



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**



FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

**APLICACIÓN DE LA FIBRA DE VIDRIO INTERLIG® PARA
AUMENTAR LA RESISTENCIA A LA FRACTURA EN
RESINAS COMPUESTAS.**

T E S I N A

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

C I R U J A N A D E N T I S T A

P R E S E N T A:

ANA GABRIELA QUEZADA ALANIS.

TUTOR: Esp. YANET CRISTINA BOLLÁS HERNÁNDEZ.

Vo.Bo



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

A mi familia: papás, tíos y hermanos, porque les tocó levantarme y cargarme infinidad de veces (incluida mi familia de cuatro patas), porque confiaron en mí al ser mis pacientes cuando no entendía muy bien lo que estaba haciendo, sé que siempre lo hicieron de corazón y con gusto. Gracias, porque me proporcionaron cada una de las cosas que les pedía e incluso más. Los amo.

Pero en especial a mi abuelito Carlos, que has estado orgulloso de mí aun cuando no tenía el título conmigo. Gracias por esperarme.

Y a mi abuelita Lupe, que te he sentido conmigo en cada paso que doy. En cada uno.

"I know better, but I still feel you all around"

A Rodrigo, mi compañero, mi mejor amigo, mi colega y mi novio, el que me paró frente al espejo y me prestó sus ojos. Te amo.

A la UNAM, por prestarme tus instalaciones, permitirme aprender en ellas y crecer. Fui la más afortunada al poder entrar.

A la doctora Yanet, mi tutora, que fue de las primeras doctoras que conocí en la facultad (la que me daba miedo por estricta) y es quien me ayuda a concluir esta etapa; es increíblemente linda, me tuvo paciencia, me guio y para nada es como yo la pintaba en mi cabeza. Muchísimas gracias doctora.

Gracias Dios, por acompañarme durante todo el viaje, por brindarme salud en estos tiempos tan difíciles, me permitiste llegar.

Y, finalmente, *a ti*, por motivarme e inspirarme como mujer. Me ayudaste durante toda la carrera sin saberlo, nunca vas a leer esto, pero GRACIAS.

Índice	Página
1. Introducción	5
2. Contenido temático	7
2.1 Resinas compuestas	7
2.1.1 Antecedentes	7
2.1.2 Composición	10
2.1.3 Reacción química	13
2.1.4 Respuesta biológica	13
2.1.5 Clasificación	14
2.1.6 Indicaciones de uso	14
2.2 Composites reforzados con fibra (FRC)	17
2.2.1 Antecedentes	17
2.2.2 Composición	20
2.2.3 Clasificación	25
2.2.4 Usos del refuerzo con fibras en odontología	26
2.2.5 Propiedades	34
2.3 Fibra de vidrio Interlig®	35
2.3.1 Composición	36
2.3.2 Características	37
2.3.3 Indicaciones	38
2.3.4 Presentación	39
2.3.5 Protocolo de colocación como refuerzo en resinas compuestas	39
2.3.6 Protocolo como refuerzo en resinas compuestas en dientes tratados endodóncicamente	41

Página

3.	Conclusión	48
4.	Referencias bibliográficas	50

1. Introducción

En el área de odontología, se necesita constantemente estar actualizados en técnicas que beneficien tanto al paciente, como al operador. La rama de biomateriales dentales no es la excepción, los cuales han ido evolucionando progresivamente para cumplir las exigencias de cada tratamiento, buscando restauraciones estéticas y recuperar la función de las estructuras.

Las resinas compuestas son uno de los materiales que más cambios y mejoras ha tenido. En la actualidad son el material de primera elección para restauraciones por ser altamente estéticos (asemejan el color del diente), con manipulación sencilla, capacidad de adhesión a los tejidos dentales y el costo relativamente bajo si lo comparamos con materiales indirectos. Otra de las razones de su popularidad es la reducción progresiva del uso de amalgama en todo el mundo.

De acuerdo con los principios de la odontología moderna, la restauración y el diente deben constituir una forma estructuralmente adhesiva y mecánica (es decir, combinada) que tenga la capacidad de resistir las fuerzas repetitivas durante un período prolongado de tiempo.

Gracias a los recientes avances en las resinas, es posible crear restauraciones conservadoras y muy estéticas, sin embargo, no tienen la resistencia ni la dureza adecuada para reemplazar la estructura dental perdida. Se ha demostrado que al colocar los composites reforzados con fibra (Fiber Reinforced Composites, RFC por sus siglas en inglés) en restauraciones de resina, existe una mejora de las propiedades mecánicas cuando se utiliza in vivo.

Estudios sugieren incluso que, el fracaso temprano de las restauraciones de resina son las fracturas, mientras que la caries recurrente es más probable que sea el fracaso a largo plazo. Los FRC, no sólo mejoran las propiedades de dichos materiales, sino que también pueden controlar la contracción de la fotopolimerización según la orientación de sus fibras.

A pesar de que solían colocarse fibras de carbono, de Kevlar, fibras Vectran, fibras de vidrio y de polietileno a la matriz de resina para aumentar las propiedades físicas y mecánicas de la restauración, son estas dos últimas las que mejoran la resistencia al impacto, el módulo de elasticidad y la resistencia a la fractura de las resinas compuestas. Las fibras de polietileno y vidrio son casi invisibles en la matriz resinosa y, por estas razones, parecen ser los reforzadores más apropiados y estéticos de las resinas compuestas, lo cual es importante sobre todo cuando se colocan restauraciones en zonas anteriores.

2 Contenido temático

2.1 Resinas compuestas.

2.1.1 Antecedentes

Durante los últimos 70 años ha habido bastantes avances en los materiales de restauración. A principios del siglo XX, los silicatos eran el material restaurador de primera elección debido a su semejanza al color del diente, pero tenían alta acidez. Las resinas acrílicas (polimetilmetacrilato PMMA), pronto sustituyeron a los silicatos por su aspecto similar al de los dientes, su insolubilidad a los fluidos orales, su fácil manipulación y su bajo costo. Dichas resinas se desgastaban fácilmente, tendían a contraerse mucho durante la polimerización, lo que hacía que se separaran de las paredes de la cavidad, produciendo espacios que facilitaban filtraciones en ellos; también tenían alta expansión y contracción térmica al ingerir alimentos y bebidas calientes o frías, lo que provocaba más estrés sobre las paredes de la preparación. Estos problemas se lograron reducir un poco con la adición de partículas de polvo de cuarzo, aun así, no fueron exitosas porque las partículas de relleno reducían el volumen del polímero de resina sin estar adheridas a él, lo que provocaba filtraciones, pigmentaciones y una escasa resistencia al desgaste.¹

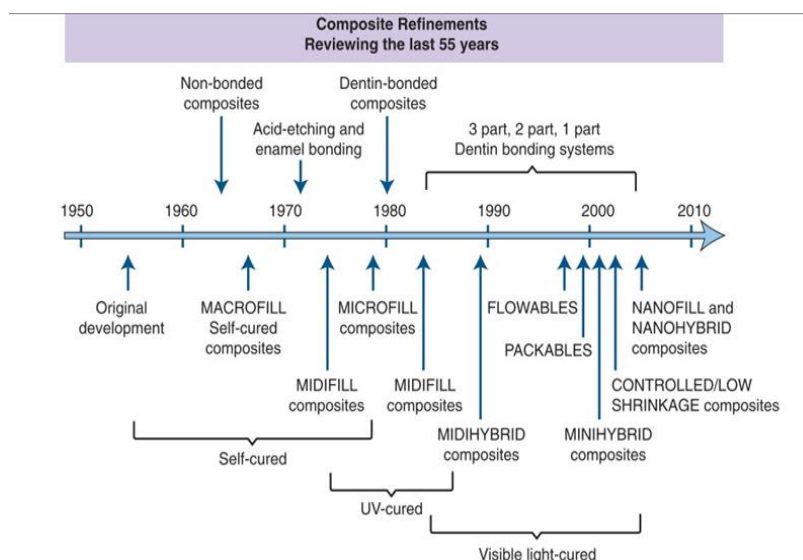


Figura 1. Línea del tiempo del desarrollo de las resinas compuestas en los últimos 55 años.

(Anusavice, 2013)

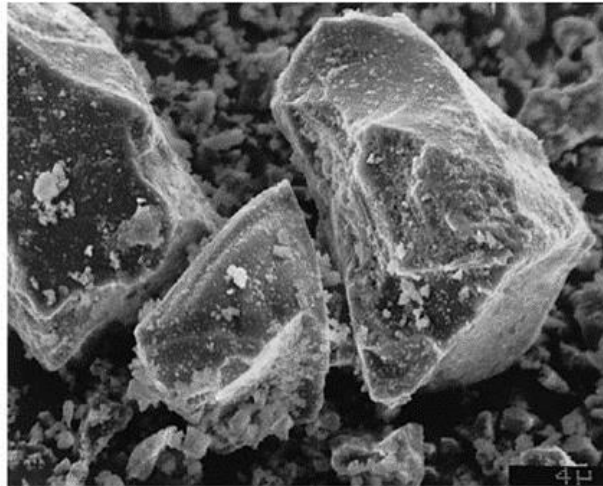


Figura 2. Partículas de relleno de polvo de cuarzo con diámetros de aproximadamente 1 a 30 μm ., se utilizaba en las primeras formulaciones de las resinas convencionales. (Anusavice, 2013)

Es primordial conocer sus propiedades físicas del diente con el fin de elegir el material que restaure la zona faltante.

El esmalte es el tejido más duro del cuerpo, tiene un valor de 5-7 en la escala de dureza de Mohs, para ser reemplazado, necesitamos materiales con dureza similar; sin embargo, esta dureza implica fragilidad, por lo que no se deben utilizar materiales que fracturen esta superficie. Debemos también tomar en cuenta su permeabilidad, translucidez, opalescencia y fluorescencia al momento de igualar el tono o color con el material restaurador.²

La dentina amortigua las cargas del esmalte, aparte de funcionar como aislante térmico y eléctrico. Si lo comparamos con el esmalte, la dentina tiene mayor contenido orgánico, por lo que estas propiedades se deben tener presentes al elegir el material que restituirá dicho tejido (cementos, bases, liners, etc.)²

Son el material que más investigación, variantes y usos ha tenido durante los últimos tiempos. La norma de la ADA correspondiente a este material es la número 27 y la norma ISO 4049:2019, que especifica los requisitos para los materiales dentales de restauración a base de polímeros destinados principalmente a la restauración directa o indirecta de los dientes y para cementar.²

En 1962, el doctor estadounidense Rafael L. Bowen desarrolló un nuevo tipo de resina compuesta, durante las últimas tres décadas se desarrollaron más ampliamente.

Se han vuelto cada vez más populares, en la actualidad se consideran la primera elección para restauraciones directas en dientes anteriores y posteriores. Las características estéticas de asemejar el color natural del diente, la capacidad de adhesión a los tejidos dentales y el bajo costo (en comparación con los materiales indirectos), son algunas de las razones de la gran popularidad de este material.

El material que L. Bowen desarrolló es un diacrilato, es decir, moléculas con dos dobles ligaduras que forman un polímero de matriz cruzada. Esta molécula es llamada bisfenol A glicidil dimetacrilato (Bis-GMA), al ser agregadas partículas inorgánicas su peso molecular es elevado para que la contracción (que es consecuencia de la polimerización) no sea muy alta, el resultado es una reducción del cambio dimensional y con ello, aumento en su resistencia.¹

Lo que recibe el nombre de resina compuesta es una mezcla de material orgánico y material inorgánico, que se unen a la matriz mediante agentes de acoplamiento (silano). Contienen también, cierta cantidad de partículas con un peso molecular más reducido (diluyentes) para conseguir la fluidez en el líquido para poder trabajarlo.

