

PATRÓN DE FRACTURA DE ESTRUCTURAS TRILO® CON VOLADIZOS CORTOS: EVALUACIÓN CON MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO

Daniela Vanessa Rodríguez De Arco
Juan José Martínez Betancourt

Director: Gloria Judith Herrera
Co directora: Alejandra Ordoñez



Institución Universitaria
Colegios de Colombia – UNICOC
Programa Académico: Rehabilitación Oral

unicoc
¡EDUCACIÓN...SUPERIOR!



Daniela Vanessa Rodriguez De Arco
Juan José Martínez Betancourt
Especialización en Rehabilitación Oral



Introducción

Marco teórico

¿Qué es TriLor® ?

- **Tecnopolímero:** Resina termoendurecible de alto rendimiento.
- **Refuerzo:** Fibra de vidrio multidireccional en capas.
- **Propiedad Clave:** Ligereza extrema y alta resistencia mecánica.
- **Biocompatible:** Alternativa ideal a estructuras metálicas (Cr-Co, Ti).

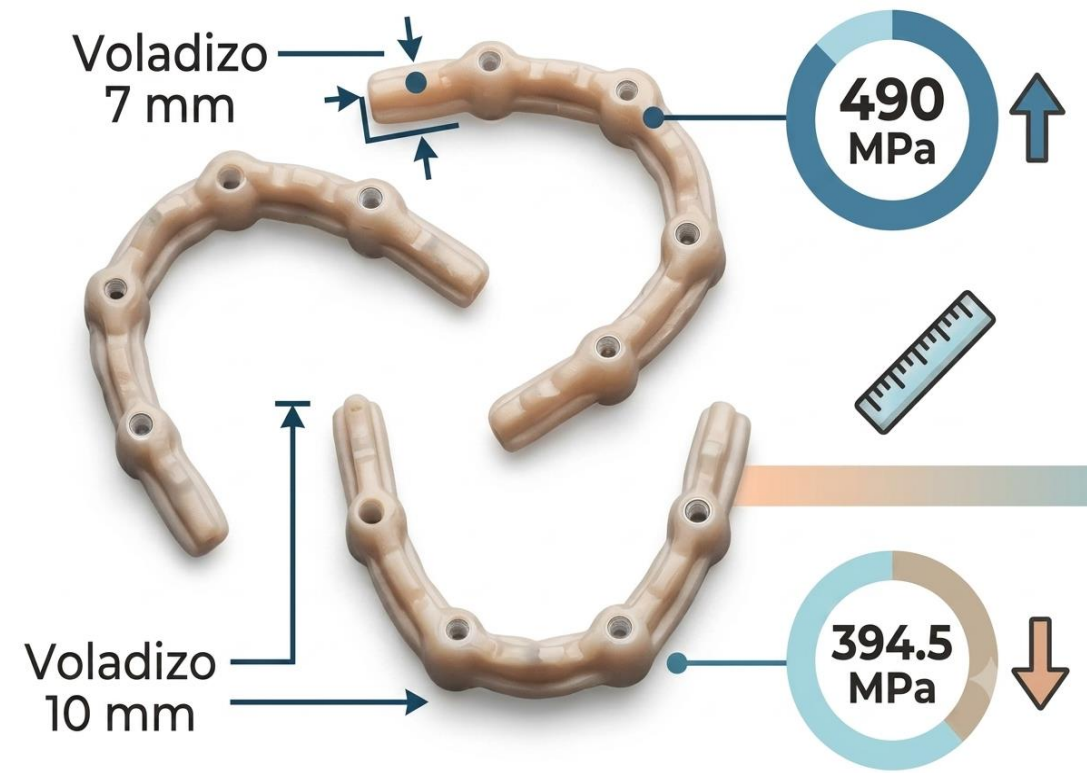


Antecedentes – Estructuras TriLor®

Fase 1: Resistencia Flexural

Quintana et al. (2024)

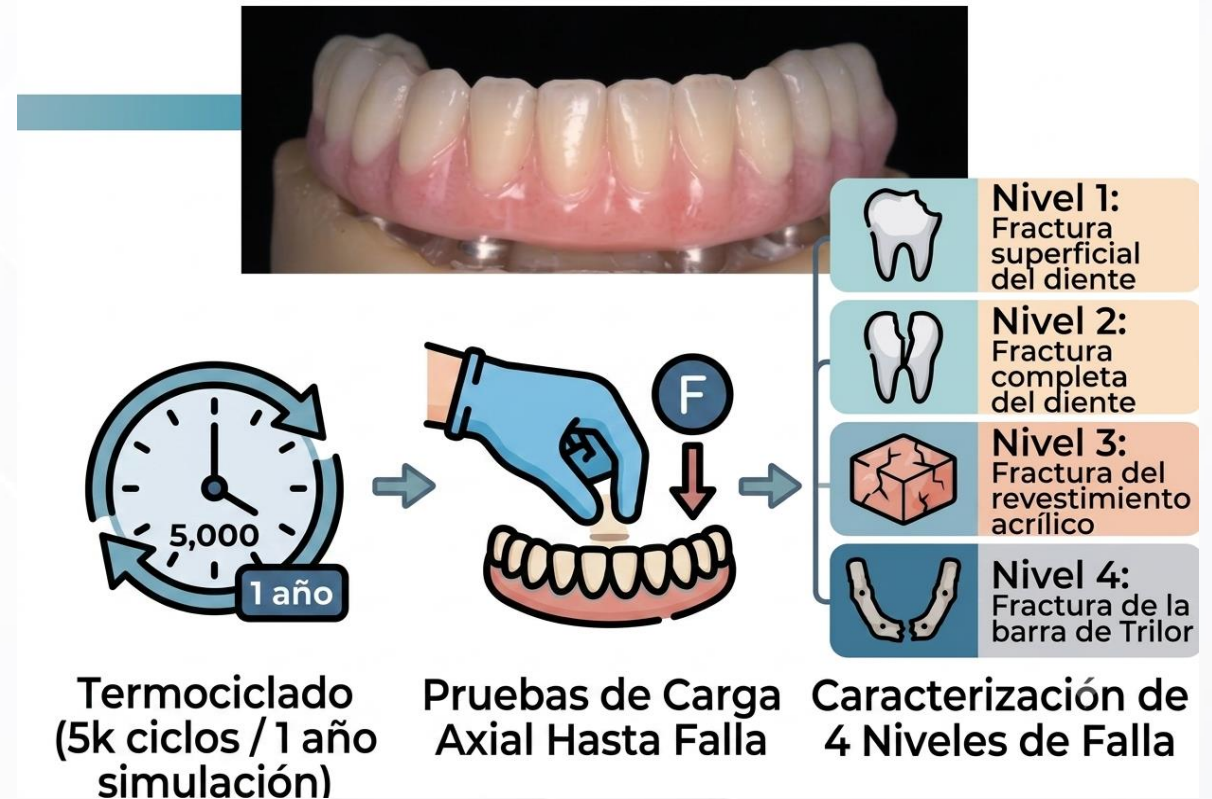
Estructura de TriLor® sin revestimiento acrílico.



Fase 2: Propiedades mecánicas

Panesso et al. (2024)

Estructura TriLor® revestidas con acrílico y enfilado de prótesis híbridas completas.



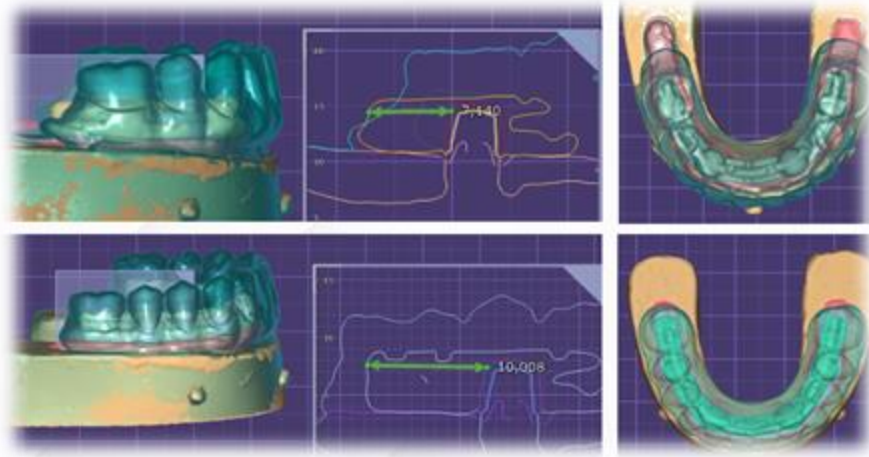
1. Diseño y Fabricación



DISEÑO DIGITAL
(Exocad)

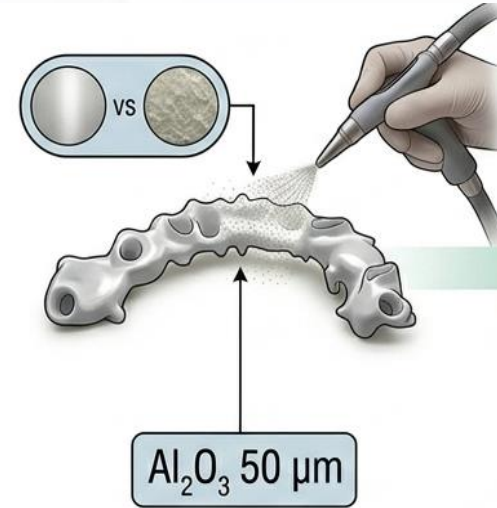


DISCO TRILOR®
(98 mm Trilor®)

