecánico. Estos hallazgos subrayan que el origen de la fabricación, con o sin marca, no predice necesariamente el rendimiento, sino que la estructura interna y la composición del material son los principales determinantes. Se pueden extraer las siguientes conclusiones:

1. Se identificaron distintas configuraciones de diámetro, densidad y distribución de la fibra. En varios casos, se observó una relación inversa; por ejemplo, el NP presentó el mayor diámetro de fibra y la menor densidad de fibra, mientras que el PP presentó el menor diámetro de fibra y la mayor densidad de fibra.
2. Todos los postes demostraron estabilidad térmica mediante análisis DSC. Sin embargo, el TGA reveló diferencias en los porcentajes de pérdida de peso, probablemente atribuibles a variaciones en la composición de los materiales.
3. Si bien todos los postes estaban compuestos de fibras de vidrio a base de óxido de silicio y matrices compuestas principalmente por elementos orgánicos (carbono y oxígeno), los postes comerciales contenían elementos de refuerzo adicionales. El PP contenía bario y flúor; el E y el NP presentaban fibras enriquecidas con circonio; el RP incorporaba un alambre interno de aluminio y trazas de circonio. Los postes sin marca mostraron una composición más simple y no contenían elementos nocivos.
4. PP y E fueron los más radiopacos entre los postes probados. Los postes restantes mostraron niveles de radiopacidad más bajos, pero clínicamente aceptables.
5. La transmitancia de luz varió significativamente. Los postes opacos, como RP y TB, mostraron una transmisión de luz insignificante, mientras que los postes translúcidos, PP, NP, E y TT, mostraron diferentes grados de transmitancia a lo largo de su longitud.

6. Los postes con un comportamiento mecánico superior, PP, TT y E, también mostraron una mayor deformación bajo carga máxima, lo que sugiere una distribución de la tensión más efectiva y mayor resiliencia del material. Por el contrario, NP, TB y RP mostraron un menor rendimiento mecánico y una deformación reducida. Estas diferencias no se relacionaron directamente con el estado comercial ni con la marca de los postes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bhuvu B, Giovarruscio M, Rahim N, Bitter K, Mannocci F. The restoration of root filled teeth: a review of the clinical literature. *Int Endod J.* 2021;54(4):509–35.
2. Fráter M, Sáry T, Jókai B, Braunitzer G, Säilynoja E, Vallittu PK, et al. Fatigue behavior of endodontically treated premolars restored with different fiber-reinforced designs. *Dent Mater.* 2021;37(3):391–402.
3. Mannocci F, Bhuvu B, Roig M, Zarow M, Bitter K, Dummer PMH, et al. European Society of Endodontology position statement: The restoration of root filled teeth. *Int Endod J.* 2021;54(11):1974–81.
4. Naumann M, Schmitter M, Krastl G. Postendodontic restoration: Endodontic post-and-core or no post at all? *J Adhes Dent.* 2018;20(1):19–24.
5. Davis P, Lsd M, Rm F, Sherriff M, Pilecki P, Mannocci F, et al. Flexural strength of glass fibre-reinforced posts bonded to dual-cure composite resin cements. 2010;197–201.
6. Giachetti L, Scaminaci Russo D, Baldini M, Bertini F, Steier L, Ferrari M. Push-out strength of translucent fibre posts cemented using a dual-curing technique or a light-curing self-adhering material. *Int Endod J.* 2012;45(3):249–56.
7. David R. Federick, D.M.D. MSD. U, of California at Los Angeles, School of Dentistry, Los Angeles C, Lh. The provisionul fixed partial denture David. *J Prosthet Dent.* 1975;34:520–6.
8. Smith CT. A guide for the restorative dentist. :305–12.
9. da Silva GR, Santos-Filho PC de F, Simamoto-Júnior PC, Martins LRM, da Mota AS, Soares CJ. Effect of post type and restorative techniques on the strain and fracture resistance of flared incisor roots. *Braz Dent J.* 2011;22(3):230–7.
10. Dikbas I, Tanalp J. An overview of clinical studies on fiber post systems. *Sci World J.* 2013;2013.
11. Stewardson DA, Shortall AC, Marquis PM. The effect of the elastic modulus of endodontic posts on static load failure. *Int Endod J.* 2011;44(5):458–68.
12. Bateman G, Ricketts DNJ, Saunders WP. Fibre-based post systems: A review. *Br Dent J.* 2003;195(1):43–8.

