

**EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA FLEXURAL DE FIBRAS DE POLIETILENO
REFORZADAS CON DOS TIPOS DE COMPOSITE FLUIDOS DE ALTA CARGA.
ESTUDIO *IN-VITRO***

AUTORES

MARIA GRACIELA LAGARDE RODRIGUEZ
STEPHANY TAYLOR MOLINA
JULIANA VIMOS MACIA

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA COLEGIO DE COLOMBIA UNICOC
ÁREA DE EDUCACIÓN AVANZADA Y CONTINUADA
POSTGRADO EN PROSTODONCIA
BOGOTA NOVIEMBRE DE 2024**

**EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA FLEXURAL DE FIBRAS DE POLIETILENO
REFORZADAS CON DOS TIPOS DE COMPOSITE FLUIDOS DE ALTA CARGA.
ESTUDIO *IN-VITRO***

AUTORES

MARIA GRACIELA LAGARDE RODRIGUEZ
STEPHANY TAYLOR MOLINA
JULIANA VIMOS MACIA

ASESORA CIENTÍFICA

Dra. Mónica Forero Zorro
Odontóloga, Especialista en Prostodoncia
Pontificia Universidad Javeriana, Institución Universitaria Colegios de Colombia

ASESORA METODOLÓGICA

Dra. Sonia Rubiela Unriza Puin
Odontóloga, Magister en Ciencias odontológicas
Pontificia Universidad Javeriana, Universidad El Bosque

ASESOR ESTADÍSTICO

Gerardo Ardila Duarte
MSc Estadística Universidad Nacional

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA COLEGIO DE COLOMBIA UNICOC
ÁREA DE EDUCACIÓN AVANZADA Y CONTINUADA
POSTGRADO EN PROSTODONCIA
BOGOTA NOVIEMBRE DE 2024**

PÁGINA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado “**EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA FLEXURAL DE FIBRAS DE POLIETILENO REFORZADAS CON DOS TIPOS DE COMPOSITE FLUIDOS DE ALTA CARGA. ESTUDIO IN-VITRO**” Fue elaborado por **MARIA GRACIELA LAGARDE RODRIGUEZ, STEPHANY TAYLOR MOLINA y JULIANA VIMOS MACIA**, como requisito para optar por el título de especialista en Prosthodontics.

La sustentación se llevó a cabo 15 de noviembre de 2024
Acta No. XXXXXXXXXXXXX

Dra. Mónica Forero Zorro
Asesora Científica

Dra. Sonia Rubiela Unriza Puin
Asesora Metodológica

Dra. Sonia Rubiela Unriza Puin
Directora Centro Investigación
Colegio Odontológico- CICO (BOGOTÁ)

Dra. Sandra Elizabeth Aguilera Rojas
Directora de Investigación y Gestión del Conocimiento
Institución Universitaria Colegios de Colombia - UNICOC

DEDICATORIA

Este proyecto es dedicado a nuestras familias, a nuestros padres y hermanos quienes son el motor fundamental de este proceso académico y de vida, siendo nuestra motivación y polo a tierra en todo momento ya que sin ellos este sueño no sería realidad.

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia agradecemos a la Institución Universitaria Colegios de Colombia y al Centro de Investigaciones del Colegio Odontológico-CICO por facilitar sus recursos para poder realizar la investigación.

Agradecemos al Posgrado de Prostodoncia, especialmente a nuestra asesora científica la Dra Monica Forero Zorro, por su orientación y dedicación durante el proceso, así como por su soporte en el análisis estadístico agradecemos al Profesor Gerardo Ardila y del mismo modo a la Dra. Sonia Unriza Puin quienes nos brindaron su conocimiento, tiempo y paciencia apoyándonos en todo momento para poder realizar de manera exitosa el presente trabajo.

Agradecemos al Centro de Investigación y desarrollo Tecnológico, coordinado por el Dr. Norberto Calvo Ramírez.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
Aspectos teóricos -científicos	17
1.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
Pregunta de Investigación	19
¿Existen diferencias en la resistencia flexural entre las fibras de polietileno reforzadas con dos tipos de composite fluidos de alta carga, impregnadas y no impregnadas con adhesivo sin carga?	19
2.JUSTIFICACIÓN	20
3.PROPÓSITO	22
4.ANTECEDENTES	23
5.MARCO TEÓRICO	26
5.1 Biomateriales	26
5.1.1 Composite	26
5.2 Adhesivo dental	38
5.2.1 Sistemas Adhesivos sin relleno o carga	39
5.3 Resistencia flexural	39
6.Objetivos	42
6.1 Objetivo general	42
6.2 Objetivos específicos	42
7.Aspectos Metodológicos	43
7.1 Tipo de Estudio	43
7.2 Objeto de Estudio	43
7.3 Material Objeto de Estudio	43
8.CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA	44
8.1 Muestra	44
8.2 Criterios de Selección	45
8.2.1 Criterios de Inclusión	45
8.2.2 Criterios de Exclusión	45
8.3 Procedimiento	46

8.3.1 Preparación y selección de muestra de fibra Ribbond-THM (Ribbond; Seattle, WA, USA) 9574	46
8.3.2 Preparación de muestras (control) grupo 1: (BFF) Bulk Fill Flowable Restorative: (BFF) y 2: EverX Flow (EF)	47
8.3.3 Preparación de muestras grupo 1B: Bulk Fill Flowable Restorative+ Ribbond THM (BFFR) y 2B: EverX Flow + Ribbond THM, (EFR)	48
8.3.4 Preparación de muestras grupo 1C: Bulk Fill Flowable Restorative + Ribbond THM+ Ribbond Wetting resin (BFFRW) y 2C: EverX Flow Ribbond THM+ Ribbond Wetting resin (EFRW)	51
8.3.5 Prueba de flexión.....	54
8.4 Análisis estadístico	57
9. RESULTADOS.....	58
10. Discusión.....	73
11. CONCLUSIONES	79
12.RECOMENDACIONES.....	80
13.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
ANEXOS	92
Anexo 1. Ficha Técnica Resina.....	92
Filtek Bulk Fill Flowable™ (3M/ESPE, St. Paul, MN, USA)	92
Anexo 2. Ficha Técnica Resina.....	95
EverX Flow™ (GC Corp, Tokyo, Japan).....	95
Anexo 3. Operacionalización de variables	97

LISTA DE TABLAS

		Pag.
Tabla 1.	Descripción general de los tipos de composites, características y consideraciones clínicas	27
Tabla 2.	Valores de Fuerza aplicada y Resistencia Flexural Grupo 1A (BFF)	57
Tabla 3.	Valores de Fuerza aplicada y Resistencia Flexural Grupo 1B (BFFR)	58
Tabla 4.	Valores de Fuerza aplicada y Resistencia Flexural Grupo 1C (BFFRW)	59
Tabla 5.	Valores de Fuerza aplicada y Resistencia Flexural grupo 1 (BFF) Bulk Fill Flowable Restorative	60
Tabla 6.	Valores de Fuerza aplicada y Resistencia Flexural Grupo 2A (EF)	62
Tabla 7.	Valores de Fuerza aplicada y Resistencia Flexural Grupo 2B (EFR)	63
Tabla 8.	Valores de Fuerza aplicada y Resistencia Flexural Grupo 2B (EFR)	64
Tabla 9.	Valores de Fuerza aplicada y Resistencia Flexural grupo 2 (EF) EverX Flow (GC, Tokyo, Japan)	65
Tabla 10.	Comparaciones de la fuerza aplicada, resistencia flexural y los subgrupos del grupo 1 Bulk Fill Flowable Restorative.	66
Tabla 11.	Comparaciones de la fuerza aplicada, resistencia flexural y los subgrupos del grupo 2 EverX Flow (GC, Tokyo, Japan)	68
Tabla 12.	Comparaciones de la fuerza aplicada y resistencia flexural subgrupos del grupo 1 y grupo 2.	70

LISTA DE FIGURAS

		Págs..
Figura 1.	Clasificación de los compuestos de resina	26
Figura 2.	Propiedades mecánicas de algunos compuestos reforzados con fibra de vidrio probados experimentalmente.	31
Figura 3.	Compuestos a base de resina reforzados con fibras cortas disponibles comercialmente	33
Figura 4.	Tejido Leno patentado – Ribbond	34
Figura 5.	Barras de composite ; A. Grupo 1A (BFF): Barra de resina 3M™ FILTEK™ BULK FILL FLOWABLE RESTORATIVE; B. Grupo 2A (EF): Barra de resina everX Flow (GC, Tokyo, Japan).	46
Figura 6.	Protocolo Barras de composite ; A. Grupo 1A (BFF): Barra de resina 3M™ FILTEK™ BULK FILL FLOWABLE RESTORATIVE; B. Grupo 2A (EF): Barra de resina everX Flow (GC, Tokyo, Japan).	47
Figura 7.	Barras de composite; A. Grupo 1B (BFFR): Barra de resina 3M™ FILTEK™ BULK FILL FLOWABLE RESTORATIVE+ Ribbond THM, Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU.); B. Grupo 2B (EFR): Barra de resina everX Flow (GC, Tokyo, Japan) + Ribbond THM, Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU.).	48
Figura 8.	Protocolo Barras de composite; A. Grupo 1B (BFFR): Barra de resina 3M™ FILTEK™ BULK FILL FLOWABLE RESTORATIVE+ Ribbond THM, Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU.); B. Grupo 2B (EFR): Barra de resina everX Flow (GC, Tokyo, Japan) + Ribbond THM, Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU.).	49
Figura 9.	Barras de comopiste; A. Grupo 1C (BFFRW): Barra de resina 3M™ FILTEK™ BULK FILL FLOWABLE RESTORATIVE+ Ribbond THM, Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU.) + Ribbond Wetting resin ; B. Grupo 2C (EFRW): Barra de resina everX Flow (GC, Tokyo, Japan) + Ribbond THM, Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU.)+ Ribbond Wetting resin.	51
Figura 10.	Protocolo Barras de comopiste; A. Grupo 1C (BFFRW): Barra de resina 3M™ FILTEK™ BULK FILL FLOWABLE RESTORATIVE+ Ribbond THM, Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU.) + Ribbond Wetting resin ; B. Grupo 2C (EFRW): Barra de resina everX Flow (GC, Tokyo, Japan) + Ribbond	52

- THM, Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU.)+ Ribbond Wetting resin.
- Figura 11.** Prueba de flexión; A. Barra reforzada, máquina de ensayo universal INSTRON 3345 (Instron Corporation, Norwood, MA, EE. UU); B. Punto de flexión máxima **54**
- Figura 12.** Flexión máxima de grupos reforzados con fibra, imagen; a. Grupo 1B (BFFR): barra de resina 3M™ FILTEK™ BULK FILL FLOWABLE RESTORATIVE+ Ribbond THM, Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU.), b. Grupo 2B (EFR): 10 Barras de resina everX Flow (GC, Tokyo, Japan) + Ribbond THM, Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU.), c.Grupo 1C (BFFRW): 10 Barras de resina 3M™ FILTEK™ BULK FILL FLOWABLE RESTORATIVE+ Ribbond THM, Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU.)+ Ribbond Wetting resin. d.Grupo 2C (EFRW): 10 Barras de resina everX Flow (GC, Tokyo, Japan) + Ribbond THM, Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU.) + Ribbond Wetting resin. **55**

LISTA DE GRAFICOS

		Págs.
Grafica 1.	Valores de Fuerza aplicada y Resistencia Flexural grupo 1 (BFF) Bulk Fill Flowable Restorative	61
Gráfico 2.	Resistencia Flexural grupo 2 (EF) EverX Flow (GC, Tokyo, Japan)	65
Gráfico 3.	Resistencia flexural subgrupos del grupo 1 Bulk Fill Flowable Restorative; BFF: 3M™ Filtek™ Bulk Fill Flowable restorative ; BFFR: 3M™ Filtek™ Bulk Fill Flowable restorative + Ribbond THM, Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU.) ; BFFRW: 3M™ Filtek™ Bulk Fill Flowable restorative + Ribbond THM, Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU.)+ Ribbond Wetting resin	67
Gráfico 4.	Resistencia flexural subgrupos del grupo 2 EverX Flow; EF: Resina EverX Flow (GC, Tokyo, Japan); EFR: Resina EverX Flow (GC, Tokyo, Japan) + Ribbond THM, Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU.); EFRW: Resina EverX Flow (GC, Tokyo, Japan) + Ribbond THM, Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU.) + Ribbond Wetting resin	69
Gráfico 5.	Resistencia flexural subgrupos del grupo 1 y grupo 2.	71

LISTA DE ANEXOS

	Págs.
Anexo 1. Ficha técnica Filtek Bulk Fill Flowable™	91
Anexo 2. Ficha técnica casa comercial EverX Posterior™	94
Anexo 3. Operacionalización de variables	96

GLOSARIO

- **FIBRA DE POLIETILENO:** Los sistemas de cintas de fibra continua de polietileno de peso molecular ultraalto tejidas con leno se desarrollan para mejorar la tenacidad de las resinas compuestas, aumentando su durabilidad y tolerancia al daño.(1)
- **RESINA COMPUESTA:** Un material polimérico altamente reticulado reforzado por una dispersión de partículas de relleno de sílice amorfa, vidrio, resina cristalina u orgánica y/o fibras cortas unidas a la matriz por un agente de acoplamiento.(2)
- **RESISTENCIA FLEXURAL:** Resistencia a la flexión (σ_M)—Esfuerzo máximo de flexión sostenido por la muestra de prueba durante una prueba de flexión.(3)
- **RESINA FLUIDA:** (1998): Resina compuesta con menor carga que la resina compuesta convencional y mejor humectabilidad.(2)

INTRODUCCIÓN

El objetivo de encontrar la restauración ideal en dientes posteriores severamente dañados ha constituido un desafío significativo en el ámbito de la restauración dental contemporánea. La pérdida de tejido dental influye en la conducta biomecánica del diente, las preparaciones y restauraciones extensas de las cavidades, sumados al tratamiento endodóntico, pueden incrementar la fragilidad estructural dental, conllevando a fallas en los órganos dentales.(4,5)

Para minimizar estos impactos, se ven como esencial los procedimientos de restauración adecuados, donde la elección del material restaurador apropiado se fundamentará en diversas circunstancias, tales como la cantidad de remanente dental existente, propiedades funcionales, estéticas y la reanatomización biológica de las estructuras.(6) Las resinas dentales continúan siendo un método de elección para la restauración de los tejidos dentales perdidos, gracias a sus características mecánicas, estéticas, fácil manejo y rendimiento clínico. No obstante, la contracción de polimerización y tensiones, continúan siendo una desventaja presente en las restauraciones directas con resina, por lo que se han propuesto diferentes estrategias como el uso de resina fluida previo a una resina compuesta a través de protocolos de irradiación de arranque suave o utilizando técnicas incrementales, así como la introducción de materiales con refuerzo de fibra, aplicados directa e internamente en las preparaciones cavitarias.(4,7,8)

Los sistemas de fibras como Ribbond, que son fibras continuas de polietileno de alto peso molecular, se han desarrollado con la finalidad de mejorar la tenacidad de las resinas compuestas, aumentando su durabilidad y tolerancia a los daños. Sus múltiples hilos direccionales y las intersecciones nodales en forma de malla conducen a múltiples trayectorias de carga que redistribuyen las fuerzas masticatorias sobre la restauración de resina, producto de la modificación de las tensiones interfaciales a causa de un módulo elástico más alto y un módulo de flexión más bajo.(1,9) No obstante, la colocación de fibras puede ser un procedimiento complicado, sensible a la técnica con demanda de una gran cantidad de tiempo, razón por la cual se introdujeron al mercado las resinas reforzadas con fibra preincorporada Ever X. La resina Ever X posterior se compone de fibras de vidrio E cortadas y un relleno de vidrio de bario, lo que resulta en una longitud de 1-2 mm de la fibra de vidrio previamente incorporada. Estas fibras cortas contribuyen a frenar el avance de la grieta, al igual que la función de la dentina.(10)

Asimismo, siguiendo el mismo objetivo de mitigar el estrés provocado por la polimerización de la resina compuesta, se han introducido en el mercado los materiales de relleno en bloque "Bulk-fill". Estos permiten aplicar y fotopolimerizar una única capa de espesor de 4 a 5 mm, a través de modificaciones en la matriz, iniciador químico y una reducción en el volumen de relleno inorgánico, estos pueden ser alta viscosidad o baja viscosidad (fluida), no obstante, su adhesión a la dentina en el fondo de la cavidad puede resultar difícil en restauraciones profundas.(11,12)

Por otra parte, la resistencia a la flexión que corresponde a la tensión máxima que puede soportar un material antes de fallar, es una característica evaluada en los biomateriales. A pesar de ello, son escasas las investigaciones que han evaluado la resistencia flexural del uso combinado de sistemas ribbond y resina de relleno masivo de baja viscosidad, como los composites reforzados con fibras cortas. Asimismo, es incierto el papel que puede jugar el sistema de adhesión en este aspecto. La literatura indica que las características mecánicas de los sistemas ribbond pueden verse influenciadas por varios factores, entre los que se incluyen la impregnación de las fibras con la matriz polimérica donde la composición del agente humectante puede influir de manera notable en sus características mecánicas. Un estudio reveló que la integridad interfacial del composite Bulk-fill al suelo de la cavidad mejoró con la colocación de un incremento reforzado con fibra en la base de la preparación profunda, el cual actuó como rompedor de tensiones de contracción y protegió la interfase adherida en la dentina profunda.(12–15) El objetivo del presente estudio fue evaluar la resistencia flexural de fibras de polietileno reforzadas con dos tipos de composite fluidos de alta carga, impregnadas y no impregnadas con adhesivo sin carga.

