



PATRÓN DE FRACTURA DE ESTRUCTURAS TRILOR® CON VOLADIZOS CORTOS: EVALUACIÓN CON SEM

AUTORES

Juan José Martínez Betancourt

Daniela Vanessa Rodríguez De Arco

**COLEGIO ODONTOLÓGICO
INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA COLEGIOS DE COLOMBIA - UNICOC
REHABILITACIÓN ORAL
SANTIAGO DE CALI
24 DE JUNIO DE 2026**



**PATRÓN DE FRACTURA DE ESTRUCTURAS TRILOR® CON VOLADIZOS CORTOS: EVALUACIÓN
CON SEM**

AUTORES

Juan José Martínez Betancourt

Daniela Vanessa Rodríguez De Arco

DIRECTOR

Gloria Judith Herrera Lara.

Especialista en rehabilitación oral.

ASESOR METODOLÓGICO

Alejandra Ordoñez.

Magister en Epidemiología.

ASESOR ESTADÍSTICO

Julián Andrés Tamayo.

Magister en Logística.

**COLEGIO ODONTOLÓGICO
INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA COLEGIOS DE COLOMBIA - UNICOC
REHABILITACIÓN ORAL**



**PATRÓN DE FRACTURA DE ESTRUCTURAS TRILOR® CON VOLADIZOS CORTOS: EVALUACIÓN
CON SEM**

**FRACTURE PATTERN OF TRILOR® STRUCTURES WITH SHORT
CANTILEVERS: EVALUATION WITH SEM**

Juan José Martínez Betancourt

Daniela Vanessa Rodríguez de Arco

Gloria Judith Herrera Lara

Odontólogo, Residente de la Especialización en Rehabilitación Oral - Institución Universitaria Colegios de Colombia – UNICOC

Odontóloga, Residente de la Especialización en Rehabilitación Oral - Institución Universitaria Colegios de Colombia – UNICOC

Odontóloga, Especialista en Rehabilitación Oral, Docente Colegio Odontológico - Institución Universitaria Colegios de Colombia - UNICOC

**PATRÓN DE FRACTURA DE ESTRUCTURAS TRI-LOR® CON VOLADIZOS
CORTOS: EVALUACIÓN CON SEM**

Resumen

Objetivo: Analizar a nivel microscópico SEM cómo es el patrón de fractura de estructuras con voladizos cortos fabricadas con el polímero reforzado con fibra de vidrio TriLor® obtenidas de un estudio mecánico previo. **Métodos:** Estudio in vitro, con 10 estructuras fabricadas con un polímero reforzado con fibra de vidrio TriLor®, con voladizos distales de 7mm y 10 mm, 4 estructuras con revestimiento acrílico y 6 estructuras sin revestimiento acrílico. Las muestras previamente fracturadas se analizaron para observar el patrón de fractura, identificar los puntos de inicio y propagación de la fractura, y evaluar la influencia de la longitud del voladizo en el comportamiento del material. **Resultados:** Las estructuras de TriLor® con revestimiento presentaron una marcada predominancia de falla adhesiva. En el grupo de 7 mm, se identificaron 5 fallas adhesiva y una sin fallo. Por su parte, el grupo de 10 mm registró 5 fallas adhesivas y 1 cohesiva. No se observaron fallas de tipo mixto en ninguna de las muestras, evidenciando un comportamiento estructural uniforme ante la carga. Las estructuras sin revestimiento acrílico exhibieron en su mayoría una combinación de fallas cohesivas. A diferencia de los grupos con revestimiento, estas muestras presentaron una degradación compleja de la interfase y de la matriz del tecnopolímero, evidenciando que la ausencia del componente acrílico altera la distribución de tensiones y el modo de propagación de la fractura en el material, la zona crítica donde comienza el patrón de fractura es la zona de multiunit. **Conclusiones:** Las estructuras TriLor® si presentan variación dependiendo de su voladizo, se debe destacar la falla adhesiva de las estructuras en voladizos de diferentes longitudes (10 mm y 7 mm). Se observó que la zona central mostró una mayor resistencia en comparación con los voladizos en los lados derecho e izquierdo. Al analizar la relación entre la longitud del voladizo y la resistencia flexural de las estructuras, se concluye que aquellas con un voladizo de 7 mm presentan una mayor resistencia, según los resultados de las pruebas.

Palabras clave: Trilor®, Voladizos, SEM, Resistencia flexural

FRACTURE PATTERN OF TRILOR® STRUCTURES WITH SHORT CANTILEVERS: EVALUATION WITH SEM

Abstract

Objective: To analyze, using SEM microscopy, the fracture pattern of structures with short cantilevers made of the glass fiber reinforced polymer TriLor®, obtained from a previous mechanical study. **Methods:** An in vitro study was conducted with 10 structures made of TriLor® glass fiber reinforced polymer, with distal cantilevers of 7 mm and 10 mm. Four structures had an acrylic coating, and six did not. The previously fractured samples were analyzed to observe the fracture pattern, identify the points of fracture initiation and propagation, and evaluate the influence of cantilever length on material behavior. **Results:** The coated TriLor® structures showed a marked predominance of adhesive failure. In the 7 mm group, five adhesive failures and one without failure were identified. The 10 mm group showed five adhesive failures and one cohesive failure. No mixed failures were observed in any of the samples, demonstrating uniform structural behavior under load. The structures without acrylic coating mostly exhibited a combination of cohesive failures. Unlike the coated groups, these samples showed complex degradation of the technopolymer interface and matrix, demonstrating that the absence of the acrylic component alters the stress distribution and the fracture propagation mode in the material. The critical zone where the fracture pattern begins is the multiunit zone. **Conclusions:** TriLor® structures do exhibit variation depending on their cantilever length. Adhesive failure in structures with cantilevers of different lengths (10 mm and 7 mm) is noteworthy. The central zone showed greater resistance compared to the cantilevers on the right and left sides. Analyzing the relationship between cantilever length and flexural strength, it is concluded that those with a 7 mm cantilever exhibit greater resistance, according to the test results.

Keywords

TriLor®, Overhangs, SEM, Flexural Strength

PATRÓN DE FRACTURA DE ESTRUCTURAS TRILOR® CON VOLADIZOS CORTOS: EVALUACIÓN CON SEM

Introducción

El TriLor® es un material compuesto de alto rendimiento (technopolymer) que surge como una alternativa a las estructuras metálicas tradicionales en odontología. Está compuesto por una matriz de resina termoendurecible reforzada con un entramado multidireccional de fibras de vidrio (1). Su diseño busca mimetizar las propiedades mecánicas del tejido óseo, ofreciendo un módulo elástico cercano al del hueso cortical (aproximadamente 18-20 GPa), lo que reduce el estrés en la interfaz implante-hueso (1,2).

