



Universidad Autónoma del Estado de México
Facultad de Odontología

"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL IONÓMERO DE
VIDRIO MODIFICADO CON RESINA AL INCORPORAR NANOPARTÍCULAS
DE DIÓXIDO DE TITANIO."

TESIS

PARA OBTENER EL TITULO DE
CIRUJANO DENTISTA

PRESENTA:

PRESENTA: DULCE MARÍA AZUCENA LÓPEZ FLORES

DIRECTOR DE TESIS.

DIRIGIDO POR: DR. EN O. ROGELIO J. SCOUGALL VILCHIS

REVISORES DE TESIS.

DR. EN CS. ULISES VELAZQUEZ ENRIQUEZ.

DRA. EN CS. NORMA LETICIA ROBLES BERMEO.



2022 - 2026

TOLUCA, MÉXICO

OCTUBRE 2022

FO

Facultad de Odontología

ÍNDICE

No.	Contenido	Pág.
	Resumen	4
1.	Introducción	5
2.	Antecedentes	7
3.	Marco teórico	9
	3.1 Composición	9
	3.2 Manipulación	10
	3.3 Reacción de fraguado	12
	3.4 Propiedades	12
	3.5 Clasificación	13
	3.6 Indicaciones	16
	3.7 Ventajas	18
	3.8 Desventajas	18
	3.9 Ionómeros de vidrio modificados con resina	19
	3.10 Ionómeros de vidrio de alta densidad	22
	3.11 Nanociencia	23
	3.12 Nanotecnología	23
	3.13 Aplicaciones de la nanotecnología en medicina	24
	3.14 Aplicaciones de la nanotecnología en odontología	25
	3.15 Nanopartículas de Titanio	26
	3.16 Nanopartículas de dióxido de titanio en medicina	27
	3.17 Nanopartículas de dióxido de titanio en odontología	27
	3.18 Nanopartículas de titanio adicionadas al ionómero de vidrio	28
	3.19 Microdureza	28
	3.20 Método de dureza Vickers	29
	3.21 Resistencia a la flexión	30
	3.22 Resistencia a la compresión	30
4.	Planteamiento del problema	31
5.	Justificación	33

6.	Hipótesis	34
7.	Objetivos	35
	7.1 Objetivo general	35
	7.2 Objetivo específicos	35
8.	Marco metodológico	36
	8.1 Diseño de la investigación	36
	8.2 Universo	36
	8.3 Muestra	36
	8.4 Tipo de muestreo	36
	8.5 Criterios de inclusión	36
	8.6 Criterios de exclusión	36
	8.7 Criterios de eliminación	36
	8.8 Material y equipo	37
	8.9 Unidad de estudio	40
	8.10 Método	42
	8.11 Análisis estadístico	52
	8.12 Variables de estudio	52
9	Resultados	55
10.	Discusión	65
11.	Conclusiones	68
12.	Sugerencias	69
13.	Referencias bibliográficas	70
14.	Anexos	75

RESUMEN

Hoy en día se ha desarrollado gran interés por los ionómeros de vidrio modificados con resina. Su baja solubilidad, sus propiedades mecánicas mejoradas y la capacidad que poseen para adherirse a la dentina lo ha convertido en una alternativa exitosa. Sin embargo, aun presenta propiedades mecánicas limitadas en comparación a las resinas compuestas

El uso de la nanotecnología ha innovado en los últimos años debido a su capacidad de cambiar estructuralmente muchos materiales dentales a tamaño nanométrico. Estudios recientes han propuesto la aplicación de Nanopartículas de Dióxido de Titanio al 3%, 5% y 7% como aditivos a los ionómeros de vidrio convencionales, su efecto ha demostrado una mejora en las propiedades mecánicas de este material sin interferir con la adhesión a los tejidos dentales mineralizados, además de presentar actividad antibacteriana y baja citotoxicidad

Objetivo: Evaluar el efecto que tienen las Nanopartículas de Dióxido de Titanio en la microdureza, resistencia a la flexión y resistencia a la compresión en los ionómeros de vidrio modificados con resina.

Metodología: Se elaboraron 198 bloques circunferenciales con medidas estandarizadas de 10mm de diámetro por 1 mm de grosor de ionómero de vidrio modificado con resina y se dividieron en 3 grupos, equitativos, (Grupo control, ionómero de vidrio modificado con resina con NPs de TiO_2 al 3% y al 5% respectivamente) donde posteriormente fueron analizadas sus propiedades mecánicas (Microdureza Vickers, Resistencia a la compresión, Resistencia a la flexión).

Resultados: En la microdureza se muestra que el segundo grupo (GII) presentó valores menores a comparación de los grupos GI y GIII. En cuanto a la resistencia a la flexión y compresión los resultados los grupos GII y GIII, presentaron valores inferiores a comparación del grupo GI, por lo que se demostró que si tiene un efecto en ambas propiedades mecánicas con valores estadísticamente significativos.

1. INTRODUCCIÓN

La odontología restauradora moderna se enfoca principalmente en preservar la estructura dental durante la preparación de la cavidad, utilizando métodos poco invasivos en el tratamiento de las lesiones cariosas¹.

Las técnicas selectivas de eliminación de caries constan de descartar únicamente la capa de dentina infectada que contiene fibras de colágeno desnaturalizadas que fisiológicamente no puede remineralizarse y preservar únicamente la dentina afectada por caries (CAD) que se encuentra parcialmente desmineralizada con potencial remineralizante².

Al utilizar este tipo de técnicas se ha aumentado la demanda de agentes remineralizantes y materiales de restauración adhesivos que se adhieren al CAD restante².