Aspectos teóricos -científicos

1.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los dientes con compromiso estructural son los que presentan una considerable pérdida sustancial de la estructura dental debido a caries dental, restauraciones previas y procedimientos endodónticos. Las resinas dentales continúan siendo un método de elección para la restauración de los tejidos dentales perdidos, gracias a sus características mecánicas, estéticas, fácil manejo y rendimiento clínico. No obstante, la contracción de polimerización y la falta de tenacidad continúan siendo una desventaja presente en las resinas compuestas. La tenacidad se define como la resistencia de un material a la rápida propagación de grietas. (4,7–9)

Con la finalidad de superar dichas limitaciones, se ha introducido nuevos materiales como compuestos reforzados con fibra, materiales de relleno en bloque y compuestos con mayor contenido de relleno, con propiedades de manipulación mejoradas, contracción de polimerización reducida y mayor tenacidad a la fractura.(10)

Los compuestos reforzados con fibras (FRC) son materiales multifásicos con una combinación única de propiedades que se consiguen con una proporción específica de cada fase, generalmente, las características mecánicas mejoradas del material se consiguen mediante la incorporación de fibras de refuerzo (fase discontinua) en la matriz polimérica (fase continua). Las FRC de vidrio y fibras de polietileno son las más empleadas, donde estas últimas mejoran su conexión química con los materiales restauradores utilizados y funcionan como una capa que absorbe

tensiones. Sin embargo, la literatura ha enfatizado una adhesión deficiente entre las fibras de polietileno y la matriz de polímero.(15,16)

Por su parte los materiales de relleno en bloque permiten la reducción de tiempos clínicos a partir de la aplicación y fotopolimerización de una sola capa de espesor de 4 a 5 mm, mediante la modificación en gran parte de su composición de la matriz orgánica. Según su uso clínico se pueden categorizar como composite de relleno en bloque de liners (fluidas) o de cuerpo completo. Los composites de relleno en bloque liners o base cavitaria suelen tener una baja viscosidad, permitiendo su colocación y adaptación en cavidades profundas resultado de una menor cantidad de relleno en su composición lo que conlleva a una disminución en la resistencia.(17–19)

Pese a las investigaciones recientes que han estudiado la aplicación del uso de fibras de refuerzo en restauraciones de resina compuesta, resaltando que la inclusión de fibras de polietileno tiene efectos ventajosos en términos de resistencia dental y durabilidad de las restauraciones. Son escasos los estudios que han evaluado la resistencia flexural de composites de relleno en bloque de baja viscosidad y de materiales compuestos reforzados con fibras cortas (SFRC). De igual forma es incierto el papel que puede jugar el sistema de adhesión al respecto. La literatura indica que las características mecánicas de los sistemas Ribbond pueden verse influenciadas por varios factores, entre los que se incluyen la impregnación de las fibras con la matriz polimérica, donde la composición del agente

humectante puede influir de manera notable en sus características mecánicas.(12,15)

Pregunta de Investigación

¿Existen diferencias en la resistencia flexural entre las fibras de polietileno reforzadas con dos tipos de composite fluidos de alta carga, impregnadas y no impregnadas con adhesivo sin carga?

2.JUSTIFICACIÓN

En la determinación del pronóstico en odontología restauradora, la cantidad de tejido dental sano restante juega un papel crítico. Ahora bien, existen varios elementos que influyen en la longevidad de las restauraciones dentales, incluyendo la selección del material restaurador y sus características, como la resistencia a la flexión, definida como la tensión máxima a la que un material puede ser sometido antes de fallar. (20–22)

Con el progreso tecnológico, la incorporación de materiales novedosos en combinación con métodos adhesivos ha facilitado la creación de restauraciones conservadoras y sumamente estéticas que se adhieren directamente a los dientes. Las restauraciones directas con composite en las zonas posteriores se han vuelto un componente esencial de la odontología contemporánea. Este procedimiento generalmente se realiza a través de técnicas de estratificación que demanda más tiempo clínico, por lo que la implementación de las resinas de relleno bloque "Bulk-fill", cuya única aplicación y fotopolimerización de una única capa de espesor de 4 a 5 mm, permite disminuir los tiempos, estas pueden clasificarse de en alta viscosidad o baja viscosidad (fluida) donde estas últimas suelen adaptarse y colocarse en cavidades profundas resultado de una menor cantidad de relleno en su composición lo que resulta en una disminución en la resistencia, sin embargo las propiedades mecánicas de las resinas fluidas, entre ellas la resistencia flexural, han ido cambiando según la composición de estas. Actualmente, las propiedades mecánicas de las resinas fluidas han mejorado para expandir las opciones de tratamiento en una gama más amplia de situaciones clínicas (23–26)

De igual manera, con el objetivo de potenciar las características mecánicas de las restauraciones, especialmente en términos de resistencia a la flexión y fractura, se ha implementado el uso de composites reforzados con fibra de vidrio. Estos ofrecen una estética aceptable, no son corrosivos, ofrecen una alta resistencia, no contienen metales, son antialérgicos, manejables en el consultorio, biocompatibles y se pueden ajustar para satisfacer las necesidades, dentro de los empleados se encuentran los composites reforzados con fibras cortas y fibras de polietileno peso molecular ultra alto (Ribbond).(27)

Los estudios in vitro son un aspecto importante en el desarrollo e implantación de nuevos materiales y técnicas dentales ya que proporcionan información esencial para futuras pruebas de enfoques terapéuticos en ensayos clínicos, permitiendo al investigador realizar experimentos de una sola variable en condiciones controladas proporcionar información importante sobre las propiedades y características de un nuevo material o técnica.(28) Pese a la amplia variedad de investigaciones enfocadas en la valoración de la resistencia flexural y biomateriales, hoy en día persiste una gran controversia sobre el rol que puede desempeñar la mezcla de fibras de alto peso molecular con un agente humectante en la resistencia a la flexión en composites fluidos de rellenos tipo Bulk y composites reforzados con fibras de cortas. Siendo materiales novedosos y de uso cada vez más cotidiano, resulta esencial determinar el material restaurador más adecuado antes de su aplicación clínica. Por lo tanto, esta investigación ayudará a distinguir a la comunidad académica sobre el material más adecuado basados en sus propiedades, además de entablar posibles usos de acuerdo con la situación clínica presente

3.PROPÓSITO

-Proporcionar datos estadísticos sobre la resistencia flexural de los materiales estudiados.

-Esta investigación pretende ayudar a los profesionales de la odontología a seleccionar el mejor material de refuerzo para una determinada situación clínica y lograr mejores resultados clínicos a través de los resultados encontrados.

4.ANTECEDENTES

Los compuestos reforzados con fibra son materiales a base de resina que contienen fibras destinadas a mejorar sus propiedades físicas. Fueron introducidas por primera vez en la década de 1960 por Smith cuando se utilizaron fibras de vidrio para reforzar los polimetilmetacrilatos. En cuanto a las fibras Ribbond, halladas por David Rudo, se comercializaron en el mercado en 1992.(29)

Juloski et al.(15) en 2013 en Italia llevaron a cabo un estudio *in vitro* con la finalidad de evaluar la fuerza de adhesión al cizallamiento del esmalte humano no rectificado (ESBS) y la resistencia a la flexión (FS) de diferentes fibras de refuerzo utilizadas en combinación con un composite de resina fluida. La muestra incluyó un total de 90 molares humanos divididos aleatoriamente en 9 grupos (n=10) de acuerdo con la fibra de refuerzo a probar: 1. RTD Quartz Splint impregnado Quartz Splint Resin (RTD), 2 RTD Quartz Splint sin impregnación; 3. Ribbond– THM (Ribbond) impregnado con adhesivo OptiBond FL; 4: Ribbond Triaxial (Ribbond) impregnado con adhesivo OptiBond FL; 5. Connect (Kerr) impregnado con adhesivo OptiBond FL; 6. Construct (Kerr) impregnado con adhesivo Opti-Bond FL; 7. everStick PERIO (Stick Tech); 8. everStick C&B (Stick Tech); 9. composite no reforzado Premise flowable (Kerr). Los valores de la resistencia flexural variaron entre $87,8 \pm 22,9$ a $441,8 \pm 61,4$ MPa correspondiente este último valor al grupo 2 con el valor de mayor resistencia flexural; los grupos 3 y 4 obtuvieron una resistencia flexural media de $186 \pm 43,9$ MPa y $314,4 \pm 148,5$ MPa respectivamente, señalando que el refuerzo de fibras de los compuestos fluidos no afecta a su resistencia a la flexión.

Por su parte, Gatica et al (30) en 2023 en Chile llevaron a cabo una revisión sistemática con el objetivo de comparar, sobre la base de la evidencia científica disponible, las principales propiedades de los composites fluidos a base de resina de relleno en bloque (BF-RBC), incluida su composición, la contracción de polimerización y tensión de contracción, así como la resistencia a la flexión. La muestra incluyó un total de 53 artículos de las bases de datos Medline (PubMed), Scopus y Web of Science (WOS), para la resistencia a la flexión solo se incluyeron estudios que utilizaron la configuración de flexión de 3 puntos, según la norma ISO 4049. Los resultados obtenidos indicaron valores entre $49 \pm 15,98$ MPa a 147.8 ± 10.4 MPa, concluyendo que los BF-RBC fluidos cumplen los requisitos para ser indicados para la técnica de restauración de relleno masivo en la región posterior.

Al-Shabib et al.(31) en Arabia Saudita en 2023 llevaron a cabo un estudio *in vitro* con la finalidad de medir la resistencia a la flexión (FS) de los compuestos de resina de relleno en bloque y evaluar sus propiedades de absorción de agua y solubilidad a largo plazo con y sin la inclusión de fibras de vidrio cortas. Se probaron un compuesto de resina, everX Flow con fibras, y cuatro compuestos de relleno en bloque disponibles comercialmente sin fibra PALFIQUE, Activa, SDR Plus y Filtek Bulk Fill One, a partir de la fabricación de seis muestras en forma de barra con dimensiones de $2 \times 2 \times 25$ mm para cada material, que posteriormente se almacenaron en agua durante 1 día y 30 días para medir la resistencia la FS utilizando una prueba de flexión de tres puntos. Los valores de resistencia flexural

oscilaron entre 101,7 y 149,1 MPa donde este último valor corresponde a la resina everX Flow exhibiendo la mayor resistencia flexural.

5.MARCO TEÓRICO

5.1 Biomateriales

Cualquier sustancia o combinación de estas, distintas de los fármacos, de origen sintético o natural, que se pueda utilizar durante cualquier período, que aumente o sustituya parcial o totalmente cualquier tejido, órgano o función del cuerpo.(32)

5.1.1 Composite

Los composites son biomateriales que constan de dos o más componentes, cuya combinación da lugar a un material con propiedades diferentes a las de sus componentes individuales. Los composites a base de resina son materiales sintéticos que incluye una matriz de resina, rellenos inorgánicos después del tratamiento de la superficie, así como los sistemas de iniciación y catalizador.(32–34)

La matriz de oligómeros a base de resina se compone más comúnmente de bis-GMA, un hidroxietilmetacrilato (HEMA), dimetacrilato de trietilenglicol (TEGDMA) y dimetacrilato de uretano (UDMA). Los rellenos inorgánicos suelen incluir dióxido de silicio (sílice), cuarzo, otros polvos de vidrio, rellenos cerámicos, entre otros, mejorando dureza, resistencia al desgaste y translucidez del compuesto. Por su parte el agente de acoplamiento suele estar formado por silano orgánico, como 3-metacriloxipropiltrimetoxisilano y 10-metacriloloxidecil dihidrógeno fosfato (10-MDP), cuyos grupos funcionales químicos pueden mejorar la resistencia de unión entre el relleno de refuerzo y la matriz de resina.(35)

5.1.1.1 Clasificación de los composites.

En la actualidad existen muchos tipos de productos de composites disponibles para uso clínico según varios sistemas de clasificación diferentes. Los compuestos dentales se pueden dividir en las siguientes categorías, según sus diferentes composiciones y características de rendimiento: procedimiento restaurativo, tamaño de partícula del relleno, modo de fotopolimerización y aplicación clínica (Figura 1).(35)

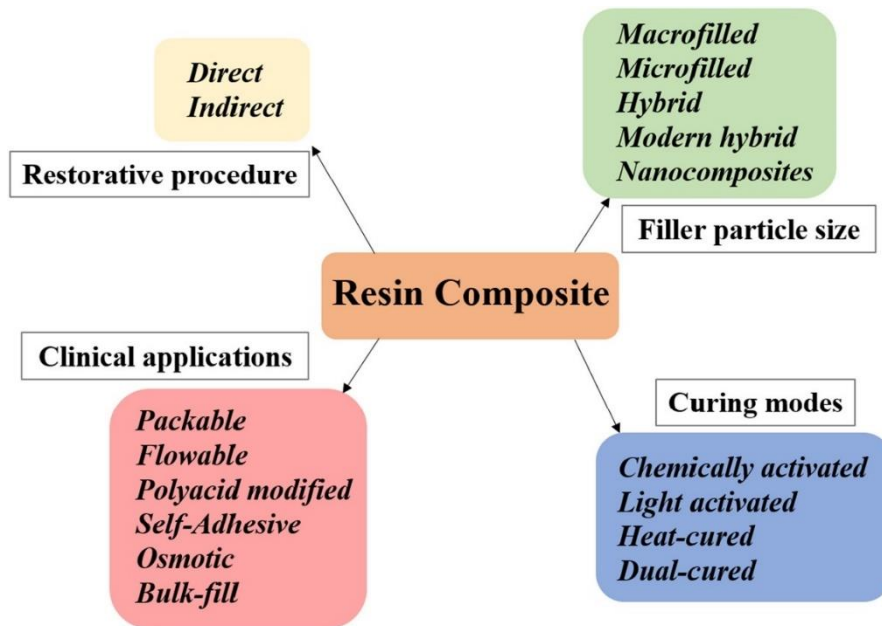


Figura 1. Clasificación de los compuestos de resina. Tomado de: Zhou X, Huang X, Li M, Peng X, Wang S, Zhou X, et al. Development and status of resin composite as dental restorative materials. J Appl Polym Sci. 2019 Nov 20;136(44):48180.(35)

5.1.1.2. Composites a Base de Resina para Restauraciones Directas.

Los compuestos de resina para aplicación intraoral directa generalmente constan de 4 componentes: matriz orgánica, partículas de relleno inorgánicas, sistema iniciador y agente de acoplamiento. De manera apropiada, los compuestos de resina directa suelen clasificarse en función del tamaño de la partícula de relleno; actualmente con la evolución de los materiales ha permitido la introducción de los actuales composites minifill/microhíbridos, que pueden utilizarse en prácticamente cualquier situación clínica con resultados aceptables, así como de los nanocomposites, que optimizan tanto las propiedades estéticas como las mecánicas (Tabla 1).(36)

Tabla 1. Descripción general de los tipos de composites, características y consideraciones clínicas. Tomado de: Bompolaki D, Lubisich EB, Fugolin AP. Resin-Based Composites for Direct and Indirect Restorations: Clinical Applications, Recent Advances, and Future Trends. Dent Clin North Am. 2022 Oct 1;66(4):517–36.(36)

Tipo compuesto	Características del relleno	Consideraciones clínicas
Microrelleno	Partículas de 40–50 nm	Excelente estética, muy pulible, pero le falta resistencia.
Microhíbrido	Partículas de 0,4 a 1,0 μm	Alta resistencia y buena resistencia al desgaste.
Nanohíbrido	Rellenos convencionales (0,4–0,5 μm), con partículas de tamaño nanométrico añadidas	Alta resistencia, estética y capacidad de pulido.
Nanorelleno	Partículas de 1 a 100 nm	
Monocromática	“Coloración estructural” o “concepto de adaptación de la luz”	Indicado para dientes monocromáticos (no se utiliza con una estructura subyacente oscura). Simplifica el procedimiento de igualación de color y la restauración se combina con la estructura del diente circundante.
Bulk-fill base (Composite de relleno en bloque liners)	Contenido de relleno más bajo	Se puede colocar en incrementos de 4 a 5 mm. Baja viscosidad. Menor resistencia al desgaste; es necesario cubrirlo.
Bulk-fill body (Composite de relleno de cuerpo completo)	Mayor contenido de relleno	Se puede colocar en incrementos de 4 a 5 mm. Reduce el tiempo de procedimiento y la sensibilidad técnica, elimina la colocación incremental y la posibilidad de espacios vacíos.
Reforzado con fibra	Fibras de vidrio E orientadas aleatoriamente y rellenos particulados	Se utiliza como base a granel en situaciones de alto estrés.

5.1.1.2.1 Bulk-fill Composites.

Los composites a base de resina de relleno en bloque se han introducido en el mercado dental durante la última década, con el objetivo de resolver problemas asociados con la técnica incremental en dientes posteriores. El término bulk-fill se ha empelado para designar a los composites de resina que permiten incrementos de 4-5 mm de espesor, siendo adecuados para las técnicas de relleno en bloque de cuerpo completo y de base.(30)

Existen dos categorías: composite de relleno en bloque liners o base y composite de relleno en bloque de cuerpo completo. Los composites de relleno en bloque de base (también denominados fluidos) tienen una baja viscosidad y un menor contenido de relleno, lo que facilita el flujo y adaptación a las paredes de la cavidad, lo que es especialmente importante en preparaciones de difícil acceso. Las formulaciones fluidas son menos resistentes al desgaste y requieren ser tapadas con un compuesto convencional (también conocida como "técnica de dos pasos"). Los composites de relleno masivos de cuerpo completo tienen cargas de relleno más altas y una consistencia pastosa. Estos composites se pueden colocar en un solo incremento (hasta 4-5 mm), también conocida como "técnica de relleno masivo".(36)

No obstante, la comercialización de productos por parte de los fabricantes dentales ha instalado lentamente el concepto de relleno en bloque como una nueva clase de materiales, en lugar de la técnica a la que se refería originalmente, comprendiendo un grupo heterogéneo de materiales, con importantes diferencias en composición y propiedades. Los cuales debe cumplir con dos requisitos fundamentales: (1) un grado adecuado de conversión de monómero en todo el material; y (2) capacidad de compensar o disipar la tensión de contracción de polimerización en los márgenes de la cavidad.(30)

Actualmente se pueden clasificar según el grado de viscosidad en fluidos (baja viscosidad) y esculpibles (alta viscosidad). Los fluidos como se mencionó anteriormente exhibían propiedades mecánicas inferiores a los de alta viscosidad, principalmente debido a la mayor cantidad de partículas de relleno en estos últimos, limitado su uso a pequeñas cavidades o mínimamente invasivas, sin embargo, con la incorporación de nanorellenos a las resinas de relleno en bloque fluidas ha permitido mejorar sus propiedades mecánicas manteniendo su baja viscosidad y su capacidad de auto nivelación garantizando la adaptación marginal. Su fórmula incluye Bis-GMA, resinas Procrylat, Bis-EMA, UDMA. Zirconia/sílice (0,01 a 3,5 μm), relleno de trifluoruro de iterbio (0,1 a 5 μm) y relleno inorgánico: 64,5% en peso, 42,5% en volumen, su resistencia flexural que oscila entre $49\pm 15,98$ MPa a 147.8 ± 10.4 MPa.(30,37)