El TriLor® tiene ese potencial de convertirse en una opción a los materiales tradicionales (3). El mismo ha sido objeto de rigurosos protocolos de investigación con el fin de validar su aplicabilidad clínica en prótesis y rehabilitación oral. Dichos estudios se han centrado primordialmente en caracterizar su comportamiento biomecánico y estabilidad química bajo condiciones que mimetizan el entorno dinámico de la cavidad oral (2,4).

Un estudio anterior de Quintana y colaboradores (2024) evaluó la Resistencia flexural de una estructura para prótesis híbrida fabricada con polímero reforzado con fibra de vidrio TriLor® sin revestimiento acrílico (2). Para ello, se sometieron a prueba diferentes diseños de estas prótesis, variando la longitud del voladizo distal, evaluando la resistencia en esta zona. En la continuación del mismo estudio de Panesso y colaboradores (2024) evaluaron las propiedades mecánicas de una prótesis híbrida fabricada con polímero reforzado con fibra de vidrio TriLor® revestidas con acrílico (4), donde se utilizaron 4 estructuras de TriLor® con su enfilado, las mismas se sometieron a ciclos de envejecimiento (termociclado) simulando a 1 año en un medio con saliva artificial utilizando una

fuerza aproximada de 900 N, en el laboratorio químico de la facultad la Universidad Nacional. El proceso de termociclado se realizó con saliva artificial, a 37°C, con un pH de 7, las muestras fueron sometidas a 5.000 ciclos (4,5), después fueron sometidas a un proceso de prueba de esfuerzo realizada con máquina universal Instron.

El soporte fue el mismo utilizado por Quintana y colaboradores, (2024) para las pruebas de flexión realizada a estructuras de TriLor® sin revestimiento acrílico que se llevaron a cabo en la primera fase de esta línea de investigación (2). En la parte superior de la máquina, se instaló la punta diseñada, la cual se ubicó en el surco central del último molar, desde mesial hasta distal, la prueba para el voladizo de 7 mm fue seguida de la vía de acceso del último implante ubicado en zona de molares y para el de 10 mm fue ubicado entre el implante y el final del voladizo. la prueba se realizó entre los implantes que se encontraban en zona de 32-33, 42-43, específicamente entre zona de 31-41 (4).

El presente estudio hace parte de la misma línea de investigación. Se analizaron un total de 8 muestras de TriLor®, subdivididas equitativamente en: 4 estructuras en estado puro (sin recubrimiento) y 4 estructuras acondicionadas con revestimiento acrílico, con el fin de evaluar la influencia de este último en el comportamiento del material. (4), las cuales fueron observadas bajo un Microscopio Electrónico de Barrido (FEI – modelo QUANTA 250) de la Universidad de Caldas, Manizales, y solo una de las estructuras utilizada para la prueba piloto se le aplicó un Sistema de Recubrimiento de Muestras (oro) Mini Sputter Coater SC7620 (6) .

En el contexto de los biomateriales dentales, una falla se define como la pérdida de integridad estructural o funcional de la prótesis bajo carga (7,8). Estas se categorizan principalmente en tres tipos observables a nivel microscópico ver imagen 1.

Falla Adhesiva: Separación completa de la interfaz entre dos materiales distintos (TriLor® y el revestimiento acrílico), sin dejar restos de un material sobre el otro (9).

Falla Cohesiva: Ocurre cuando la fractura se presenta dentro del mismo material o matriz, evidenciando que la unión entre las capas o componentes internos ha fallado. En el TriLor®, esto puede manifestarse como la separación de la resina de sus fibras de vidrio (9).

Falla Mixta: Es una combinación de las anteriores, donde se observan áreas de desprendimiento interfacial y zonas de fractura interna del material (10).

La evaluación mediante SEM es fundamental porque permite una resolución y profundidad de campo muy superior a la microscopía óptica convencional (11). En estudios de fractografía dental, el SEM es esencial para identificar el punto de origen y la dirección de propagación de la grieta (12). También es útil para analizar la interacción microestructural entre las fibras de vidrio y la matriz polimérica, así como para observar fenómenos como los "puentes de fibra" que explican la tenacidad del material ante la flexión (13).

El propósito de este estudio es analizar a nivel microscópico SEM cómo es el patrón de fractura de estructuras con voladizos (*cantilevers*) cortos fabricadas con el polímero reforzado con fibra de vidrio TriLor® obtenidas de un estudio mecánico previo.

Materiales y métodos

Diseño del estudio

El presente estudio empleó un diseño experimental *in vitro*, lo que garantizó un ambiente controlado para aislar variables que en clínica serían erróneas. Se estandarizaron variables críticas como la longitud de los voladizos (7mm y 10mm),

el punto de aplicación de la fuerza, si presentaban o no revestimiento acrílico asegurando que las diferencias observadas en los patrones de fractura mediante SEM fueran atribuibles exclusivamente a los estudios de resistencia flexural anteriores y no a factores externos.

Muestra

Se analizaron 10 estructuras de TriLor® fracturadas: 6 sin revestimiento acrílico y 4 con revestimiento, obtenidas de protocolos experimentales previos.

Criterios de selección.

Estructuras realizadas con material TriLor® revestidas y no revestidas de acrílico, que habían sido evaluadas previamente para determinar su resistencia flexural.

Los criterios de inclusión abarcaron estructuras compuestas por fragmentos de TriLor® y voladizos fracturados, los cuales fueron derivados de fases investigativas previas (2,4). En total, se seleccionaron especímenes que presentaban fallas estructurales documentadas, asegurando la integridad de los fragmentos para su posterior evaluación microscópica.

Como criterios de exclusión, se descartó material TriLor® que no se hubiera procesado y fresado previamente, así como especímenes que presentaran fracturas o defectos morfológicos no derivados directamente de los ensayos de resistencia flexural. Asimismo, se omitieron muestras cuya superficie de fractura estuviera contaminada o alterada, impidiendo un análisis microscópico.