En 1994, Goldberg llegó a la conclusión de que el policarbonato era el material ideal para ser utilizado como refuerzo en resinas compuestas; estudió sus propiedades de flexibilidad, estrés y estabilidad hidrolítica. Se dio cuenta de que el módulo de flexión y la resistencia mejoraron cuando se reforzó el policarbonato con un 42% del volumen con fibras de vidrio.^{2,3}

Los materiales actuales de restauración siguen utilizando esta tecnología, pero con muchas más innovaciones.

2.1.2 Composición

Existen también, resinas con moléculas funcionales diferente al Bis-GMA, como el dimetacrilato de uretano (UDMA); pero nos referimos a la primera (Bis-GMA) por ser la más generalizada en formulaciones actuales.

Las resinas compuestas están formados por tres componentes principales: una **matriz de resina** polimérica altamente reticulada reforzada con **partículas de relleno** dispersas, ya sean de vidrio, sílice, óxido metálico o resina con refuerzo de fibras cortas, que se unen a la matriz por **agentes de acoplamiento (silano)**.^{1, 2}

Contienen también, inhibidores de activación e iniciación de la polimerización y pigmentos para dar color y opacidad para obtener armonía óptica.⁴

2.1.2.1 Matriz resinosa

Está constituida por monómeros de dimetacrilato alifáticos u aromáticos, forma una fase continua en la que se dispersa el material de relleno. Debido al gran peso molecular de estos monómeros, la contracción de polimerización puede bajar al 0,9% si se combina con rellenos de partículas inorgánicas a niveles de hasta 88% en su peso. Sin embargo, el tener un alto peso molecular es una característica limitante, ya que aumenta su viscosidad y conlleva a una reología (capacidad que tienen los materiales de fluir con mayor o menor dificultad) indeseable que comprometen las características de manipulación. Para mejorar estas deficiencias, se añaden monómeros diluyentes de baja viscosidad tales como el TEGDMA (trietilen glicol dimetacrilato), lo cual compensa parcialmente la ventaja de usar grandes monómeros como Bis-GMA. Cuanto mayor es la proporción de estos monómeros diluyentes, mayor es la contracción de polimerización y mayor es el riesgo de filtraciones en los espacios marginales.¹

2.1.2.3 Partículas de relleno

Muchos de los avances se han producido gracias a que el relleno tuvo partículas con tamaños cada vez más pequeños, principalmente para mejorar la estética y la capacidad de pulido.¹

Se emplean varios minerales transparentes para reforzar las resinas, así como para reducir la contracción de polimerización y la expansión térmica (que generalmente es entre el 30% y 70% en volumen, o entre el 50% y 85% en peso de la resina compuesta). Estos rellenos incluyen el llamado "vidrio blando" y el "vidrio duro" de borosilicato, cuarzo fundido, silicato de aluminio, silicato de litio y aluminio, fluoruro de iterbio y bario (Ba), estroncio (Sr), circonio (Zr) y vidrios de zinc. Los últimos cinco tipos de rellenos imparten radiopacidad debido a sus átomos de metales pesados.¹

Comparadas con el vidrio, las partículas de cuarzo son dos veces más duras y menos susceptibles a la erosión, además de que proporcionan mejor adhesión con los agentes de conexión. También son utilizadas partículas de sílice.¹

En 1970, se desarrollaron las resinas convencionales o de macrorelleno, las cuales contienen partículas amorfas muy grandes de sílice y cuarzo molidos, que aportaron mejoras en la absorción del agua, la contracción por polimerización y la expansión térmica –en comparación con el acrílico sin relleno– sin embargo, tenían una superficie rugosa como resultado de la abrasión selectiva de la matriz de resina más suave que rodea las partículas de relleno más duras. Para que la superficie quedara lisa y poder conservar las propiedades físicas y mecánicas, se desarrollaron materiales con rellenos inorgánicos de partículas pequeñas (0,1 a 2 μm) pero con una amplia distribución de tamaños, lo que permitió mayor carga de relleno (80 a 90% en peso y 65 a 77% en volumen). Como resultado, no sólo tenían superficies tersas, sino también a una mayor resistencia al desgaste y cierta disminución de la contracción de foto polimerización.¹

Es el material orgánico el que sufre contracción y cambios dimensionales, se sabe que entre mayor sea la cantidad de material de relleno que tenga una resina, menores serán los cambios dimensionales y la contracción.

Las partículas de micro relleno, al ofrecer mucha superficie por cubrir, nunca pueden estar en alta proporción en una resina (máximo 60%), por lo que la concentración y cambios dimensionales en éstas no son bajos. Las partículas híbridas y de macro relleno pueden componer hasta 80% de la resina, por lo que sus cambios dimensionales y su contracción serán bajos.²

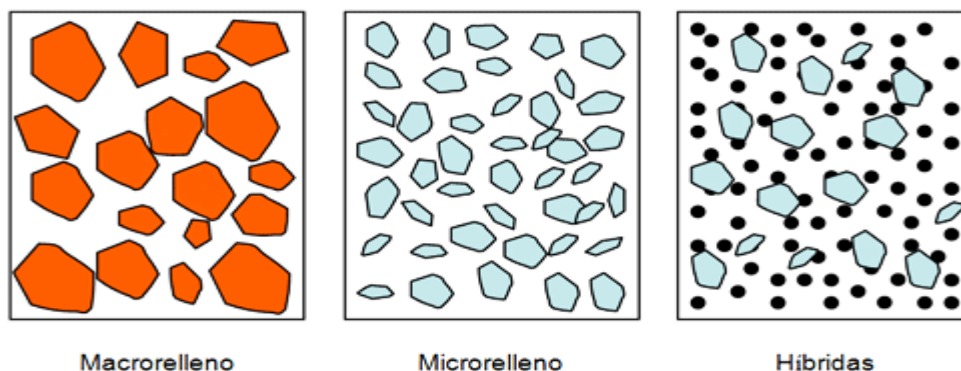


Figura 4. Clasificación de las resinas compuestas según el tamaño de sus partículas de relleno.

<https://www.actaodontologica.com/ediciones/2008/3/art-26/imagen6.gif>

2.1.2.4 Agente de conexión o silano

Al comienzo del desarrollo de las resinas compuestas, Bowen demostró que las propiedades del material dependían de la formación de una unión fuerte entre el relleno inorgánico y la matriz orgánica. La unión de estas dos fases se lleva a cabo recubriendo las partículas de relleno con un agente de conexión que tiene características tanto del relleno como de la matriz. El agente responsable de esta unión es una molécula que tiene grupos silanos (Si-OH) en un extremo y grupos metacrilatos (C=C) en el otro.³

El agente de conexión más utilizado es el gamma-metacril-oxipropil trimetoxi-silano (MPS). Como su nombre lo indica, contienen átomos de sílice los cuales logran una unión química con las partículas del relleno de las resinas al ser

hidrolizados a través de puentes de hidrógeno; a su vez, posee grupos metacrilatos, los cuales forman uniones covalentes con la matriz resinosa durante el proceso de polimerización, formando así, una adecuada interfaz resina-partícula de relleno.^{3, 4}

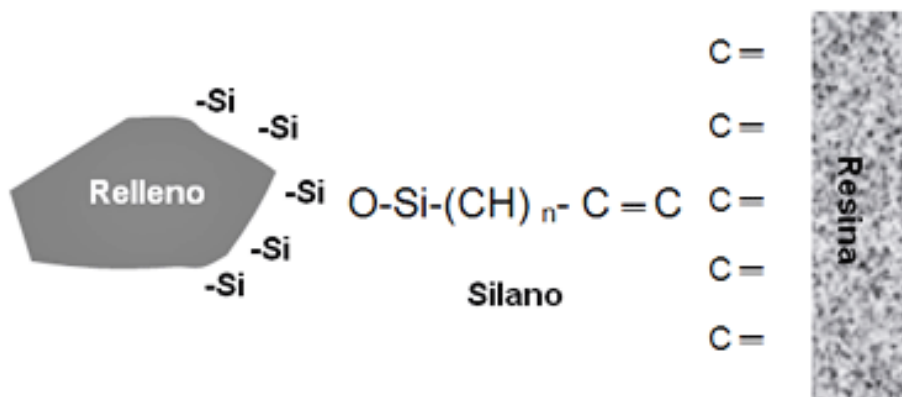


Figura 3. Componentes de resina compuesta (Rodríguez G, 2007)

2.1.3 Reacción química

Para lograr la polimerización tenemos dos opciones:

1. Utilizar un sistema de activación constituido por dos sustancias químicas, que al reaccionar producen radicales libres (peróxido y amina) capaces de iniciar el proceso.
2. Emplear sustancias capaces de generar esa misma situación frente a la acción de una radiación de luz (dicetona y amina).⁴

La molécula Bis-GMA en sus extremos acrílicos presenta dobles ligaduras (C=C), la ruptura de éstas por un iniciador da paso a la polimerización y al endurecimiento de la resina. El iniciador (en el caso de las resinas autopolimerizables) comúnmente es el peróxido de benzoilo, el cual es activado por una amina terciaria.

En resinas fotopolimerizables, contienen canforoquinonas o dicetonas que, al ser estimuladas por un haz de luz azul con un intervalo de 430 a 500 nanómetros de

longitud de onda, incidirán en los iniciadores, los activarán para romper estas dobles ligaduras y así, se lleve a cabo la polimerización y el endurecimiento.²

2.1.4 Respuesta Biológica

Se puede decir que, después de una correcta y total polimerización, es un material sin problemas de biocompatibilidad. Deficiencias en este proceso hacen que las moléculas orgánicas reactivas (aquellas que no polimerizaron) produzcan irritación dentro de los túbulos dentinarios. El daño puede ir desde sensibilidad dental, hasta la necrosis pulpar, es por esta razón que los mecanismos de polimerización desempeñan una función muy importante con base en la respuesta biológica.²

2.1.5 Clasificación

De acuerdo con la norma # 27 de la ADA:

- Clase A. Material recomendado por el fabricante para usarse en restauraciones que involucran caras oclusales.
- Clase B. Material recomendado para todos los demás usos.

A su vez, la NOM 27, las clasifica en:

- Tipo I: De reacción química o quimiopolimerizables (también llamadas autopolimerizables).
- Tipo II: De activación por energía externa de la luz azul o fotopolimerizables. Aquí se incluyen también las que se activan de las dos formas (autopolimerización y fotopolimerización) que reciben el nombre de *polimerización dual*.

2.1.6 Indicaciones de uso

Al saber el tamaño de las partículas de la resina, podemos seleccionar la zona donde colocarla, ya que resinas con partículas grandes o convencionales (1 a 50 micras) tienen buena resistencia ante cargas, pero la superficie que forman,

aunque es tersa al principio, con el uso se vuelve áspera, por lo que en dientes anteriores no son idóneas.^{1,2}

Las resinas con partículas pequeñas o de micro relleno (0.1 a 2 micras) logran una superficie más tersa, aunque su resistencia a cargas no es ideal para dientes posteriores.^{1,2}

Resinas con partículas pequeñas y grandes, o híbridas (0.1 a 20 micras), permiten obtener y mantener la superficie tersa por un tiempo aceptable, además de tener alta resistencia y baja abrasión, por lo que su uso tanto para dientes anteriores como posteriores está justificado.^{1,2}

Tabla 1. Clasificación de las resinas compuestas por el tamaño de las partículas de relleno e indicaciones de uso según Willems y col.