5.1.1.2.2 Composite Reforzado con Fibra.

Las fibras de vidrio son hebras delgadas de vidrio a base de sílice que se desgarran para crear fibras de diámetro pequeño. Estas fibras se encierran en una matriz de resina con el fin de generar compuestos reforzados con fibra de vidrio. Los compuestos reforzados con fibra de vidrio son matrices de monómero polimerizado llenas de fibras de vidrio de tamaño reducido, vinculadas químicamente a dicha matriz a través de agentes de acoplamiento con silano. La idea del efecto de fortalecimiento de los rellenos de fibra se basa en cómo el polímero transmite la tensión a las fibras, además del rol de cada fibra en la prevención de la aparición de grietas. Los compuestos reforzados con fibra de vidrio (FRC) ofrecen muchas ventajas a los materiales dentales, ya que proporcionan una estética aceptable, no corrosivos, alta tenacidad, no tienen metales, son antialérgicos, se pueden manipular en el consultorio, son biocompatibilidad y se pueden adaptar para cumplir con los requisitos específicos de muchas aplicaciones dentales.(27)

Existen diferentes tipos de fibras de refuerzo, como las de carbono/epoxi, poliaramida, polietileno de peso molecular ultraalto (UHMWPE) y fibras de vidrio. Cada una tiene sus propias ventajas y desventajas; las fibras de UHMWPE tienen una alta resistencia al impacto, tenacidad y resistencia a la tracción, no obstante, tienen una mala adhesión a la matriz polimérica resultado de la baja energía superficial y humectabilidad debido a su hidrofobicidad; por otro lado, la geometría de las fibras de refuerzo, así como las interfaces fibra-resina en el sistema de compuestos reforzados con fibra de vidrio, afectan drásticamente muchas propiedades mecánicas, como la resistencia, la rigidez, la tenacidad, las propiedades estáticas, de impacto y de fatiga. Además, la silanización de las fibras de vidrio aumenta la dureza y la tracción diametral. La eficiencia del refuerzo de fibra varía según la orientación de la fibra (Figura 2). (27,38,39)

Mechanical property	Average values of experimental GFRCs
Static fracture load	195.80 N
Dynamic fracture load	190.57 N
Flexural strength	297–426 MPa (according to degree of monomer conversion)
Elastic modulus	3–6 GPa (according to fiber quantity)
Compressive strength	965 MPa
Tensile strength	18.9 MPa to 43.4 MPa (increase with the addition of resin)

Figura 2. Propiedades mecánicas de algunos compuestos reforzados con fibra de vidrio probados experimentalmente. Tomado de: Safwat EM, Khater AGA, Abd-Elstatar AG, Khater GA. Glass fiber-reinforced composites in dentistry. Bulletin of the National Research Centre 2021 45:1. 2021 Nov 10;45(1):1–9. (27)

5.1.2.2.1 Composite Reforzados con Fibras Cortas.

Los materiales compuestos reforzados con fibras cortas (SFRC, por sus siglas en inglés) se desarrollaron para aumentar la absorción de tensiones y la resistencia a la fractura, con el fin de utilizarlos como base en restauraciones posteriores sometidas a grandes esfuerzos.(36) Los SFRC pueden clasificarse como composites a base de resina reforzados con fibras cortas discontinuas aleatorias, que se compone de una mezcla de una matriz de resina, fibras de vidrio E orientadas aleatoriamente y rellenos de partículas inorgánicas. La matriz de resina contiene dimetacrilato de bisfenol-A-diglicidilo (bis-GMA), dimetacrilato de trietilenglicol y polimetilmetacrilato, formando una matriz denominada red polimérica semi-interpenetrante (semi-PN), que proporciona propiedades de adhesión mejoradas para las reparaciones y mejora la tenacidad de la matriz polimérica.(40,41) Dentro de las SFRC dentales disponibles, actualmente se encuentran Alert (Pentron, Wallingford, CT, EE. UU.), Nulite F (Nulite Systems International, Hornsby, Australia), Restolux (Lee Pharmaceutical, South El Monte, CA, EE. UU.), everX Posterior (GC, Tokio, Japón), everX Flow GC), NovoPro Universal (Nanov, Columbia, MO, EE. UU.) y NovoProFlow (Nanov) (Figura 3).

(40,42) Según Alshabib et al.(31) reportan una resistencia flexural para las SFRC de 149.1 ± 8.1 MPa

Material	Fiber length	Fiber diameter	Aspect ratio	Filler type	Filler loading wt%	Manufacturer
Alert	60–80 μm	6–10 μm	6–13	Crushed and chopped glass fiber	84%	Pentron, Wallingford, CT, USA
Nulite F	150–200 μm	9 μm	16–22	Micro-rod glass fiber	83%	Nulite System International, Hornsby, Australia
Restolux	80–20 μm	10–15 μm	5–12	Chopped glass fiber	85%	Lee Pharmaceutica, South El Monte, CA, USA
everX Posterior	1,300–2,000 μm	17 μm	76–118	E-Glass fiber	74.2%	GC, Tokyo, Japan
everX Flow	200–300 μm	6 μm	33–50	E-Glass fiber	70.0%	GC
NovaPro Universal	N/A	N/A	N/A	Hydroxyapatite fiber	77%	Nanova, Columbia, MO, USA
NovaFlow	N/A	N/A	N/A	Hydroxyapatite fiber	77%	Nanova

Figura 3. Compuestos a base de resina reforzados con fibras cortas disponibles comercialmente. Tomado de: Alshabib A, Jurado CA, Tsujimoto A. Short fiber-reinforced resin-based composites (SFRCs); Current status and future perspectives. Dent Mater J. 2022 Sep 25;41(5):647–54. (40)

5.1.2.2.2 Fibras Ribbond.

Las fibras Ribbond, que se introdujeron en el mercado en 1992, son fibras reforzadas y adhesivas que se componen de fibras de polietileno de peso molecular ultra alto. Su estructura se basa en un tejido Leno patentado (tejido en gasa de vuelta con puntada cruzada) que transfiere eficazmente las fuerzas a través del tejido sin transferir tensión a la resina. Posee una alta maleabilidad resultado de una ausencia de memoria del material permitiendo su adaptación en los contornos de dientes como de la arcada dental. Para mejorar su adhesión a los materiales de restauración sintéticos, incluidas las resinas compuestas fotopolimerizadas o curadas químicamente, son tratadas con plasma de gas frío (Figura 4). (29,43,44) Karbhari et al.(45) informaron una resistencia flexural entre 191.84 MPa y 183.30 MPa.

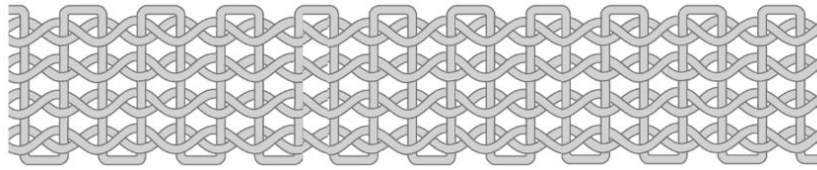


Figura 4. Tejido Leno patentado – Ribbond, Tomado de: Comparación de fibras | Ribbond [Internet]. [cited 2024 Oct 9]. Available from: <https://ribbond.com/fiber-comparison.html> (46)

Sus fibras cortas tienen un diámetro de 12 a 17 μm y una longitud de 0,3 a 1,9 mm, actualmente existen disponibles distintos tipos en el mercado: Ribbond® original, Ribbond® THM y Ribbond® Triaxial. Estas fibras exhiben un elevado coeficiente de elasticidad de cerca de 117 Gpa, lo que les otorga la capacidad de resistir al estiramiento y a la deformación. Además, su resistencia a la tracción alcanza los 3 Gpa, lo cual les confiere la facilidad de adaptarse de manera más sencilla a la morfología de los dientes y al contorno de la arcada dentaria, tal como se indicó anteriormente.(47)

Ribbond es biocompatible, estético, translúcido, prácticamente incoloro y desaparece dentro del composite o acrílico sin traslucirse. Las fibras Ribbond también se caracterizan por una resistencia al impacto cinco veces superior a la del hierro.(48)

Ribbond Original es un refuerzo de fibra de uso general, apto para las mismas aplicaciones que Ribbond-THM y Ribbond Triaxial. Es más grueso (0,35 mm) que Ribbond-THM, que se produce con fibras más finas y con un mayor número de hilos. Ribbond-THM posee una resistencia superior a la flexión que Ribbond original y solo posee 0,18 mm de grosor. Está diseñado para usos donde la delgadez y un módulo más alto son las principales inquietudes. Estos usos abarcan férulas periodontales, retenedores post-ortodónticos y muñones de endodoncia o puentes anteriores.(29)

Por su parte Las fibras de Ribbond Triaxial están orientadas en un diseño diferente al de otros productos Ribbond, es un híbrido de fibras unidireccionales y trenzadas que forman una cinta triaxial de doble capa. Este diseño patentado proporciona una resistencia a la fractura multidireccional significativamente mayor y un módulo de elasticidad mayor que otros productos Ribbond. Ribbond-Triaxial es el material de elección para puentes, restauraciones endodónticas y otras aplicaciones donde la resistencia, el módulo de elasticidad y la resistencia a la fractura son la principal preocupación.(29)

Recientemente, ha surgido el enfoque biomimético, que se refiere a una visión holística de cómo preservar el tejido dental natural y reemplazar la estructura dental faltante mediante el uso de conceptos y conocimientos que involucran biomecánica, biomateriales y biología, siendo una filosofía novedosa para restaurar dientes comprometidos. (49) En el ámbito de la odontología biomimética, el uso de fibras de polietileno se posiciona como una alternativa prometedora respaldada por estudios que destacan su capacidad para mejorar la carga y el modo de falla en comparación con restauraciones convencionales. (50)

El diente fisurado, definido inicialmente como una fractura crítica incompleta de un diente posterior que incluye la dentina que se extiende hasta la pulpa y posteriormente modificada como un plano de fractura de profundidad y dirección desconocidas que pasa a través de la estructura del diente que, si no está ya afectado, puede progresar hasta comunicarse con la pulpa y/o el ligamento periodontal. Donde las fibras de polietileno están altamente indicadas.(51,52) Su clasificación actual propuesta por Asociación Americana de Endodoncia (AAE) es útil y universal para diversos escenarios clínicos, clasificándola en 5: infracción del esmalte, cúspide fracturada, diente agrietado, diente partido y fractura vertical de la raíz.(53)

5.2 Adhesivo dental

Los adhesivos dentales (agentes de unión) son soluciones de monómeros de resina que hacen posible la interacción de la resina con el sustrato dental. Los sistemas adhesivos están compuestos de monómeros con grupos hidrófilos y grupos hidrófobos. Los primeros mejoran la humectabilidad de los tejidos duros dentales, mientras que los segundos permiten la interacción y copolimerización con el material restaurador. La composición química de los adhesivos también incluye iniciadores de curado, inhibidores o estabilizadores, solventes y, en algunos casos, rellenos inorgánicos.(54)

Los agentes adhesivos se clasifican comúnmente desde la primera hasta la octava generación. El concepto de “generación” se refiere a “cuándo” y en “qué orden” el fabricante desarrolló el adhesivo. Cada nueva generación intenta simplificar el procedimiento de unión, proporcionar técnicas de aplicación más rápidas y ofrecer una química mejorada para promover una unión estable y duradera. La generación más reciente de adhesivos desarrollados son los adhesivos universales. Estos adhesivos proporcionan versatilidad y reducción de pasos clínicos.(55) Por otra parte en el mercado se pueden encontrar sistemas adhesivos cuya composición poseen partículas de relleno y sin relleno, estos últimos exhiben una mejor humectabilidad, pero con una mayor contracción de polimerización y baja resistencia mecánica.

5.2.1 Sistemas Adhesivos sin relleno o carga

Los adhesivos sin relleno proporcionan propiedades mecánicas inferiores y, por lo general, no ofrecen radiopacidad. Se ha demostrado que cuando los adhesivos sin relleno se frotan vigorosamente sobre las superficies de la dentina, se pueden obtener altas resistencias de unión inmediatas y a largo plazo a la dentina desmineralizada.(56) Ribbond Wetting Resin es una resina adhesiva que contiene BisGMA estándar de cuarta generación sin relleno, no contiene primers de dentina ni componentes de grabado ácido. Se han reportado una resistencia media flexural para Ribbond-THM impregnadas con un adhesivo sin relleno de 186.9 ± 43.9 MPa y de 314.4 ± 148.5 MPa para Ribbond Triaxial.(15)

5.3 Resistencia flexural.

La resistencia a la flexión corresponde a la tensión máxima que puede soportar un material antes de fallar.(13) Desde el punto de vista clínico el principal factor causal de la fractura de una restauración es la fatiga mediante el mecanismo de crecimiento lento de grietas. El fallo por fatiga se define como el crecimiento subcrítico de grietas de defectos preexistentes en el material cerámico, que se desencadena por una carga intermitente por debajo de la resistencia a la fractura del material convencional en un entorno acuoso, por lo que el desarrollo de cualquier falla actúa como un centro de tensión acelerando la propagación de grietas hasta su fractura eventual lo que hace que la evaluación de la resistencia a la fractura sea un parámetro importante a evaluar en un material.(57–59)

La resistencia flexural se puede hallar mediante el empleo de la siguiente fórmula:

$$\delta_f = \frac{3PL}{b^2}$$

$$2 bd^2$$

Donde σ : resistencia a la flexión (MPa) (σ - sigma), P es la carga aplicada Newtons (o carga máxima si no se produjo la ruptura), L es la longitud del tramo entre los apoyos y b y d son el ancho y el espesor de las muestras, respectivamente. (45)

Las pruebas de flexión de tres y cuatro puntos se utilizan comúnmente para determinar la resistencia a la flexión de un material dental. Son casi similares en el método operativo. Una prueba de flexión de tres puntos coloca muestras rectangulares sostenidas por dos yunques inferiores de la máquina de prueba universal. La fuerza se aplica desde un único yunque superior que está ubicado en el punto medio. La carga provoca la flexión. Las máquinas de prueba universales que se utilizan para probar la resistencia a la flexión de los materiales tienen un marco resistente y un cabezal transversal que puede moverse hacia arriba y hacia abajo a una velocidad constante. La punta de carga está fijada al cabezal transversal móvil. Las máquinas avanzadas tienen funciones para programar la velocidad de movimiento. El transductor de fuerza conectado a la máquina puede medir la carga aplicada. La prueba de flexión de tres y cuatro puntos realizada con Instron.(60)

Las máquinas de ensayo universales que se utilizan para comprobar la resistencia a la flexión de los materiales tienen un marco resistente y un cabezal transversal que puede moverse hacia arriba y hacia abajo a una velocidad constante. La punta de carga está fijada al cabezal transversal móvil. Las máquinas avanzadas tienen funciones para programar la velocidad de movimiento. El transductor de fuerza

conectado a la máquina puede medir la carga aplicada. Las pruebas de flexión de tres y cuatro puntos realizados con Instron.(60)

6.Objetivos

6.1 Objetivo general

Evaluar la resistencia flexural de fibras de polietileno reforzadas con dos tipos de composite fluidos de alta carga, impregnadas y no impregnadas con adhesivo sin carga.

6.2 Objetivos especificos

1. Identificar la resistencia flexural de barras elaboradas con fibras de polietileno reforzadas con dos tipos de composite fluido, impregnadas con adhesivo sin carga, por medio de pruebas en máquina de ensayo universal (Instron).
2. Identificar la resistencia flexural de barras elaboradas con fibras de polietileno reforzadas con dos tipos de composite fluido, no impregnadas con adhesivo sin carga, por medio de pruebas en máquina de ensayo universal (Instron).
3. Comparar la resistencia flexural de barras del grupo de estudio 1 incluyendo su grupo control.
4. Comparar la resistencia flexural de barras del grupo de estudio 2 incluyendo su grupo control.
5. Comparar la resistencia flexural de barras del grupo de estudio 1 con barras del grupo 2

7.Aspectos Metodológicos

7.1 Tipo de Estudio

Estudio experimental *In vitro*

7.2 Objeto de Estudio

Resistencia flexural

7.3 Material Objeto de Estudio

Barras compuestas por resina Bulk-fill fluida, compuestos reforzados con fibra de vidrio, adhesivo sin carga y fibras Ribbond, diseñadas para prueba de flexión.

8. CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

8.1 Muestra

La muestra fue determinada por medio del software Real statistics para Windows, con un nivel de confianza del 90%, una potencia del 80% dando como resultado 10 muestras mínimas por subgrupo. Fueron distribuidos en 2 grupos, los cuales cuentan con 3 subgrupos con 10 muestras cada uno. Para dar confiabilidad a los resultados obtenidos se estableció un grupo control para ambos materiales evaluados.

Barras de resina con dimensiones de: 25mm de largo x 2mm de alto x 2mm ancho

Distribución de los grupos de estudio:

Grupo 1 (BFF) BULK FILL FLOWABLE RESTORATIVE:

- **Grupo 1A (BFF) control:** 10 Barras de resina 3M™ FILTEK™ BULK FILL FLOWABLE RESTORATIVE
- **Grupo 1B (BFFR):** 10 Barras de resina 3M™ FILTEK™ BULK FILL FLOWABLE RESTORATIVE+ Ribbond THM, Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU.)
- **Grupo 1C (BFFRW):** 10 Barras de resina 3M™ FILTEK™ BULK FILL FLOWABLE RESTORATIVE+ Ribbond THM, Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU) + Ribbond Wetting resin.

Grupo 2 (EF) everX Flow

- **Grupo 2A (EF) control:** 10 Barras de resina everX Flow (GC, Tokyo, Japan).
- **Grupo 2B (EFR):** 10 Barras de resina everX Flow (GC, Tokyo, Japan) + Ribbond THM, Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU.).
- **Grupo 2C (EFRW):** 10 Barras de resina everX Flow (GC, Tokyo, Japan) + Ribbond THM, Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU.)+ Ribbond Wetting resin.

8.2 Criterios de Selección

8.2.1 Criterios de Inclusión

- Barras de resina dimensiones: 25mm de largo x 2mm de alto x 2mm ancho
- Fibras de polietileno Ribbond-THM (Ribbond; Seattle, WA, USA) 9574, dimensiones 20 mm de largo x 2 mm de ancho y 0,18 mm grosor
- Adhesivo sin relleno (Ribbond, WettingResin)
- Resina fluida Bulk (3M™ FILTEK™ BULK FILL FLOWABLE RESTORATIVE)
- Fibra de vidrio (Composite everX Flow GC, Tokyo, Japan) dientes posteriores.

8.2.2 Criterios de Exclusión

- Barras que presenten alguna alteración o deformación
- Barras que no cumplan con las dimensiones establecidas
- Resinas empacables y otro tipo de fibras.