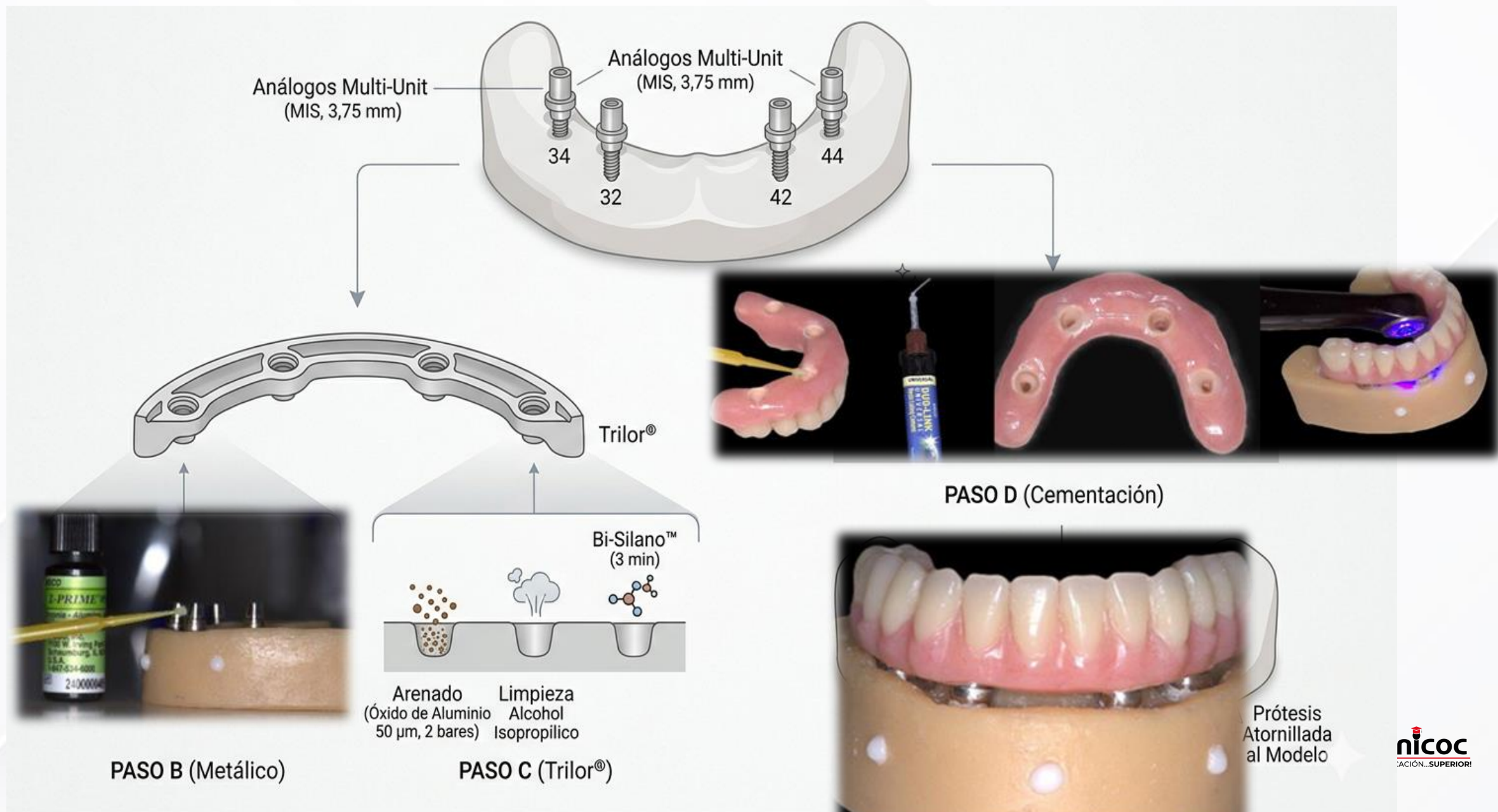


**Manufactura Asistida por Computador CAM-
Fresadora 5 ejes Roland DWX- 5DCI**

2. Tratamiento superficial y acrilado

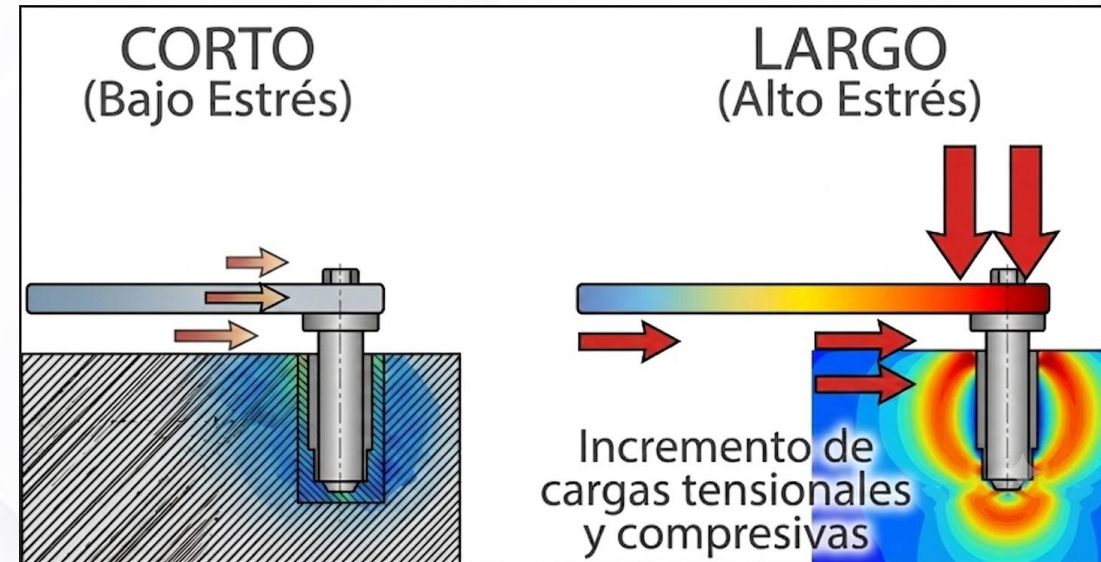
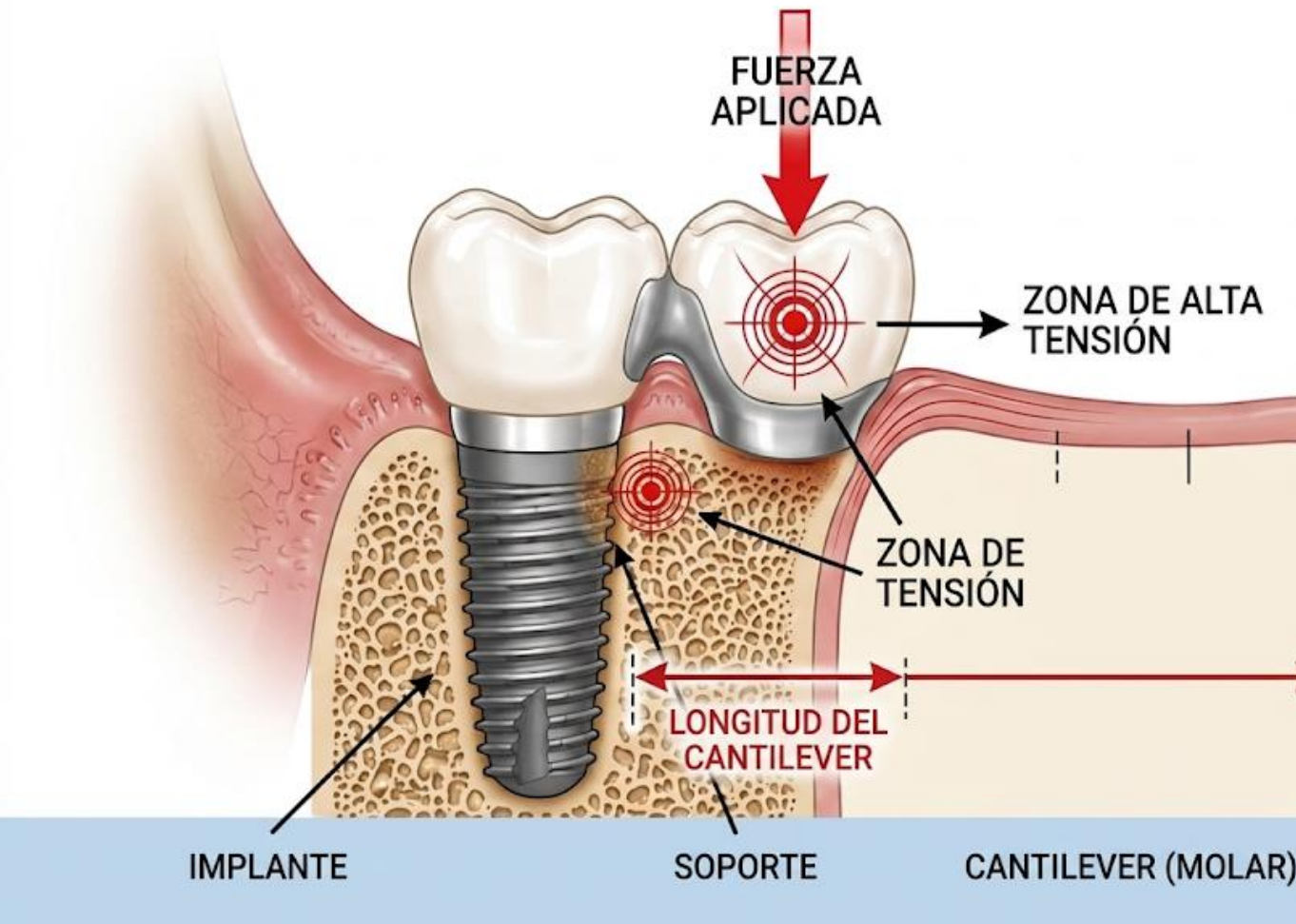


3. Conexión a los aditamentos



Biomecánica de Voladizos

Cantilever (Voladizo): Parte que se extiende más allá del último soporte.



Justificación

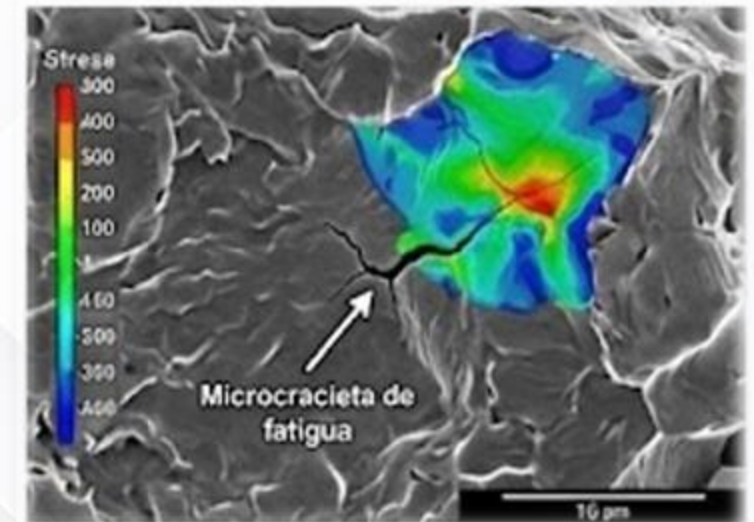
Alternativa TriLor®

Módulo de elasticidad similar al hueso cortical (26 GPa) para distribuir fuerzas.



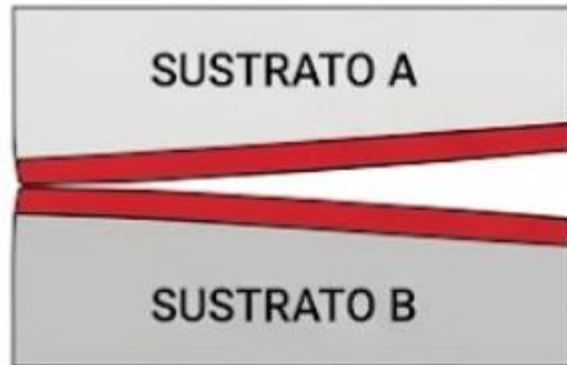
Necesidad SEM

Comprender mecanismos falla para optimizar diseños clínicos.

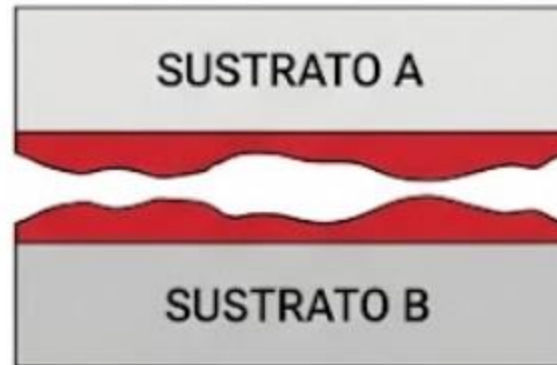


Modos de falla en uniones

1. FALLA ADHESIVA (Interfacial)



2. FALLA COHESIVA (Intra-material)



3. FALLA MIXTA (Combinada)



¿Existe variación en el patrón de fractura microscópico, evaluado mediante SEM, en prótesis híbridas con estructura de TriLor® con voladizos cortos?



Objetivos

Objetivo General

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.

Específicos

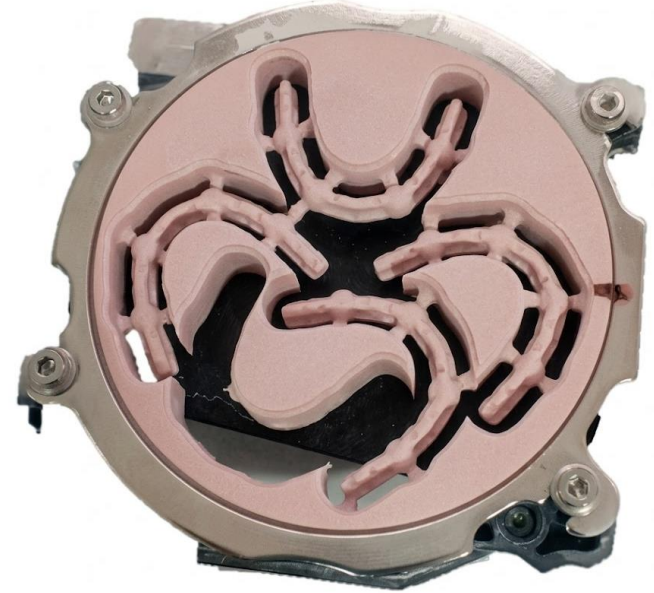
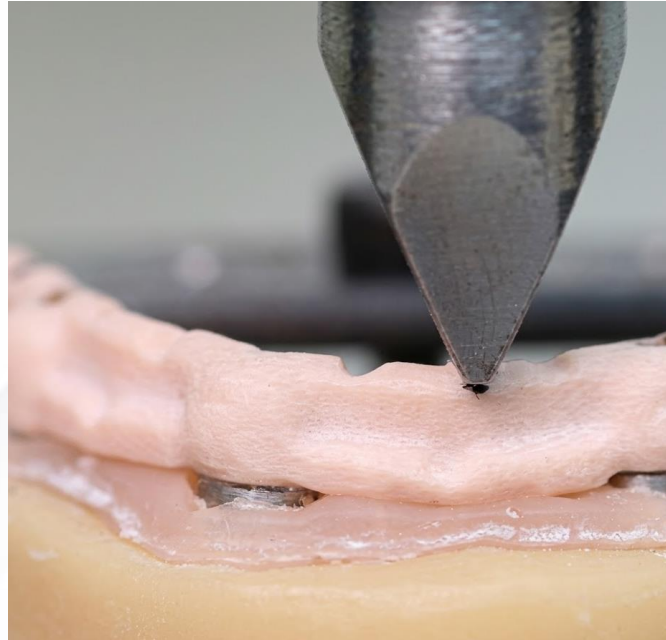
1. Caracterizar microscópicamente los mecanismos de fractura en estructuras de TriLor®, diferenciando los modos de falla (Adhesivo, cohesivo o mixto) mediante el análisis fractográfico por SEM.
2. Correlacionar la localización de la falla con la geometría del diseño protésico, identificando las zonas críticas de concentración de tensiones en las estructuras con voladizos.