13. Lamichhane A, Xu C, Zhang F qiang. Dental fiber-post resin base material: A review. *J Adv Prosthodont*. 2014;6(1):60–5.
14. Zicari F, Coutinho E, Scotti R, Van Meerbeek B, Naert I. Mechanical properties and micro-morphology of fiber posts. *Dent Mater* [Internet]. 2013;29(4):e45–52.
15. Almaroof A, Alhashimi R, Mannocci F, Deb S. New functional and aesthetic composite materials used as an alternative to traditional post materials for the restoration of endodontically treated teeth. *J Dent* [Internet]. 2015;43(11):1308–15.
16. Raygot CG, Chai J, Jameson DL. Fracture resistance and primary failure mode of endodontically treated teeth restored with a carbon fiber-reinforced resin post system in vitro. *Int J Prosthodont* [Internet]. 2023;14(2):141–5.
17. Madytianos B, Liu E, Marshall A, Mahony E, Liu K, Manogaran J, et al. A critical evaluation of physical and manufacturing properties of genuine and counterfeit rotary nickel–titanium endodontic instruments. *Aust Dent J*. 2023;68(3):179–85.
18. World FDI, Federation D. FDI policy statement on Grey market and non-compliant dental products: Adopted by the FDI General Assembly: September 2016, Poznan, Poland. *Int Dent J* [Internet]. 2017;67(1):14–5.
19. Christensen GJ. Are You Using “Gray-Market” or Counterfeit Dental Products? *J Am Dent Assoc* [Internet]. 2010 Jun;141(6):712–5.
20. Montero-Aguilar M. Gray Materials in Dentistry: The Latin America Paradox. *Odovtos - Int J Dent Sci* [Internet]. 2017 Nov 22;20(1):9.
21. Alhashimi R, Mannocci F, Foxton R, Deb S. Fabrication and characterization of polymer composites for endodontic use. *Int Endod J*. 2014;47(6):574–82. ERA EL 23
22. Saen P, Atai M, Nodehi A, Solhi L. Physical characterization of unfilled and nanofilled dental resins: Static versus dynamic mechanical properties. *Dent Mater* [Internet]. 2016;32(8):e185–97. ERA EL 21
23. Wang Y, Wang R, Habib E, Wang R, Zhang Q, Sun B, et al. Surface modification of quartz fibres for dental composites through a sol-gel process. *Mater Sci Eng C*. 2017;74:21–6. ERA EL 22
24. Hu C, Wang F, Yang H, Ai J, Wang L, Jing D, et al. Preparation and characterisation of poly p-phenylene-2,6-benzobisoxazole fibre-reinforced resin matrix composite for endodontic post material: A preliminary study. *J Dent* [Internet]. 2014;42(12):1560–8.
25. Khan AS, AlMaimouni YK, Benrashed MA, Alyousef NI, Siddiqui U, Ahmad N, et al. A laboratory study to assess the physical, mechanical, and 3-D structural properties of nano-apatite grafted glass fibre-based endodontic posts. *Int Endod J*. 2021;54(12):2307–20.