8.3 Procedimiento

8.3.1 Preparación y selección de muestra de fibra Ribbond-THM (Ribbond; Seattle, WA, USA) 9574

En esta investigación se utilizó refuerzo de fibra LWUHMWPE Sistemas Ribbond de 22 cm de largo x 2 mm de ancho y 0,18 mm de grosor (Ribbond THM, Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU.) fibra de polietileno de peso molecular ultraelevado (LWUHMWPE) tejidas con gasa, tratadas con plasma y orientación de fibras triaxiales, que proporciona muy buena adaptabilidad y estructura a través de los dos conjuntos de hilos que forman una matriz simétrica con los hilos orientados en un ángulo fijo desde el eje de la trenza. (15)

De acuerdo con el artículo Juloski et al.(15) 2013 se realizó la selección del número de muestras para cada grupo. Según la norma ISO 4049/2019,(61) se midieron y cortaron las fibras 20 mm de largo x 2 mm de ancho y 0,18 mm grosor, se prepararon 10 muestras en forma de barra para cada subgrupo; se utilizó un molde prefabricado en acero inoxidable, con base de cristal y capacidad de 2 muestras, para ensayos de flexión simple, con las siguientes dimensiones: 25mm de largo x 2mm de alto x 2mm ancho. Tiras de Mylar en dimensiones de 5.5cm X 1.5cm calibre 0,40mm fueron posicionadas en la base entre la lámina de cristal y el molde, se aislaron los moldes con Silicato de magnesio hidratado y se retiraron excesos con pincel. (15)

8.3.2 Preparación de muestras (control) grupo 1: (BFF) Bulk Fill Flowable Restorative: (BFF) y 2: EverX Flow (EF)

Para el grupo 1A (BFF) y 2A (EF) se colocó una capa de composite fluido 25mm de largo x 2mm de alto x 2mm ancho hasta llenar el molde, se posiciono una tira de Mylar en la capa superior realizando presión con portaobjetos para retirar excesos y se fotopolimerizó en 3 puntos con lampara Valo X (Ultradent, South Jordan, UT, USA) (previamente calibrada) durante 10s Potencia Estándar 1350(mW).(15,59) Se desmoldan las muestras. Para garantizar una polimerización completa después de sacar las muestras del molde, se llevó a cabo una fotopolimerización adicional durante 30s adicionales (Figura 6 -7).(15)

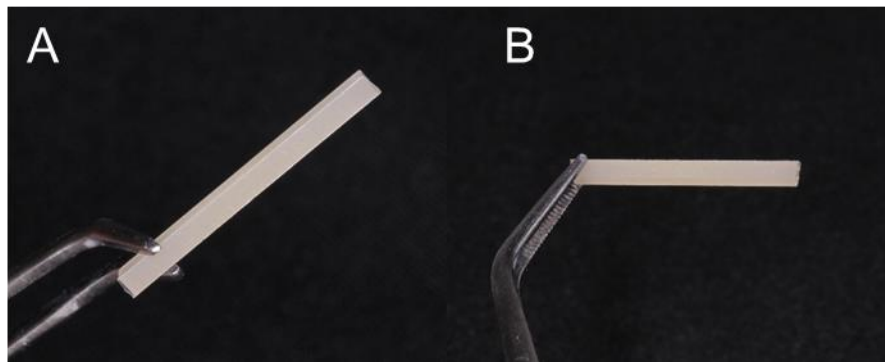


Figura 5. Barras de composite; A. Grupo 1A (BFF): Barra de resina 3M™ FILTEK™ BULK FILL FLOWABLE RESTORATIVE; B. Grupo 2A (EF): Barra de resina everX Flow (GC, Tokyo, Japan).

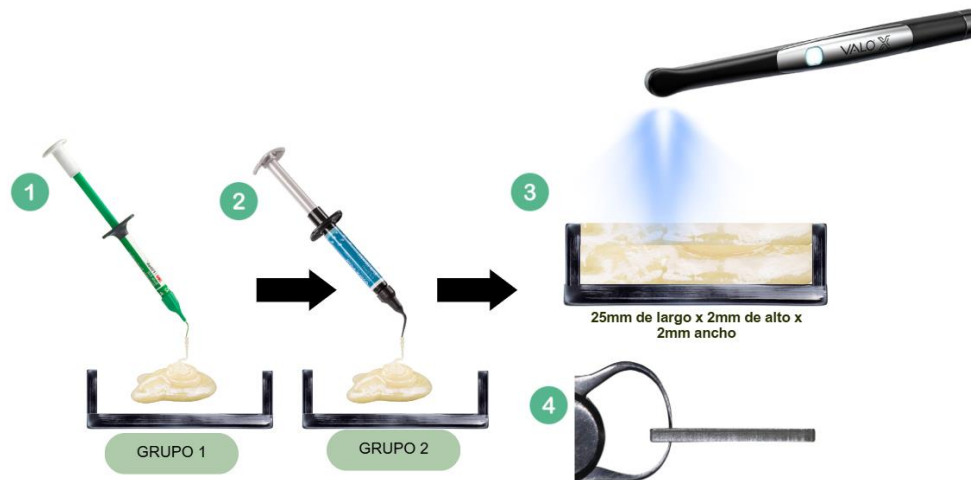


Figura 6. Protocolo Barras de composite; A. Grupo 1A (BFF): Barra de resina 3M™ FILTEK™ BULK FILL FLOWABLE RESTORATIVE; B. Grupo 2A (EF): Barra de resina everX Flow (GC, Tokyo, Japan).

Se retiraron excesos y se almaceno en cámara de humedad HygroBath (60- 70% de humedad relativa y 37°C) con gasas húmedas impregnadas con agua destilada durante 24 horas. (59)

8.3.3 Preparación de muestras grupo 1B: Bulk Fill Flowable Restorative+ Ribbond THM (BFFR) y 2B: EverX Flow + Ribbond THM, (EFR)

Se prepararon 10 muestras en forma de barra para cada grupo, conformado por 3M™ FILTEK™ BULK FILL FLOWABLE RESTORATIVE+ Ribbond THM, Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU.) designado como Grupo 1B (BFFR) y Composite everX Flow (GC, Tokyo, Japan) + Ribbond THM, Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU.) designado como Grupo 2B (EFR).

Las muestras se obtuvieron utilizando moldes fabricados en acero inoxidable, para ensayos de flexión simple, siguiendo las especificaciones de la norma ISO 4049/2019. Dimensiones: 25mm de largo x 2mm de alto x 2mm ancho, con base de cristal, con capacidad de 2 especímenes (Figura 8-9).(15)

Tiras de Mylar en dimensiones de 5.5cm X 1.5cm calibre 0,40mm fueron posicionadas en la base entre la lámina de cristal y el molde, se aíslan los moldes con Silicato de magnesio hidratado se retiraron excesos con pincel.

Se colocó una primera capa de composite fluido 25mm de largo x 1mm de alto x 2mm ancho, se posicionó la fibra previamente cortada en el centro de la lámina verificando su posición con sonda periodontal; recubriendo la fibra con una capa de composite fluido para llenar el molde, posteriormente se posicionó una tira de Mylar en la capa superior realizando presión con portaobjetos para retirar excesos y se fotopolimerizó en 3 puntos con lámpara Valo X (Ultradent, South Jordan, UT, USA) durante 20s Potencia Estándar 1350(mW). (15,59) Se desmoldaron las muestras, para garantizar una polimerización completa después de sacar las muestras del molde, se llevó a cabo una fotopolimerización adicional durante 20s adicionales.

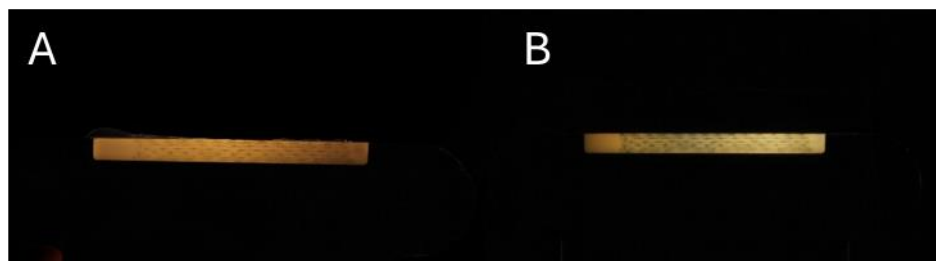


Figura 7. Barras de composite; A. Grupo 1B (BFFR): Barra de resina 3M™ FILTEK™ BULK FILL FLOWABLE RESTORATIVE+ Ribbond THM, Ribbond Inc,

Seattle, WA, EE. UU.); B. Grupo 2B (EFR): Barra de resina everX Flow (GC, Tokyo, Japan) + Ribbond THM, Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU.).

Se retiraron excesos y se almaceno en cámara de humedad HygroBath (60- 70% de humedad relativa y 37°C) con gasas húmedas con agua destilada durante 24 horas.(15)

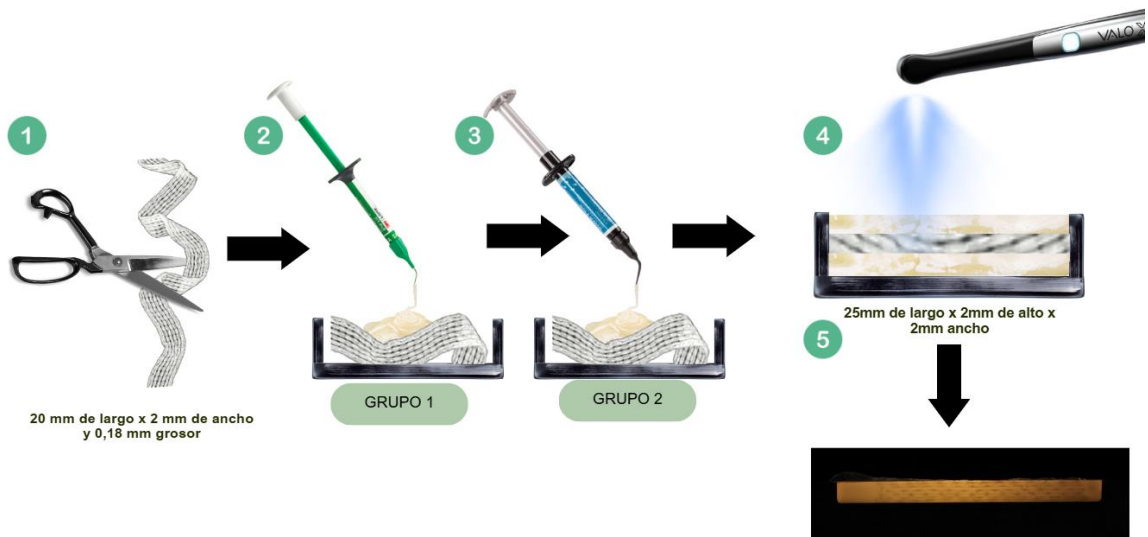


Figura 8. Protocolo Barras de composite; A. Grupo 1B (BFFR): Barra de resina 3M™ FILTEK™ BULK FILL FLOWABLE RESTORATIVE+ Ribbond THM, Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU.); B. Grupo 2B (EFR): Barra de resina everX Flow (GC, Tokyo, Japan) + Ribbond THM, Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU.).

8.3.4 Preparación de muestras grupo 1C: Bulk Fill Flowable Restorative + Ribbond THM+ Ribbond Wetting resin (BFFRW) y 2C: EverX Flow Ribbond THM+ Ribbond Wetting resin (EFRW)

Se prepararon 10 muestras en forma de barra para cada grupo, conformado por 3M™ FILTEK™ BULK FILL FLOWABLE RESTORATIVE+ Ribbond THM, Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU.) + Ribbond Wetting resin, designado como Grupo 1C (BFFRW) y Composite everX Flow (GC, Tokyo, Japan) + Ribbond THM, Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU.) + Ribbond Wetting resin designado como Grupo 2C (EFRW).

Las muestras se obtuvieron utilizando moldes fabricados en acero inoxidable, para ensayos de flexión simple, siguiendo las especificaciones de la norma ISO 4049/2019. Dimensiones: 25mm de largo x 2mm de alto x 2mm ancho, con base de cristal, con capacidad de 2 especímenes (Figura 10-11).(15)

Tiras de Mylar en dimensiones de 5.5cm X 1.5cm calibre 0,40mm fueron posicionadas en la base entre la lámina de cristal y el molde, se aíslan los moldes con Silicato de magnesio hidratado se retiraron excesos con pincel.

Se colocó una primera capa de composite fluido 25mm de largo x 1mm de alto x 2mm ancho, se posicionó la fibra en el centro de la lámina verificando su posición con sonda periodontal, previamente cortada e impregnada con resina adhesiva sin carga (Ribbond Wetting Resin), el exceso de material se retiró con una gasa; recubriendo la fibra con una capa de composite fluido para llenar el molde, posteriormente se posicionó una tira de Mylar en la capa superior realizando presión con portaobjetos para retirar excesos y se fotopolimerizó en 3 puntos con lámpara

Valo X (Ultradent, South Jordan, UT, USA) durante 20s Potencia Estándar 1350(mW). (15,59) Se desmoldaron las muestras, para garantizar una polimerización completa después de sacar las muestras del molde, se llevó a cabo una fotopolimerización adicional durante 20s adicionales.

Se retiraron excesos y se almacenó en cámara de humedad HygroBath (60- 70% de humedad relativa y 37°C) con gasas húmedas con agua destilada durante 24 horas.(59)

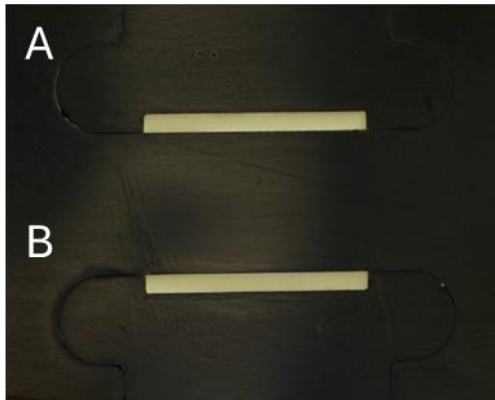


Figura 9. Barras de comopiste; A. Grupo 1C (BFFRW): Barra de resina 3M™ FILTEK™ BULK FILL FLOWABLE RESTORATIVE+ Ribbond THM, Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU.) + Ribbond Wetting resin ; B. Grupo 2C (EFRW): Barra de resina everX Flow (GC, Tokyo, Japan) + Ribbond THM, Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU.)+ Ribbond Wetting resin.

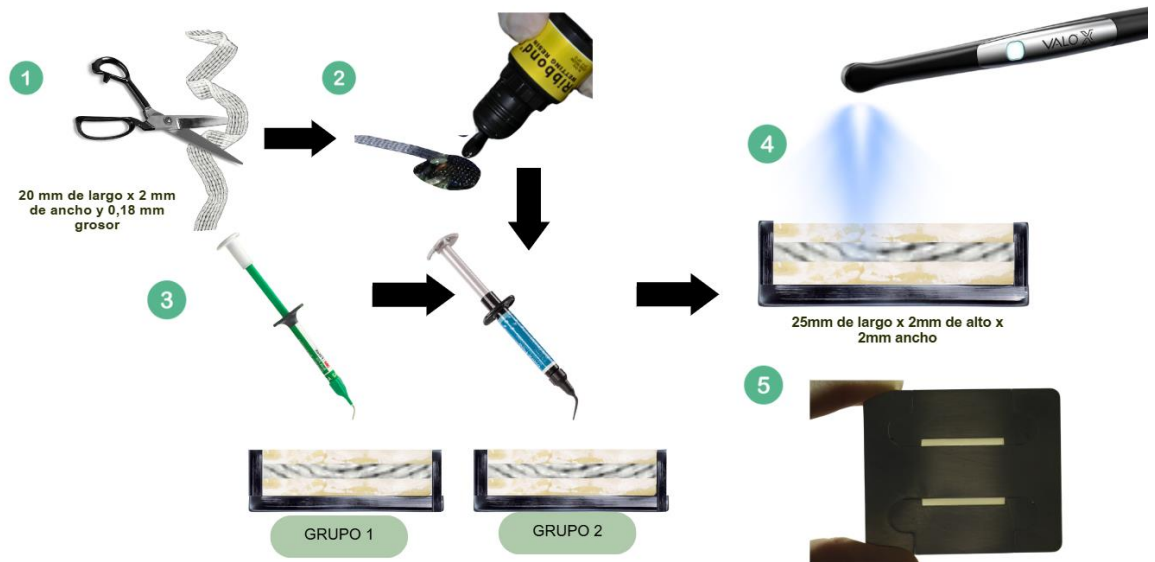


Figura 10. Protocolo Barras de comopiste; A. Grupo 1C (BFFRW): Barra de resina 3M™ FILTEK™ BULK FILL FLOWABLE RESTORATIVE+ Ribbond THM, Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU.) + Ribbond Wetting resin ; B. Grupo 2C (EFRW): Barra de resina everX Flow (GC, Tokyo, Japan) + Ribbond THM, Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU.)+ Ribbond Wetting resin.