Tipo	Tamaño de partículas	Uso
Convencional o partículas grandes	Vidrio o sílice de 1 a 50 μm	Zonas sometidas a grandes cargas
Híbrida (macrorelleno)	*Vidrio de 1 a 20 μm *Sílice de 40 nm	Zonas sometidas a grandes cargas pero que requieran mejor pulido (clases I, II, III, IV)
Híbrida (microrelleno)	Vidrio de 0,1 a 2 μm	Áreas de estrés moderado que requieren un pulido óptimo (clases III, IV)
Nanohíbrida	*Sílice de 40 nm *Vidrio/micropartículas resina de 0,1 a 2 μm *Nanopartículas de ≤ 100 nm	Áreas de estrés moderado con capacidad de pulido óptima (Clases III, IV)
Híbrida compactable	Híbrida de microrelleno, pero con menor proporción de relleno	Zonas en las que se necesite condensabilidad (Clases I, II)

Tipo	Tamaño de partículas	Uso
Convencional o partículas grandes	Vidrio o sílice de 1 a 50 μm	Zonas sometidas a grandes cargas
Fluida	Híbrida de relleno medio con una distribución más fina del tamaño de las partículas	Áreas en las que es necesario mejorar la fluidez y/o donde el acceso es difícil (Clase II)
Homogéneas de microrelleno	40 nm de sílice	Zonas subgingivales con baja carga masticatoria que requieren un alto brillo y pulido
Heterogéneas de microrelleno	*40nm de sílice *Partículas de resina prepolimerizada que contienen 40 nm de sílice	Zonas subgingivales y de baja tensión en las que la reducción de la contracción es esencial
Nanorelleno	<100-nm de sílice o zirconio, nanopartículas o nano cúmulos homogéneos que son independientes	Zonas anteriores y posteriores que no tengan contacto oclusal

Tomada de Science of Dental Materials, 2013.

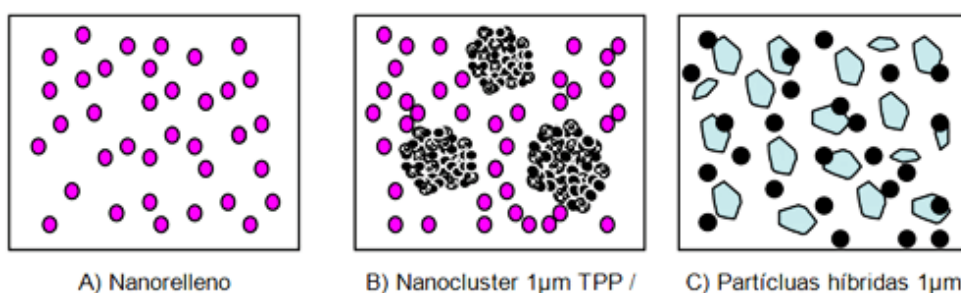


Figura 5. Tecnología de Nanorelleno

<https://www.actaodontologica.com/ediciones/2008/3/art-26/imagen6.gif>

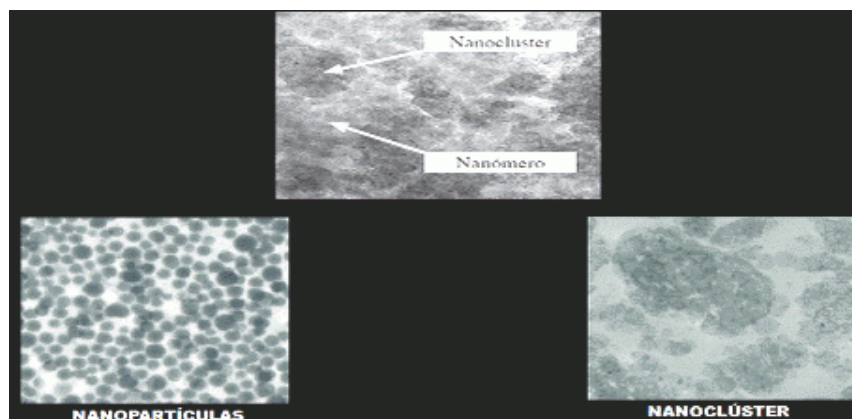


Figura 6. Disposición de las partículas en resinas de nanorelleno.

<https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.monografias.com%2Ftrabajos7>

2.2 Composites reforzados con fibra (FRC)

Los composites reforzados con fibra (FRC) son materiales de uso universal en aeronáutica y en aplicaciones espaciales, en la industria marina y automotriz, en la construcción, en aplicaciones médicas (por ejemplo, placas para la fijación de fracturas, implantes y prótesis, etc.)⁵

El refuerzo de fibra se ha introducido para aumentar tanto la resistencia a la flexión como el módulo de elasticidad en materiales poliméricos; el componente de refuerzo puede actuar como un concentrador de estrés debido a la interfaz fibra-resina que se forma entre los dos materiales.³

2.2.1 Antecedentes

En 1994, Goldberg llegó a la conclusión de que el policarbonato era el material ideal para ser utilizado como refuerzo en resinas compuestas; estudió sus propiedades de flexibilidad, estrés y estabilidad hidrolítica. Se dio cuenta de que el módulo de flexión y la resistencia mejoraron cuando se reforzó el policarbonato con un 42% del volumen con fibras de vidrio. La mayoría de los fracasos clínicos fueron el resultado de la separación de las retenciones de la superficie del diente.³

Posteriormente, Altieri et al. en 1994, evaluaron 14 prótesis parciales fijas de 3 unidades, utilizando dientes sin preparar y técnicas adhesivas. Al ser revisadas 9 años después, se mostró que, 3 restauraciones estaban todavía en buen estado. Los 11 fracasos estaban asociados a la separación en la región de la interfaz de la restauración dental, lo que indicó que los FRC tienen propiedades adhesivas adecuadas para su uso en prótesis. Esto se solucionó cambiando a una resina a base de bisfenol glicidil metacrilato (Bis GMA) como matriz para los FRC.³

En 1997, Samadzadeh et al. Concluyeron que la resistencia a la fractura en los FRC mejoraba con la adición de fibras de polietileno.³

En 2002, Freilich et al. Evaluaron 39 prótesis parciales fijas, que fueron polimerizados con luz y calor, realizados con una subestructura de FRC unidireccional pre impregnada. Este estudio muestra que un FRC unidireccional y pre impregnado puede utilizarse con éxito para diseñar prótesis fijas que duran 4 o más años.³

En 2003, Li et al. Estudiaron los tipos y ubicación de los fallos en prótesis parciales fijas de FRC con y sin dientes adyacentes. Los resultados muestran que la interfaz de adhesión es el lugar más débil de las prótesis fijas de composite, además, se sugiere que la resina compuesta reforzada con fibras, más la presencia de dientes adyacentes podrían aumentar significativamente la resistencia estructural y la rigidez de la prótesis, por lo tanto, mejorar su comportamiento clínico. Ese mismo año realizaron un estudio de elementos aleatorios sobre prótesis fija de FRC. El modelo adoptado se construyó a partir de imágenes de tomografía computarizada. El análisis mostró una concentración de estrés en la interfaz entre el pónico y el pilar, lo que conduce al fracaso.³

Monaco et al. en 2003 evaluaron el comportamiento de las prótesis parciales fijas con retenedores de incrustaciones (IFPD) con diseños de estructuras

convencionales y modificadas durante un período de 12 a 48 meses. Se confeccionaron 41 IFPD con refuerzo de fibra de vidrio para sustituir un diente maxilar o mandibular perdido. Las muestras se dividieron en dos grupos:

El grupo 1 (19 muestras) tenía fibras paralelas, mientras que el grupo 2 (22 muestras) tenía fibras paralelas y trenzadas. Todas las restauraciones se evaluaron por coincidencia de color, pigmentación marginal, caries secundaria, textura superficial, adaptación marginal, fractura y sensibilidad postoperatoria. El grupo 1 mostró una tasa de fracaso por fractura del 16%; el grupo 2 mostró una tasa de fracaso del 5%. Sin embargo, la diferencia entre los dos grupos fue estadísticamente insignificante.³

Bell et al. En 2004 estudiaron las propiedades de adhesión de dos tipos de postes de FRC cementados en molares con tratamiento de conductos previo. Postes de Titanio dentados sirvieron de referencia. Se compararon postes prefabricados de carbono/grafito con matriz de polímero reticulado y endopostes de fibra vidrio FRC formados individualmente. A diferencia de los otros postes, no se produjeron fallos de adhesión (post cementación) con los postes de vidrio FRC formados individualmente, lo que sugiere una adhesión mejorada en dichos endopostes.³

En 2005, Visser y Rensburg realizaron un estudio en Sudáfrica para revisar los FRC como alternativa a la sustitución de dientes. No era necesario preparar los dientes adyacentes, por lo que las ventajas fueron gigantes, ya que se conservó al máximo el esmalte, que es la superficie en la cavidad oral que mejor adhesión tiene; además, al ser una técnica reversible, permite evaluar posteriormente otras opciones de restauración.³

Shinya et al. en 2008 estudiaron la distribución del estrés en las prótesis fijas y en la interfaz diente/estructura. El diseño de dichas prótesis consistió en retenedores en el central y canino superior y el incisivo lateral superior, como pónico; se compararon dos materiales diferentes: La aleación isotrópica Au-Pd y el FRC unidireccional de vidrio E, se analizó un modelo tridimensional de 3

unidades con una carga de 154N para determinar la distribución del esfuerzo (o stress) en la prótesis y la interfaz adhesiva. Se observó que la prótesis fija reforzada con fibras proporcionó una distribución del stress más uniforme desde el punto de contacto hasta la interfaz del cemento, comparado con la prótesis de aleación oro-paladio.³

Matheus et al. en 2010 utilizaron la tomografía de coherencia óptica (OCT) en comparación con la microscopía electrónica de barrido y la microscopía óptica para evaluar cualitativamente la propagación de fisuras y la fractura final en restauraciones de resinas con refuerzo de fibra después de la carga cíclica; los defectos se analizaron mediante los tres métodos descritos. La OCT permitió una buena descripción de la propagación interna de fisuras. Los resultados indicaron que la deformación se produjo en la resina y la fibra en la dirección de la fuerza aplicada.³

Fue en 2013 que se introdujo un composite reforzado con fibras cortas, sFRC (Short Fiber Reinforced) por sus siglas en inglés, (EverX Posterior; GC, Tokio, Japón) como un FRC de restauración dental destinado a ser utilizado en zonas de alto estrés en dientes vitales y no vitales, sobre todo, en molares.⁵

La fibra de vidrio E (La "E" representa la palabra eléctrica) es un avance reciente en los FRC, está hecha de vidrio de aluminio borosilicato con <1% en peso de óxidos alcalinos. Zhang y Matinlinna en 2011 demostraron que las fibras E son capaces de mantener las propiedades de resistencia en una amplia gama de condiciones, son poco solubles a la humedad y resistentes a los productos químicos.^{3,6}

Pekka, menciona en 2015 que, las fibras de vidrio no causan problemas relacionados con la apariencia de la restauración. De todos los diferentes tipos de fibras (carbón/grafito, aramida, polietileno), son las fibras de vidrio las que han sido adoptadas para su uso en odontología y medicina.

Otra de las razones por las cuales la mayoría de los FRC se fabrican con fibras de vidrio, es debido a la química de su superficie, que permite su unión a la matriz de resina mediante agentes de acoplamiento de silano, y a la transparencia de sus fibras. En la actualidad, los vidrios más comunes utilizados son aquellos de fibras E y S.⁷

2.2.2 Composición

Contienen dos fases, una de las cuales se caracteriza por su elevada relación entre la longitud y el diámetro (l/d) de la fibra.

Entre los parámetros (adhesión de la Interfaz, elongación de las fibras, fracción de volumen de las fibras) que contribuyen a la eficacia de las fibras, la longitud y la orientación de las fibras son importantes para las características isotrópicas y anisotrópicas del material.⁷

Tiene tres componentes diferentes, los cuales Scribante⁸ y cols. describen:

1. La matriz (fase continua)
2. Las fibras (fase dispersa)
3. Zona intermedia (interfaz)

Los composites reforzados con fibra son un material formado por una matriz polimérica reforzada con fibras finas, que tienen una alta resistencia a la tracción y un alto módulo de flexión. El desarrollo de esta tecnología permitió el uso de las resinas compuestas en preparaciones extensas.