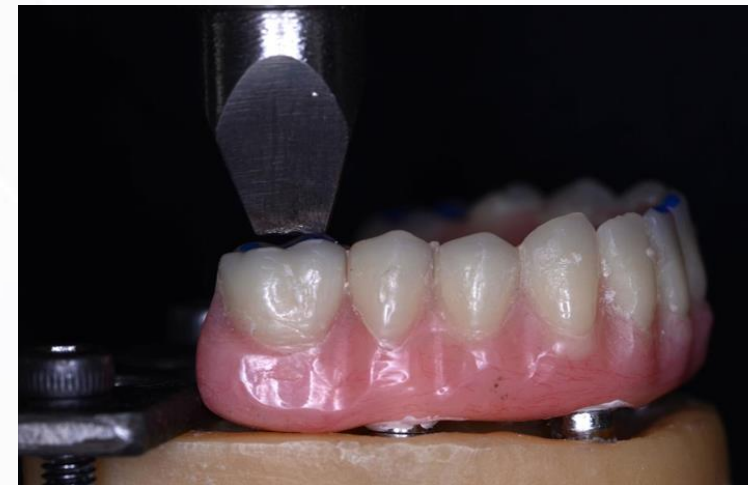
Material es y Métodos

Materiales y Métodos

Estructuras sin revestir



Estructuras con revestimiento



Sin revestimiento después de la prueba de fractura



Con revestimiento después de la prueba de fractura

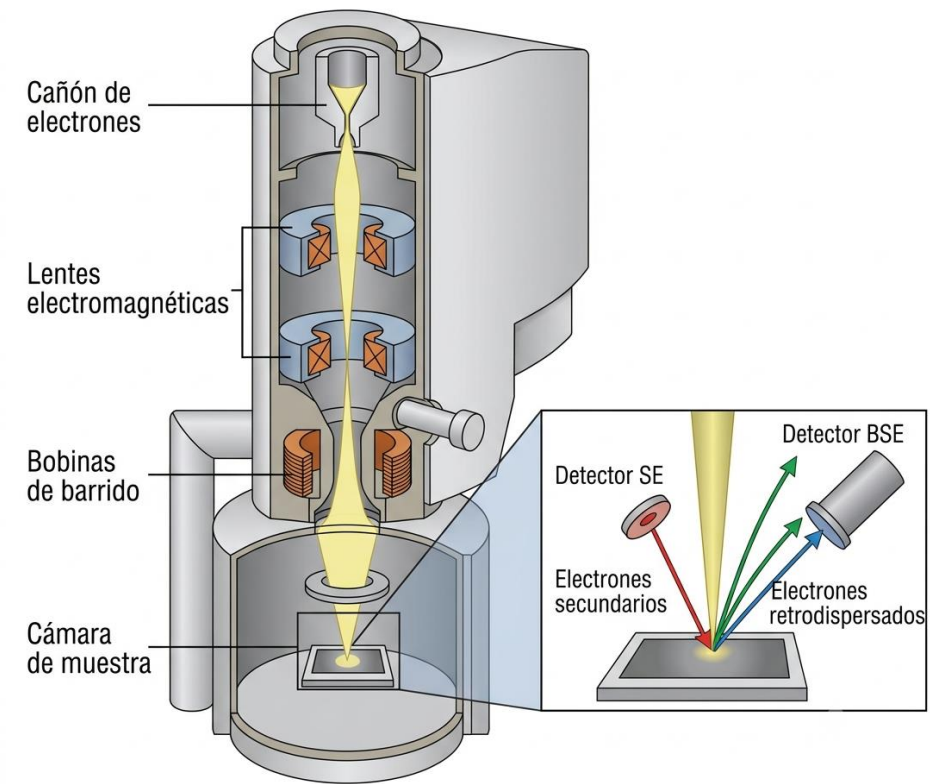


Materiales y Métodos

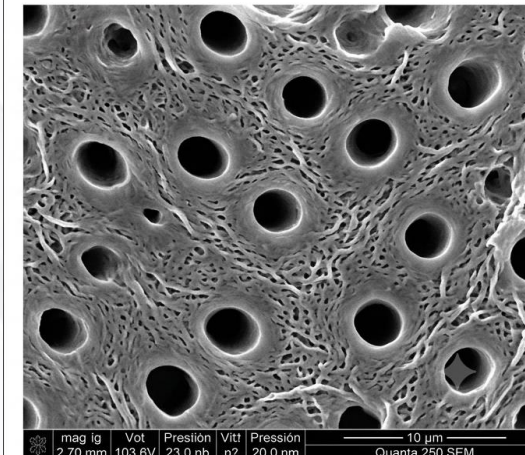
Microscopio electrónico de barrido Quanta 250



**Instituto de
Investigación
en Estratigrafía**



**Modo ESEM
(Presión Variable/Humedad)**



Resultados. 7 mm con revestimiento.

Tipo de Fallo	Voladizo Izquierdo	Voladizo Derecho	Centro
	n (%)	n (%)	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%)

Estructuras Con revestimiento.



Resultados.

Estructuras con revestimiento.

- **Falla Predominante: Adhesiva**

Se observó en el 100% de las zonas de voladizos laterales.

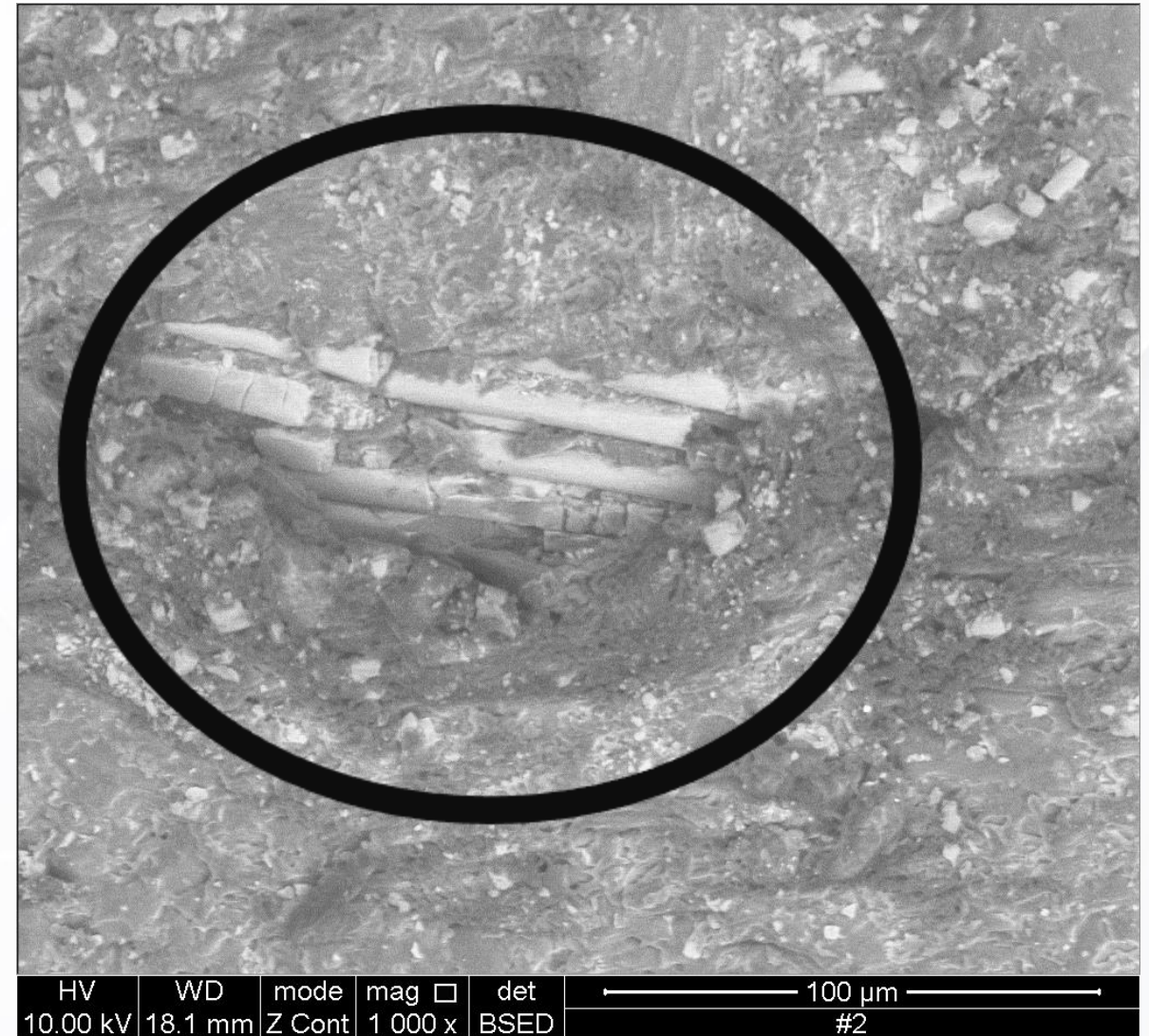


Voladizo 7mm



40,0 MPa

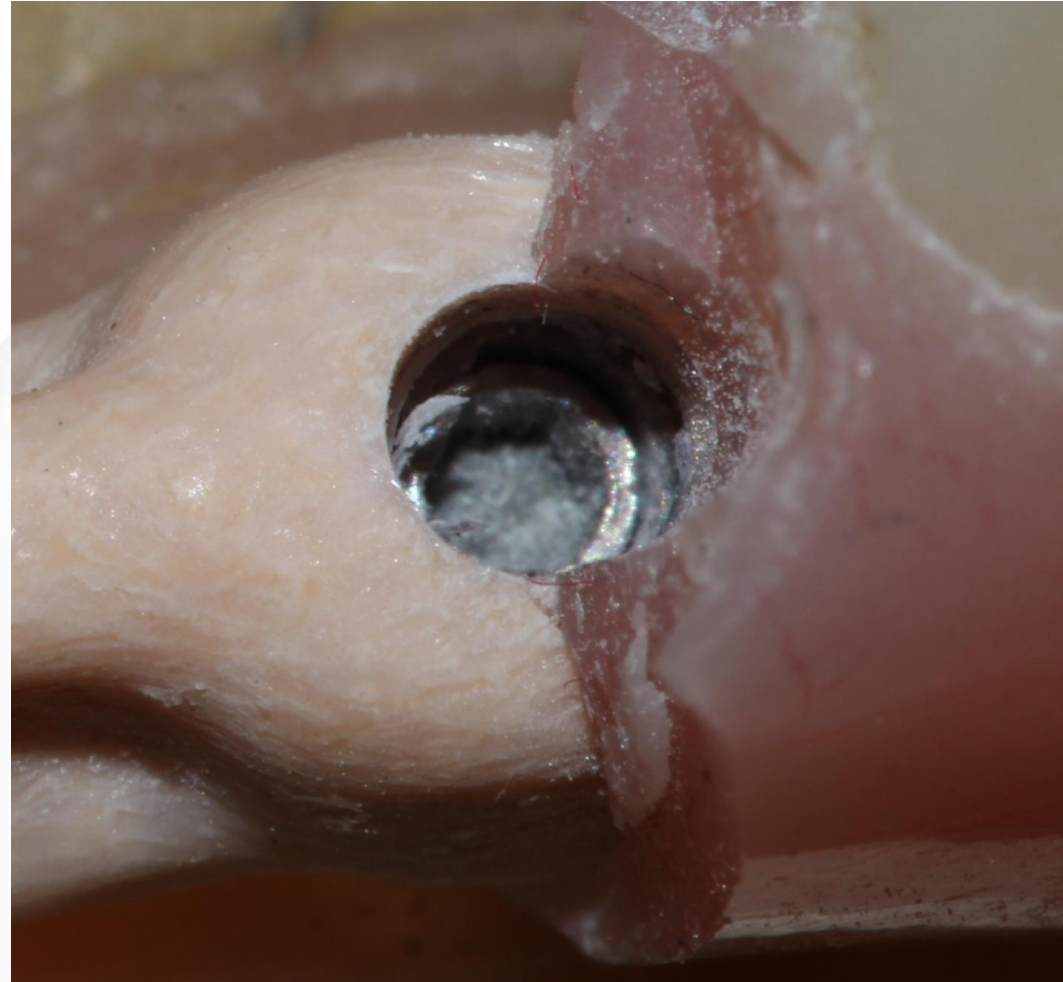
Panesso, 2024



Superficie de TriLor® totalmente expuesta, probabilidad de reparación, voladizo derecho, 1000 aumentos.