8.3.5 Prueba de flexión

Se realizó una prueba de flexión de tres puntos utilizando un dispositivo diseñado de acuerdo con la norma ISO 4049/2019.(61) INSTRON 3345 (Instron Corporation, Norwood, MA, EE. UU). Según la Norma ISO 4049/2019. la resistencia a la flexión (δ) se calculó en MPa mediante la siguiente ecuación:

$$\delta = 3Fl/2bh^2$$

Donde F es la carga máxima (N), l es la distancia entre los soportes (mm), b es el ancho de la muestra (mm) y h es la altura de la muestra (mm).(15)

La adición de material de mayor módulo en o cerca de la superficie de tracción se conoce a partir de la mecánica elemental de materiales para aumentar el rendimiento de flexión y ha sido verificada para materiales compuestos dentales por Ellakwa et al. (59) 2003. Se mantuvo la alineación de las fibras para no causar arrugas o movimientos laterales que afectarían las características generales de rendimiento. Los especímenes reforzados tenían solo una única capa de refuerzo cerca de la superficie inferior. Esta configuración general para muestras de flexión ha sido utilizada previamente.(59)

Los 10 especímenes /grupo (n = 60) de cada conjunto se probaron en flexión de tres puntos utilizando un tramo de 25 mm que proporciona una relación de tramo a profundidad (l/d) de 25, que es lo recomendado por la norma ISO 4049/2019.(61)

La carga se introdujo a través de un indentador de cruceta redondeada colocado en una sola posición: paralelo al tramo de la muestra de prueba (P). El indentador del cabezal referencia 2810-401 de 4 mm diámetro, Anvil set for use with 2810-400, 2810-205. (62)

Las pruebas se realizaron a una velocidad de desplazamiento de 1 mm/min. Se continuó cargando hasta que el espécimen mostró una ruptura o el espécimen alcanzó una pendiente negativa de carga versus desplazamiento con la caída de carga continuando lentamente más allá del pico hasta por debajo del 85% del pico de carga. Este nivel se eligió para superar el límite de deformación de 0,05 mm/mm de falla aparente (Figura 12) recomendado por la norma ISO 4049/2019.(45)

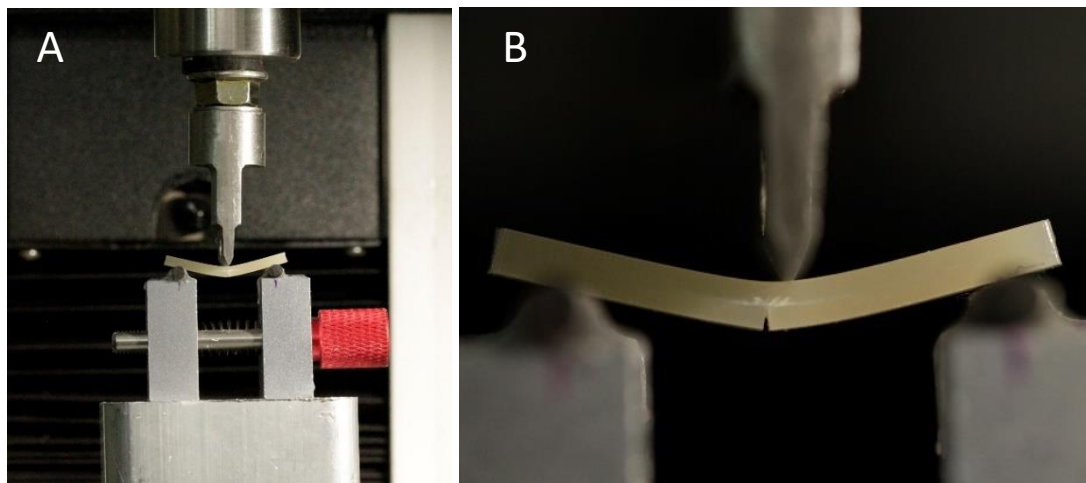


Figura 11. Prueba de flexión; A. Barra reforzada, máquina de ensayo universal INSTRON 3345 (Instron Corporation, Norwood, MA, EE. UU); B. Punto de flexión máxima

Para permitir una evaluación de la ductilidad de los especímenes. Los especímenes fueron cuidadosamente examinados con el fin de busca de grietas y otros daños por medio de fotografía por estereomicroscopio Opticks (OPTIKA S.r.l., Ponteranica (BG), Italy) con un aumento de 30X analizadas mediante software Motic 3.2 (Motic China Group Co., Ltd., Hong Kong, China) (Figura 13).(63)

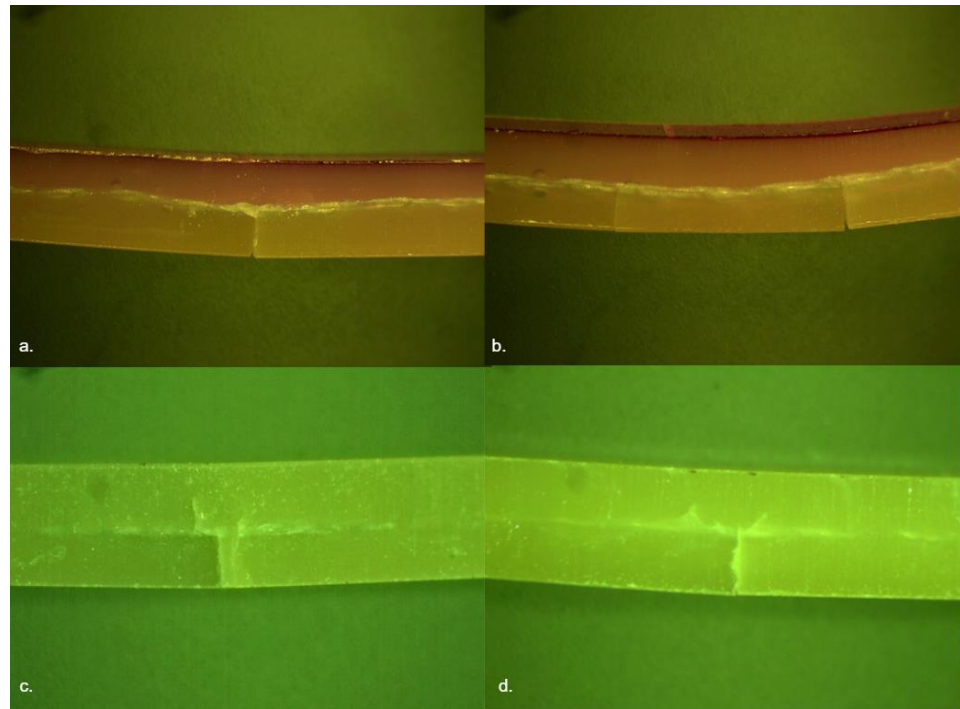


Figura 12. Flexión máxima de grupos reforzados con fibra, imagen; a. Grupo 1B (BFFR): barra de resina 3M™ FILTEK™ BULK FILL FLOWABLE RESTORATIVE+ Ribbond THM, Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU.), b. Grupo 2B (EFR): 10 Barras de resina everX Flow (GC, Tokyo, Japan) + Ribbond THM, Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU.), c. Grupo 1C (BFFRW): 10 Barras de resina 3M™ FILTEK™ BULK FILL FLOWABLE RESTORATIVE+ Ribbond THM, Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU.)+ Ribbond Wetting resin. d. Grupo 2C (EFRW): 10 Barras de resina everX Flow (GC, Tokyo, Japan) + Ribbond THM, Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU.) + Ribbond Wetting resin.

8.4 Análisis estadístico

Se realizó un análisis exploratorio de datos para describir la muestra y se seleccionó un total de 60 muestras, distribuidas en 2 grupos, los cuales cuentan con 3 subgrupos con 10 muestras cada uno. La normalidad de las variables asociadas a la resistencia flexural se determinó con la prueba de D'Agostino. Para evaluar la igualdad de las varianzas para una variable calculada de los grupos se utilizó la prueba Levene. Para las comparaciones entre las medias de fuerza aplicada y la resistencia flexural entre los subgrupos del mismo grupo (intragrupo) se utilizó el ANOVA de medidas repetidas y para las comparaciones entre las medias de los subgrupos pertenecientes a los grupos (intergrupo) se utilizó ANOVA.

Si se presentaron diferencias significativas entre los grupos, las diferencias se confirmaron usando el HSD post hoc de Tukey. Se consideró significativo un valor de $p < 0,05$

9. RESULTADOS

Se examinaron un total de 60 barras, las cuales se dividieron en 30 muestras para cada grupo de investigación y 10 para cada subgrupo. Los resultados logrados se expresaron en Newton (N) y megapascales (MPa), basándose en la fuerza aplicada a las barras para determinar la resistencia flexural media de los materiales.

Resistencia flexural grupo 1 (BFF) Bulk Fill Flowable Restorative:

- **Grupo 1A (BFF):** Barras de resina 3M™ Filtek™ Bulk Fill Flowable Restorative: La media de la fuerza aplicada a las 10 muestras se situó $26,18 \pm 1,04$ N, valor mínimo de 20,61N y máximo de 30,57N. La resistencia flexural promedio fue de $93,28 \pm 3,70$ MPa con un valor mínimo de 73,42 MPa y máximo de 108,91 MPa (Tabla 2).

Tabla 2. Valores de Fuerza aplicada y Resistencia Flexural Grupo 1A (BFF)

Muestra	Fuerza aplicada (N)	Resistencia flexural (MPa)
1	20,61	73,42
2	26,18	93,27
3	30,57	108,91
4	29,9	106,52
5	26,2	93,34
6	23,85	84,97
7	22,62	80,58
8	25,67	91,45
9	26,21	93,37
10	30,03	106,98
Promedio	26,18	93,28
DS	1,04	3,70
Mediana	26,19	93,30
Mínimo	20,61	73,42
Máximo	30,57	108,91

N: newtons; **DS:** Desviación estándar, **MPa:** Megapascales

- **Grupo 1B (BFFR):** Barras de resina 3M™ Filtek™ Bulk Fill Flowable Restorative+ Ribbond (THM, Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU.) La media de la fuerza aplicada a las 10 muestras se situó $33,09 \pm 1,032N$, valor mínimo de 26,00N y máximo de 38,61N. La resistencia flexural promedio fue de $117,88 \pm 4,71$ MPa con un valor mínimo de 92,63 MPa y máximo de 137,55 MPa (Tabla 3)

Tabla 3. Valores de Fuerza aplicada y Resistencia Flexural Grupo 1B (BFFR)

Muestra	Fuerza aplicada (N)	Resistencia flexural (MPa)
1	37,63	134,06
2	37,07	132,06
3	33,78	120,34
4	33,32	118,70
5	26,00	92,63
6	28,68	102,17
7	32,02	114,07
8	34,70	123,62
9	29,08	103,60
10	38,61	137,55
Promedio	33,09	117,88
DS	1,032	4,71
Mediana	33,55	119,52
Mínimo	26,00	92,63
Máximo	38,61	137,55

N: newtons; **DS:** Desviación estándar, **MPa:** Megapascales

- **Grupo 1C (BFFRW):** Barras de resina 3M™ Filtek™ Bulk Fill Flowable Restorative+ Ribbond THM, (Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU.) + Ribbond

Wetting resin, La media de la fuerza aplicada a las 10 muestras se situó $33,09 \pm 1,032\text{N}$, valor mínimo de $26,00\text{N}$ y máximo de $38,61\text{N}$. La resistencia flexural promedio fue de $117,88 \pm 4,71\text{MPa}$ con un valor mínimo de $92,63\text{MPa}$ y máximo de $137,55\text{MPa}$ (Tabla 4).

Tabla 4. Valores de Fuerza aplicada y Resistencia Flexural Grupo 1C (BFFRW)

Muestra	Fuerza aplicada (N)	Resistencia flexural (MPa)
1	38,57	137,41
2	44,12	157,18
3	33,06	117,78
4	39,19	139,61
5	33,72	120,13
6	36,31	129,35
7	31,73	113,04
8	35,71	127,22
9	35,64	126,97
10	42,01	149,66
Promedio	37,01	131,83
DS	1,25	4,46
Mediana	36,01	128,29
Mínimo	31,73	113,04
Máximo	44,12	157,18

N: newtons; **DS:** Desviación estándar, **MPa:** Megapascales

- Fuerza aplicada y resistencia Flexural grupo 1 (BFF) Bulk Fill Flowable Restorative:** Los resultados del ANOVA demostraron diferencias significativas entre los grupos de estudio, la fuerza aplicada (N) y resistencia flexural (MPa) ($p=0,000$) (Tabla 5- Grafica 1). El grupo 1C (BFFRW) resina 3M™ Filtek™ Bulk Fill Flowable Restorative + Ribbond (THM, Ribbond Inc,

Seattle, WA, EE. UU.) + Ribbond Wetting resin registró la fuerza aplicada más alta $37,01 \pm 1,25$ N y la mayor resistencia media flexural $131,83 \pm 4,46$ MPa, seguida del grupo 1B (BFFR) resina 3M™ Filtek™ Bulk Fill Flowable Restorative+ Ribbond (THM, Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU) fuerza aplicada $33,09 \pm 1,32$ N, resistencia flexural $117,88 \pm 4,71$. El grupo 1A (BFF): resina 3M™ Filtek™ Bulk Fill Flowable Restorative presentó la menor fuerza aplicada y resistencia flexural $26,18 \pm 1,04$ N y $93,28 \pm 3,70$ Mpa respectivamente.

Tabla 5. Valores de Fuerza aplicada y Resistencia Flexural grupo 1 (BFF) Bulk Fill Flowable Restorative

	Grupo 1A (BFF) (n=10)	Grupo 1B (BFFR) (n=10)	Grupo 1C (BFFRW) (n=10)	Valor p
Fuerza Aplicada (N)				
Promedio \pm DS	$26,18 \pm 1,04$	$33,09 \pm 1,32$	$37,01 \pm 1,25$	0,000*
Mediana (min-max)	26,19 (20,61 – 30,57)	33,55 (26,00 – 38,61)	36,01 (31,73 – 44,12)	
Resistencia Flexural (MPa)				
Promedio \pm DS	$93,28 \pm 3,70$	$117,88 \pm 4,71$	$131,83 \pm 4,46$	0,000*
Mediana (min-max)	93,30 (73,42 – 108,91)	119,52 (92,63 – 137,55)	128,29 (113,04 – 157,18)	

N: newtons; **DS:** Desviación estándar, **MPa:** Megapascales; * $p < 0,05$ significativo por prueba de ANOVA

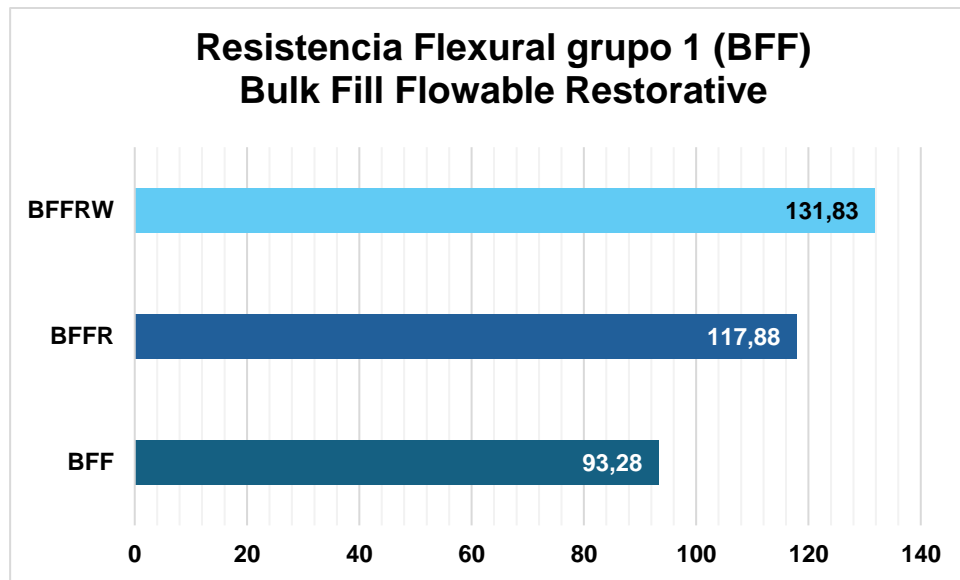


Gráfico 1. Resistencia Flexural grupo 1 (BFF) Bulk Fill Flowable Restorative

Resistencia flexural grupo 2 (EF) everX Flow

- Grupo 2A (EF):** Barras de resina EverX Flow (GC, Tokyo, Japan) La media de la fuerza aplicada a las 10 muestras se situó $31,90 \pm 0,85$ N, valor mínimo de 27,91N y máximo de 35,93 N. La resistencia flexural promedio fue de $113,63 \pm 3,02$ MPa con un valor mínimo de 99,43 MPa y máximo de 128,00 MPa (Tabla 6).

Tabla 6. Valores de Fuerza aplicada y Resistencia Flexural Grupo 2A (EF)

Muestra	Fuerza aplicada (N)	Resistencia flexural (MPa)
1	30,21	107,62
2	31,29	111,47
3	27,91	99,43
4	29,80	106,16
5	29,12	103,74
6	33,03	117,67
7	35,31	125,79
8	32,53	115,89
9	35,93	128,00
10	33,84	120,56
Promedio	31,90	113,63
DS	0,85	3,02
Mediana	31,91	113,68
Mínimo	27,91	99,43
Máximo	35,93	128,00

N: newtons; **DS:** Desviación estándar, **MPa:** Megapascales

• **Grupo 2B(EFR):** Barras de resina EverX Flow (GC, Tokyo, Japan) + Ribbond (THM, Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU.) La media de la fuerza aplicada a las 10 muestras se situó $27,89 \pm 0,85$ N, valor mínimo de 24,56 N y máximo de 32,54 N. La resistencia flexural promedio fue de $99,34 \pm 3,03$ MPa con un valor mínimo de 87,50 MPa y máximo de 115,92 MPa (Tabla 7)

Tabla 7. Valores de Fuerza aplicada y Resistencia Flexural Grupo 2B (EFR)

Muestra	Fuerza aplicada (N)	Resistencia flexural (MPa)
1	29,67	105,70
2	27,34	97,40
3	28,47	101,42
4	24,56	87,50
5	27,38	97,54
6	29,29	104,35
7	32,54	115,92
8	30,26	107,80
9	24,67	87,89
10	24,68	87,92
Promedio	27,89	99,34
DS	0,85	3,03
Mediana	27,93	99,48
Mínimo	24,56	87,50
Máximo	32,54	115,92

N: newtons; **DS:** Desviación estándar, **MPa:** Megapascales

- **Grupo 2C (EFRW):** Barras de resina EverX Flow (GC, Tokyo, Japan) + Ribbond THM (Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU.) +. Ribbond Wetting resin. La media de la fuerza aplicada a las 10 muestras se situó $35,60 \pm 1,55$ N, valor mínimo de 24,97 N y máximo de 43,47 N. La resistencia flexural promedio fue de $126,83 \pm 5,53$ MPa con un valor mínimo de 88,96 MPa y máximo de 154,86 MPa (Tabla 8)

Tabla 8. Valores de Fuerza aplicada y Resistencia Flexural Grupo 2C (EFRW)

Muestra	Fuerza aplicada (N)	Resistencia flexural (MPa)
1	24,97	88,96
2	37,41	133,27
3	43,47	154,86
4	33,43	119,09
5	38,13	135,84
6	33,37	118,88
7	36,97	131,71
8	33,36	118,85
9	39,52	140,79
10	35,37	126,006
Promedio	35,60	126,83
DS	1,55	5,53
Mediana	36,17	128,86
Mínimo	24,97	88,96
Máximo	43,47	154,86

N: newtons; **DS:** Desviación estándar, **MPa:** Megapascales

- **Fuerza aplicada y resistencia Flexural grupo 2 (EF) EverX Flow (GC, Tokyo, Japan)** Los resultados del ANOVA demostraron diferencias significativas entre los grupos de estudio, la fuerza aplicada (N) y resistencia flexural (MPa) ($p=0,000$) (Tabla 9- Grafico 2). El grupo 2C (EFRW) de resina EverX Flow (GC, Tokyo, Japan) + Ribbond (THM, Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU.) +. Ribbond Wetting resin registró la fuerza aplicada más alta $35,60 \pm 1,55$ N y la mayor resistencia media flexural $126,83 \pm 5,53$, seguida del grupo 2A (EF): Barras de resina EverX Flow (GC, Tokyo, Japan) fuerza aplicada $31,90 \pm 0,85$ y $113,63 \pm 3,02$ MPa resistencia flexural. El grupo 2B resina EverX Flow (GC, Tokyo, Japan) + Ribbond (THM, Ribbond Inc, Seattle,

WA, EE. UU.) exhibió la menor fuerza aplicada y resistencia flexural $27,89 \pm 0,85$ N y $99,34 \pm 3,03$ MPa respectivamente.