Desde el punto de vista microscópico, las fibras de refuerzo evitan la propagación de fracturas al unirse químicamente a la matriz polimérica de la resina mediante enlaces covalentes. Estudios han mostrado que algunos FRC comerciales tienen módulos de flexión y resistencia siete veces superiores a los de las resinas compuestas de micro y macro relleno, aumentan la tenacidad a la fractura y al impacto, además, se pueden empacar significativamente mejor que la amalgama, eliminan los vacíos en la caja proximal de clase II y se desgastan menos que el esmalte.^{6,9}

2.2.2.1 La matriz polimérica

Se tienen dos tipos de matriz:

- Con red polimérica semi interpenetrante (semi-IPN).
- Con estructura de red polimérica interpenetrante (IPN).

Una estructura IPN es una combinación de dos o más polímeros en forma de red que se sintetizan en yuxtaposición. Las INP se componen de fases finamente divididas con un grosor de aproximadamente 5-10 nm.

La matriz plástica polimérica, está formada por monómeros polimerizados, tiene la función de mantener unidas las fibras a la estructura de la resina compuesta. También distribuye las fuerzas internas (o stress) entre las fibras y las protege del entorno exterior (como los productos químicos, la humedad y los impactos mecánicos), por lo tanto, la matriz puede influir en la interacción entre la matriz y la fibra, la resistencia a la compresión, el cizallamiento interlaminar y las propiedades de cizallamiento en placa y los defectos en el material compuesto.^{6,10,12}

En los FRC se utilizan dos tipos de resinas, las reticuladas y las lineales:

1. El polímero reticulado también se denomina polímero termoestable, es decir, resinas de dimetacrilato o multifuncionales (Bis-GMA dimetacrilato de trietilenglicol y polimetilmetacrilato).^{10,11}
2. El polímero lineal también se denomina polímero termoplástico, es decir, polímeros de metacrilato o monofuncionales.^{10,11}

La matriz de red polimérica semi interpenetrante (semi-IPN) proporciona mejores propiedades de adhesión para las reparaciones y mejora la resistencia.¹¹

En el caso de los FRC con una estructura de red polimérica interpenetrante (IPN), la matriz está formada por un polímero reticulado, un polímero lineal y un fotoiniciador.¹⁰

Las reacciones de fijación en la matriz de la resina son reacciones de polimerización y reacciones cross-linked, que se refiere a la formación de un reticulado en el que las cadenas poliméricas se unen entre sí (ya sea a través de una conexión directa o de un átomo, ion, molécula o cadena intermedios), esto genera un sistema tridimensional fuertemente reticulado. Las reacciones de polimerización típicas son la adición (incluida la polimerización por adición de radicales libres) y las polimerizaciones por condensación.¹⁰

2.2.2.2 Las fibras

Pueden describirse como un material uniforme y alargado con un diámetro o grosor uniforme inferior a 250 μm , con una relación de aspecto (relación de ratio), es decir, una relación entre la longitud y el diámetro o grosor de la superficie transversal, la cual suele ser superior a 100 μm . Sin embargo, en algunos casos, como las fibras cortas, los filamentos o las fibras discontinuas, la relación de aspecto de las fibras puede ser inferior a 100.

La orientación, el contenido, la distribución de las fibras y la capacidad de mantener estos parámetros son importantes para el efecto de refuerzo y, por lo tanto, para el éxito clínico.⁶

El tipo de fibra, la longitud, la orientación y la fracción de volumen influyen en las siguientes propiedades del FRC:

-  Módulo y resistencia a la tracción
-  Módulo y resistencia a la compresión
-  Resistencia a la fatiga y mecanismo de fracaso por fatiga
-  Densidad
-  Conductividad eléctrica y térmica
-  Costo

Algunas fibras típicas utilizadas son las de vidrio, PE (polietileno), poliéster, carbono/grafito (C/G), aramida, cuarzo y cerámica.⁶

El efecto de refuerzo de los FRC se basa en la transferencia del stress (o esfuerzos) de la matriz polimérica a las fibras, es decir, cuando se aplica fuerza a la resina compuesta ya que esta carga se transfiere a las fibras y así, el material se vuelve fuerte y resistente.^{6,11} **Por eso se deben compactar las fibras al ser colocadas en la cavidad**, ya que la compactación provee los medios para un proceso de consolidación donde la red de fibras también comprime la matriz resinosa, el monómero y las partículas, de manera que el lecho de fibras finalmente lleva la mayor parte de la carga y el FRC no fotopolimerizado, se compacte para un mayor porcentaje de volumen de fibras (V_f), un menor porcentaje de volumen de la matriz (V_m) y un espesor mínimo.⁹

Las hebras de vidrios con base de sílice (SiO_2) u otras formulaciones se extraen en muchas fibras con diámetros pequeños adecuadas, por ejemplo, para la fabricación de textiles y se fabrican como racimos o mechones de fibras de lana formados naturalmente.

Las fibras de vidrio aplicadas comúnmente para los FRC son la fibra de vidrio E y la fibra de vidrio S. En el caso de la fibra de vidrio E, su peso está compuesto por un 54,5% de SiO_2 , 14,5% de Al_2O_3 , 17% de CaO , 4,5% de peso de MgO , 8,5% de B_2O_3 y 0,5% de Na_2O . Las que se encuentran disponibles en el mercado se presentan en forma de hebras, hebras cortadas, trenzadas o velos. En las hebras, las fibras pueden formar manojos compuestos por 200 o más filamentos que son individuales y paralelos.

Un sistema actual de refuerzo de fibras se basa en la preimpregnación utiliza polímeros lineales altamente porosos para impregnar las fibras.

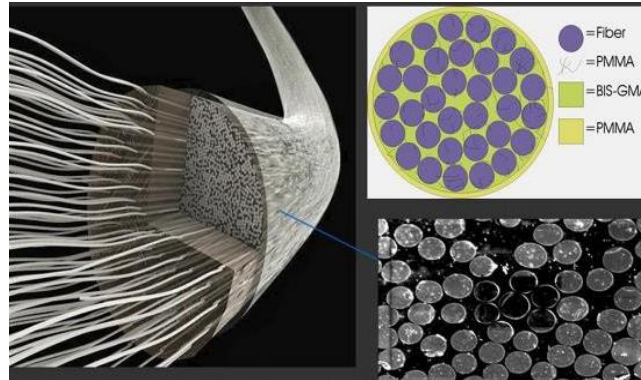


Figura 7. Esquema de una estructura del compuesto de fibra de vidrio reforzado. Imagen SEM de las fibras de vidrio (Khan et al. 2015).

2.2.2.3 Interfaz

Como ya se mencionó, los silanos son compuestos químicos híbridos inorgánicos-orgánicos en los que un carbono está unido directamente al silicio, por ejemplo, $\equiv\text{Si}-\text{C}\equiv$. Son compuestos ésteres de silicio y se utilizan como agentes de acoplamiento en el tratamiento de silanización.

En las interfaces adhesivas, los polímeros y compuestos de IPN proporcionan una buena adhesión en la interface a los compuestos de resina, basada en la unión secundaria de IPN debida al ensanchamiento de la nanoestructura de IPN. Varias interfaces adhesivas entre biomateriales naturales-sintéticos y resinas adhesivas mediante primers o agentes de acoplamiento también pueden considerarse IPN.

2.2.3 Clasificación

Según el largo de sus fibras tienen diferentes propiedades mecánicas, aunque la fracción del volumen de las fibras sea la misma. Estas fibras están diseñadas para tener la mayor eficacia de refuerzo posible frente a la dirección de una fuerza, por lo que suelen representar un material isotrópico en cuanto a propiedades mecánicas. Sin embargo, las propiedades ópticas, las propiedades físicas de la superficie, las propiedades térmicas y las propiedades de

contracción de la polimerización, están relacionadas con la orientación de las fibras en el FRC.⁷

Los FRC pueden clasificarse en tres tipos principales según la longitud de las fibras:

- Compuestos por fibra larga se denominan refuerzo de fibra continua que, a su vez, pueden dividirse según la manera en que se colocaron en la matriz, de forma unidireccional o bidireccional.
- Conformados por fibra corta se llaman refuerzo de fibra discontinua, que pueden estar alineados u orientados al azar.
- Compuestos híbridos son aquellos en los que dos o más tipos de fibras se colocan en la matriz.¹²

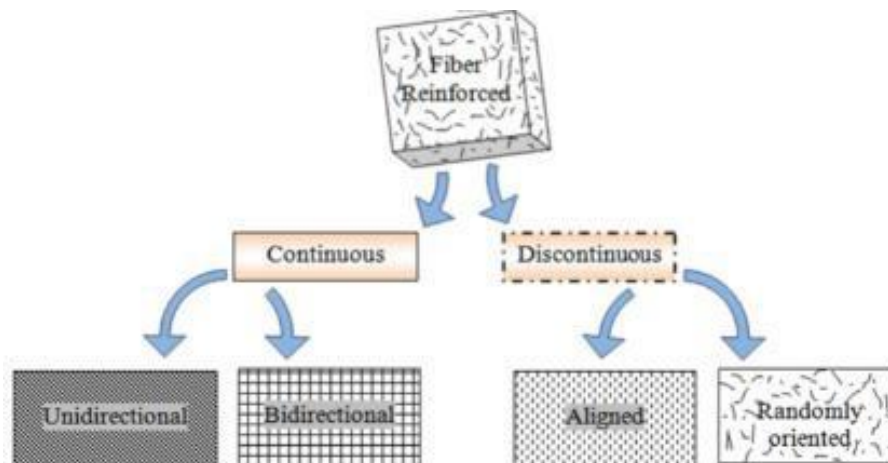


Fig. 8 Composición de los composites reforzados con fibra (Dipen y cols, 2019).

2.2.4 Usos del refuerzo con fibras en odontología

2.2.4.1 Dentaduras removibles

Las primeras aplicaciones clínicas del uso de fibras de refuerzo se realizaron con prótesis removibles, porque son propensas a las fracturas de la base de la dentadura debido a la fatiga. Este problema se ha agravado con el aumento del uso de sobre dentaduras implanto soportadas.¹³

Se seleccionaron las fibras de vidrio como las más adecuadas debido a su translucidez y a la posibilidad de lograr una unión química entre la fibra y la matriz de polímero con agentes de acoplamiento de silano.

Los refuerzos de fibra en las bases de prótesis se dividen en dos categorías:

- Ladizesky y sus colaboradores informaron de un método en el que las fibras se distribuían por toda la base de la dentadura, este método se denomina refuerzo total de fibras (TFR).
- El enfoque de Vallittu se basa en el concepto de que sólo la parte más débil de la base de la dentadura (lugar de inicio de la fractura) se coloca un refuerzo de fibra alineado y posicionado con precisión. Esto se llama refuerzo parcial de fibra (PFR). Se han realizado estudios clínicos con dentaduras removibles reforzadas con FRC, lo que sugiere que la PFR ofrece un método eficaz y técnicamente fácil para eliminar las fracturas de la base de la dentadura.



Fig. 9. Base de registro superior reforzada con 10 capas tratadas con plasma y fibra de polietileno trenzada. (Ladizesky et al 1994).

2.2.4.2 Prótesis fijas

Hoy en día se sabe que los FRC se pueden utilizar para la fabricación de prótesis dentales fijas definitivas (FDP). Los FDP hechos de FRC se clasifican como retenidas en la superficie, retenidos con incrustaciones (ya sean onlay o inlay), de coronas totales e híbridos.¹³

Las prótesis parciales fijadas con FRC pueden fabricarse de forma directa o indirecta. La estructura entre los pilares está hecha de fibras continuas unidireccionales. Varios estudios clínicos y de laboratorio destacan el efecto de la dirección correcta de las fibras, la cantidad de fibras y la adhesión de interfaz de las carillas de resina a la estructura de FRC en la resistencia de la construcción del FDP.