Preparación de las muestras:

Para la estandarización del análisis microscópico, se llevó a cabo una prueba piloto empleando una estructura con revestimiento acrílico y voladizo de 10 mm. Las superficies fracturadas fueron recubiertas con una capa homogénea de oro de 10 nm mediante un metalizador al vacío (Mini Sputter Coater SC7620) (10) *ver fotografía 1*, con el fin de optimizar la conductividad de la muestra y facilitar la identificación de los puntos de inicio y propagación de la fractura *ver fotografía 2*. (6). Posteriormente, se compararon estas imágenes con estructuras sin

recubrimiento metálico; al no encontrarse diferencias significativas ni presencia de artefactos de carga que comprometieran la evaluación de la morfología de falla, se optó por omitir el proceso de metalización en el resto de la muestra experimental y ser observadas en un microscopio Electrónico de Barrido (FEI – modelo QUANTA 250) de la Universidad de Caldas, Manizales *ver fotografía 3*.

Debido al carácter descriptivo y cuantitativo del análisis mediante microscopía electrónica de barrido (SEM), no se aplicaron pruebas estadísticas. La investigación se centró exactamente en la identificación y caracterización morfológica de los patrones de falla, donde la unidad de análisis es la topografía de la superficie fracturada y no la variabilidad numérica entre grupos.

De acuerdo con la Resolución 8430 de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia (14), la presente investigación se clasifica como una investigación sin riesgo, dado que se trata de un estudio *in vitro* que no involucra intervenciones en seres humanos ni animales. No obstante, se establecieron los siguientes protocolos para garantizar la integridad del personal y de las muestras:

Gestión de riesgos mecánicos: Se identificó un riesgo potencial de laceraciones cutáneas derivado de la manipulación de las estructuras de TriLor®, debido a la exposición de las fibras de vidrio en las zonas de fractura (15). Para mitigar este riesgo, se implementó un protocolo estricto de manejo de fragmentos.

Protocolo de bioseguridad: El personal investigador cumplió con el uso riguroso de Elementos de Protección Personal (EPP), incluyendo guantes de nitrilo, protección ocular y mascarilla. Estas medidas evitaron tanto lesiones accidentales como la contaminación cruzada de las superficies de interés fractográfico (16).

Normatividad institucional: El estudio se rigió bajo los principios éticos y manuales de bioseguridad del laboratorio de la Universidad de Caldas, asegurando el manejo adecuado de los residuos generados.

Integridad de la muestra: Se aplicó un protocolo de custodia y manipulación de las estructuras para preservar la morfología de las fallas, garantizando la fidelidad de los resultados obtenidos mediante la microscopía electrónica.

Resultados

Se evaluaron en total 10 estructuras de TriLor® (4 estructuras con revestimiento acrílico y 6 estructuras sin revestimiento acrílico). En todas las muestras se realizaron pruebas en tres áreas: Lado derecho, izquierdo y centro, determinando que tipo de fallo se presentó (cohesivo, adhesivo o mixto). Se evidenció que los patrones de fractura no se distribuyen de manera homogénea, observándose una mayor frecuencia de fallos adhesivos tanto para los voladizos de 7mm y los de 10mm.

Fisura interna en componente Multi-unit. Al presentarse una fisura interna en el componente Multi-unit, la estructura pierde su solidez original. Esto no solo debilita el soporte de la prótesis, sino que altera su asentamiento exacto sobre los implantes (ajuste pasivo). Como resultado, el esfuerzo de la masticación se concentrará en esa grieta, creando un punto de fatiga que puede terminar por romper todo el sistema bajo cargas que normalmente debería soportar. *ver imagen 4.*

En la imagen 7, se analizaron a 500 y 3000 aumentos las fibras de vidrio sobre la superficie expuesta del TriLor®. Se confirma una falla de tipo adhesivo entre el polímero y el acrílico, evidenciada por la ausencia de restos de resina sobre la trama de fibra. A mayor aumento (3000x), se observa que las fibras conservan su morfología original sin rastros de unión química efectiva, lo que sugiere que la fractura ocurrió limpiamente en la interfaz de ambos materiales. Durante el análisis microscópico, se utilizó la herramienta de medición digital integrada en el software del microscopio electrónico (SEM) para caracterizar la morfología de las fibras. Se determinó que el diámetro de estas oscila entre los 9 y 10 micrómetros, lo cual permitió confirmar la homogeneidad del material TriLor® y validar que la escala de observación era la adecuada para identificar los puntos de inicio de la fractura.

Al analizar a 500 aumentos (imagen 9) se aprecia con mayor detalle cómo se produjo la falla del material TriLor®. Las fibras en sentido vertical de esta imagen no han fracturado; en tanto que las fibras en sentido horizontal (hacia el observador) presentan rotura en diferentes longitudes. Este fenómeno permite inferir que algunas de las fibras expuestas a las mayores cargas aplicadas hasta la falla, no se encuentran lo suficientemente adheridas a la matriz, lo que genera que se desprendan de ésta. Lo ideal es que en su mayoría fallen de manera uniforme a nivel de la superficie de fractura. Esta forma de fractura entre las fibras de vidrio y la matriz de resina es también falla adhesiva al interior del material TriLor®. Los resultados muestran que los voladizos de 10 mm presentaron una fractura complicada, mientras que los voladizos de 7 mm no presentaron un fallo tan determinante como las de 10 mm, el voladizo de 7 mm B no presentó fallos. Ver *tabla 11 y 12*.

A pesar de que en su mayoría la falla entre acrílico y TriLor® es adhesiva, se presentan algunas pequeñas zonas donde se produjo falla cohesiva en el sistema general por desprendimiento de material de resina del TriLor® dejando expuestas las fibras en su interior en la estructura 10 mm A de la prueba piloto en el centro de la estructura, como se evidencia en la imagen 9. Se observó que la zona crítica donde ocurre la fractura es la zona de multiunit.

Discusión

En cuanto a la naturaleza de las fallas, nuestros resultados mostraron una baja incidencia de fallo adhesivo puro en las estructuras de TriLor®. Este comportamiento es consistente con lo reportado por Lahoud et al. (2025) (7) quien sugiere que los materiales compuestos con un módulo elástico cercano al de los tejidos dentales (18-20 GPa) tienden a generar menores concentraciones de tensión en las interfaces. Al comparar nuestro análisis microscópico con la literatura se observa que TriLor®, al igual que la fibra de carbono favorece una distribución de cargas que podría proteger la integridad de la unión cementada, lo cual

explicaría la predominancia de fallas de tipo cohesivo o mixto observadas en nuestra muestra.