26. Chavarría-Bolaños D KTV-BJUE. Examining the Physicochemical Composition of Three Bioceramic Putties for Endodontic Use. *Eur Endod J.* 2024;EEJ-07769.
27. Furtos G, Baldea B, Silaghi-dumitrescu L. Development of new radiopaque glass fiber posts. *Development of new radiopaque glass fiber posts.* 2015;(November).
28. Shimokawa CAK, Turbino ML, Giannini M, Braga RR, Price RB. Effect of curing light and exposure time on the polymerization of bulk-fill resin-based composites in molar teeth. *Oper Dent.* 2020;45(3):E141–56.
29. Grandini S, Goracci C, Monticelli F, Tay FR, Ferrari M. Fatigue resistance and structural characteristics of fiber posts: Three-point bending test and SEM evaluation. *Dent Mater.* 2005;21:75–82.
30. Braga NMA, Souza-Gabriel AE, Messias DCF, Rached-Junior FJA, Oliveira CF, Silva RG, et al. Flexural properties, morphology and bond strength of fiber-reinforced posts: Influence of post pretreatment. *Braz Dent J.* 2012;23(6):679–85.
31. Coldea A, Swain MV, Thiel N. Mechanical properties of polymer-infiltrated-ceramic-network materials. *Dent Mater.* 2013;29:419–26.
32. Seefeld F, Wenz HJ, Ludwig K, Kern M. Resistance to fracture and structural characteristics of different fiber reinforced post systems. *Dent Mater.* 2007;23:265–71.
33. Novais VR, Rodrigues RB, Simamoto Júnior PC, Correr-Sobrinho L, Soares CJ. Correlation between the mechanical properties and structural characteristics of different fiber posts systems. *Braz Dent J.* 2016;27:46–51.
34. Saber S, Galal MM, Ismail AG, Hamdy TM. Thermal, chemical and physical analysis of VDW.1Seal, Fill Root ST, and ADseal root canal sealers. *Sci Rep.* 2023;13:1–9.
35. Della Ventura G, Bellatreccia F, Marcelli A, Cestelli Guidi M, Piccinini M, Cavallo A, et al. Application of micro-FTIR imaging in the Earth sciences. *Anal Bioanal Chem.* 2010;397:2039–49.
36. Tselios CH, Bikiaris D, Savidis C. Glass-fiber reinforcement of in situ compatibilized polypropylene/polyethylene blends. *J Mater Sci.* 1999;34:385–95.
37. Bernardi MIB, Rojas SS, Andreetta MRB, De Rastelli ANS, Hernandez AC, Bagnato VS. Thermal analysis and structural investigation of different dental composite resins. *J Therm Anal Calorim.* 2008;94:791–6.

38. Mishra RK, Thomas S, Zachariah AK. Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy Techniques for Nanomaterial. In: *Microscopy Methods in Nanomaterials Characterization*. Elsevier Inc.; 2017. p. 383–405.
39. Reis GR, Silva FP, Oliveira-Ogliari A, Faria-e-Silva AL, Moraes RR, Novais VR, et al. An experimental thermally deposited coating for improved bonding to glass-fiber posts. *J Adhes Dent*. 2017;19:49–58.
40. Batista VES, Vechiato-Filho AJ, Cesar PF, Goiato MC, Rangel EC, Pellizzer EP, et al. Surface characterization of a glass fiber post after nonthermal plasma treatment with hexamethyldisiloxane. *J Adhes Dent*. 2017;19:525–33.
41. Ilie N, Furtos G. A comparative study of light transmission by various dental restorative materials and the tooth structure. *Oper Dent*. 2020;45:442–52.
42. Juckes SM, Sullivan B, Kostylev I, Price RB, Labrie D. Three-dimensional beam profiling used to characterize dental light-curing units. *Appl Opt*. 2019;58:9540.
43. Vieira C, Bachmann L, De Andrade Lima Chaves C, Correa Silva-Sousa YT, Correa Da Silva SR, Alfredo E. Light transmission and bond strength of glass fiber posts submitted to different surface treatments. *J Prosthet Dent*. 2021;125:674.e1–674.e7.
44. Ho YC, Lai YL, Chou IC, Yang SF, Lee SY. Effects of light attenuation by fibre posts on polymerization of a dual-cured resin cement and microleakage of post-restored teeth. *J Dent* 2011;39:309–15.
45. dos Santos Alves Morgan LF, Peixoto RTR da C, de Castro Albuquerque R, Santos Corrêa MF, de Abreu Poletto LT, Pinotti MB. Light transmission through a translucent fiber post. *J Endod*. 2008;34:299–302.