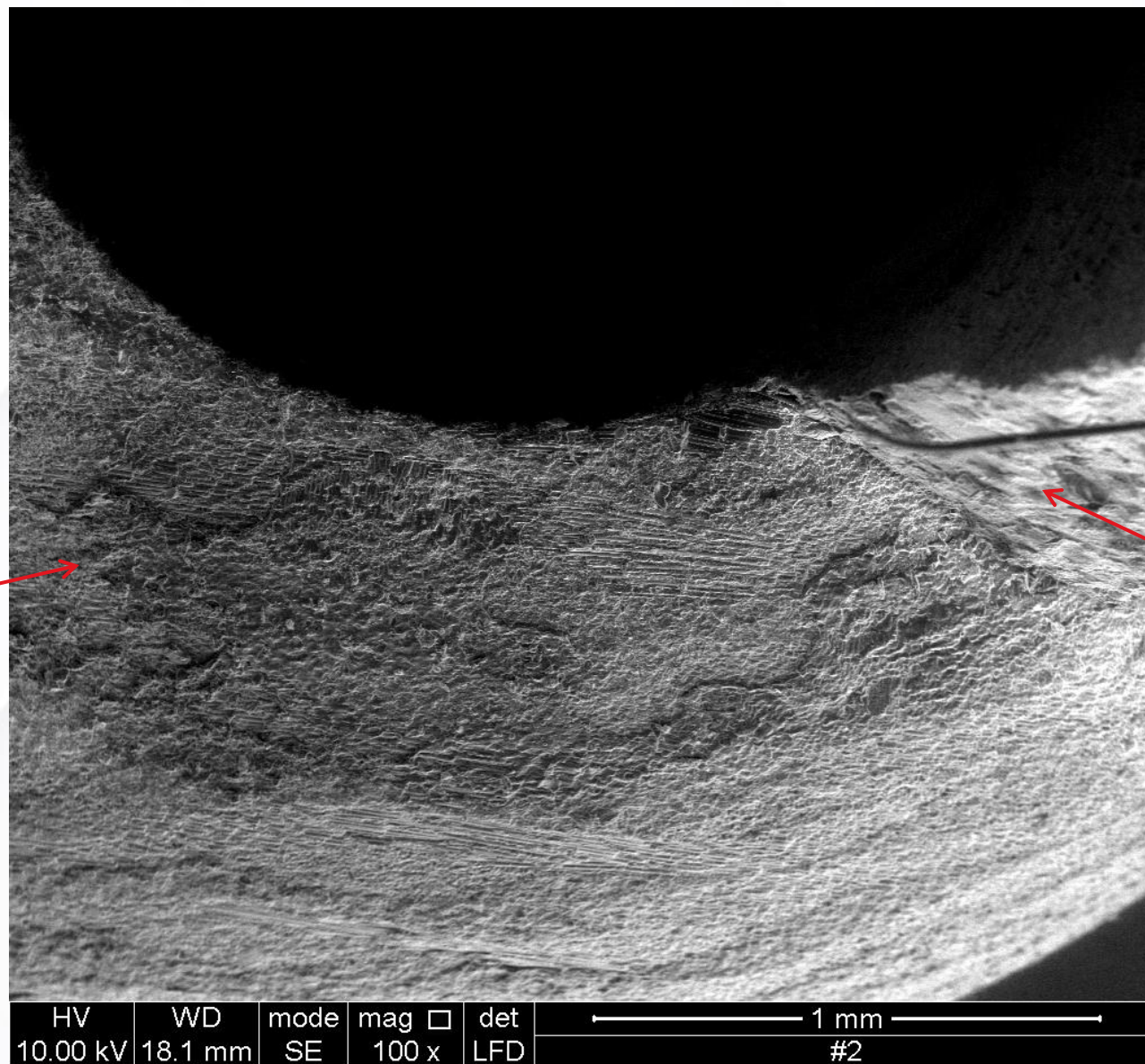
Estructuras con revestimiento.

**Voladizo 7mm
Zona de multiunit derecho.**



TriLor®

Acrílico



Falla adhesiva en zona de multi unit, se aprecia la estructura TriLor® sin el revestimiento acrílico.

Resultados. 10 mm con revestimiento

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%)



Resultados

Voladizos 10 mm

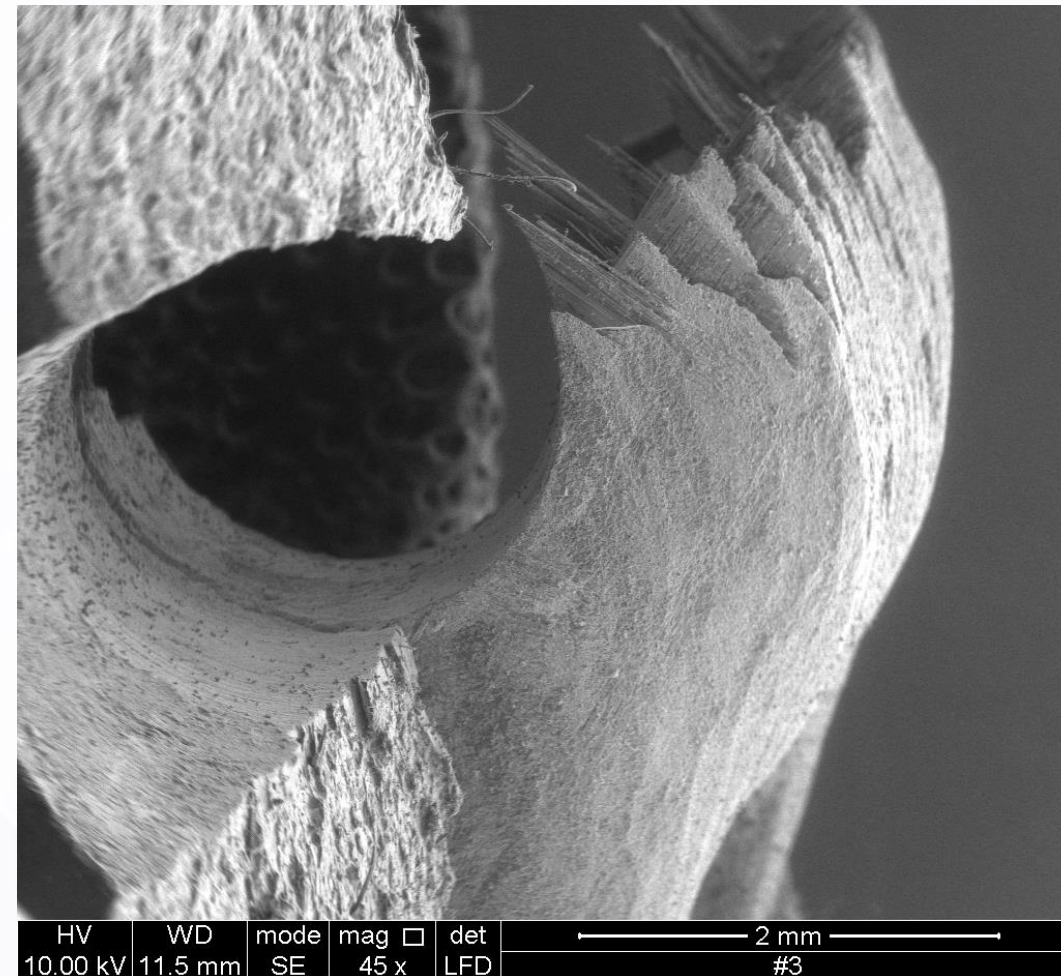
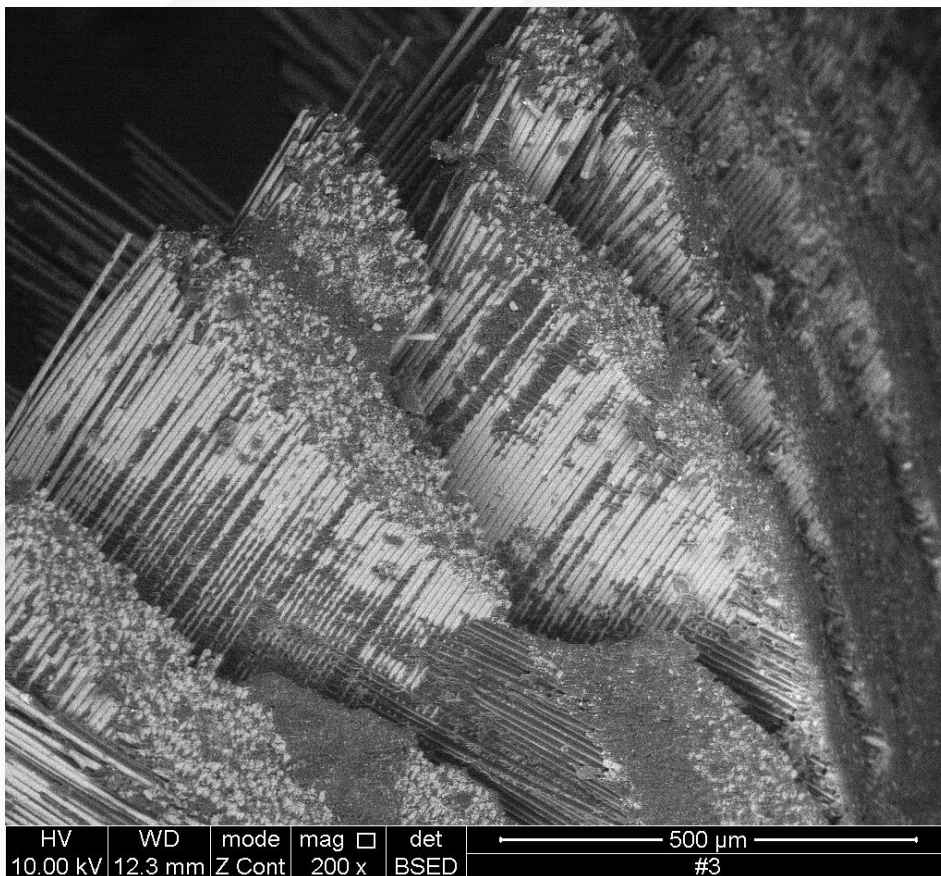




Resultados

Voladizos 10 mm

25,3 MPa Panesso, 2024

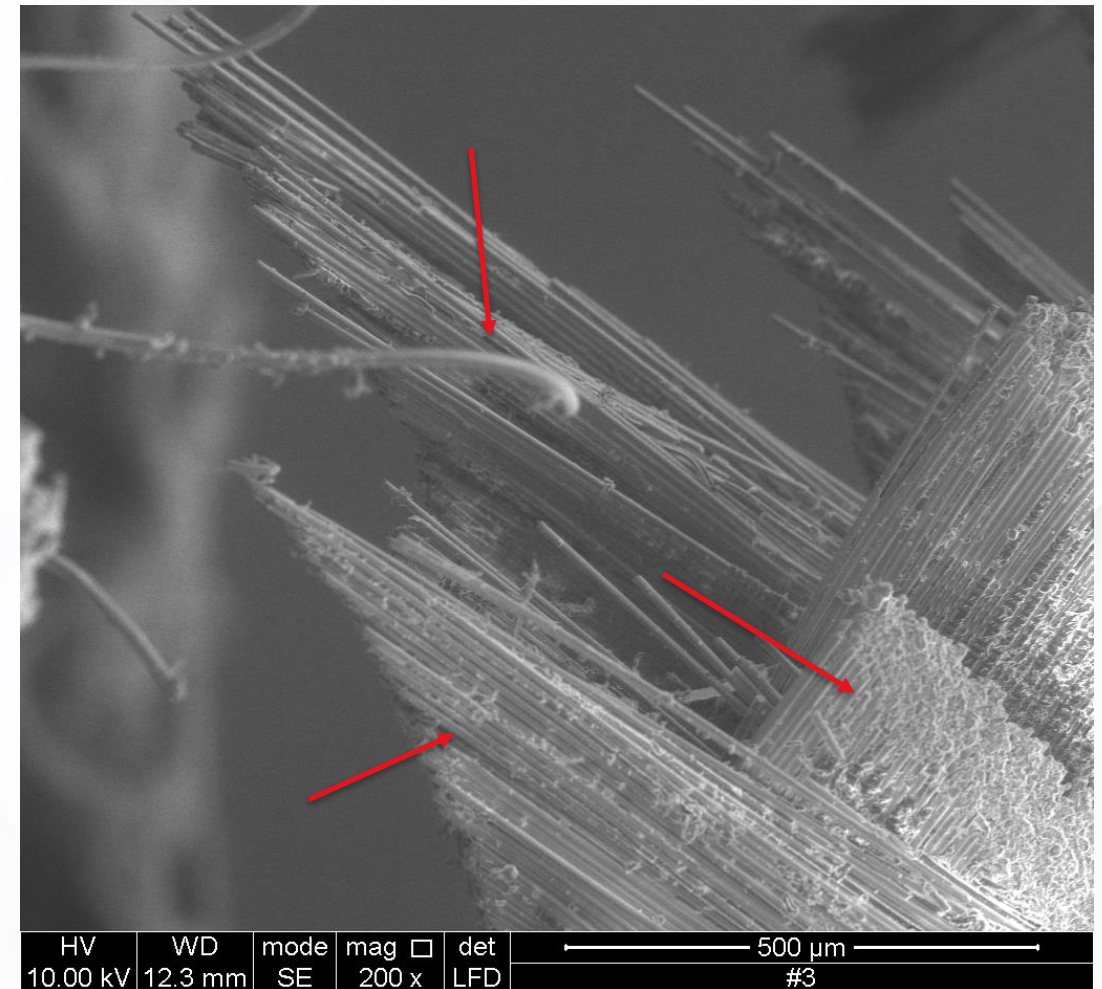


- **Falla cohesiva**

Desprendimiento del material, grietas profundas con exposición de las fibras del tecno polímero.