Tabla 9. Valores de Fuerza aplicada y Resistencia Flexural grupo 2 (EF) EverX Flow (GC, Tokyo, Japan)

	Grupo 2A (EF) (n=10)	Grupo 2B (EFR) (n=10)	Grupo 2C (EFRW) (n=10)	Valor p
Fuerza Aplicada (N)				
Promedio \pm DS	$31,90 \pm 0,85$	$27,89 \pm 0,85$	$35,60 \pm 1,55$	
Mediana (min-max)	31,91 (27,91 – 35,93)	27,93 (24,56 – 32,54)	36,17 (24,97 – 43,47)	0,000*
Resistencia Flexural (MPa)				
Promedio \pm DS	$113,63 \pm 3,02$	$99,34 \pm 3,03$	$126,83 \pm 5,53$	
Mediana (min-max)	113,68(99,43 – 128,00)	99,48 (87,50 – 115,92)	128,86 (88,96 – 154,86)	0,000*

N: newtons; **DS:** Desviación estándar, **MPa:** Megapascales; * $p < 0,05$ significativo por prueba de ANOVA

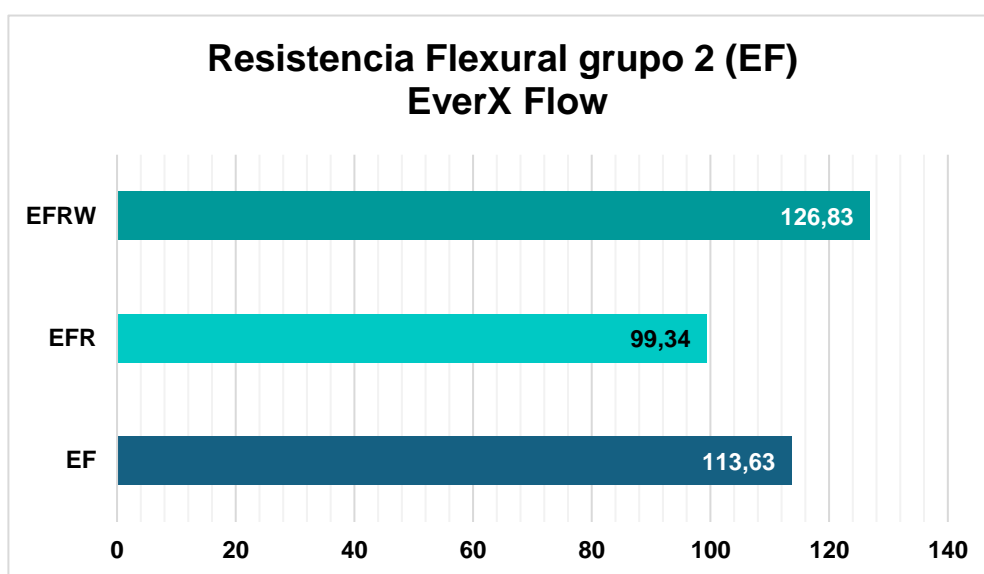


Gráfico 2. Resistencia Flexural grupo 2 (EF) EverX Flow (GC, Tokyo, Japan)

Comparaciones de la fuerza aplicada, resistencia flexural y los subgrupos pertenecientes al grupo 1 Bulk Fill Flowable Restorative.

En la prueba de Tukey se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos: Grupo 1A (BFF) - Grupo 1B (BFFR) ($p=0.002$) y Grupo 1A (BFF) - Grupo 1C (BFFRW) ($p=0.000$). No se presentaron diferencias significativas entre Grupo 1B (BFFR)- Grupo 1C(BFFRW) (Tabla 10 -Grafico 3)

Tabla 10. Comparaciones de la fuerza aplicada, resistencia flexural y los subgrupos del grupo 1 Bulk Fill Flowable Restorative.

	Fuerza Aplicada (N)		Resistencia Flexural (Mpa)		Valor p
	Promedio	min-max	Promedio	min-max	
Grupo 1A - Grupo 1B (BFF – BFFR)	6,91	(2,01 – 11,80)	24,60	(7,16 – 42,04)	0,002*
Grupo 1A - Grupo 1C (BFF – BFFRW)	10,82	(5,93 – 15,72)	38,55	(21,11 – 56,00)	0,000*
Grupo 1B - Grupo 1C (BFFR – BFFRW)	3,92	(-0,98 – 8,81)	13,95	(-3,49 – 31,40)	0,188

* $p < 0,05$ significativo por prueba de Tukey

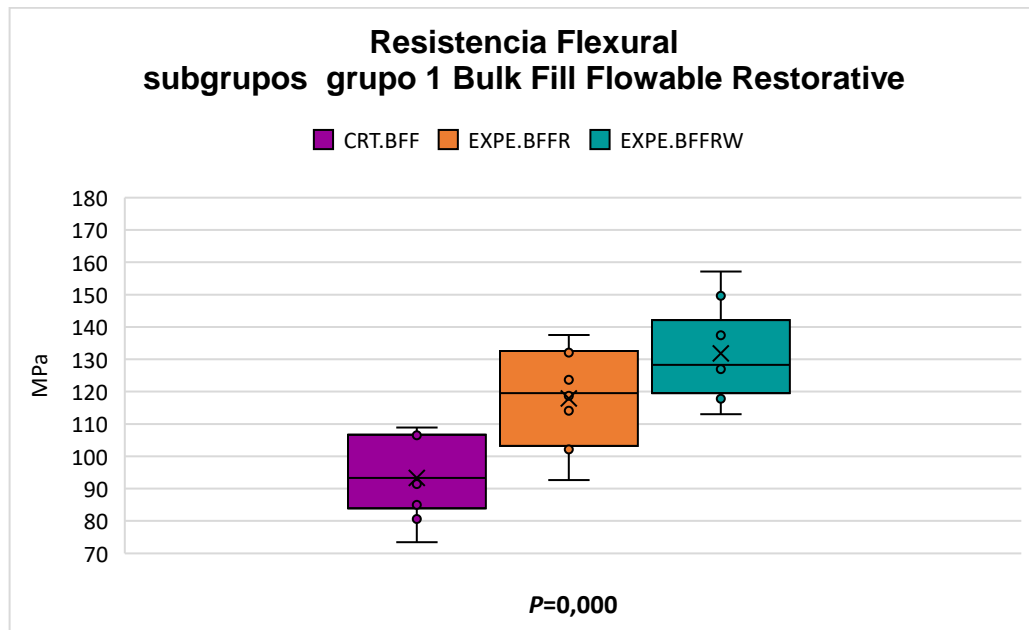


Gráfico 3. Resistencia flexural subgrupos del grupo 1 Bulk Fill Flowable

Restorative; **BFF**: 3M™ Filtek™ Bulk Fill Flowable restorative ; **BFFR**: 3M™ Filtek™ Bulk Fill Flowable restorative + Ribbond THM, Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU.) ; **BFFRW**: 3M™ Filtek™ Bulk Fill Flowable restorative + Ribbond THM, Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU.)+ Ribbond Wetting resin.

Comparaciones de la fuerza aplicada, resistencia flexural y los subgrupos pertenecientes al grupo 2 EverX Flow (GC, Tokyo, Japan)

Se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos: Grupo 2B (EFR)-Grupo 2C (EFRW)($p=0,000^*$). No se observaron diferencias significativas entre el grupo control 2A (EF) y los grupos 2B(EFR) y 2C(EFRW) (Tabla 11-Grafico 4)

Tabla 11. Comparaciones de la fuerza aplicada, resistencia flexural y los subgrupos del grupo 2 EverX Flow (GC, Tokyo, Japan)

* $p < 0,05$ significativo por prueba de Tukey

	Fuerza Aplicada (N)		Resistencia Flexural (Mpa)		Valor p
	Promedio	min-max	Promedio	min-max	
Grupo 2A - Grupo 2B (EF – EFR)	4,01	(-0,89 – 8,91)	14,29	(-3,15 – 31,73)	0,168
Grupo 2A - Grupo 2C (EF – EFRW)	3,70	(-1,19 – 8,60)	13,19	(-4,25 – 30,64)	0,239
Grupo 2B - Grupo 2C (EFR – EFRW)	7,71	(2,82 – 12,61)	27,48	(10,04 – 44,92)	0,000*

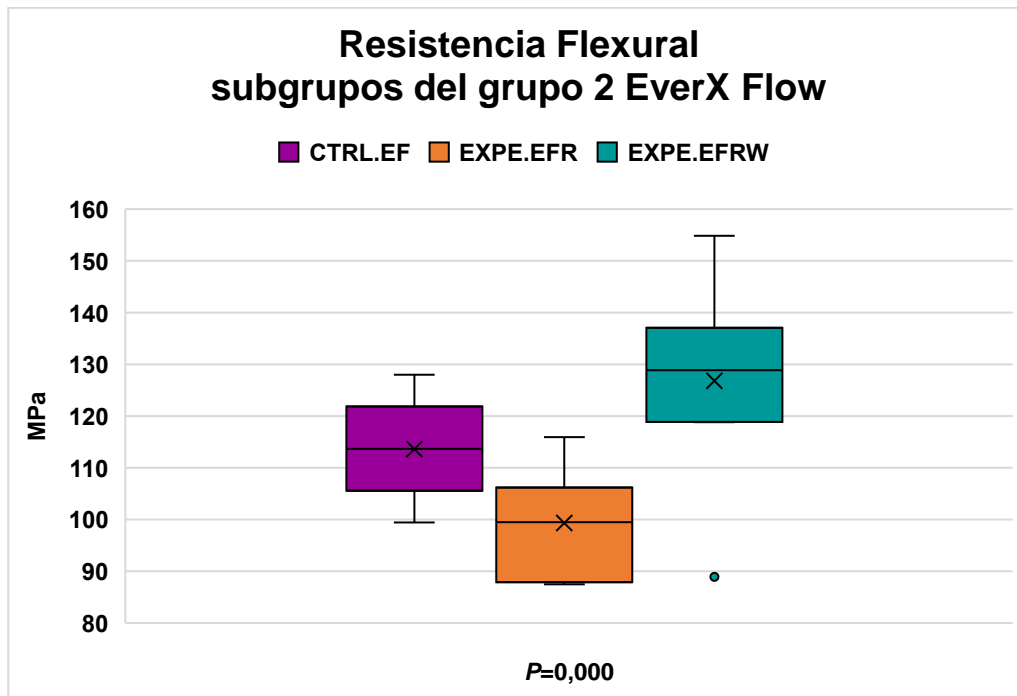


Gráfico 4. Resistencia flexural subgrupos del grupo 2 EverX Flow; **EF:** Resina EverX Flow (GC, Tokyo, Japan); **EFR:** Resina EverX Flow (GC, Tokyo, Japan) + Ribbond THM, Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU.); **EFRW:** Resina EverX Flow (GC, Tokyo, Japan) + Ribbond THM, Ribbond Inc, Seattle, WA, EE. UU.) + Ribbond Wetting resin

Comparaciones la resistencia flexural de la fuerza aplicada, resistencia flexural subgrupos del grupo 1 y grupo 2

En las comparaciones entre los subgrupos de los grupos 1 y 2 se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos: Grupo 1A (BFF) - Grupo 2A (EF) ($p=0,013$), Grupo 1A(BFF) - Grupo 2C (EFRW) ($p=0,000$), Grupo 1B - Grupo 2B ($p=0,031$), Grupo 1C((BFFRW) - Grupo 2A (EF) ($p=0,036^*$) y Grupo

1C (BFFRW) - Grupo 2B (EFR). La mayor fuerza aplicada y resistencia flexural se observó en la comparación entre los grupos 1A (BFF)- Grupo 2C (EFRW) 9,42 N y 33,54 MPa respectivamente (Tabla 12 -Grafico 5)

Tabla 12. Comparaciones de la fuerza aplicada y resistencia flexural subgrupos del grupo 1 y grupo 2.

	Fuerza Aplicada (N)		Resistencia Flexural (MPa)		Valor p
	Promedio	min-max	Promedio	min-max	
Grupo 1A - Grupo 2A (BFF – EF)	5,71	(0,82 – 10,61)	20,35	(2,91 – 37,80)	0,013*
Grupo 1A - Grupo 2B (BFF – EFR)	1,70	(-3,19 – 6,60)	6,06	(-11,38 – 23,51)	0,907
Grupo 1A - Grupo 2C (BFF – EFRW)	9,42	(4,52 – 14,31)	33,54	(16,10 – 50,99)	0,000*
Grupo 1B - Grupo 2A (BFFR – EF)	1,19	(-3,70 – 6,09)	4,25	(-13,20 – 21,69)	0,979
Grupo 1B - Grupo 2B (BFFR – EFR)	5,20	(0,31 – 10,10)	18,54	(1,09 – 35,98)	0,031*
Grupo 1B - Grupo 2C (BFFR – EFRW)	2,51	(-2,39 – 7,41)	8,95	(-8,50 – 26,39)	0,656
Grupo 1C - Grupo 2A (BFFRW – EF)	5,11	(0,21 – 10,01)	18,20	(0,76 – 35,64)	0,036*
Grupo 1C - Grupo 2B (BFFRW – EFR)	9,12	(4,22 – 14,02)	32,49	(15,05 – 49,93)	0,000*
Grupo 1C - Grupo 2C (BFFRW – EFRW)	1,41	(-3,49 – 6,30)	5,01	(-12,43 – 22,45)	0,957

N: newtons; **MPa:** Megapascales; * $p < 0,05$ significativa prueba de ANOVA

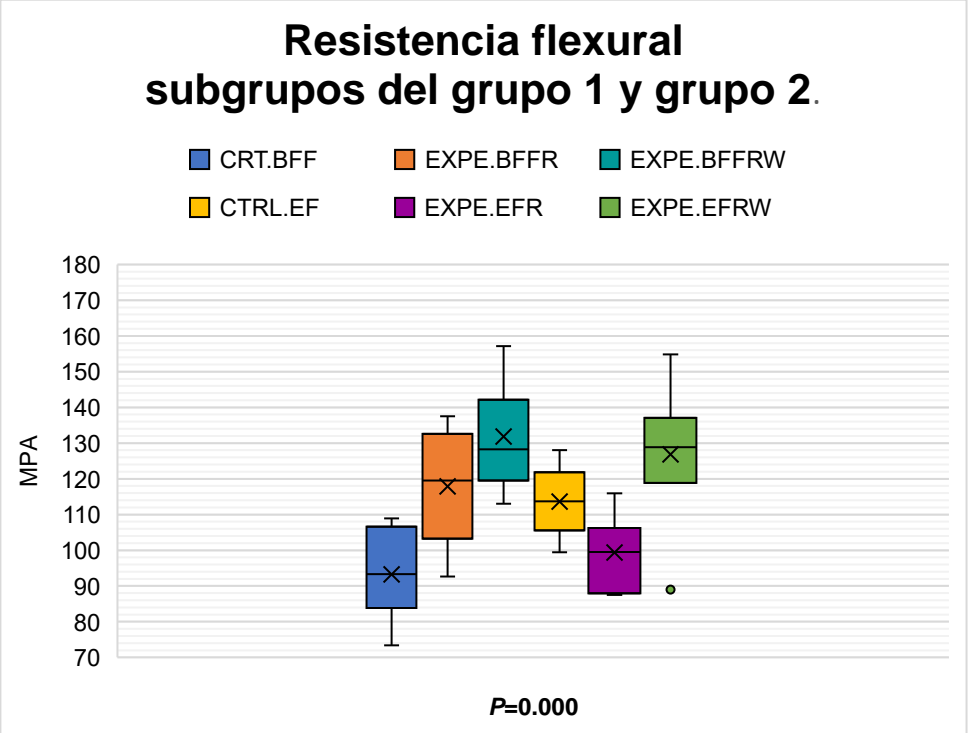


Gráfico 5. Resistencia flexural subgrupos del grupo 1 y grupo 2.

10. Discusión

El presente estudio evaluó la resistencia a la flexión de fibras de polietileno reforzadas con dos clases de composite fluidos de alta carga, impregnadas y no impregnadas con adhesivo sin carga. Los resultados obtenidos evidenciaron diferencias significativas entre los composites fluidos y los composites fluidos reforzados con fibra de vidrio impregnadas con adhesivo sin carga rechazando la hipótesis nula.

Los composites fluidos reforzados e impregnados con adhesivo en ambos grupos de estudio representaron la mayor resistencia a la flexión, sugiriendo que el agente humectante influye en la resistencia flexural. Ellakwa et al.(64) reportaron que el agente humectante evidenció un impacto positivo considerable en las características de flexión del composite reforzado con fibra. Además, señalaron que al emplear el agente adhesivo sin relleno que contenía silano, la fibra de vidrio aumentó la resistencia media a la flexión del composite indirecto no reforzado en 364%, señalado que la composición química del agente humectante influye de manera notable en las propiedades mecánicas de las fibras.

El presente estudio observó que la mayor resistencia flexural se presentó a nivel de las BFFRW, composites de relleno en bloque de baja viscosidad reforzadas con fibra e impregnadas con el agente humectante, resultados que son consistentes con lo previamente evidenciado por Gupta et al.(25) quienes hallaron los valores más altos de la resistencia a la fractura media para el grupo de resinas compuestas fluidas de relleno en bloque combinado con fibra de polietileno. Asimismo, argumentan que el resultado podría estar relacionado con una menor tensión debido

al módulo elástico bajo y la menor humectabilidad del compuesto fluido de relleno en granel. En contraparte Seidy et al.(65) concluyeron la adición de fibras no tiene un impacto notable en el incremento de la resistencia a la fractura en dientes restaurados con resinas de relleno en bloque de alta viscosidad, baja viscosidad y resina convencional, sin embargo, los grupos evaluados con adición de fibra ribbond mostraron los valores más altos en la resistencia a la fractura en comparación con la ausencia de esta.

En las comparaciones intragrupo, el grupo BFF mostraron diferencias significativas, siendo el subgrupo control el de menor resistencia flexural resultados que podrían estar relacionados con la ausencia de la fibra Ribbond y agente humectante. Ribbond posee una arquitectura de tejido intrínseca, con fibras dirigidas en diversas direcciones que conforman una estructura entrelazada que facilita la dispersión de las fuerzas en un espacio más extenso, reduciendo así las altitudes de tensión retardando la propagación de grietas mejorando la resistencia a la flexión y a la fractura de la restauración. (21,23,43) La casa comercial del grupo 1 registra valores de resistencia flexural de 126.5 ± 3 MPa, siendo menores los valores registrados en el presente estudio ($93,28 \pm 3,70$ MPa).(66) Una revisión sistemática(30) reciente indicó valores de resistencia flexural que oscilan entre $49 \pm 15,98$ MPa y 147.8 ± 10.4 MPa para resinas de relleno en masa de fluidos, lo que señala un amplio espectro de variabilidad en la resistencia flexural de las BFF. Los resultados logrados evidencian estar en ese margen.