Se pueden realizar directa o indirectamente; la estructura entre los pilares está hecha de fibras unidireccionales continuas. Varios estudios clínicos enfatizan el efecto de la dirección correcta de la fibra, la cantidad de fibra y la adhesión fibra-resina ya que influyen directamente sobre la resistencia de la fabricación de estas prótesis.¹³

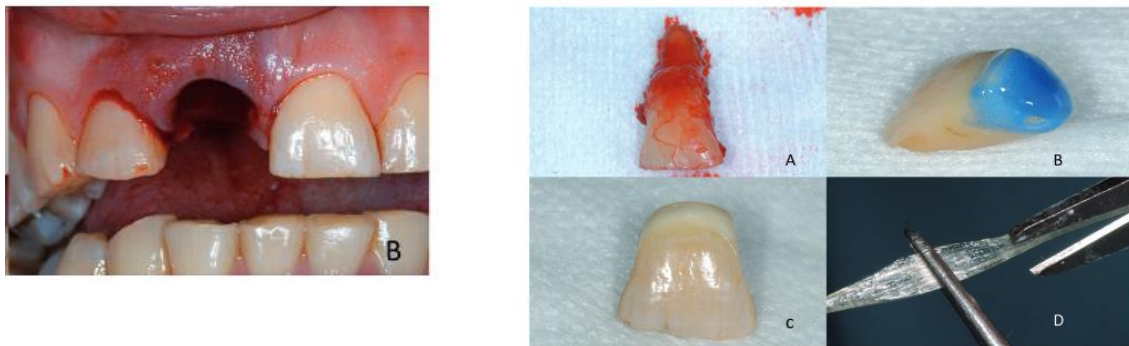


Fig. 10 y 11. Uso de diente natural como pónico en una prótesis fija de composite con refuerzo de fibra. (Pekka V. 2015).



Fig. 12. Pónico de diente natural ya adherido a las estructuras, cuatro semanas después. (Pekka V. 2015).

2.2.4.3 Postes intrradiculares

La era actual de coronas no metálicas (de cerámica de vidrio y de resina) no tienen férulas metálicas y, por lo tanto, la eliminación de la fractura de la raíz

debe realizarse de forma intrarradicular. El llamado módulo de compensación es un método para reducir la magnitud del estrés y fracturas radiculares en la dentina radicular. El módulo de compensación se logra mediante la selección del material del poste y el diseño de éste, que coinciden con el módulo de elasticidad de la raíz. **Los FRC de vidrio cumplen el requisito de isoelasticidad de la dentina.**⁷

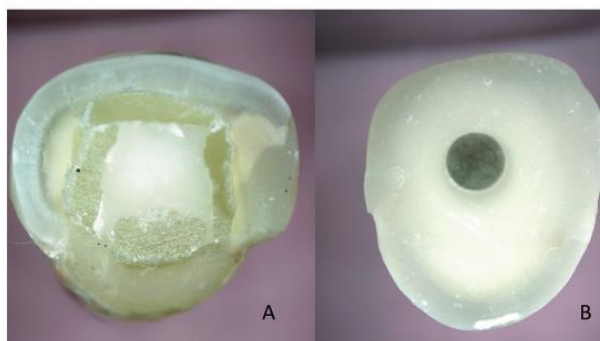


Fig. 14. Cortes transversales de dientes con poste de FRC formado individualmente (A) y poste FRC prefabricado (B). En el sistema de postes FRC formado individualmente, las fibras brindan un mejor soporte para la corona que el poste prefabricado. (Pekka V. 2015)

2.2.4.4 Retenedor Ortodóncico

El uso de retenedores es una fase importante del tratamiento de ortodoncia, sobre todo porque sin ellos existe una tendencia de recidiva de los dientes.

Los retenedores fijos son los sistemas de retención más comunes ya que tienen una mejor estética. En los últimos 10 años, los retenedores de alambre fueron el tipo de retención más popular, pero se han introducido retenedores con FRC de vidrio, unidos con resina como alternativa estética.

Los FRC continuos unidireccionales que se utilizan en odontología tienen un módulo de flexión de hasta 17 GPa.

Se ha demostrado que, al aumentar el número de ciclos de cepillado, la abrasión de las resinas compuestas aumenta de forma lineal. No hay estudios de RFC que evalúen esto, sin embargo, Sfrondini y cols, en 2020 demostraron que después del cepillado de dientes no hay diferencias mecánicas para los retenedores metálicos, mientras que todos los FRC en este estudio, obtuvieron una reducción de los valores de carga máxima.¹⁴

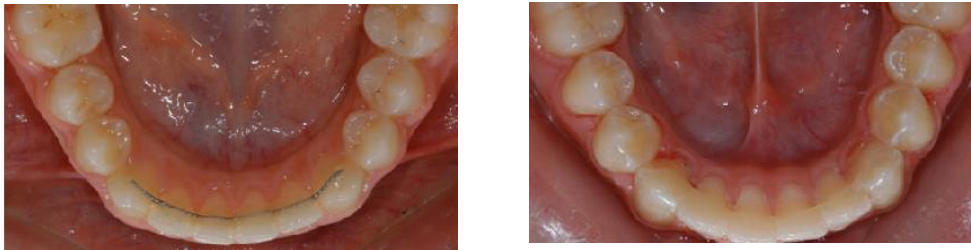


Fig. 17 Retenedor con alambre trenzado (izquierda) y retenedor con refuerzo de fibra de vidrio. La estética es inminente. (Scribante y cols. 2011).

2.2.4.5 Refuerzo en resinas compuestas

Como lo menciona Vallitu en 2015, el uso de rellenos de alta relación de aspecto (ratio) en resinas compuestas puede cambiar significativamente las propiedades físicas de la resina en comparación con el uso de rellenos de partículas que proporcionan propiedades isotrópicas para el material.¹¹

Una de las principales razones de la fragilidad de los dientes es la preparación excesiva, lo que provoca fracturas parciales o completas de las cúspides de los dientes posteriores (incluso fracturas de la raíz). Las restauraciones que se encuentran en áreas sometidas a gran estrés masticatorio necesitan de un material con alta resistencia flexural, elevado módulo elástico, baja deformación y resistencia a la fatiga.⁵

Para poder construir una restauración de resina compuesta “perfecta”, hay que conocer los factores de riesgo potenciales y los tipos de fracaso característicos. Se han identificado dos causas principales de fracaso de las restauraciones posteriores: la fractura en bloque y la caries secundaria.

Un estudio de Brunthaler et al. demostró que el fracaso temprano de las restauraciones de resinas, son las fracturas, mientras que la caries es más probable que sea el origen del fracaso a largo plazo. Plotino et al, explican que esto se debe a que la contracción de la polimerización es un problema grave para las grandes restauraciones directas, lo que da lugar a la separación diente-

resina, tensiones cuspidas por el constante estrés al que se ven sometidas, microfiltraciones y caries recurrentes, o incluso a fisuras de esmalte.^{5,11}

Rosa et al., Pallesen y Qvist también demostraron en sus estudios a largo plazo (con más de 10 años de seguimiento) que el fracaso era más frecuente encontrar fracturas, que caries. Este hallazgo sugiere que la fractura en bloque es un riesgo considerable para las restauraciones posteriores, independientemente de la vida útil o la edad de estas restauraciones.¹¹

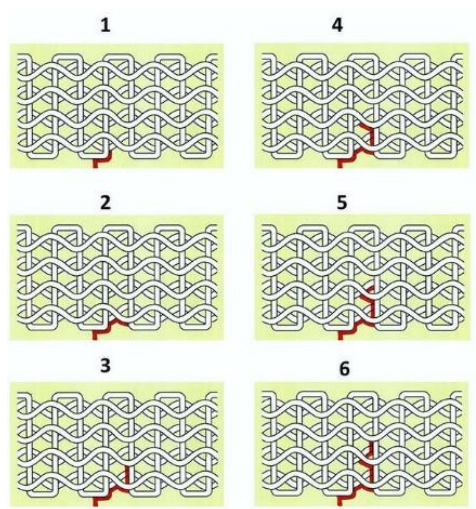


Fig. 14 Propagación de una fisura en un FRC.

https://scontent.fmex7-1.fna.fbcdn.net/v/t4435-9/s960x960/119498090_3496955203677052_7305060350746927548_n.jpg?_nc_cat=10&ccb=1-5&_nc_sid=a26aad&_nc_eui2=AeEeW7ueqj0G8--yExiz-i6yquNhbSJtFkqq42Ftlm0WSjcgKfgQodLTJH3aTtYQgX8Glg3ScNrQ743qn5zmWRob&_nc_ohc=bogg4yGFy1oAX8ybatl&_nc_ht=scontent.fmex7-1.fna&oh=7a8eddaf872fea6710760c886d419514&oe=61B3FE5A

Como se puede observar en la figura 14, durante la función (masticación) en caso de una fractura vertical dentro de la restauración, la capa de FRC tiene la capacidad de ralentizar o detener la propagación de la fractura a través de los tejidos subyacentes, evitando así las fracturas irreversibles; lo sabemos gracias estudio que realizaron Rocca y cols. en 2013.

Se sabe que las fibras individuales actúan como bloqueadores de fisuras y que esto sólo es posible si las fibras tienen una longitud igual o superior a la longitud

crítica de la fibra. Por ejemplo, las longitudes críticas de las fibras de vidrio E con matriz de polímero Bis-GMA varían entre 0,5 y 1,6 mm. Por otro lado, en restauraciones de resina, no hay nada que impida que la fractura se propague por todo el material.¹¹

La contracción de la polimerización es una de las deficiencias relacionadas con las resinas compuestas, que contribuye a la longevidad de las restauraciones. Otro de las ventajas de las fibras de refuerzo es que no sólo mejoran las propiedades mecánicas de las resinas, sino que también pueden controlar la contracción de la fotopolimerización, la cual se ha medido mediante sensores convencionales de tensión y sensores ópticos de rejilla de Bragg. Ambos muestran cómo la contracción por polimerización depende de la orientación de las fibras de refuerzo. La expansión higroscópica de los compuestos de resina también depende de la orientación de las fibras.⁷

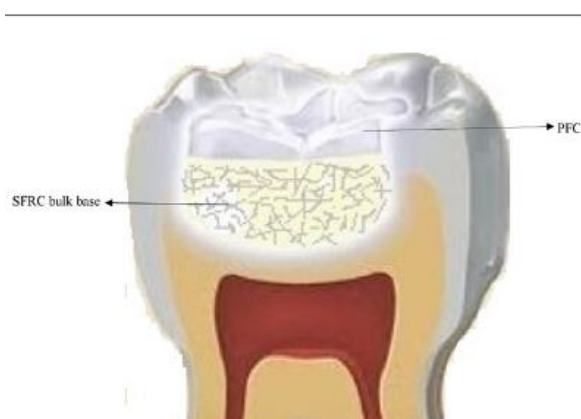


Fig. 15 Esquema de una restauración de resina que cuenta con una base de refuerzo de fibras.
(Garoushi et Al. 2018)

Tsujimoto et al., afirman que sFRC tienen una contracción volumétrica significativamente menor (1,15%) que las otras resinas convencionales y resinas bulk fill (rango: 1,3- 2,4%). Confirmando los estudios mencionados anteriormente, Bocalon et al. llegaron a la conclusión de que la sustitución de partículas de relleno por fibra de vidrio en las resinas compuestas reduce significativamente la contracción en un rango de 30- 72%.¹¹