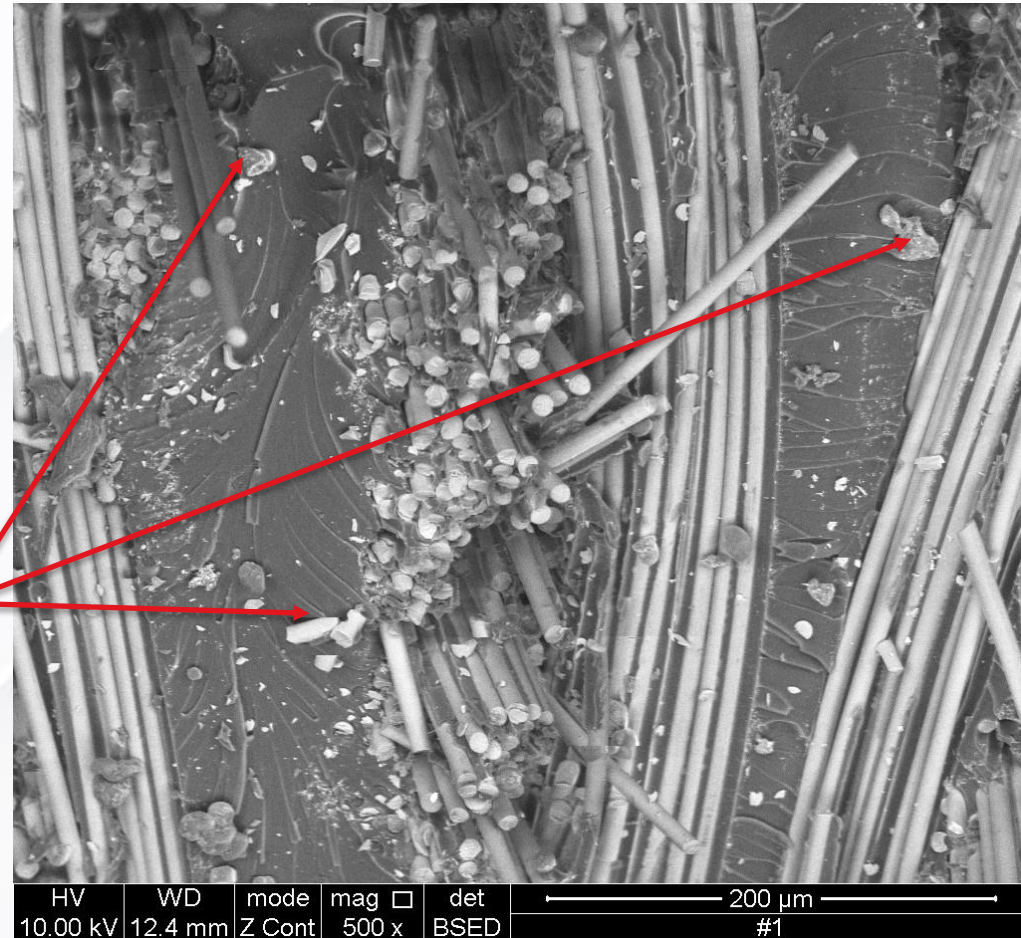
Resultados

Voladizos 10 mm



- **Falla cohesiva**

Desprendimiento del material, grietas profundas con exposición de las fibras del tecno polímero.