En un estudio de fractografía dental reciente, Cabrera et al. (2026) describieron el fallo adhesivo como fracturas interfaciales sin residuos de material adherido en la superficie, observables mediante SEM (17). En el estudio las prótesis de zirconio, este tipo de fallo se asoció frecuentemente con una ausencia de tags de resina adecuados o con una capa híbrida insuficientemente formada. Diferentes métodos de tratamiento de superficie parecen mejorar la superficie de unión de los polímeros de alto rendimiento como el PEEK/PEKK parece mejorar (18).

Los estudios, incluidos los de Lahoud et al. (2024) y Khosroabadi et al. (2016), son de naturaleza *in vitro*, lo que no puede replicar completamente el entorno oral complejo (humedad, cargas termocíclicas, flora microbiana) (7,18).

Es importante conocer que la integridad estructural a largo plazo de los materiales compuestos no está gobernada por un solo fenómeno, sino por la compleja y sinérgica interacción de múltiples factores de degradación (19) . La resistencia a cargas estáticas, la fluencia y la fatiga no actúan de forma aislada; por el contrario, su interacción acelera la degradación del material de una manera que no puede predecirse estudiando cada fenómeno por separado (20) . Comprender estas sinergias es fundamental para el diseño fiable de componentes en sectores como el aeroespacial, la energía, el transporte y las aplicaciones biomédicas. Pruebas de inmersión en saliva artificial han demostrado que el Trilor® mantiene su integridad morfológica y masa (con variaciones mínimas de -0.18 a 1.82 mg) incluso en entornos de acidez extrema (pH de 3 a 5.7), simulando condiciones de reflujo gastroesofágico (3).

En cuanto a la resistencia a cargas estáticas, la resistencia última a la tracción y compresión es la que define el límite teórico de carga que un material compuesto puede soportar en una sola aplica (20). Sin embargo, este valor, obtenido en condiciones controladas de laboratorio, rara vez representa el escenario operativo real (21)l. La microestructura del composite (naturaleza de la fibra y la matriz,

orientación de las fibras, calidad de la interfaz y porosidad) (22) , determina este límite inicial. Cualquier daño posterior por otros mecanismos reducirá progresivamente esta resistencia inherente (19).

Bajo una carga sostenida (inferior a su límite elástico), los materiales compuestos, sometidos a temperaturas elevadas, experimentan una deformación lenta y progresiva en el tiempo conocida como fluencia. Este factor puede ser inducido en el momento del fresado o mecanizado del material para darle forma. (19).

La fluencia puede iniciar microfisuras en la matriz o en la interfaz fibra/matriz. Estas microfisuras actúan como concentradores de tensión, reduciendo significativamente la resistencia a la fatiga del material al facilitar la iniciación y propagación de grietas bajo cargas cíclicas. Las microfisuras y deformaciones por fluencia también crean nuevos caminos para la penetración de agentes corrosivos (humedad, sales, productos químicos) hacia el interior del material, acelerando los procesos de degradación (23).

El revestimiento acrílico influye significativamente en las estructuras de TriLor®, afectando no solo la resistencia flexural (fuerza máxima soportada), sino también el tipo de falla y la distribución de tensiones en comparación con las estructuras que no lo tienen.

Basado en los estudios comparativos, estas son las principales influencias:

1. Cambio en el Patrón y Tipo de Falla

La diferencia más notable identificada mediante microscopía SEM es la naturaleza de la fractura:

- **Estructuras con revestimiento:** Predomina la falla cohesiva. Esto indica que la fractura ocurre dentro de la propia matriz del material o en la unión de sus componentes internos antes que en la interfase externa (24,25).
- **Estructuras sin revestimiento:** Presentan mayoritariamente falla mixta (adhesiva y cohesiva). La ausencia del acrílico provoca una degradación compleja tanto de la interfase como de la matriz del tecnopolímero,

evidenciando que el acrílico ayuda a que la carga se distribuya de forma más uniforme antes de que el material colapse (26).

2. Influencia en la Resistencia Flexural (N y MPa)

Al comparar los valores de fuerza máxima necesarios para causar la fractura completa de la barra (Falla 4):

- **Sin revestimiento:** Para estructuras de 7 mm, la fuerza máxima promedio fue de 1200.8 N (2).
- **Con revestimiento:** Para las mismas estructuras de 7 mm, se registraron valores de 1552 N y 1201 N para alcanzar la fractura de la barra. Esto sugiere que el revestimiento acrílico puede proporcionar una capa de protección adicional o absorber parte de la energía inicial (25), aunque las fallas superficiales (dientes y acrílico) ocurren a cargas menores (4).

3. Distribución de Tensiones y Comportamiento Mecánico

- **Modo de propagación:** El revestimiento altera el modo en que se propaga la fractura. En estructuras de 7 mm con acrílico, se observó principalmente astillamiento del revestimiento o fractura dental, protegiendo la integridad de la barra. En cambio, en voladizos de 10 mm, el revestimiento no fue suficiente para evitar la fractura completa de la barra bajo cargas elevadas (27).
- **Debilidades introducidas:** A pesar de su beneficio en la distribución de carga, el revestimiento introduce vulnerabilidades. Las discrepancias en los coeficientes de expansión térmica (28) entre el TriLor® y la resina acrílica pueden generar microgrietas y fallas de cohesión interna durante el uso. Además, la falta de una unión química efectiva hace que, al fallar el sistema, las fibras de vidrio queden "limpias", sin restos de acrílico adherido.

El revestimiento acrílico actúa como un modificador de tensiones que favorece fallas adhesivas internas en lugar de degradaciones mixtas complejas, aunque introduce desafíos adicionales de adhesión e interfase que deben ser gestionados clínicamente.

Entre los efectos que se pueden presentar en las fibras y la interfaz, la humedad y los productos químicos pueden disolver el tamaño protector de las fibras y degradar la matriz, lo que lleva a la pérdida de adhesión en la interfaz. Esto compromete la capacidad de transferir carga de la matriz a las fibras, reduciendo drásticamente la resistencia, rigidez y resistencia a la fatiga del compuesto (29).

Por lo anteriormente descrito, la integridad de un material compuesto en servicio es el resultado de un frágil equilibrio. La resistencia a cargas estáticas define el umbral inicial, pero son los mecanismos de degradación sinérgica los que dictan la vida útil real.

Se sugieren mejoras al material como su interacción entre resina y fibra, ya que el tipo de falla más común observado el material TriLor® era falla adhesiva. Una falla entre las dos interfases (estructura y acrílico) existe la posibilidad que, al mejorar esta falla, su resistencia aumente significativamente, además las fibras de la estructura quedaban expuestas sin presentar fractura posiblemente debido a su falta de unión entre resina y fibras. (30)

Conclusiones.