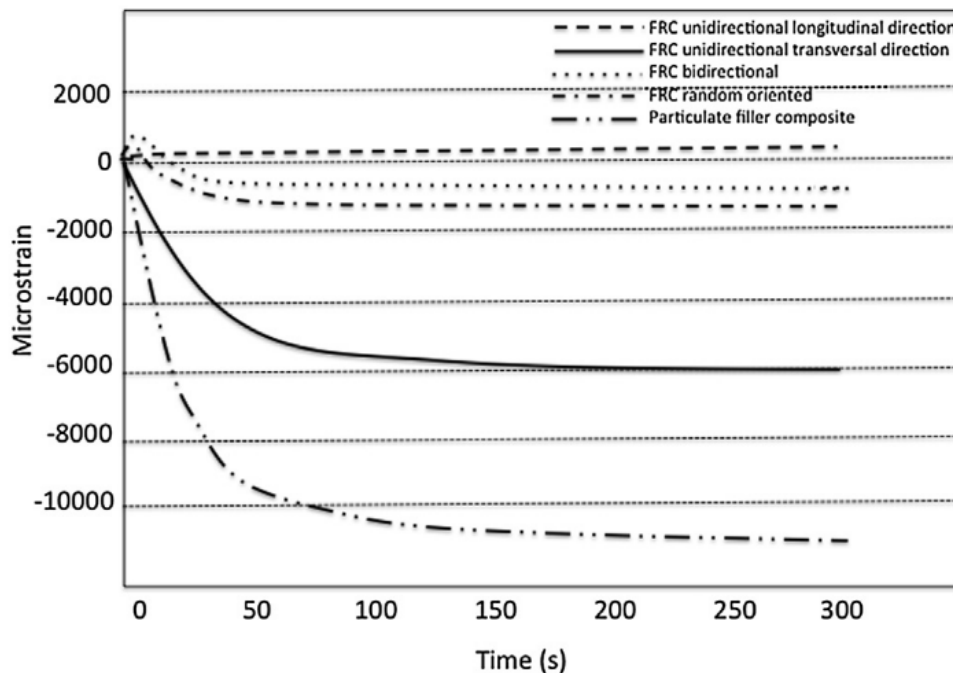
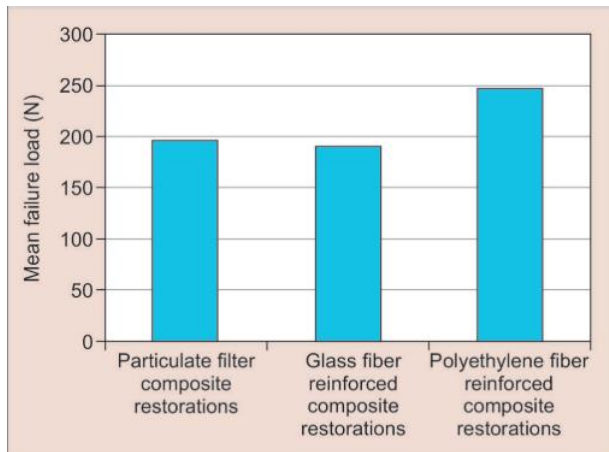


Fig.16 Contracción de polimerización lineal anisotrópica y deformación en relación con el eje largo de la fibra en los materiales con refuerzo de fibras (FRC) con distintas orientaciones y direcciones. El material de control es una resina compuesta con relleno de partículas isotrópico. (Pekka 2015).

Las fracturas coroneales no complicada en dientes anteriores son una forma muy común de lesiones traumáticas en niños y adolescentes. Recolocar el segmento fracturado se propone como una alternativa para fracturas de dientes anteriores, pero, la adhesión es el principal inconveniente. Se ha intentado mejorar la capacidad de carga de la restauración con diferentes sistemas de adhesión y resinas compuestas, aun así, estas técnicas tienen una resistencia a la fractura del 50 al 60% si se comparan con los incisivos intactos.

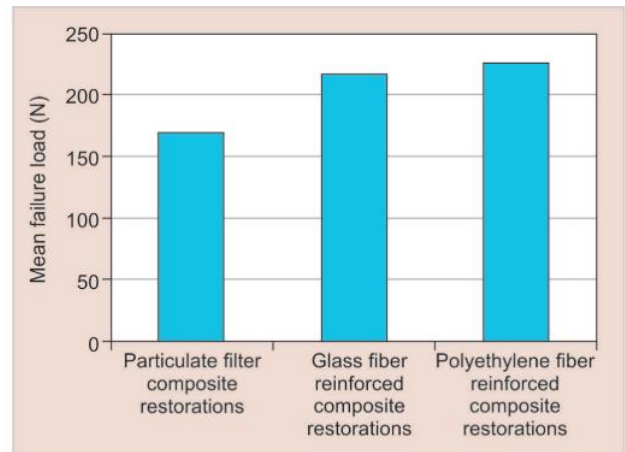
Las fibras de vidrio y de polietileno aumentan la resistencia al impacto, el módulo de elasticidad y la resistencia a la flexión de las resinas compuestas. Solían utilizarse fibras de carbono y Kevlar, pero se demostró que las fibras de polietileno y vidrio son casi invisibles en la matriz resinosa y, por estas razones, dichas fibras son el refuerzo más apropiados y estéticos de los materiales compuestos en las restauraciones anteriores.¹⁶

Por lo tanto, Patnana y cols. en 2018, evaluó la capacidad de carga de los bordes incisales y ángulos mesio incisales fracturados restaurados con resinas convencionales de relleno de partículas, refuerzo con fibra de vidrio y refuerzo con fibra de polietileno.¹⁵



Gráfica 1. Los valores más altos de resistencia en restauraciones incisales son:

- 1° FRC de polietileno
- 2° Restauraciones con resinas compuestas
- 3° FRC de fibra de vidrio



Gráfica 2. En restauraciones mesio incisales, los valores más altos de resistencia a la fractura fueron:

- 1° FRC de polietileno
- 2° FRC de fibra de vidrio
- 3° Resinas compuestas

Según Ellakwa et al, el máximo efecto de refuerzo de la adición de fibras se obtiene mediante la colocación de fibras en el lado de la tracción. Sin embargo, se señaló que la colocación de las fibras en palatino puede dar lugar a la exposición de las fibras al medio oral y puede ser un factor de retención de la placa que, a su vez, conduzca al fracaso de la restauración.¹⁶

Informes de casos de éxito muestran que el refuerzo de las resinas se lleva a cabo mediante una extensión de fibra de 2 mm en la restauración, por lo que así se realizó en este estudio.

En el estudio realizado por Garoushi y cols, los resultados mostraron que ellos FRC tenían una resistencia a la fractura (2,4 MPa m^{1/2}) y un límite de fatiga estadísticamente más altos que las resinas convencionales (rango: 0,9- 1,1 MPa

$m^{1/2}$). Existe una fuerte correlación entre la resistencia a la fractura y a la fatiga, los FRC son capaz de soportar tanto la carga estática de compresión como la de fatiga.¹¹

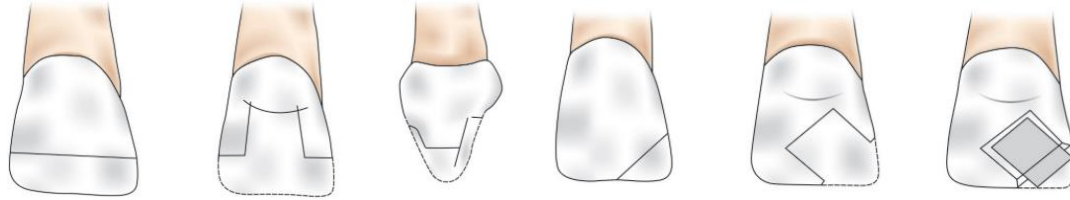


Fig. 17 Procedimiento restaurador en el grupo de fractura incisal (izquierdo). Procedimiento de restauración en el grupo de fractura mesioincisal (derecho) en el cual se observa la extensión de fibra de 2 mm.

En otro estudio, Garoushi et al. afirmaron que la presencia de fibras de vidrio, (aún si son cortas y discontinuas) en la resina compuesta, se aumenta la resistencia a micro fisuras, a la vez que disminuye significativamente la tensión de contracción y la microfiltración en comparación con las restauraciones realizadas con resinas.¹¹

2.2.5 Propiedades

- ✚ Alta relación peso-resistencia y peso-módulo
- ✚ Isotrópicas
- ✚ Ortotrópicas
- ✚ Anisotrópicas
- ✚ Alta resistencia a la fatiga y tolerancia a los daños por fatiga
- ✚ Resistencia a la tracción
- ✚ Resistencia al impacto
- ✚ Hidrofílicos (en el caso de las fibras de vidrio)

Estudios indican que la resistencia a la flexión y el módulo de elasticidad no se reducen por el efecto hidrolítico del agua, incluso en el almacenamiento a largo plazo (de hasta 10 años) en agua, esto demuestra la estabilidad hidrolítica de las fibras de vidrio de buena calidad y su adhesión mediada por un agente de

acoplamiento de silano con la matriz de polímero.¹³

2.3 Fibra de vidrio Interlig®

La casa comercial, Angelus menciona lo siguiente:

“Interlig® es un composite reforzado con fibras de vidrio, para uso en consultorio, con una amplia gama de aplicaciones: para la ferulización o inmovilización periodontal u ortodóntica temporal, para tratamiento de emergencia de dientes perdidos por periodontitis, ferulización prequirúrgica, para estructura de refuerzo de prótesis fija mediana o inmediata, para mantenedores de espacios en la dentición temporal o permanente, para refuerzo de estructuras acrílicas (provisionales, prótesis totales), para refuerzo de amplias restauraciones de resina compuesta.

Las fibras de vidrio de Interlig® son entrelazadas, lo que facilita el modo de uso por el odontólogo; sus propiedades de pliegue son mejores que las fibras de polietileno.”¹⁶



Fig. 18. Composite reforzado con resina, Interlig®, de la casa comercial Angelus.
<https://angelus.ind.br/assets/uploads/2020/09/Perfil-Tecnico-Cientifico-Interlig.pdf>

La preimpregnación significa que las fibras se han impregnado con la matriz resinosa antes de realizar otros pasos en la fabricación de la restauración final.⁶

“El corte de Interlig® puede ser efectuado con cualquier instrumento de corte, no necesitando aparatos especiales.

Las fibras de vidrio ya son impregnadas con resina compuesta fotopolimerizable, motivo por el cual, no necesitan cualquier otro tipo de adhesivo o de resina para impregnarlas. La preimpregnación facilita su manejo y mejora la unión entre las fibras de vidrio y la resina compuesta.

Las fibras son pre-impregnadas en una matriz resinosa sin carga, a través de un proceso de inmersión con tiempo y temperaturas controlados, a fin de garantizar la completa absorción y, por consiguiente, garantizando el mejor desempeño mecánico del producto.”¹⁶

Pekka en 2018 menciona que “*Un FRC de vidrio de alta calidad con una cantidad de fibras de vidrio unidireccionales continuas (con un 65% en volumen) en una matriz bien polimerizada de polímero termoestable de dimetacrilato proporciona una alta resistencia a la flexión de hasta **1250 MPa***”.¹³

2.3.1 Composición

- Fibras de vidrio ($60 \pm 5\%$ en peso).
- Resina compuesta de impregnación ($40 \pm 5\%$ en peso): Bis-GMA, diuretano, cerámica de vidrio de bario, dióxido de silicio, catalizadores.

Coloración	Translúcida
Malla de fibras	Trenzada
Longitud	8,5 cm
Ancho	2,0 mm
Espesor	0,25 mm
Contenido de fibra en peso	60%
Contenido de resina compuesta en peso	40%
Resistencia a la flexión	131 (± 15) MPa (ISO 10477)
Plazo de Validez	2 años
Tiempo de polimerización	20 segundos (por segmento)

Fig. 19. Ficha técnica Interlig®

2.3.2 Características

- Estética: la translucidez de las fibras y matriz resinosa de Interlig® permiten trabajos con alta resolución estética.

- Resistencia: la composición estructural de las fibras de Interlig® y su preparación para uso odontológico garantizan su alta resistencia a la fractura, garantizando su indicación para las más diversas situaciones clínicas.
- Versatilidad de uso: el ancho de Interlig® puede ser adaptado para uso en las más diversas actividades clínicas.
- Óptima adhesión a la resina compuesta: el tratamiento previo de las fibras de Interlig® permite una perfecta adhesión a las resinas de uso en consultorio.
- Practicidad de uso: no necesita instrumentos especiales para corte y ya vienen impregnadas en resina.
- Técnica reversible y poco invasiva: debido a su adhesión a los sistemas adhesivos y resinosos, los trabajos realizados con Interlig® no requieren invasión de la estructura dental.
- Ahorro de tiempo: los trabajos con Interlig® pueden ser realizados directamente en la boca, permitiendo su confección en sesión única.
- Bajo costo: comparada a las técnicas tradicionales, la utilización de Interlig® permite la realización de trabajos más estéticos, duraderos y con mejor costo/beneficio.
- Embalaje en sobres: Interlig® viene acondicionada en sobres especiales proporcionando fácil manipulación y protección de las fibras a la acción de la luz y el calor.