Se registró una diferencia significativa en el grupo EF entre los subgrupos EFR y EFRW, donde estos últimos mostraron la mayor resistencia en dicho grupo. Esto corrobora la premisa de que el agente humectante ayuda a incrementar la resistencia flexural. No obstante, no se presentaron diferencias entre el grupo control y los grupos EFR y EFRW. La resina ever X incorpora fibras cortas de vidrio E multidireccionales y discontinuas dentro de la matriz de resina, mejorando los efectos de la contracción de polimerización, microfiltración marginal, evitando la propagación de grietas además de la distribución de la carga. (4) Una revisión sistemática (16) informó efectos diversos frente a la resistencia a la fractura de composites reforzados con fibras cortas (FRC) en ausencia o combinación con fibras de polietileno, concluyendo que general que las FRC tienden a fortalecer la restauración de dientes estructuralmente comprometidos y mejoran su resistencia a la fractura en comparación con las restauraciones compuestas sin refuerzo de fibra. Sin embargo, en casi todos los estudios revisados, las FRC de vidrio cortas o continuas mostraron el mismo desempeño o exhibieron mejores resultados que las FRC de polietileno (tejidas) con respecto a la resistencia a la fractura, asociado posiblemente a longitud y distribución de las fibras de vidrio cortas. En el caso del composite ever X, subrayaron que, al ser un reemplazo de dentina, las fibras orientadas aleatoriamente mostraron un efecto de refuerzo isotrópico en diversas direcciones, en vez de únicamente en ciertas direcciones determinadas. La literatura indica valores de resistencia flexural para la ever X Flow que oscilan entre 147 MPa y 171 MPa, siendo este último el correspondiente a la casa comercial, valores superiores a los hallados en este estudio ($113,63 \pm 3,02$ MPa).(42,67)

Alshabib et al.(31) reportan una resistencia flexural para las FRC 149.1 ± 8.1 MPa resultados que difieren con el presente estudio.

En las comparaciones intergrupales se observaron diferencias significativas múltiples entre los subgrupos pertenecientes ambos grupos de estudio, entre ellos los grupos control donde el grupo EF exhibió la mayor resistencia flexural frente a BFF, resultados concordantes con Lassila et al.(42) quienes evidenciaron que los composites everX Flow™ (GC Corp, Tokyo, Japan) tenía una resistencia a la flexión (146,5 MPa) estadísticamente significativamente mayor ($p < 0,05$) a los de más composites de resina fluida de relleno bloque evaluados incluidos la Filtek Bulk Fill Flowable™ (3M/ESPE, St. Paul, MN, USA) resistencia a la flexión (122 ± 3.3 MPa) hallazgo asociado posiblemente al mecanismos de endurecimiento proporcionados por las microfibras que desvía la propagación de las grietas. Por otra parte Attik et al.(68) evidenciaron una mayor resistencia a la flexión 141,8 MPa en composites de relleno bloque de alta viscosidad (Filtek™ Bulk Fill Posterior Restorative, 3 M) en comparación con FRC (everX Flow™ ;GC Corporation) 130,9 MPa, sin diferencias significativas; no obstante evidenciaron que las FRC presentan valores significativamente más altos ($p = 0,001$) en la resistencia a la tenacidad en contraste con los composites de relleno masivo de alta viscosidad, oncluyendo que, a pesar de que everX Flow™ posee un módulo inferior en comparación con Filtek™ Bulk Fill Posterior Restorative, muestra una resistencia a la flexión parecida y una mayor tenacidad, lo que indica una menor tendencia a desarrollar grietas durante la carga, lo que explica el posible resultado encontrado.

De igual manera, se detectaron diferencias notables entre BFF y EFRW, donde la última demostró el valor medio significativamente más alto de resistencia flexural, BFFR y EFR, donde la BFFR demostró la mayor resistencia media flexural significativa y BFFRW en comparación con EF y EFR, donde la BFFRW manifestó la mayor resistencia flexural significativa. Lo anterior denota lo previamente mencionado, señalado que el agente humectante desempeña un papel fundamental en la resistencia flexural asociado posiblemente a que este mejorar su enlace químico con los materiales restauradores aplicados.(16) No obstante, la literatura reporta resistencias de flexión para las fibras Ribbond impregnadas entre 191.84 MPa y 183.30 MPa.(15,45)

Este estudio se presenta como estudio observacional in vitro pionero en la comparación de la resistencia flexural de fibras de polietileno reforzadas con dos tipos de composite fluidos de alta carga, impregnadas y no impregnadas con adhesivo sin carga, permitiendo obtener un conocimiento inicial frente al comportamiento flexural previo a su uso clínico frente a los diferentes materiales existentes en la actualidad. Un aspecto fundamental del presente estudio radica en la estandarización de las muestras, la realización y aplicación de las pruebas en un mismo lugar garantizado la comparabilidad de los resultados.

El presente estudio reconoce algunas limitaciones a considerar para su interpretación. La investigación se realizó bajo condiciones controladas de laboratorio y en especímenes fabricados tipo barra, que podrían no replicar totalmente el ambiente bucal dinámico. Elementos como las variaciones de temperatura, humedad y cargas mecánicas fluctuantes podrían afectar el

desempeño de los materiales. Asimismo, este análisis se enfocó exclusivamente en la resistencia a la flexión sin considerar otras características relevantes como la biocompatibilidad, resistencia al desgaste y estabilidad del color, que también son esenciales para el éxito clínico. De igual forma, existe una escasa literatura científica frente a la resistencia flexural de los materiales evaluados. Es el primer estudio a nuestro saber que compara la resistencia flexural de resinas de relleno masivo en bloque frente a fibras de polietileno, lo que dificulta el contraste de resultados y hallazgos con la literatura existente. Por lo que sugiere para futuras investigaciones la realización de estudios in vitro en dientes naturales con pérdidas sustanciales de esmalte dental acompañado de pruebas de termociclado y cargas dinámicas que permitan evaluar su estabilidad a largo plazo.

11. CONCLUSIONES

1.El uso de adhesivo sin carga durante el protocolo de aplicación de fibras de polietileno mejora sustancialmente las propiedades mecánicas del material, lo cual podría traducirse en un desempeño clínico superior de las restauraciones en las que se emplea.

2.En las resinas fluidas tipo bulk, no se evidenció una diferencia significativa en la resistencia flexural al comparar los casos donde la fibra de polietileno fue impregnada con adhesivo sin carga frente a aquellos en los que no se realizó esta impregnación. Esto sugiere que, la impregnación con adhesivo tiene un impacto limitado en las propiedades mecánicas de la fibra, indicando que otros factores podrían ser determinantes en su desempeño.

3.Las resinas fluidas que contienen un mayor porcentaje de relleno de fibra en su composición muestran una resistencia a la flexión superior. Este hallazgo destaca la importancia de la proporción de relleno de fibra en la matriz inorgánica, mejorando considerablemente las propiedades mecánicas de las resinas y sugiriendo su potencial para optimizar el rendimiento de los materiales restaurativos.

12.RECOMENDACIONES

Se recomienda la realización de estudios *in vitro* en dientes naturales con pérdidas sustanciales de esmalte y dentina acompañado de pruebas de impacto del ciclo de carga masticatoria en las propiedades de las resinas reforzadas con fibra:

Sería valioso llevar a cabo estudios de simulación de ciclos de carga masticatoria en resinas fluidas reforzadas con fibra de polietileno para evaluar cómo estas resinas se comportan en condiciones de uso prolongado. Estos estudios podrían incluir pruebas de fatiga y análisis de la resistencia a la fractura tras un número significativo de ciclos, lo que permitiría predecir su desempeño en escenarios clínicos reales.

La interacción entre las fibras de polietileno y el adhesivo sin carga mostró un impacto positivo en la resistencia flexural. Por lo tanto, se sugiere llevar a cabo estudios adicionales para evaluar la influencia de diferentes tipos de adhesivos sin carga en la unión entre la fibra y la resina. Estos estudios podrían arrojar recomendaciones sobre la selección óptima de adhesivos para maximizar las propiedades mecánicas de los materiales compuestos.

Se sugieren realizar estudios *in vitro* que evalúen la resistencia flexural de fibras de polietileno reforzadas con dos tipos de composite fluidos de alta carga acompañado de pruebas termociclado que permitan evaluar su estabilidad a largo plazo.

Estudios comparativos entre otros refuerzos de fibra: Se sugiere realizar estudios comparativos entre la fibra de polietileno y otros tipos de refuerzos, como la fibra de vidrio, para determinar cuál ofrece un desempeño superior en términos de resistencia y durabilidad. Esto ayudaría a ampliar las opciones de materiales disponibles para los profesionales en prostodoncia y facilitaría la selección del material más adecuado según las necesidades del paciente

13.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Agrawal V, Shah A, Kapoor S. Effect of fiber orientation and placement on fracture resistance of large class II mesio-occluso-distal cavities in maxillary premolars: An in vitro study. *J Conserv Dent*. 2022 Mar 1;25(2):122–7.
2. The Glossary of Prosthodontic Terms: Ninth Edition. *J Prosthet Dent* [Internet]. 2017 May 1 [cited 2024 Oct 23];117(5S):e1–105. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28418832/>
3. ASTM International. Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials 1 [Internet]. [cited 2024 Oct 23]. Available from: <http://www.ansi.org>.
4. Escobar LB, Pereira da Silva L, Manarte-Monteiro P. Fracture Resistance of Fiber-Reinforced Composite Restorations: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Polymers* 2023, Vol 15, Page 3802. 2023 Sep 18;15(18):3802.
5. Tsertsidou V, Mourouzis P, Dionysopoulos D, Pandoleon P, Tolidis K. Fracture Resistance of Class II MOD Cavities Restored by Direct and Indirect Techniques and Different Materials Combination. *Polymers* 2023, Vol 15, Page 3413. 2023 Aug 15;15(16):3413.
6. Vetromilla BM, Opdam NJ, Leida FL, Sarkis-Onofre R, Demarco FF, van der Loo MPJ, et al. Treatment options for large posterior restorations: a systematic review and network meta-analysis. *J Am Dent Assoc*. 2020 Aug 1;151(8):614-624.e18.

7. Pizzolotto L, Moraes RR. Resin Composites in Posterior Teeth: Clinical Performance and Direct Restorative Techniques. *Dentistry Journal* 2022, Vol 10, Page 222. 2022 Nov 27;10(12):222.
8. Göktürk H, Karaarslan EŞ, Tekin E, Hologlu B, Sarikaya I. The effect of the different restorations on fracture resistance of root-filled premolars. *BMC Oral Health*. 2018 Nov 29;18(1):1–8.
9. Deliperi S, Alleman D, Rudo D. Stress-reduced Direct Composites for the Restoration of Structurally Compromised Teeth: Fiber Design According to the “Wallpapering” Technique. *Oper Dent*. 2017 May 1;42(3):233–43.
10. Hada YS, Panwar S. Comparison of the fracture resistance of three different recent composite systems in large Class II mesio-occlusal distal cavities: An in vitro study. *J Conserv Dent*. 2019 May 1;22(3):287.
11. Shafiei F, Dehghanian P, Ghaderi N, Doozandeh M. Fracture resistance of endodontically treated premolars restored with bulk-fill composite resins: The effect of fiber reinforcement. *Dent Res J (Isfahan)*. 2021;18:60.
12. Sadr A, Bakhtiari B, Hayashi J, Luong MN, Chen YW, Chyz G, et al. Effects of fiber reinforcement on adaptation and bond strength of a bulk-fill composite in deep preparations. *Dent Mater*. 2020 Apr 1;36(4):527–34.
13. Boussès Y, Brulat-Bouchard N, Bouchard PO, Abouelleil H, Tillier Y. Theoretical prediction of dental composites yield stress and flexural modulus based on filler volume ratio. *Dent Mater*. 2020 Jan 1;36(1):97–107.

14. Pradeep C D, Chandrasekharan N, Aswathy S K, Lekshmy A. Flexural Strength is a Critical Property of Dental Materials-An Overview. *Acta Scientific Dental Sciences*. 2023;7(7):99–103.
15. Juloski J, Beloica M, Goracci C, Chieffi N, Giovannetti A, Vichi A, et al. Shear bond strength to enamel and flexural strength of different fiber-reinforced composites. *J Adhes Dent*. 2013 Apr;15(2):123–30.
16. Mangoush E, Garoushi S, Lassila L, Vallittu PK, Säilynoja E. Effect of Fiber Reinforcement Type on the Performance of Large Posterior Restorations: A Review of In Vitro Studies. *Polymers (Basel)*. 2021 Nov 1;13(21).
17. Van Ende A, De Munck J, Lise DP, Van Meerbeek B. Bulk-Fill Composites: A Review of the Current Literature. *J Adhes Dent*. 2017;19(2):95–110.
18. Arbildo-Vega HI, Lapinska B, Panda S, Lamas-Lara C, Khan AS, Lukomska-Szymanska M. Clinical Effectiveness of Bulk-Fill and Conventional Resin Composite Restorations: Systematic Review and Meta-Analysis. *Polymers (Basel)*. 2020 Aug 1;12(8).
19. Sengupta A, Naka O, Mehta SB, Banerji S. The clinical performance of bulk-fill versus the incremental layered application of direct resin composite restorations: a systematic review. *Evid Based Dent*. 2023 Sep 1;24(3):143.
20. Santos MJMC, Zare E, McDermott P, Santos Junior GC. Multifactorial Contributors to the Longevity of Dental Restorations: An Integrated Review of Related Factors. *Dent J (Basel)*. 2024 Sep 1;12(9):291.

21. Zotti F, Hu J, Zangani A, Albanese M, Paganelli C. Fracture strength and ribbon fibers: In vitro analysis of mod restorations. *J Clin Exp Dent.* 2023;15(4):e318.
22. Pala K, Tekçe N, Tuncer S, Demirci M, öznurhan F, Serim M. Flexural strength and microhardness of anterior composites after accelerated aging. *J Clin Exp Dent.* 2017;9(3):e424.
23. Hshad ME, Dalkiliç EE, Ozturk GC, Dogruer I, Koray F. Influence of Different Restoration Techniques on Fracture Resistance of Root-filled Teeth: In Vitro Investigation. *Oper Dent.* 2018 Mar 1;43(2):162–9.
24. Abdulmajeed AA, Donovan T, Cook R, Sulaiman TA. Effect of Preheating and Fatiguing on Mechanical Properties of Bulk-fill and Conventional Composite Resin. *Oper Dent.* 2020 Jul 1;45(4):387–95.
25. Gupta R, Tomer A, Pyasi S. An In Vitro Analysis of Fracture Strength of Various Bulk Fill Flow able Composite Resins. *IOSR Journal of Dental and Medical Sciences (IOSR-JDMS)* e-ISSN. 17:40–4.
26. Liliana E, Gonzales S, López-Flores AI. Resistencia flexural de las resinas fluida convencional, fluida bulk fill y fluida de alta carga: estudio in vitro. *Revista Científica Odontológica.* 2023 Sep 26;11(3):e161.
27. Safwat EM, Khater AGA, Abd-Elsatar AG, Khater GA. Glass fiber-reinforced composites in dentistry. *Bulletin of the National Research Centre* 2021 45:1. 2021 Nov 10;45(1):1–9.
28. Faggion CM. Guidelines for Reporting Pre-clinical In Vitro Studies on Dental Materials. *Journal of Evidence Based Dental Practice.* 2012 Dec 1;12(4):182–9.

29. Ganesh M, Tandon S. Versatility of ribbon in contemporary dental practice. *Trends Biomater Artif Organs*. 2006 Jul 1;20(1):53–8.
30. Gatica EP, Ojeda GD, Wendler M. Contemporary flowable bulk-fill resin-based composites: a systematic review. *Biomater Investig Dent*. 2023 Dec 31;10(1):8.
31. Alshabib A, Silikas N, Algamaiah H, Alayad AS, Alawaji R, Almogbel S, et al. Effect of Fibres on Physico-Mechanical Properties of Bulk-Fill Resin Composites. *Polymers (Basel)*. 2023 Aug 18;15(16):3452.
32. Tabatabaei FS, Torres R, Tayebi L. Biomedical Materials in Dentistry. In: Tayebi L, editor. *Applications of Biomedical Engineering in Dentistry*. Milwaukee: Springer International Publishing; 2019. p. 3–20.
33. Aminoroaya A, Neisiany RE, Khorasani SN, Panahi P, Das O, Madry H, et al. A review of dental composites: Challenges, chemistry aspects, filler influences, and future insights. *Compos B Eng*. 2021 Jul 1;216:108852.
34. Wang Y, Zhu M, Zhu XX. Functional fillers for dental resin composites. *Acta Biomater*. 2021 Mar 1;122:50–65.
35. Zhou X, Huang X, Li M, Peng X, Wang S, Zhou X, et al. Development and status of resin composite as dental restorative materials. *J Appl Polym Sci*. 2019 Nov 20;136(44):48180.
36. Bompolaki D, Lubisich EB, Fugolin AP. Resin-Based Composites for Direct and Indirect Restorations: Clinical Applications, Recent Advances, and Future Trends. *Dent Clin North Am*. 2022 Oct 1;66(4):517–36.