Como conclusiones del presente estudio, las estructuras TriLor® si presentan variación dependiendo de su voladizo, se debe destacar la falla adhesiva de las estructuras en voladizos de diferentes longitudes (10 mm y 7 mm).

Se observó que la zona central mostró una mayor resistencia en comparación con los voladizos en los lados derecho e izquierdo.

Al analizar la relación entre la longitud del voladizo y la resistencia flexural de las estructuras, se concluye que aquellas con un voladizo de 7 mm presentan una

mayor resistencia, según los resultados de las pruebas, la fractura ocurre sitio crítico el cual es la zona de multiunit.

Recomendaciones

Generar macroretención modificando el diseño de la estructura y además utilizar agentes de unión como la silanización de la estructura y un medio adhesivo.

Priorizar voladizos de 7 mm o menos en las estructuras.

Se requieren más ensayos a futuro para determinar la efectividad del TriLor®, se recomienda, evaluar en pacientes la supervivencia oral de este material.

Agradecimientos.

Los autores expresan su gratitud a la Dra. Gloria Herrera, directora de este proyecto, por su invaluable orientación técnica y académica durante el desarrollo de la investigación. Asimismo, extendemos nuestro reconocimiento a los que hicieron a los antecedentes de este proyecto y a la Institución Universitaria Colegios de Colombia (UNICOC), Finalmente, agradecemos a nuestras familias y amigos que fueron indispensables para lograr este gran objetivo.

Conflicto de interés

No existen conflictos de interés.

Referencias

1. TRILOR ® manual La solución para una odontología sin metal.

2. Adolfo Pérez Quintana G, Hernán Meneses Silva E, Judith Herrera Lara G, Ordoñez Molina A, Humberto Martínez Cajas C. Resistencia flexural de una estructura de prótesis híbrida fabricada con polímero reforzado con fibra de vidrio Trilor®.
3. Bechir F, Bataga SM, Tohati A, Ungureanu E, Cotrut CM, Bechir ES, et al. Evaluation of the behavior of two cad/cam fiber-reinforced composite dental materials by immersion tests. *Materials*. 2021 Dec 1;14(23). doi:10.3390/ma14237185
4. Panesso JD, Satizabal P, López FS. Propiedades mecánicas de una prótesis híbrida fabricada con polímero reforzado con fibra de vidrio Trilor®. 2024.
5. Haroyan-Darbinyan E, Romeo-Rubio M, Río-Highsmith J Del, Lynch CD, Castillo-Oyagüe R. Fracture resistance of cantilevered full-arch implant-supported hybrid prostheses with carbon fiber frameworks after thermal cycling. *J Dent*. 2022 Jan 1;116. doi:10.1016/j.jdent.2021.103902 PubMed PMID: 34822914.
6. Alghazzawi TF, Janowski GM, Ning H, Eberhardt AW. Qualitative SEM analysis of fracture surfaces for dental ceramics and polymers broken by flexural strength testing and crown compression. *Journal of Prosthodontics*. 2023 Jun 1;32(5):100–10. doi:10.1111/jopr.13659 PubMed PMID: 36739572.
7. Lahoud L, Boulos P, Kahale D, Gheno E, Benedicenti S, Calasans-Maia ônica D, et al. Fracture load comparison of a new Fiber-Reinforced Composite and Zirconia in All-on-Four Prosthesis: An In Vitro Study. *International Journal of Prosthodontics*. 2024 Mar;1–21. doi:10.11607/ijp.8816 PubMed PMID: 38477846.
8. Alnafaiy SM, Labban N, Albaijan R, AlKahtani RN, Al-Aali KA, Abozaed HW, et al. Evaluation of Shear Bond Strength and Failure Modes of Lithium Disilicate Ceramic Veneering Material to Different High-Performance Polymers. *Polymers (Basel)*. 2025 Mar 1;17(5). doi:10.3390/polym17050554
9. Alnafaiy SM, Labban N, Albaijan R, AlKahtani RN, Al-Aali KA, Abozaed HW, et al. Evaluation of Shear Bond Strength and Failure Modes of Lithium Disilicate

Ceramic Veneering Material to Different High-Performance Polymers. *Polymers (Basel)*. 2025 Mar 1;17(5). doi:10.3390/polym17050554

10. Darbinyan EH, Castillo De Oyagüe R, Rubio MR. UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID ANÁLISIS IN VITRO DE LA FIBRA DE CARBONO COMO MESOESTRUCTURA DE PRÓTESIS HÍBRIDAS IMPLANTOSOPORTADAS IN VITRO ANALYSIS OF IMPLANT-SUPPORTED HYBRID PROSTHESES WITH FIBER CARBON FRAMEWORKS MEMORIA PRESENTADA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTORA POR. 2021.
11. Bravo Eslava LM, Gallardo Gutiérrez CA. Comparison of the porosity characteristics of Portland cement, mineral trioxide aggregate and Biodentine by scanning electron microscopy. *Revista Científica Odontológica*. 2021 Mar 11;9(1). doi:10.21142/2523-2754-0901-2021-043
12. López Espinoza JA. Análisis de eficacia de la remoción de barrillo dentinario utilizando métodos de activación: irrigación ultrasónica pasiva (PUI) y Eddy con distintos quelantes mediante una evaluación en microscopio electrónico de barrido. *OdontoInvestigación*. 2022 Apr 4;8(1). doi:10.18272/oi.v8i1.2589
13. Elvyra Rangel Padilla E, Alejandro Ramírez Peña H, Ramón Martínez-Menchaca H, Rivera Silva G, Valencia Hitte R, Lozano Longoria M, et al. Evaluación bajo microscopio electrónico de barrido de sellantes de fosas y fisuras hidrófobos e hidrófilos, bajo diferentes condiciones de humedad: Un estudio in vitro Artículo Original. Vol. 8. 2018.
14. De Salud M. RESOLUCION NUMERO 8430 DE 1993. 1993.
15. Bayraktar N, Harorli OT. Effects of different surface treatments on surface topography and bond strength in the repair of fiber-reinforced dentin composite. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2024 Jun 1;36(6):930–40. doi:10.1111/jerd.13215 PubMed PMID: 38433719.