2.3.3 Indicaciones

- Ferulizaciones: periodontal, ortodóncica y de dientes avulsionados o extraídos.
- Refuerzo de restauraciones provisionales y prótesis directas e indirectas (con dientes naturales o artificiales):
 - ✓ Directas (consultorio): diente extraído/avulsionado o de tablilla.
 - ✓ Indirectas (laboratorio): diente de tablilla.
 - ✓ Refuerzo y reparación de prótesis de resina acrílica.
- Refuerzo de restauraciones extensas de resina compuesta:
 - ✓ Para dientes anteriores
 - ✓ Para dientes posteriores

2.3.4 Presentación

REF	NOME DEL PRODUCTO	PRESENTACIÓN
483	Interlig®	Embalaje con 3 tiras (8,5 cm cada)

Fig. 20 presentación de la fibra de vidrio Interlig®

2.3.5 Protocolo como refuerzo en resinas compuestas según el fabricante

1. Realice el aislamiento del campo operatorio con dique de hule; coloque cuñas en los espacios interproximales para evitar la filtración de la resina en esas áreas.
2. Aplique ácido fosfórico al 37% por 20 segundos en esmalte y 10 segundos en dentina; se puede realizar grabado selectivo si así lo desea.
3. Lave y seque con una torunda de algodón (áreas con dentina expuesta, no deben ser deshidratadas).
4. Aplique adhesivo de acuerdo con las instrucciones para restauraciones directas con resinas compuestas.
5. Recorte la fibra de vidrio con tijera o bisturí en una longitud **menor** que la cavidad.

La longitud excesiva de INTERLIG® dificulta su colocación.

6. Apoyándose con una sonda periodontal (Hu-Friedy Mfg. Co., Chicago, USA) o una espátula para resina ligeramente embebida en adhesivo, posicione INTERLIG® en la cavidad y presiónela sobre la misma.¹⁶

Antes de fotopolimerizar las fibras deben someterse a una presión aplicada para eliminar el aire atrapado entre las fibras, reducir los vacíos, dispersando las fibras de manera uniforme, de modo que la presión aplicada reduzca la porosidad y posibles espacios una vez que el material haya polimerizado. ⁹

7. Fotopolimerice el segmento de fibra por 20 segundos.
8. Coloque la resina compuesta encima de las fibras en incrementos de 2 mm según las indicaciones del fabricante.
9. Recorte nuevamente un segmento de la fibra de vidrio Interlig® en una longitud menor a la cavidad.
10. Una vez más, apoyándose con una sonda periodontal ligeramente embebida en adhesivo, posicione la fibra en la cavidad y presiónela sobre la capa de resina previamente colocada.
11. Coloque cuantas capas sea necesario para rellenar completamente la cavidad.
12. Cuando sólo quede aproximadamente 1,5-2mm de espacio en la cavidad hacia oclusal, colocar las capas finales de resina compuesta.

El fabricante Angelus sólo menciona que se finalice la restauración siempre con la última capa en resina compuesta. Sáry et al. recomiendan que el espacio respetado hacia oclusal (antes de obturar por completo) sea de 1.5 a 2 mm y éste sea con resina.⁵

13. Realice el ajuste oclusal, acabado y pulido.

La fibra de vidrio tiene que estar completamente cubierta de resina, porque es hidroconductora. Si la fibra queda expuesta e incorpora agua, se pierden sus propiedades. ¹⁷



Fig. 21 Colocación de Interlig como refuerzo en restauraciones extensas.
https://angelus.ind.br/assets/uploads/2019/12/1607290617_INTERLIG-Bula-ONLINE.pdf

2.3.6 Protocolo como refuerzo en resinas compuestas en dientes tratados endodóncicamente según el autor Giovanni Tommaso Rocca

1. Realice el aislamiento del campo operatorio con dique de hule; coloque cuñas en los espacios interproximales para evitar la filtración de la resina en esas áreas.
2. Aplique ácido fosfórico al 37% por 20 segundos en esmalte y 10 segundos en dentina.
3. Lave y seque correctamente.
4. Aplique un sistema adhesivo en toda la dentina y márgenes del esmalte y fotopolimerícelo.
5. A continuación, coloque una cantidad adecuada de resina nanohíbrida sobre la dentina (teniendo en cuenta el grosor de la futura restauración, se recomienda al menos 1,5 mm) y se fotopolimeriza.

La colocación inmediata de esta capa de resina sobre la entrada de los conductos proporciona un sellado óptimo de la cavidad y una protección del tratamiento endodóncico. También se minimiza la posible exposición a los fluidos orales.¹⁸



Fig. 22 Aislamiento del diente a tratar y sellado del tratamiento de conductos. (Rocca, 2013).

6. Recorte la fibra de vidrio con tijeras o bisturí en una longitud menor que la cavidad.
7. Dentro de la cavidad, coloque una capa de aproximadamente 0,5 mm de resina fluida.
8. Introduzca la fibra de vidrio sobre la película de resina fluida y ábrala (sepárela) ligeramente. Déjala sin polimerizar.
9. Adapte Interlig completamente a la cavidad con una sonda periodontal o un condensador mortenson (ligeramente embebidos en adhesivo), presiónela sobre la cavidad. Fotopolimerice 20 segundos.
10. Aplique una segunda capa de resina fluida sobre el FRC y fotopolimerice para cubrir todas las fibras expuestas.

La baja viscosidad de la resina fluida garantiza la difusión de esta resina en la red de fibras preimpregnadas y disminuye el riesgo de aparición de espacios vacíos.¹⁸

11. Coloque resina nanohíbrida encima de las fibras en incrementos de 2 mm según las indicaciones del fabricante.
12. Recorte nuevamente un segmento de la fibra de vidrio Interlig® en una longitud menor a la cavidad.

13. Una vez más, apoyándose con una sonda periodontal (o la espátula para resina) ligeramente embebida en adhesivo, posicione la fibra en la cavidad y presiónela sobre la capa de resina previamente colocada.



Fig. 23 Aplicación de una fina capa de resina fluida sobre las fibras para aislarlas y protegerlas. (Rocca, 2013).

14. Coloque cuantas capas sea necesario para obturar la cavidad.

15. Cuando sólo quede aproximadamente 1,5-2mm de espacio en la cavidad hacia oclusal, colocar las capas finales de resina compuesta.

16. Realice el ajuste oclusal, acabado y pulido.

En este protocolo, debido la gran cantidad de tejido perdido debido al tratamiento endodóncico, se sugiere el uso de una restauración adhesiva mínimamente invasiva en lugar de una corona completa. Este procedimiento también elimina la necesidad de utilizar un endoposte.¹⁸

La capacidad del refuerzo de fibra para combinarse con la resina es vital en su eficacia. Las características físicas del FRC de vidrio y del diente son similares, por lo que el fracaso de estos materiales es menos probable en comparación con las restauraciones de resina.¹⁰

Pekka en 2015 menciona que, si se aplica tensión perpendicular a FRC de fibras cortas y discontinuas, no sucede el efecto de refuerzo y se produce una fractura transversal en la matriz polimérica, ya que, al cambiar las fibras unidireccionales continuas a fibras cortas y discontinuas orientadas longitudinalmente, se reduce

la resistencia a la tracción final en la resina compuesta. Otro estudio más reciente realizado por el doctor Pekka, afirma que un FRC de vidrio con fibras unidireccionales continuas con un 65% en volumen proporciona una alta resistencia a la fractura de hasta 1250 MPa. **La fibra de Interlig cuenta con este porcentaje en volumen y tiene fibras continuas.**

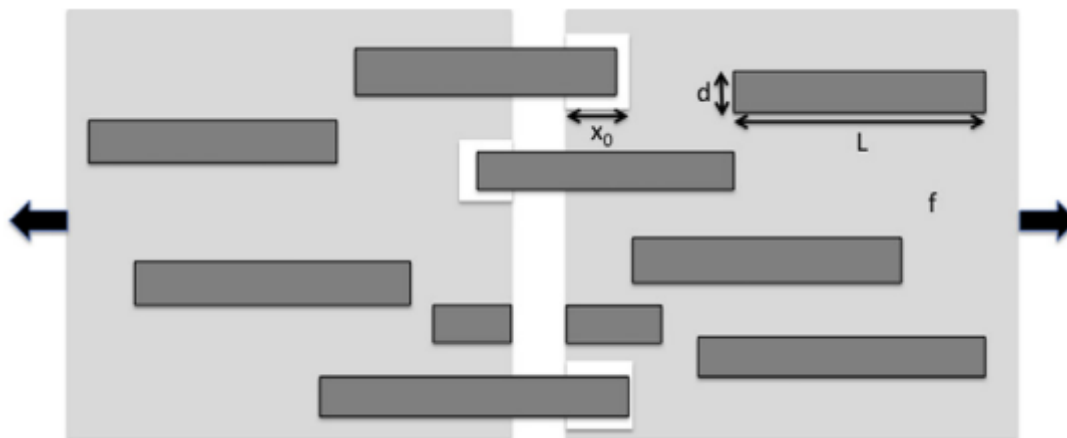


Fig. 24 Esquema de las principales fallas en refuerzo de fibras con fibras cortas y discontinuas (fisuras de la matriz, desprendimiento de la fibra, fractura de la fibra), en donde x_0 = longitud de la fibra incrustada desunida, d = diámetro de la fibra, L = la longitud de la fibra, f = fracción de volumen de fibras. Las flechas muestran la dirección de la carga.

Los FRC fibras orientadas longitudinalmente no muestran ninguna contracción en la dirección de las fibras; sólo se puede encontrar una pequeña expansión térmica, que es causada por un aumento de la temperatura debido a las reacciones exotérmicas de la polimerización.⁷

Sin embargo, Tezvergil et al y Garoushi et al, sugieren que la unión adecuada entre las fibras y la matriz resinosa tiene una importancia crítica. **Las fibras de polietileno (Ribbond, por ejemplo) muestran una red polimérica semi interpenetrante (IPN) entre la fibra y la matriz de resina de resina compuesta, mientras que dicha unión no existía en los compuestos reforzados con fibra de vidrio.** Por lo tanto, en el estudio realizado por Patnana en 2018, se observaron mejores valores de carga en los composites reforzados con fibra de polietileno que en las restauraciones de composites reforzados con fibra de vidrio.¹⁵

Sáry, et al. llevaron a cabo un estudio de 10 grupos de dientes restaurados con distintas técnicas de colocación de resinas con composites reforzados con fibra de vidrio *corta*, restauraciones de resinas con composites reforzados con fibra de polietileno continua, y restauraciones únicamente con resinas compuestas. Como resultado, los grupos restaurados solo con resinas compuestas y con resina más el refuerzo de fibra de vidrio, mostraron valores de resistencia a la fractura significativamente inferiores en comparación con los dientes intactos y los restaurados con FRC de polietileno.⁵

En 2020 Kumar Hasija et al. concuerdan en que, en restauraciones profundas, la fibra de polietileno colocada en medio de las resinas compuestas puede disminuir la contracción volumétrica en ellas. También proporciona resistencia a la fractura por deformación durante las cargas masticatorias. Las fibras en la restauración también pueden resistir la separación entre las resinas y el margen gingival cuando se lleva a cabo la fotopolimerización. Menciona que, otro factor para combatir dicha contracción mientras se utiliza la dentina afectada como sustrato, es el uso de fibras de vidrio, técnicas de fotopolimerización o en combinación con diferentes fibras de refuerzo.²⁰

Interlig® es una fibra de vidrio trenzada, así que podría tener mejores propiedades que las fibras de vidrio cortas y discontinuas, tal como lo menciona Pekka. Rocca et al. debido a la orientación de las fibras, la elección de fibras bidireccionales o trenzadas parece más apropiada que las unidireccionales, ya que en la boca la restauración está sometida a cargas masticatorias multidireccionales.