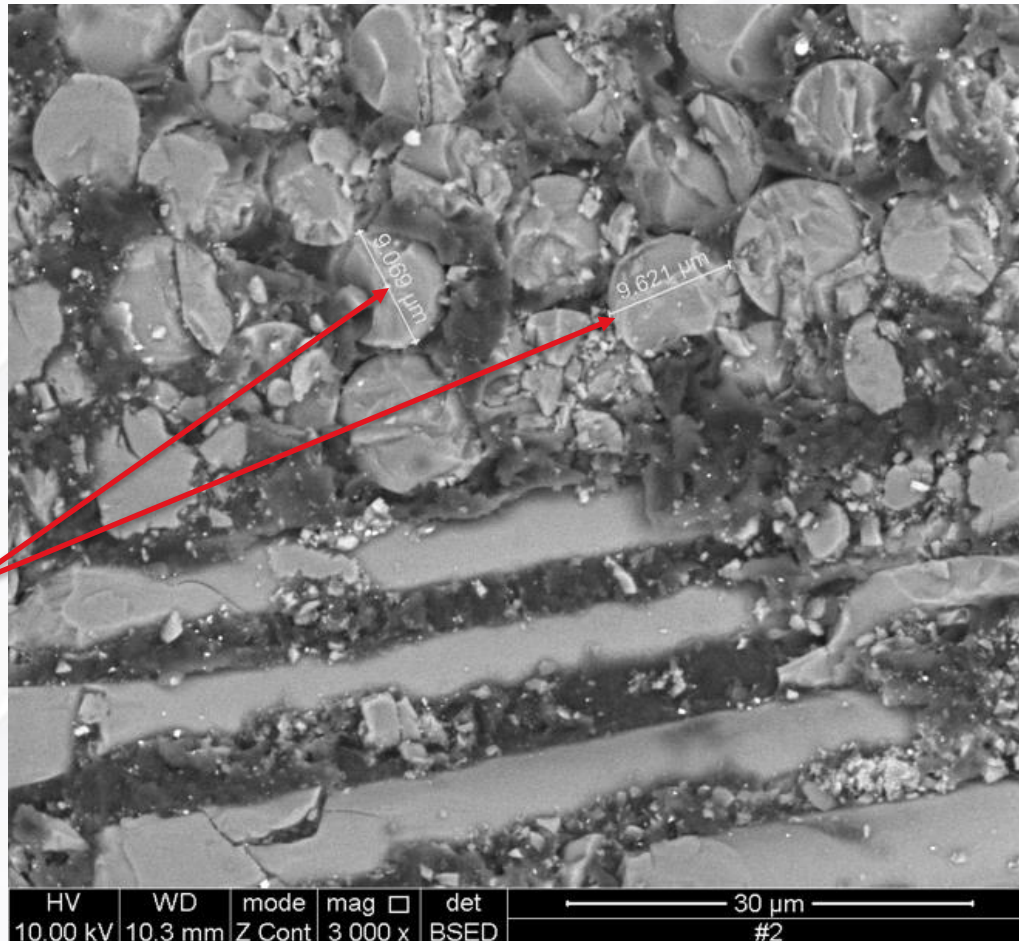
Residuos



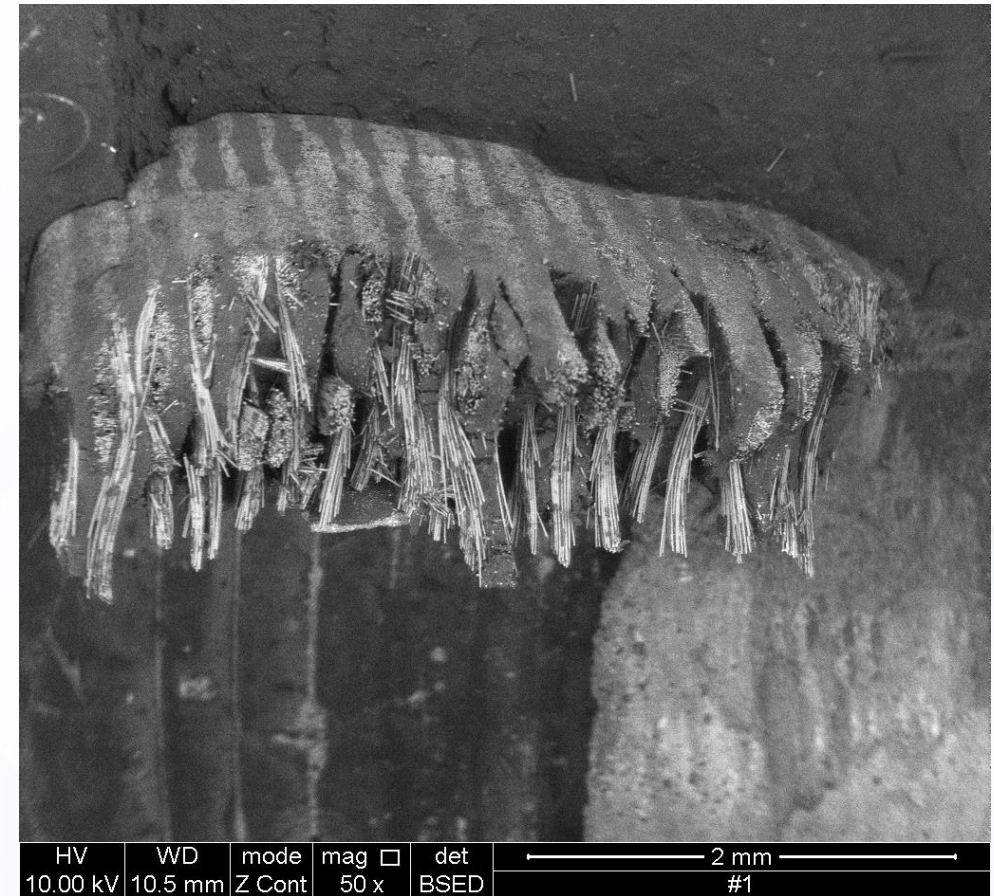
Resultados

Voladizos 10 mm

42,5 MPa



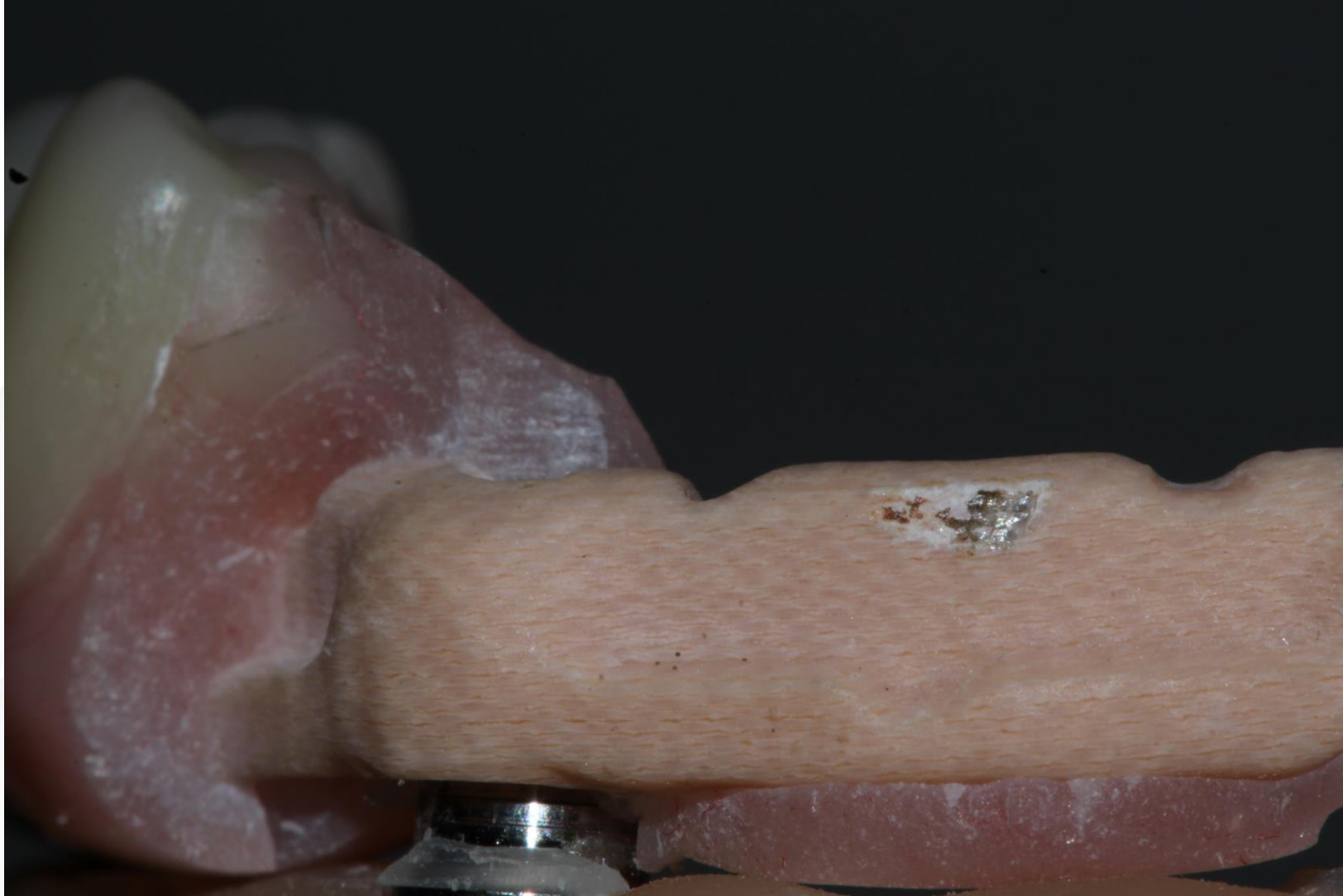
Medidas
um



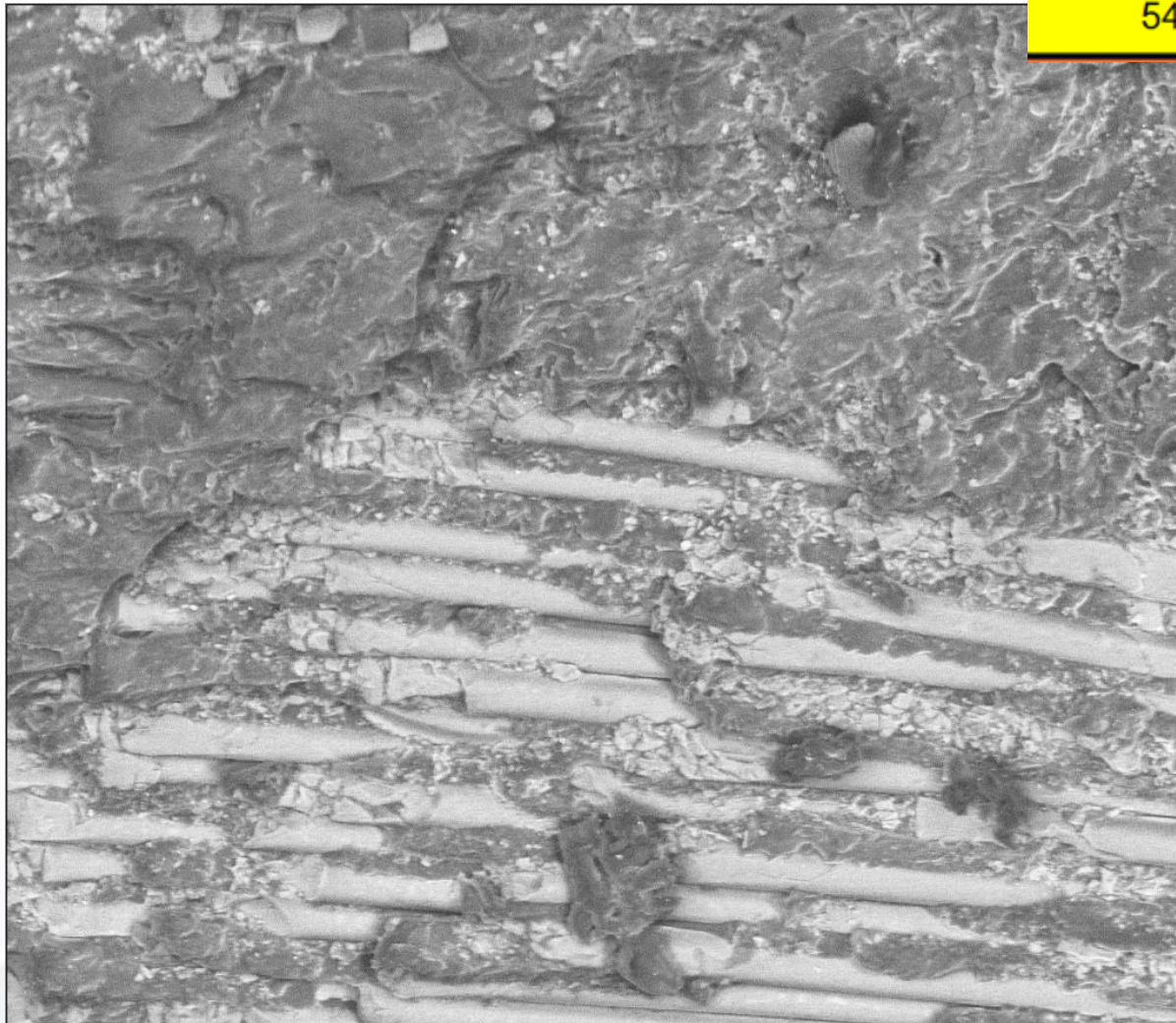
• Falla cohesiva

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

Zona centro.



54,4 MPa



HV	WD	mode	mag	□	det	
10.00 kV	18.2 mm	Z Cont	1 000 x		BSED	
						100 µm
						#2



HV	WD	mode	mag	□	det	
10.00 kV	10.3 mm	Z Cont	200 x		BSED	
						500 µm
						#2

Comportamiento de las estructuras revestidas zona **centro** (Inter implantes)
Comportamiento mas homogéneo del material, fue similar en ambas tipos de
muestras. (7 y 10 mm)

Resultados. Sin revestimiento

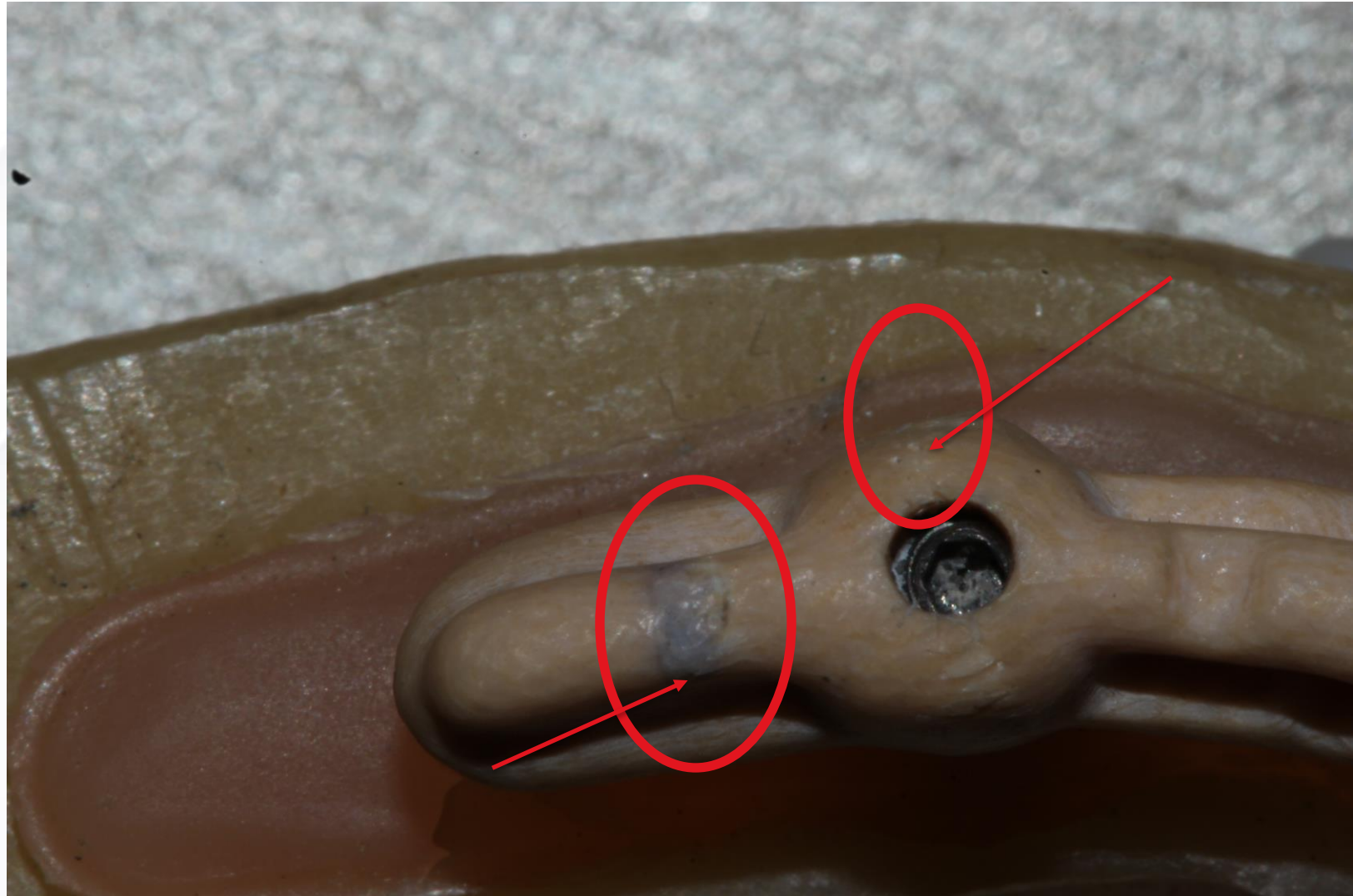
Tipo de Fallo	Voladizo Izquierdo	Voladizo Derecho	Centro
	n (%)	n (%)	n (%)
No hubo fallo	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Fallo adhesivo	0 (0%)	0 (0%)	1(50%)
Fallo cohesivo	2 (100%)	2 (100%)	1(50%)
Fallo mixto	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Total	2 (100%)	2 (100%)	2 (100%)

Estructuras sin revestimiento.



Estructuras sin revestimiento.