16. Siegl J, Nedbal I, Kovářik O, Kunz J. FRACTOGRAPHIC STUDY OF FATIGUE PROCESSES FRACTOGRAPHIC STUDY OF FATIGUE PROCESSES FRAKTOGRAFICKÉ STUDIUM ÚNAVOVÝCH PROCESŮ.
17. Yolanda Cabrera Ruiz V, Rodrigo Guerrero Nilve W, Jeaneth Aguilar Córdova M, Aracely Cedeño Zambrano D, del Carmen Armas Vega A. 82 ESTÉTICA Y OPERATORIA DENTAL Estudio con Microscopio Electrónico de Barrido Study through the scanning electron microscope. Revista "ODONTOLOGÍA. 2016.
18. Khosroabadi M, Khosroabadi E. Effect of surface treatments on the bond strength between high-performance polymers (PEEK/PEKK) and acrylic resin materials: A systematic review and meta-analysis. International Journal of Adhesion and Adhesives. Elsevier Ltd; 2026. doi:10.1016/j.ijadhadh.2025.104206
19. Cherkassky A, Bumagin E. A Combined Discrete Event—Agent Based Approach to Modeling Tensile Strength of One-Dimensional Fibrous Materials. Face Validation and Effect of the Basic Model Parameters. Journal of Textile Science and Technology. 2015;01(02):45–64. doi:10.4236/jtst.2015.12006
20. Talreja R. Assessment of the fundamentals of failure theories for composite materials. Composites Science and Technology. Elsevier Ltd; 2014. p. 190–201. doi:10.1016/j.compscitech.2014.10.014
21. Anders K. Resolution of students t-tests, ANOVA and analysis of variance components from intermediary data. Biochem Med (Zagreb). 2017;27(2):253–8. doi:10.11613/BM.2017.026 PubMed PMID: 28740445.
22. Merola C, Cheng HW, Schwenzfeier K, Kristiansen K, Chen YJ, Dobbs HA, et al. In situ nano- to microscopic imaging and growth mechanism of electrochemical dissolution (e.g., corrosion) of a confined metal surface. Proc Natl Acad Sci U S A. 2017 Sep 5;114(36):9541–6. doi:10.1073/pnas.1708205114 PubMed PMID: 28827338.

23. De Giorgis L, Pesce P, Barberis F, Lagazzo A, Pera F, Baldi D, et al. Fiber-Reinforced Composites for Full-Arch Implant-Supported Rehabilitations: An In Vitro Study. *J Clin Med*. 2024 Apr 1;13(7). doi:10.3390/jcm13072060
24. Escobar LB, Pereira da Silva L, Manarte-Monteiro P. Fracture Resistance of Fiber-Reinforced Composite Restorations: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Polymers*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI); 2023. doi:10.3390/polym15183802
25. Robaian A, Alshehri AM, Alqhtani NR, Almudahi A, Alanazi KK, Abuelqomsan MAS, et al. Effect of Surface Treatments and Thermal Aging on Bond Strength Between Veneering Resin and CAD/CAM Provisional Materials. *Polymers (Basel)*. 2025 Mar 1;17(5). doi:10.3390/polym17050563
26. Rubiños NM, Mosaddad SA, Díaz P, Revilla-León M, Gómez-Polo M. Mechanical behavior of complete arch implant-supported prostheses with distal cantilevers fabricated from different digital material combinations.
27. Bergamo ETP, Bastos TMC, Lopes ACO, de Araujo Júnior ENS, Coelho PG, Benalcazar Jalkh EB, et al. Physicochemical and mechanical characterization of a fiber-reinforced composite used as frameworks of implant-supported prostheses. *Dental Materials*. 2021 Aug 1;37(8):e443–53. doi:10.1016/j.dental.2021.03.014 PubMed PMID: 33865619.
28. Molitor P, Young T. Adhesives bonding of a titanium alloy to a glass fibre reinforced composite material. *International Journal of Adhesion & Adhesives*. 2002.
29. Xin G, Yang R, Xu P. Influence of silica particle size on the corrosion behavior of electroplated silica-ni hybrid layer. *ACS Omega*. 2020 Jul 7;5(26):15983–91. doi:10.1021/acsomega.0c01248
30. Gil L, Staia MH. Influence of HVOF parameters on the corrosion resistance of NiWCrBSi coatings. *Thin Solid Films*. 2002.

Anexos – Fotografías/Gráficos/Esquemas

Imagen 1. Tipos de fallas



Fotografía 2. Mini Sputter Coater SC7620



Fotografía 3. Estructura Trilor® con una capa homogénea de oro de 10 nm de espesor.



Fotografía 4. microscopio Electrónico de Barrido (FEI – modelo QUANTA 250)