Garoushi et al. compararon las propiedades físicas de los sFRC con diferentes resinas comerciales, afirmaron que el sFRC difería significativamente en sus propiedades físicas y tenía una resistencia a la fractura superior ($2,9 \text{ MPa m}^{1/2}$), resistencia a la flexión (124 MPa) y módulo (9,5 GPa) en comparación con resinas bulk o resinas convencionales.¹¹

Contrariamente a los resultados del estudio de Garoushi et al, las restauraciones de composite con relleno de partículas mostraron valores de resistencia a la fractura más elevados que las restauraciones con composite reforzados con fibra de vidrio para las restauraciones incisales en el presente estudio; esto podría deberse a la ausencia de unión semi IPN en las fibras de vidrio que, a su vez, permite la propagación de fisuras entre las fibras y la matriz de resina de composite y dio lugar a una disminución de los valores de carga.

Entre los usos de los RFC se mencionan como refuerzo en provisionales, en un estudio realizado por Lipcen y Molina *“los resultados dan diferencias significativas: las pruebas realizadas con acrílico y resinas bis-acrónica sin refuerzo muestran valores medios de 780 y 800N respectivamente. Los especímenes elaborados con refuerzo de fibra alcanzaron 990N, resultando en valores con diferencias estadísticamente significativas en relación con los dos grupos anteriores”*.¹⁹ Esto se traduce en que el refuerzo de fibra de vidrio incrementa la resistencia a la fractura in vitro de los puentes provisionales realizados con resinas bis-acrónicas.

Bastos y colaboradores²¹ realizaron un ensayo con varias marcas de refuerzo de fibra de vidrio; el objetivo fue determinar el efecto de la fibra sobre la resistencia a la flexión y el tipo de fractura que presentan las prótesis provisionales fabricadas con una resina de polimetilmetacrilato (PMMA), al ser sometidas a carga. Los resultados son los siguientes:

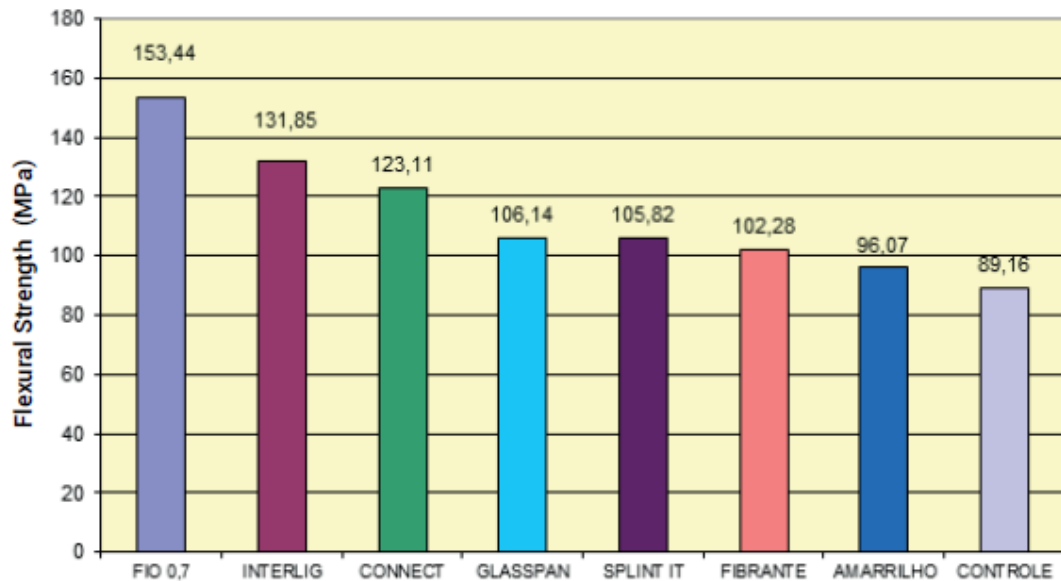


Fig.25 Representación gráfica de los valores medios (en MPa) de la resistencia a la flexión para cada grupo. (Bastos, 2013).

La resistencia a la flexión de este tipo de fibra es superior a 250 GPa (2549 Kg), siendo un valor elevado en comparación con las fuerzas presentes en la cavidad oral, las cuales excepcionalmente superan los 70/80 Kg.¹⁹

En otro estudio, Garoushi et al. afirmaron que **la presencia de refuerzo de fibras de vidrio, (aún si son cortas y discontinuas) en la resina compuesta, se aumenta la resistencia a micro fisuras, a la vez que disminuye significativamente la tensión de contracción y la microfiltración en comparación con las restauraciones realizadas con resinas.**

3. Conclusión

Las resinas compuestas son el material de primera elección en una restauración, pero no tienen la resistencia ni la dureza adecuada para reemplazar el tejido dental. Los estudios demuestran que al colocar los composites reforzados con fibra (FRC) en restauraciones de resinas, sin duda existe una mejora de las propiedades mecánicas, así que son una excelente alternativa para mejorar la resistencia a la fractura ya que están pensados para ser utilizados en zonas de gran tensión, especialmente en los molares.

Se sabe que, entre los parámetros que contribuyen a la eficacia de los composites reforzados con fibras, la longitud y la orientación de las fibras son importantes para las características isotrópicas y anisotrópicas del material. Por lo tanto, la elección de fibras bidireccionales o trenzadas es mejor que las unidireccionales porque en boca la restauración está sometida a cargas masticatorias multidireccionales, y cuando son comparados a los metales ofrecen ventajas, pues no son corrosivos, presentan translucidez satisfactoria y una excelente adhesión a los tejidos dentales.

Interlig®, es una fibra de fácil manipulación, al contrario de las de polietileno (que reciben un tratamiento por plasma de gas frío) pueden tocarse sin alteración de sus propiedades. Algunas de las fibras de polietileno requieren de instrumentos especiales para realizar el corte, lo cual aumenta considerablemente el costo. Por el contrario, Interlig, se puede cortar con un bisturí o una fresa.

Otro punto a favor de la fibra de vidrio Interlig®, es que no es necesario embeberla en adhesivo, ya es una fibra silanizada e impregnada, por esa razón, no es necesario ningún tipo de tratamiento previo a la colocación.

Los FRC de fibra de vidrio ofrecen una resistencia comparable a la de los tejidos dentales. Las características de estos materiales reforzados con fibra pueden ser notablemente superiores a los de las restauraciones a base de resina y restauraciones metálicas.

Aun cuando se utilicen refuerzos con fibra de vidrio corta, siguen teniendo mucho mejores resultados de resistencia a la fractura que cuando se utilice sólo una resina compuesta.

Existe una extensa literatura que respalda el uso de este material que nos proporciona la certeza de sus excelentes propiedades, aun así, tomemos en cuenta que la responsabilidad sigue siendo del operador; además de las indicaciones del fabricante, sólo existe (tal vez), *un* protocolo que puede ser considerado el estándar o la regla a seguir y considero que podría ser actualizado.

A pesar de ser un material de fácil manipulación, se debe estudiar bien su colocación, ya que si no sabemos utilizarlo adecuadamente todas estas propiedades que se le atribuyen podrían no funcionar.

En los artículos citados se hablan de distintas marcas de fibras -tanto de vidrio como de polietileno-, muchas de ellas no están disponibles en el mercado nacional, así que deberían llevarse a cabo estudios sobre la resistencia a la fractura, contracción volumétrica y sellado marginal con las marcas comerciales que podemos encontrar en México para así poder determinar cuál es la mejor opción para utilizar.

4. Referencias bibliográficas

1. Anusavice K. Phillips Science of Dental Materials. 12th ed. Elsevier, editor. Vol. 148. St.Louis, Missouri; 2013. 277-285 p.
2. Barceló F, Palma. J. Materiales Dentales: Conocimientos Básicos Aplicados. 3A ed. MÉXICO, D.F.: Trillas; 2008. 103-108 p.
- 3 Sanjna N, R. Ganesh, S. Santhosh, Fiber reinforced composites in prosthodontics – A systematic review, Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences, 2015, Vol 7, 220-223
4. Macchi RL. Materiales dentales. 4ª ed. Buenos Aires: Médica Panamericana; 2007. 157-158 p.
5. Sárya T., Garoushib S., Braunitzerc G., Allemand D., Fracture behaviour of MOD restorations reinforced by various fibrereinforced techniques – An in vitro study, Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, Vol. 98 (2019) 348–356
6. Zhang M, Matinlinna JP, E-Glass Fiber Reinforced Composites in Dental Applicatios, Silicon. 2012; 73-78
7. Pekka V., High-aspect ratio fillers: Fiber-reinforced composites and their anisotropic properties. Dental Materials 2015; 1–7.
8. Scribante A., Pekka V., Mutlu Ö., Fiber-Reinforced Composites for Dental Applications, BioMed Research International, November 2018, 1-2.
9. Petersen R y cols., Fiber-Reinforced Composites: A Breakthrough in Practical Clinical Applications with Advanced Wear Resistance for Dental Materials, EC Dent Sci. 2018; 17(5): 430–459
10. Khan AS y cols. An update on glass fiber dental restorative composites: a systematic review. Material Science and Engineering C 47 2015; 26-39.
11. Garoushi S, Gargoum A, Vallittu PK, Lassila L. Short fiber-reinforced composite restorations: A review of the current literature. Wiley online library, Dental Biomaterials, 2018, 1-9
12. Dipen K, Durgesh D, Menezes P., Linu E., Fiber-Reinforced Polymer Composites: Manufacturing, Properties, and Applications, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2019, Vol. 11, 1-37.

13. Pekka K Vallitu. An overview of development and status of fiber-reinforced composites as dental and medical biomaterials, *Acta Biomaterialia Odontologica Scandinavica*, 2018, Vol. 4, 44-55.
14. Sfondrini MF., Pekka K., Lassila L., Viola A., Gandini P., Scribante A. Glass Fiber Reinforced Composite Orthodontic Retainer: In Vitro Effect of Tooth Brushing on the Surface Wear and Mechanical Properties, *Journal of Dental Materials*, 2010. Vol. 13, 1-13.
15. Patnana AK, Rao VVN, Chandrabhatla SK, Rajasekhar VR. Comparative Evaluation of the Fracture Resistance of Two Different Fiber-reinforced Composite Restorations with Particulate Filler Composite Restorations. *Int J Clin Pediatr Dent* 2018;11(4):277-282.
16. <https://angelus.ind.br/assets/uploads/2020/09/Perfil-Tecnico-Cientifico-Interlig.pdf>
17. https://angelus.ind.br/assets/uploads/2019/12/1607290617_INTERLIG-Bula-ONLINE.pdf
18. Rocca GT. Rizcalla N., Krejci I., Fiber-reinforced Resin Coating for Endocrown Preparations: A Technical Report. *Operative Dentistry*, 2013, 38-3, 242-248.
19. Lipcen KC, Molina GF. Incorporación de un refuerzo de fibra de vidrio para mejorar las propiedades mecánicas de puentes provisionales de resina bis-acrítica. *Revista Facultad Odontología*. 2018. Vol. 28. 13-19.
20. Kumar Hasija M., Meenaa B., Wadhwab D., Aggarwal V., Effect of adding ribbond fibres on marginal adaptation in class II composite restorations in teeth with affected dentine. *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research* 10 (2020) 203–205.
21. Bastos I. G. C., Ferreira P. M., Rubo J. H., Effect of various reinforcements on the flexural strength and fracture type of a resin for provisional restorative resins. *THE JOURNAL OF PROSTHETIC DENTISTRY*. 2003. Vol. 91:3. 258-264.