Voladizo 7 mm

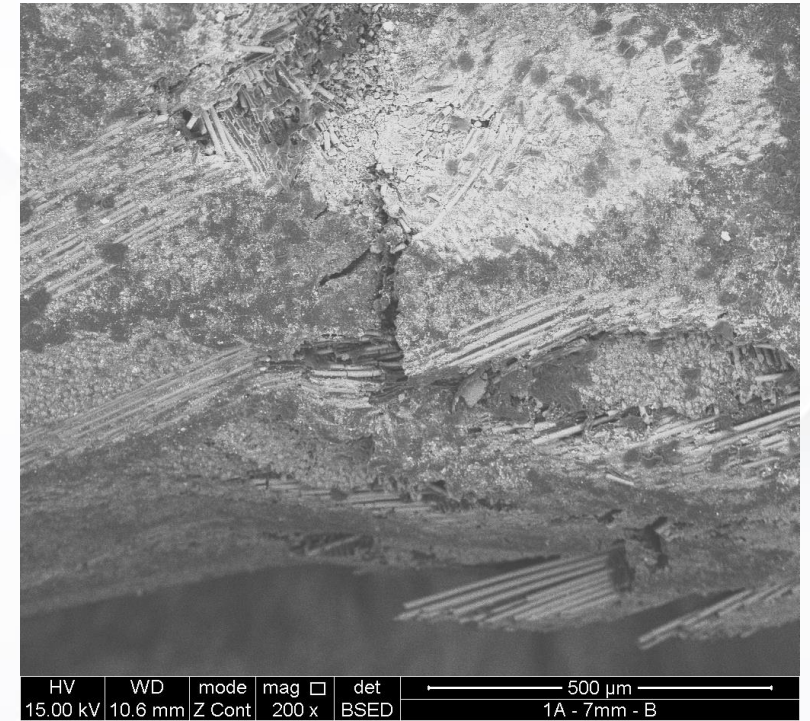
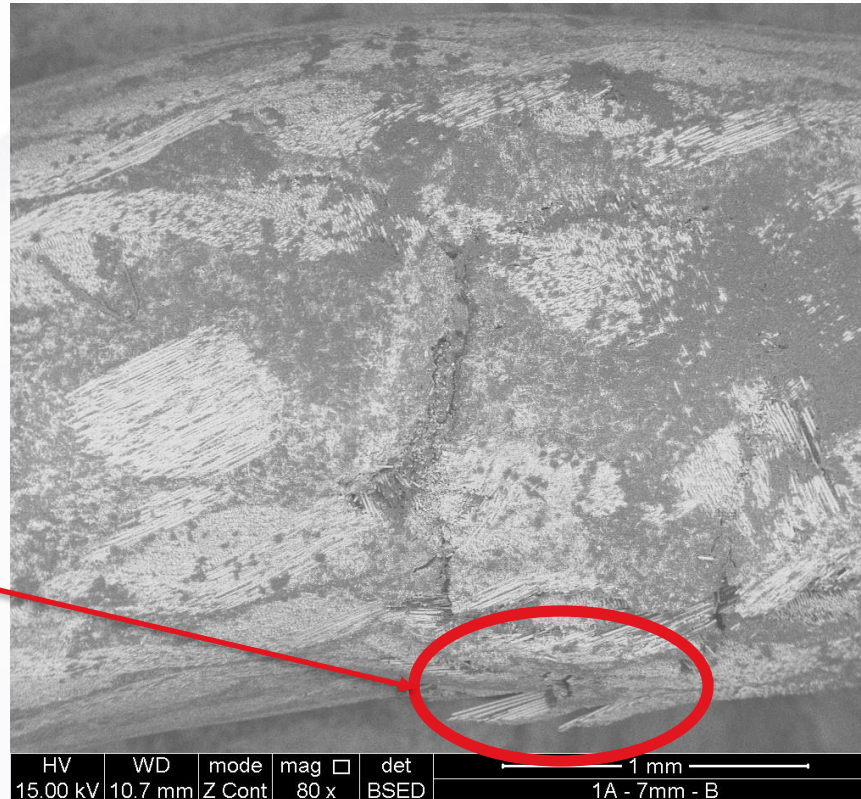


Estructuras sin revestimiento.

Voladizo 7 mm

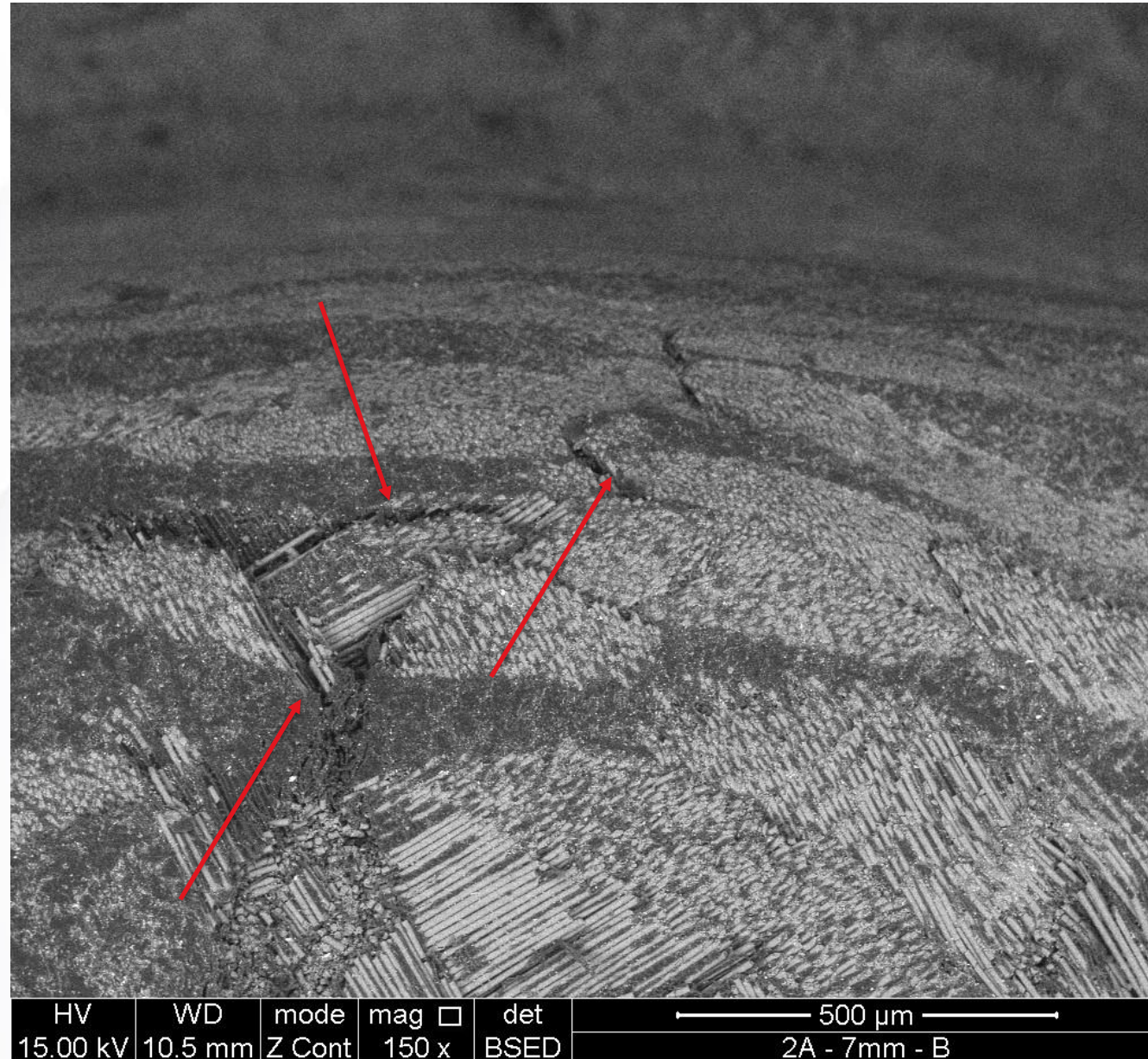


Falla Cohesiva.
desprendimiento de las
fibras, voladizo derecho.



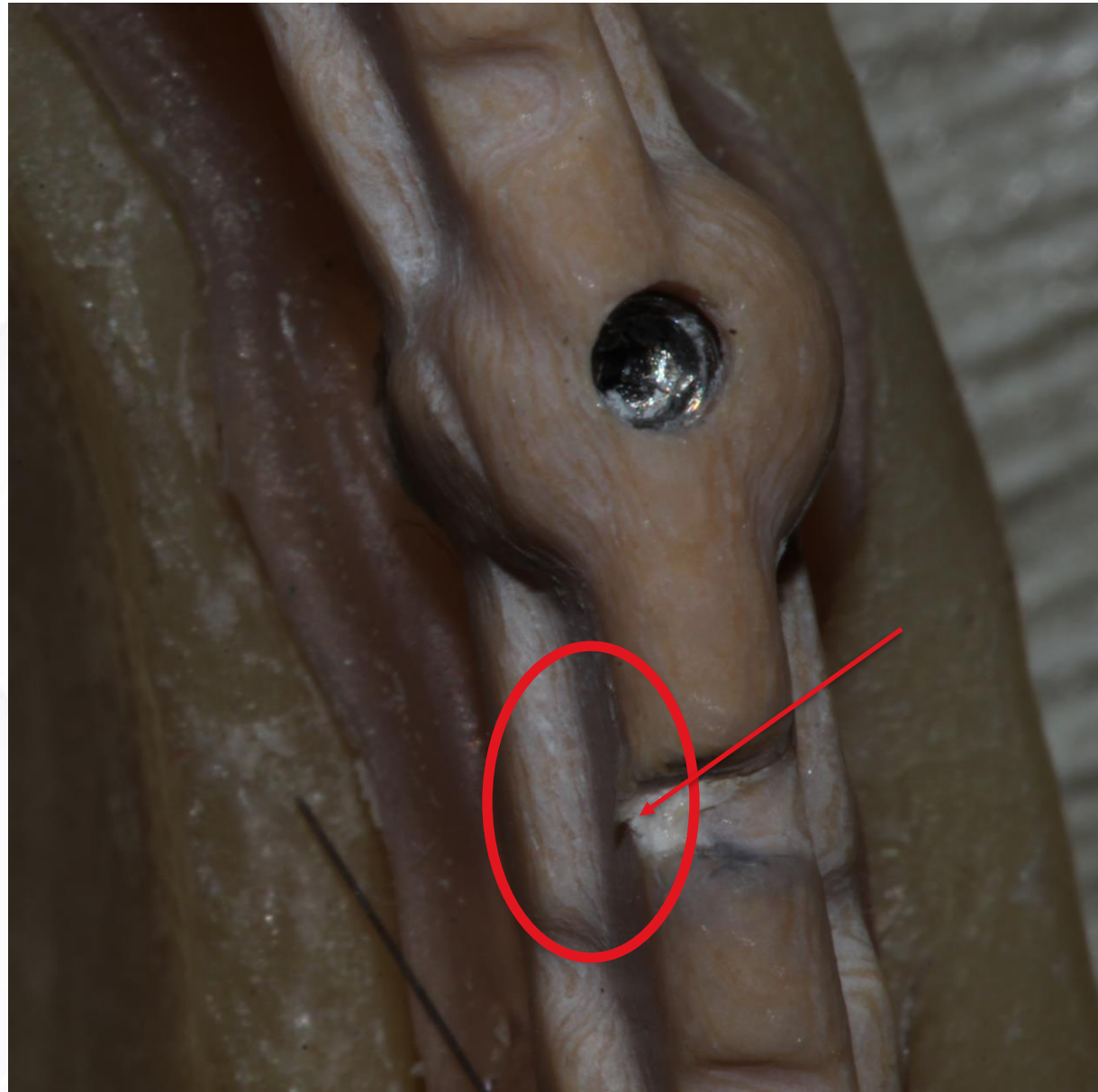
Falla Cohesiva

Grietas en la superficie del material



Estructuras sin revestimiento.

Voladizo 10 mm



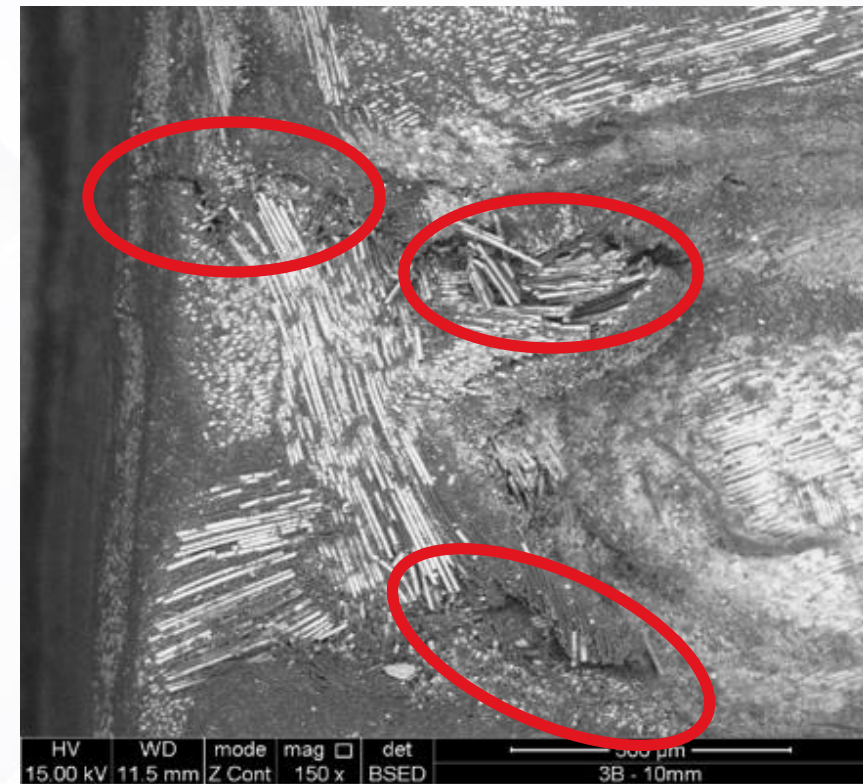
Estructuras sin revestimiento.

Voladizo 10 mm



Falla cohesiva.