37. Borges KT, Servín MPM, França FMG, Turssi CP, Basting RT, Hirata R, et al. Influence of viscosity and fiber reinforcement of resin composite on fracture strength and failure mode of restored molars. *J Esthet Restor Dent*. 2024;36(11):1547–56.
38. Khan AS, Azam MT, Khan M, Mian SA, Rehman IU. An update on glass fiber dental restorative composites: a systematic review. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl*. 2015 Feb 1;47:26–39.
39. Bahramian N, Atai M, Naimi-Jamal MR. Ultra-high-molecular-weight polyethylene fiber reinforced dental composites: Effect of fiber surface treatment on mechanical properties of the composites. *Dent Mater*. 2015 Sep 1;31(9):1022–9.
40. Alshabib A, Jurado CA, Tsujimoto A. Short fiber-reinforced resin-based composites (SFRCs); Current status and future perspectives. *Dent Mater J*. 2022 Sep 25;41(5):647–54.
41. Garoushi S, Gargoum A, Vallittu PK, Lassila L. Short fiber-reinforced composite restorations: A review of the current literature. *J Investig Clin Dent*. 2018 Aug 1;9(3):e12330.
42. Lassila L, Säilynoja E, Prinssi R, Vallittu P, Garoushi S. Characterization of a new fiber-reinforced flowable composite. *Odontology*. 2019 Jul 8;107(3):342–52.
43. Selvaraj H, Krithikadatta J, Aber Al Onazi M, Ali Algarni H, Munaga S, Othman Hamza M, et al. Fracture Resistance of Dental Restorative Fiber-reinforced Composites- A Systematic Review. 2023 Apr 18;

44. Karaman AI, Kir N, Belli S. Four applications of reinforced polyethylene fiber material in orthodontic practice. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2002;121(6):650–4.
45. Karbhari VM, Strassler H. Effect of fiber architecture on flexural characteristics and fracture of fiber-reinforced dental composites. *Dental Materials*. 2007 Aug;23(8):960–8.
46. Comparación de fibras | Ribbond [Internet]. [cited 2024 Oct 9]. Available from: <https://ribbond.com/fiber-comparison.html>
47. Neira PAD, Tocto NKV. Ribbond® como fibras de refuerzo en la rehabilitación post endodóntica : Ribbond® as reinforcing fibers in post endodontic rehabilitation. *Revista Científica ESPECIALIDADES ODONTOLÓGICAS UG*. 2023 Jul 4;6(2):63–77.
48. Tuloglu N, Bayrak S, Tunc E Sen. Different Clinical Applications of Bondable Reinforcement Ribbond in Pediatric Dentistry. *Eur J Dent*. 2009 Oct;3(4):329.
49. Ruprai S, Shin S, Dang J, Vijay H, Freitas C, Obregon-Miano F. Biomimetic Approach in Tooth Conservation and Fracture Resistance: A Short Descriptive Review of Current Biomaterials and Techniques. *International Journal on Oral Health*. 2022 Jun 23;2(1).
50. Cabarique-Mojica, JMCastillo-Pedraza MC, Wilches-Visbal JH. Odontología biomimética mediante el uso de fibras de polietileno. *Rev Cubana Med Milit*. 2024;52(2):e024038054.

51. CAMERON CE. CRACKED-TOOTH SYNDROME. *J Am Dent Assoc.* 1964;68(3):405–11.
52. Ellis SGS. Incomplete tooth fracture--proposal for a new definition. *Br Dent J.* 2001;190(8):424–8.
53. Korkut B, Bayraktar ET, Tağtekin D, Çolak H, Özcan M. Cracked Tooth Syndrome and Strategies for Restoring. *Curr Oral Health Rep.* 2023 Dec 1;10(4):212–22.
54. Sofan E, Sofan A, Palaia G, Tenore G, Romeo U, Migliau G. Classification review of dental adhesive systems: from the IV generation to the universal type. *Ann Stomatol (Roma).* 2017;8(1):1.
55. Arandi NZ. The Classification and Selection of Adhesive Agents; an Overview for the General Dentist. *Clin Cosmet Investig Dent.* 2023;15:165–80.
56. Carvalho CN, Francci CE, Costa JF, Bauer J. Effect of filler and application mode on micro-shear bond strength of etch-and-rinse adhesive systems. *Revista Portuguesa de Estomatologia, Medicina Dentária e Cirurgia Maxilofacial.* 2015 Apr 1;56(2):89–94.
57. Wiskott HW, Nicholls JI, Belser UC. Stress fatigue: basic principles and prosthodontic implications. *Int J Prosthodont.* 1995 Mar 1;8(2):105–16.
58. Pereira GKR, Guilardi LF, Dapieve KS, Kleverlaan CJ, Rippe MP, Valandro LF. Mechanical reliability, fatigue strength and survival analysis of new polycrystalline translucent zirconia ceramics for monolithic restorations. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2018 Sep 1;85:57–65.

59. Ellakwa A, Shortall A, Marquis P. Influence of fibre position on the flexural properties and strain energy of a fibre-reinforced composite. *J Oral Rehabil.* 2003 Jul 1;30(7):679–82.
60. C Dathan P, Nair KC, S Kumar A, AR L. Flexural Strength is a Critical Property of Dental Materials-An Overview. *Acta Scientific Dental Sciencs.* 2023 Jul 1;7(7):99–103.
61. ISO 4049:2019 - Dentistry — Polymer-based restorative materials [Internet]. [cited 2024 Oct 23]. Available from: <https://www.iso.org/standard/67596.html>
62. Instron. 5 kN FLEXURE FIXTURE Catalog Number 2810-40X Series [Internet]. 2023 [cited 2024 Oct 23]. Available from: www.instron.com
63. Magne P, Carvalho MA, Milani T. Shrinkage-induced cuspal deformation and strength of three different short fiber-reinforced composite resins. *J Esthet Restor Dent.* 2023 Jan 1;35(1):56–63.
64. Ellakwa AE, Shortall AC, Marquis PM. Influence of fiber type and wetting agent on the flexural properties of an indirect fiber reinforced composite. *Journal of Prosthetic Dentistry.* 2002;88(5):485–90.
65. Seidy A, Mirzakuchaki P, Pischevar L. Comparison of Fracture Strength in Endodontically Treated Teeth Restored with Bulk fill, Bulk Fill Flowable and Conventional Composite with or without Using Ribbon. *Contemporary Orofacial Sciences.* 2023;1(2):13–9.

66. 3M ESPE. Filtek™ Bulk Fill Resina Fluida [Internet]. [cited 2024 Nov 5]. Available from: <https://multimedia.3m.com/mws/media/1007459O/archived-fase-out-with-filtek-bulf-fill-flowable-claudia-garate-4-27-2021.pdf>
67. GC Corporation. 2020. 2020 [cited 2024 Nov 5]. Strong to the core EverX Flow™. Available from: https://www.gc.dental/europe/sites/europe.gc.dental/files/products/downloads/everxflow/manual/MAN_Comprehensive_Guide.pdf
68. Attik N, Colon P, Gauthier R, Chevalier C, Grosogeat B, Abouelleil H. Comparison of physical and biological properties of a flowable fiber reinforced and bulk filling composites. *Dental Materials*. 2022 Feb 1;38(2):e19–30.

ANEXOS

Anexo 1. Ficha Técnica Resina

Filtek Bulk Fill Flowable™ (3M/ESPE, St. Paul, MN, USA)



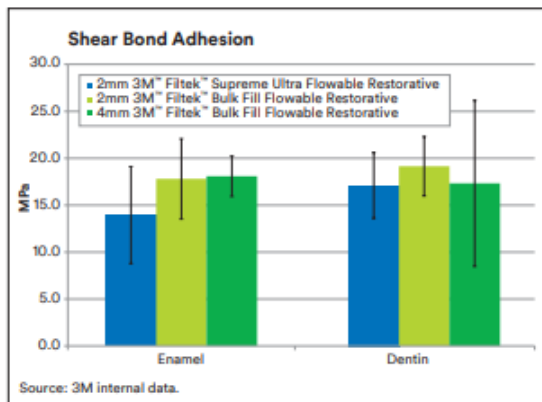
3M™ Filtek™ Bulk Fill Flowable Restorative

Technical Data Sheet

11

Adhesion

Adhesion can be used to indicate adequate cure. Under-cured material is most likely to occur at the bottom of an increment. Under-cured material is not as strong which may affect the adhesion values. If the light does not adequately penetrate the composite thickness to the adhesive, the cross linking (therefore bond) between the composite and the adhesive may be compromised. Shear bond adhesion testing was conducted using the wire loop method on bovine enamel and dentin. Specimens were prepared by bonding the test material of the desired thickness to polished enamel or dentin by following the instructions for 3M™ Adper™ Single Bond Plus Adhesive. Samples were stored in DI water at 37°C for 24 hours before testing.



The adhesion values for a 2mm and a 4mm increment of 3M™ Filtek™ Bulk Fill Flowable Restorative are equivalent to each other and to the adhesion of 2mm of 3M™ Filtek™ Supreme Flowable Restorative to both dentin and enamel. This indicates the cure at the bottom of a 4mm increment of Filtek Bulk Fill Flowable Restorative is similar to a 2mm increment of either Filtek Supreme Flowable Restorative or 3M Filtek Bulk Fill Flowable Restorative.

Summary of additional technical data

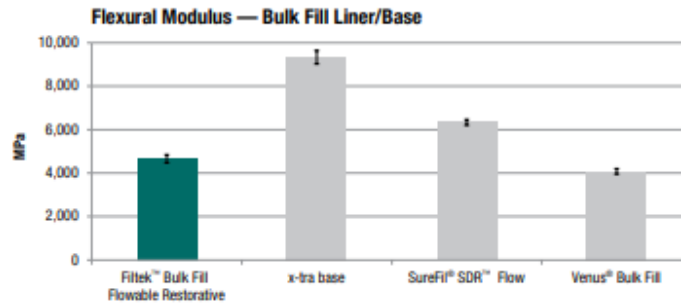
Property	Unit of Measure	3M™ Filtek™ Bulk Fill Flowable Restorative
Cusp Deflection	µm	7.3
Fracture Toughness	MPa m ^{1/2}	1.8
Radiopacity	mmAl	2.7

Flexural Modulus

Flexural modulus is a method of defining a material's stiffness. A high modulus indicates a rigid material. The flexural modulus is measured by applying a load to a material specimen that is supported at each end. A low flexural modulus can aid in reducing stress generated during cure.

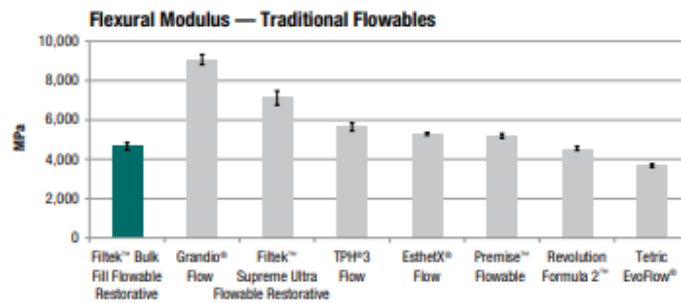


Figure 22
Source: 3M ESPE internal data



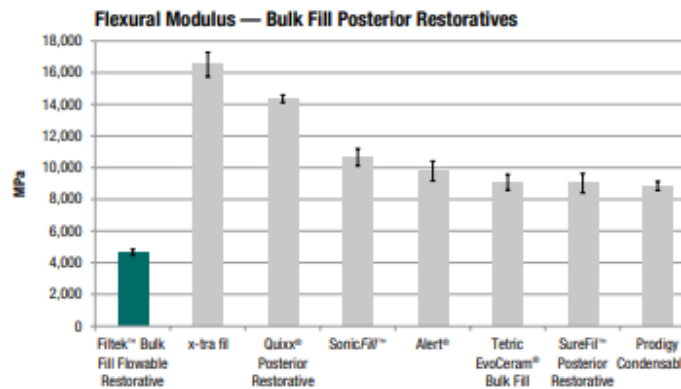
The flexural modulus of Filtek™ Bulk Fill Flowable Restorative is lower than x-tra base and SureFil® SDR™ Flow and similar to Venus® Bulk Fill.

Figure 23
Source: 3M ESPE internal data



The flexural modulus of Filtek Bulk Fill flowable restorative is in the range of traditional flowable restoratives.

Figure 24
Source: 3M ESPE internal data



The flexural modulus of Filtek Bulk Fill flowable restorative is lower than bulk fill posterior restoratives.

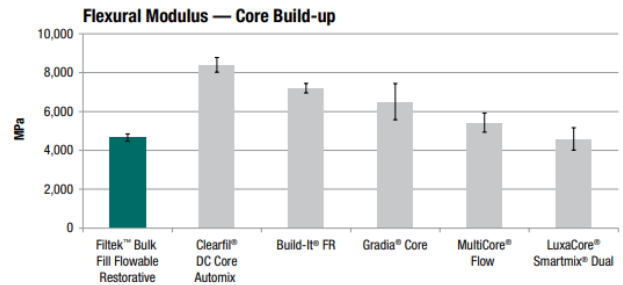


Figure 25
Source: 3M ESPE internal data

The flexural modulus of Filtek™ Bulk Fill Flowable Restorative is lower than or equal to conventional 2-paste core build-up materials.

Anexo 2. Ficha Técnica Resina

EverX Flow™ (GC Corp, Tokyo, Japan)

8.3 Flexural strength

Flexural strength is defined as a material's ability to resist deformation under load. In clinical situations, dental restorations need to withstand repeated masticatory forces. A high flexural strength is desired to maintain the shape when these forces impact the restorations.

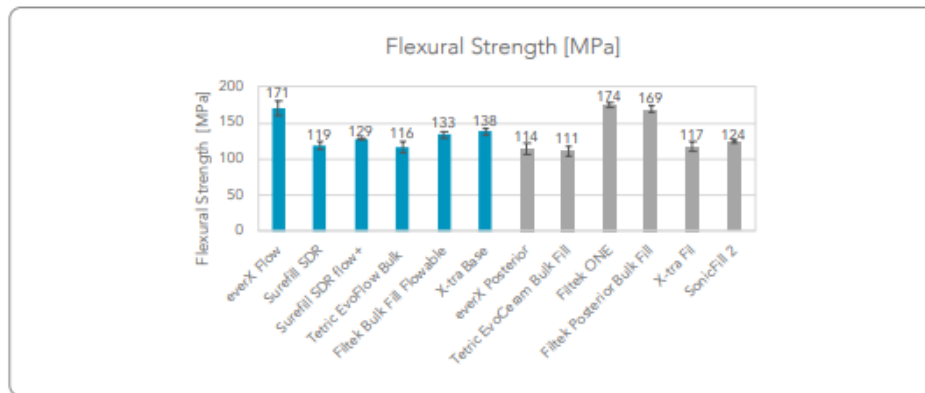


Figure 18: Flexural strength of everX Flow compared to other flowable and paste bulk composites. Source: GCC R&D, 2018. Test method: as per ISO4049(2009), Flexural Strength. Data on file.

To verify the effectiveness of innovative silane and resin technologies on durability and resistance to degradation, GC R&D tested the flexural strength of the material before and after thermocycling (10,000 cycles). The results show no significant difference - which should in turn have a positive impact on its stability and long-term durability.

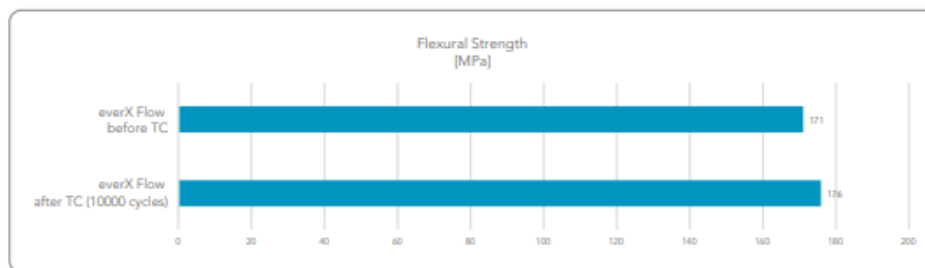


Figure 19: Flexural strength of everX Flow before and after thermocycling (10000 cycles). Source: GCC R&D, Japan, 2018. Data on file.

Within the limitations of the two above tests, it can be concluded that the flexural strength of everX Flow is by far superior to the other flowable bulk fill composites on the market, and even similar or superior to the paste-type composites. The thermocycling test also shows that the material has an excellent stability and can withstand intraoral conditions.

The University of Turku also tested flexural strength according to ISO 4049, and confirmed everX Flow was achieving a higher strength than the bulk flowable competitors tested.

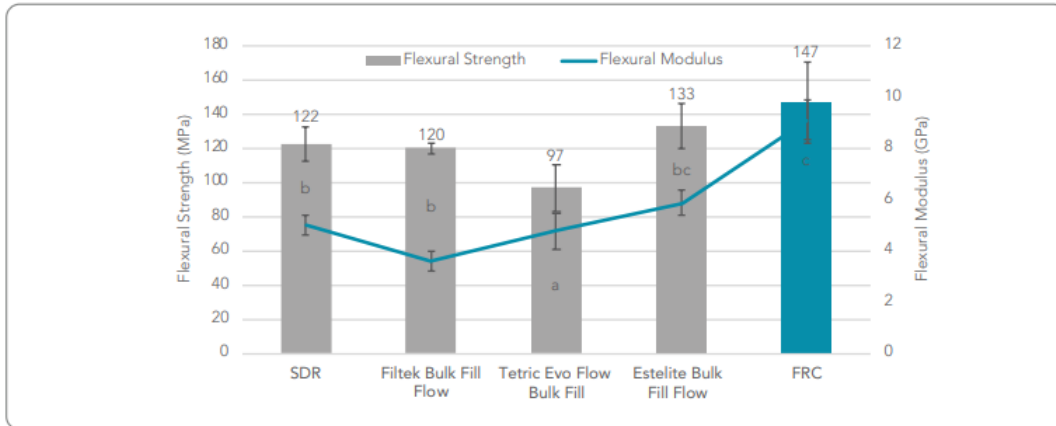


Figure 20: Flexural strength & flexural modulus of everX Flow (FRC) compared to other bulk flowable composites.
 Source: Lassila L, Säilynoja E, Prinsi R, Vallittu P, Garoushi S. Characterization of a new fiber-reinforced flowable composite. *Odontology*. 2019;107(3):342-352. The same letters inside the bars represent non-statistically significant differences ($p > 0.05$) among the groups.

Anexo 3. Operacionalización de variables

Variable	Definición Operacional	Naturaleza	Nivel Medición	Escala O Medida
Variable independiente				
Fibra ribbond	Una fibra de refuerzo adherible que previene los fallos de fractura en composites dentales y acrílicos. Su combinación única de tejido patentado y fibras de alta resistencia dan unos resultados insuperables por cualquier otra fibra de refuerzo. Es perfecta para una amplia variedad de usos dentales.	No paramétrica	Nominal	Grosor 0.35mm Anchos estándar son 2, 3, y 4mm. <ul style="list-style-type: none"> • Ribbond ULTRA: Es la más delgada de las fibras de refuerzo (0.12 mm de grosor) • Ribbond-THM: Tiene un grosor de 0.18mm
Variables dependientes				
Resina fluida	Sustancia orgánica de consistencia pastosa, pegajosa, transparente o translúcida, que se solidifica en contacto con el aire; es de origen vegetal o se obtiene artificialmente mediante reacciones de polimerización.	No paramétrica	Nominal	1. Fluida CON RELLENO DE FIBRA DE VIDRIO Y 3M

Resistencia a la flexión	Esfuerzo de fibra máximo desarrollado en una probeta justo antes de que se agriete o se rompa en un ensayo de flexión. Para aquellos materiales que no se rompen en el ensayo de flexión, se reporta la resistencia de fluencia en flexión en lugar de la resistencia a la flexión.	Paramétrica	Razón	Gigapascales
---------------------------------	---	-------------	-------	--------------