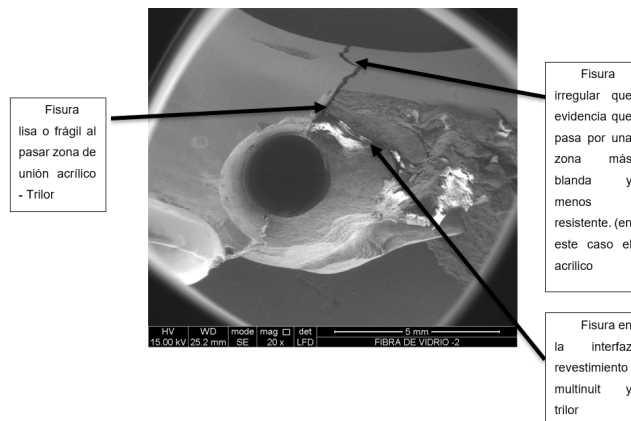


Imagen 5. Fractura en zona multiunit a 20 aumentos

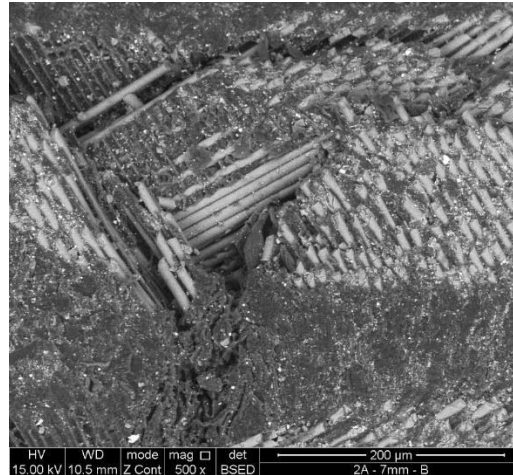
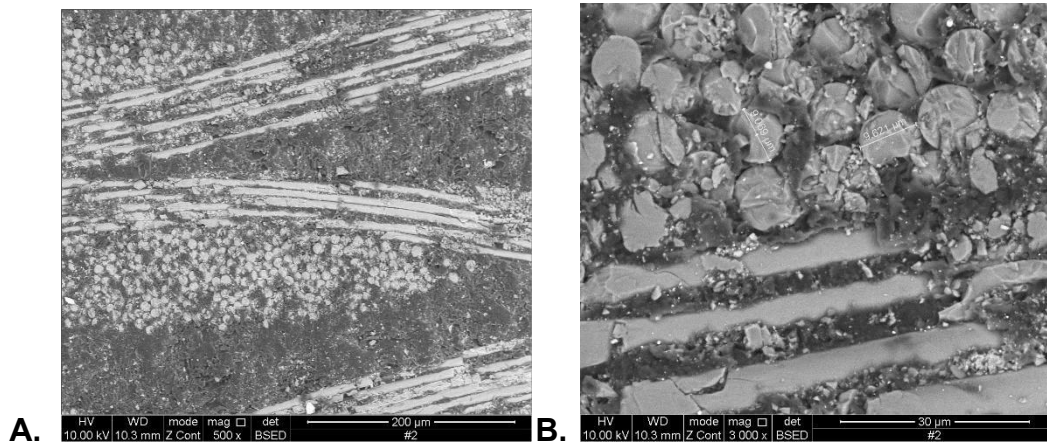


Imagen 6. 2ª 7mm, Falla cohesivo, se observan fibras entrelazadas



B. Imagen 7. A y B, Superficie de fractura adhesiva del sistema Trilor y acrílico. Es la superficie expuesta de Trilor. A) Disposición de fibras a 500 aumentos. B) Fibras fracturadas en forma perpendicular a su longitud a 3000 aumentos.

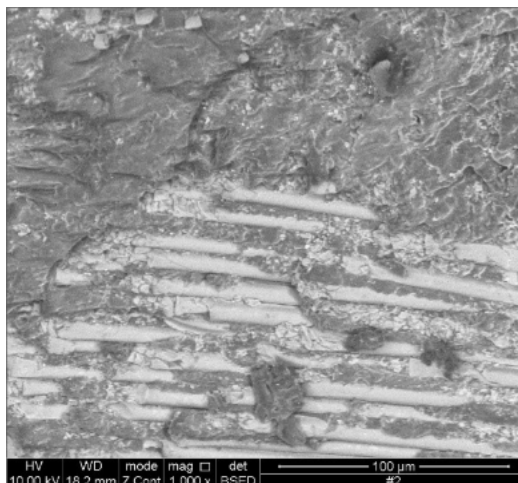


Imagen 8. Estructura de 10 mm B, zona central. muestra una zona de desprendimiento de material Trilor® en el momento de la fractura.

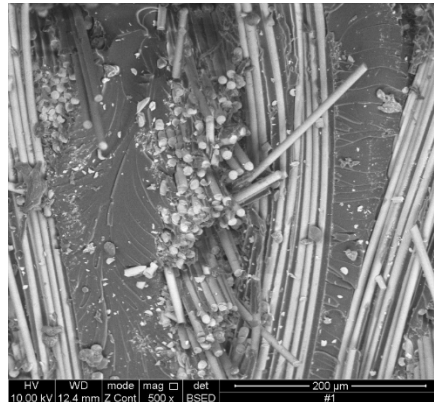


Imagen 9. Falla adhesiva al interior del material compuesto Trilor® (entre fibras y resina) a 500 aumentos

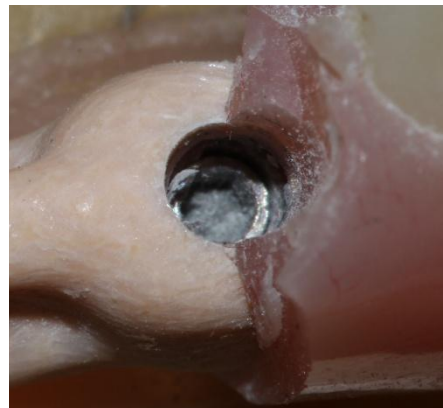
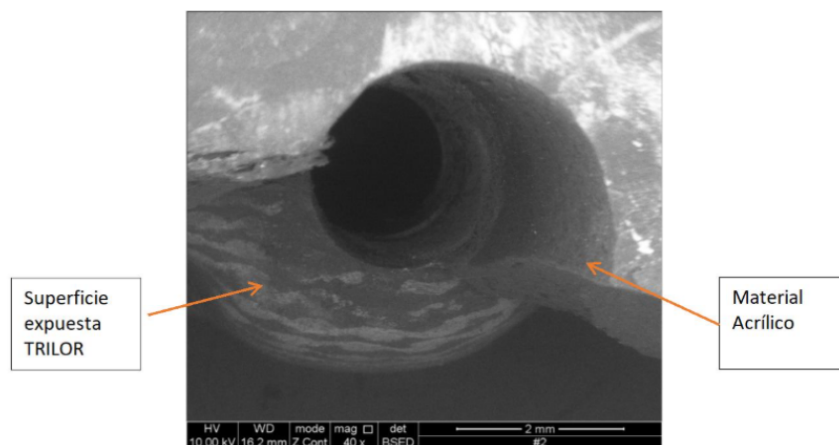


Imagen 10. Zona Multiunit fracturada a 40 aumentos.

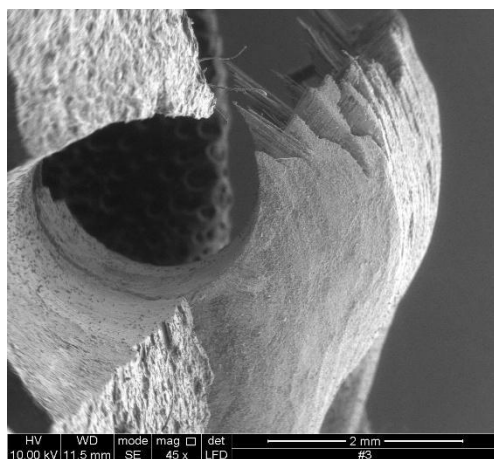


Ilustración 11. Falla cohesiva, se observa fractura complicada con exposición de fibras en zona de multiunit