Se observa desprendimiento del material del polímero y exposición de las fibras



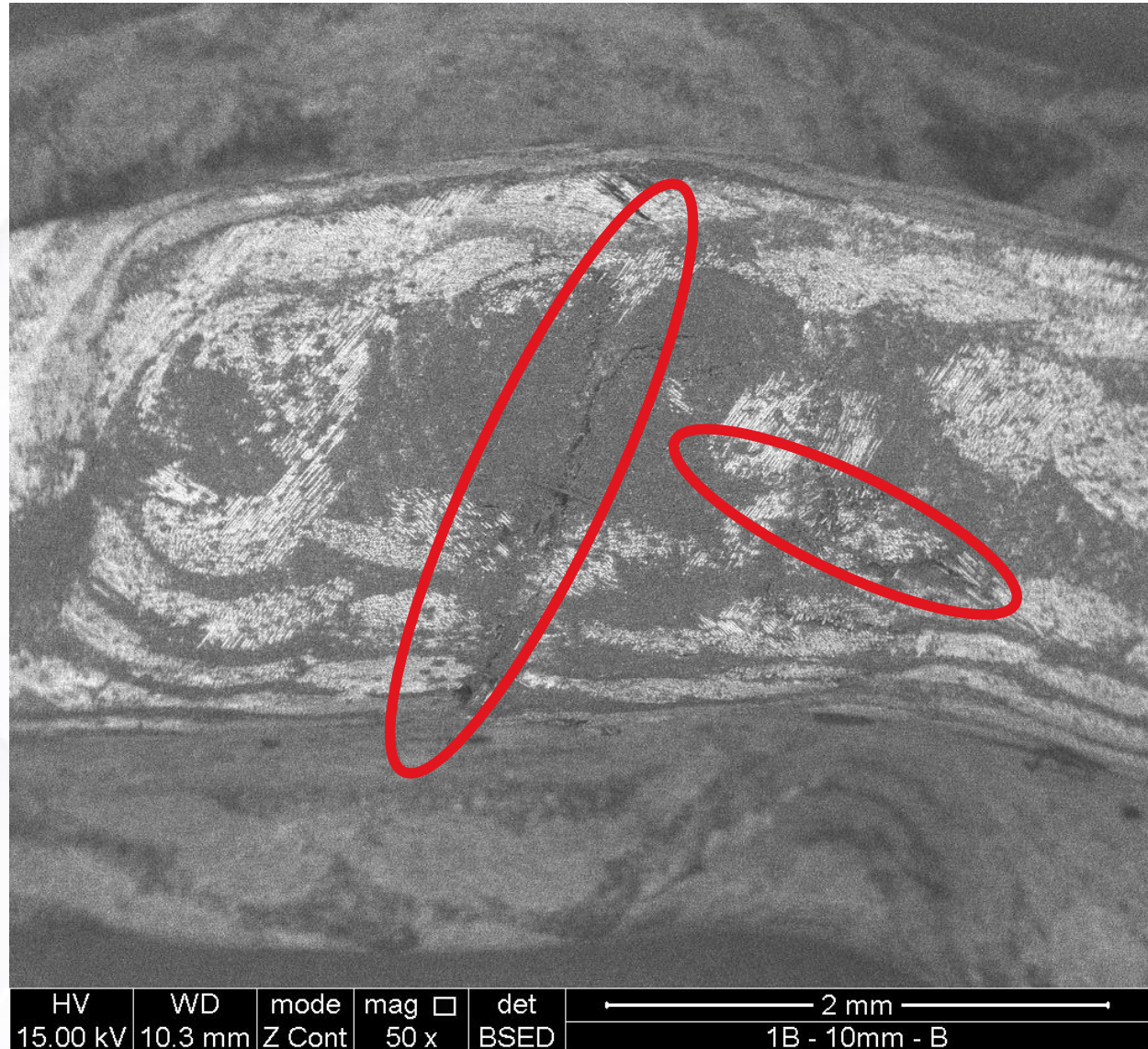
Estructuras sin revestimiento.

Voladizo 10 mm



Falla cohesiva.

Se observa desprendimiento del material del polímero y exposición de las fibras





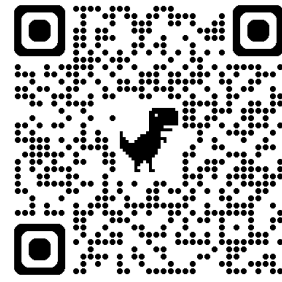
Discusión

Discusión

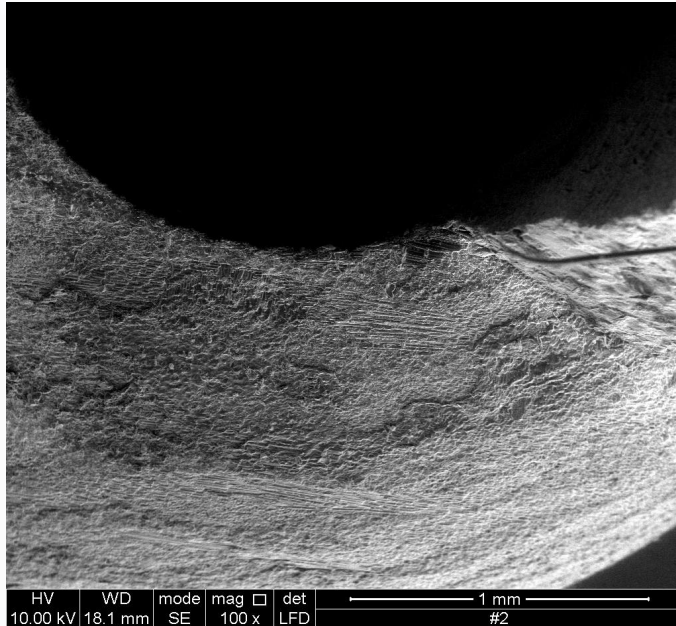
NATURALEZA DE LAS FALLAS

Material / Condición		Tipo Predominante de Falla	Mecanismo Biomecánico
Trilor® Revestimiento	Con	ADHESIVA	Separación limpia en la interfase. El acrílico protege la barra, pero falla la unión Lahoud et al. (2025).
Trilor® Sin Revestimiento		COHESIVA	Degradación de la matriz y "Fiber Pull-out". Mayor carga directa sobre el polímero Wang et al. (2016).

Discusión



TriLor®



Martínez y Rodríguez.
2026



**FALLA
ADHESIVA**

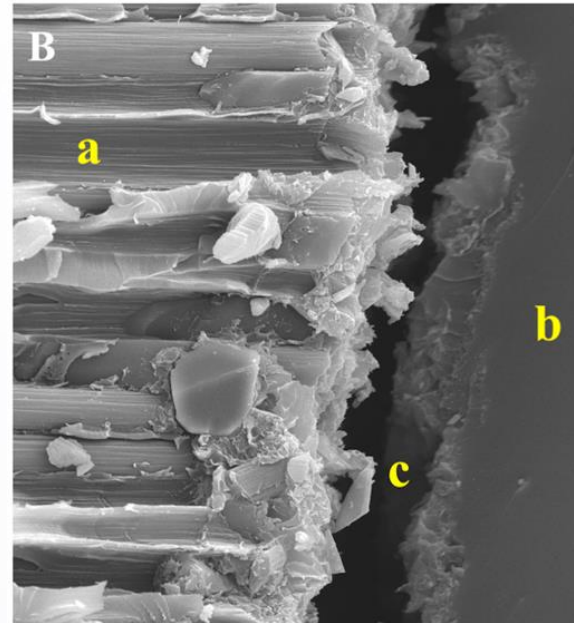
7 mm
MEJOR
COMPORTAMIENTO



10 mm
FRACTURAS
MÁS COMPLEJAS



Fibra de Carbono



Haroyan et al. 2021

10 mm
MENOR RESISTENCIA



13 mm
AÚN MENOR
RESISTENCIA



En TriLor®, el punto crítico
es la unión con el acrílico.
Optimizar la adhesión puede
mejorar la longevidad clínica.

RESUMEN SEM

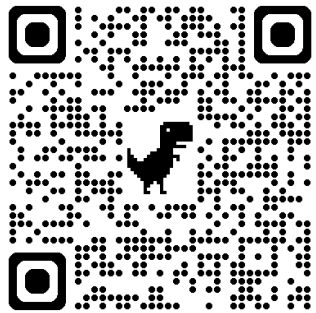
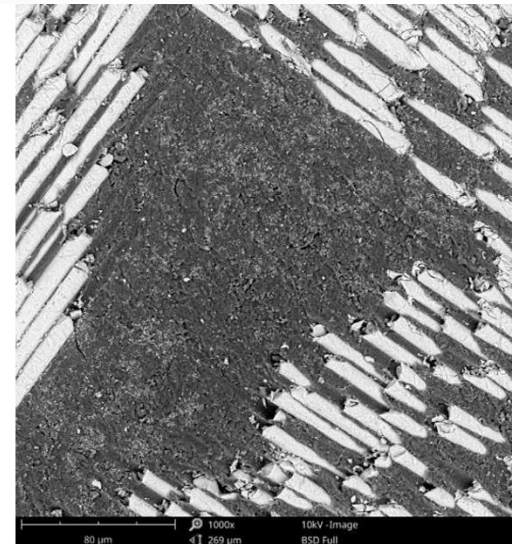
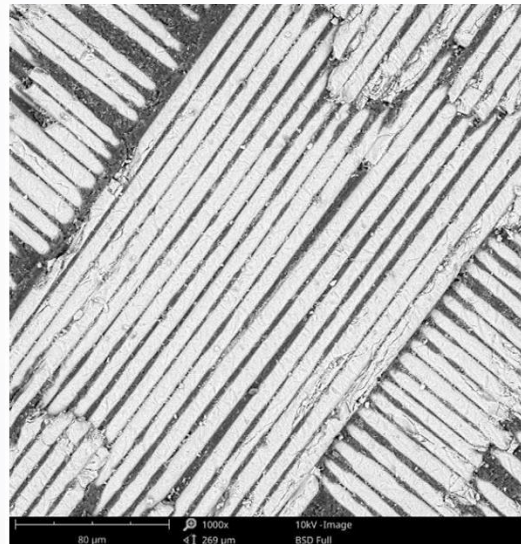


- ✓ Fibra de carbono + acrílico: predomina la rotura del armazón.
- ✓ TriLor® + acrílico: predomina la falla adhesiva en la interfaz.
- ✓ Más voladizo = más tensión, más riesgo de fractura.

Discusión

Bechir et al.
2021

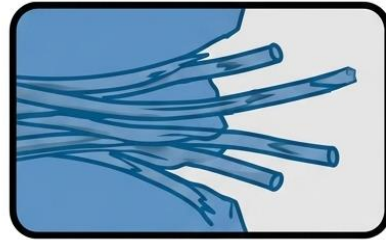
A. ESTABILIDAD QUÍMICA (Simulación ERGE/Reflujo)



Discusión

PROPUESTAS DE MEJORA PARA TRILOSOR®

- Mejorar Interacción Resina-Fibra



Fibras expuestas
tras fractura

VS.



Fibras recubiertas
por resina

- Aumentar Adhesión al Acrílico



Falla de unión
fibra-acrílico

VS.



Unión optimizada

Conclusiones

Factor de Análisis	Hallazgo Principal
Variación Estructural	Las estructuras presentan variaciones significativas en su comportamiento dependiendo de la longitud del voladizo.
Resistencia por Zona	La zona central demostró una mayor resistencia mecánica en comparación con los voladizos laterales (D e I).
Longitud vs Resistencia	Los voladizos de 7 mm presentan una resistencia flexural superior a los de 10 mm.
Sitio de Fractura	La fractura ocurre sitio critico el cual es la zona de multiunit.

Recomendaciones

Protocolo de Unión mejorado	Generar macroretención modificando el diseño de la estructura y además utilizar agentes de unión como la silanización de la estructura y un medio adhesivo.
Priorización de voladizos cortos	Prorizar voladizos de 7 mm o menos en las estructuras.
Futuras investigaciones	Se requieren mas ensayos a futuro para determinar la efectividad del TriLor®, Se recomienda, evaluar en pacientes la supervivencia oral de este material.

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. 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
8. 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
9. 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
10. De Salud M. RESOLUCION NUMERO 8430 DE 1993. 1993.
11. 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.
12. 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.
13. 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
14. 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
15. 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
16. 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.
17. 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.
18. Molitor P, Young T. Adhesives bonding of a titanium alloy to a glass fibre reinforced composite material. *International Journal of Adhesion & Adhesives*. 2002.

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.



 *Gracias* 