Estructuras sin revestimiento



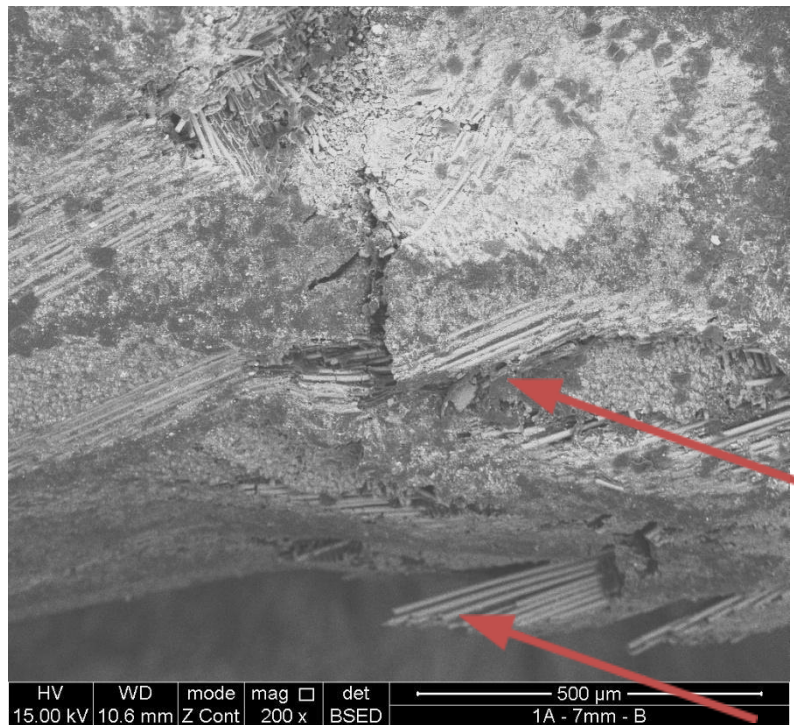
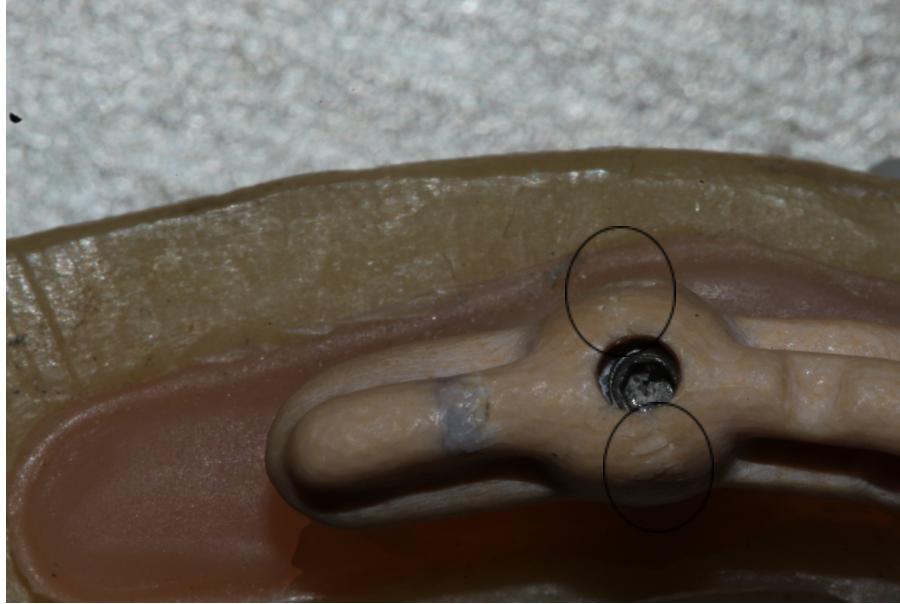


Ilustración 12. Falla adhesiva, se observa exposición de las fibras.

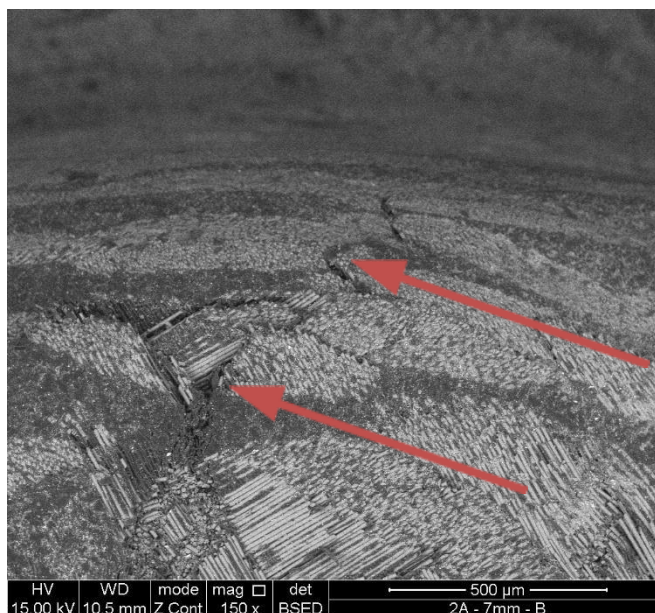


Ilustración 13. Falla cohesiva, se observan grietas en la zona de multiunit.

Anexos - Tablas

Tabla 1. Tipo de fallo voladizos 7 mm

Tipo de Fallo	Voladizo Izquierdo n (%)	Voladizo Derecho n (%)	Centro n (%)
No hubo fallo	0 (0%)	0 (0%)	1 (50%)
Fallo adhesivo	2 (100%)	2 (100%)	1 (50%)
Fallo cohesivo	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Fallo mixto	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Total	2 (100%)	2 (100%)	2 (100%)

Tabla 2. Tipo de fallo voladizos 10 mm

Tipo de Fallo	Voladizo Izquierdo n (%)	Voladizo Derecho n (%)	Centro n (%)
No hubo fallo	0 (0%)	0 (0%)	1 (50%)
Fallo adhesivo	2 (100%)	1 (50%)	1(50%)
Fallo cohesivo	0 (0%)	1 (50%)	0(0%)
Fallo mixto	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Total	2 (100%)	2 (100%)	2 (100%)

Tabla 3. Tipos de fallo en estructuras sin revestimiento

Tipo de Fallo	Voladizo Izquierdo n (%)	Voladizo Derecho n (%)	Centro n (%)
No hubo fallo	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Fallo adhesivo	0 (0%)	0 (0%)	1(50%)
Fallo cohesivo	2 (100%)	2 (100%)	1(50%)
Fallo mixto	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Total	2 (100%)	2 (100%)	2 (100%)