Los cementos ionómero de vidrio modificados con resina fueron introducidos con el objetivo de combinar las propiedades deseables de los ionómeros convencionales, tales como la liberación de flúor con la adhesión química a la dentina, baja solubilidad y mejores propiedades mecánicas que poseen las resinas. La sumatoria de estas propiedades procuró obtener un material que otorga un sellado marginal más efectivo que aumenta la capacidad de retención de las restauraciones que además posee efecto remineralizante³.

Actualmente, uno de los avances más importantes en el campo de los materiales dentales es la aplicación de la nanotecnología en los cementos de ionómero de vidrio. Estudios recientes han demostrado que la incorporación de Nanopartículas de Dióxido de Titanio en el polvo de este cemento ha generado una distribución de tamaño de partícula más amplia, lo que resulta en un aumento de sus propiedades mecánicas⁴.

Elsaka *et al.* 2011 investigó la resistencia a la flexión y la resistencia a la compresión de los ionómeros de vidrio convencionales modificados con Nanopartículas de Dióxido de Titanio al 3 y al 5% los cuáles demostraron mejorar significativamente



sus propiedades sin afectar la fuerza de unión a la dentina y liberación de flúor. Además, se encontró que las Nanopartículas de Dióxido de Titanio poseen un sólido efecto antibacteriano, característica que sería benéfica en pacientes que tienen alto riesgo a caries⁵.

Sin embargo, es escasa la literatura sobre los efectos en las propiedades mecánicas de los ionómeros de vidrio modificados con resina después de la adición de Nanopartículas de Dióxido de Titanio, por lo tanto, el objetivo de la investigación es: Evaluar el efecto que tienen las Nanopartículas de Dióxido de Titanio en la microdureza, resistencia a la flexión y resistencia a la compresión en los ionómeros de vidrio modificados con resina.

2. ANTECEDENTES

Los cementos de ionómero de vidrio surgieron en 1971, gracias a los trabajos de investigación de Wilson y Kent. Sus propiedades adhesivas favorables y su capacidad de liberación de flúor han generalizado su uso como materiales de cementación, bases, revestimientos de cavidades entre otras aplicaciones⁶.

Estos materiales de restauración fueron introducidos como sustitutos de los cementos de silicato y policarboxilato de zinc, resultando de la combinación de sus propiedades biológicas y adhesivas. Se pretendía que resolvieran los problemas que tenían otros cementos dentales como la acidez atribuida al ácido ortofosforico de los silicatos, carencia de estética de los policarboxilatos y opacidad del fosfato de zinc. Fue hasta el año 1974 que los cementos ionómero de vidrio fueron desarrollados para su uso clínico por Mc Lean y Wilson⁷.

Debido a las pobres propiedades físicas que presentaban se realizaron numerosas modificaciones en su composición y reacción de fraguado. Entre las primeras que se realizaron encontramos a los cementos de ionómero de vidrio reforzados con metal para superar las deficiencias de los ionómeros de vidrio convencionales y crear un cemento más fuerte y duradero, fueron realizados por Simmons en 1981, con la adición de polvo de aleación de amalgama de plata y estaño dando lugar así al sistema denominado "Miracle mix" el cual pretendía mejorar las propiedades mecánicas y la liberación de flúor. Sin embargo, se ha demostrado que en esta modificación no existen diferencias en la resistencia de estos materiales⁸.

En 1991 los cementos de ionómero fueron modificados con resina con la finalidad de superar la alta solubilidad del ionómero de vidrio convencional, con una composición química similar, pero se incluía un componente monómero Hidroxietil Metacrilato (HEMA) y un iniciador (canforoquinona), generando una reacción ácido-base además de una polimerización fotoquímica. Estudios han demostrado que las propiedades físicas de estos cementos modificados con resina presentan una mayor resistencia a la microfiltración, liberación de flúor y adhesión al diente, además de que son menos solubles que los ionómeros de vidrio convencionales.

Sin embargo, su biocompatibilidad se ha visto comprometida como consecuencia de la liberación de su contenido HEMA hacia la dentina y células de la pulpa.

Actualmente los cementos de ionómero de vidrio reforzados con zirconia han demostrado propiedades mecánicas como una alta resistencia a la compresión, alto módulo de elasticidad y mayor dureza que el vidrio⁸.

Una de las modificaciones más recientes que se han realizado a los cementos de ionómero de vidrio es la incorporación de nanopartículas (NPs) metálicas. Su principal aplicación es aumentar las propiedades mecánicas y el efecto antibacterial, desencadenando la muerte bacteriana ya que las NPs alteran la adhesión del hidrogeno en el proceso respiratorio y división celular, formando fisuras en la pared e incrementando su permeabilidad⁹.

En odontología, la utilización de las NPS crea un campo potencial para el desarrollo de nuevos materiales de restauración, implantes dentales, irrigación de conductos entre otros, recientemente se han incorporado NPs de dióxido de titanio (TiO₂) a cementos de ionómero de vidrio, las cuales han incrementado significativamente su resistencia a la flexión y compresión, así como su efecto antibacterial, además de que no interfieren con la adhesión del cemento con los tejidos dentales¹⁰.

Elsaka *et al.* 2011, en su estudio sobre la adición de NPs de TiO₂ a un restaurador de ionómero de vidrio demostró que las NPs mejoraron la resistencia a la fractura, a la flexión y compresión, no comprometieron la fuerza de unión con la dentina, además de poseer una potente actividad antibacteriana contra *S. mutans*^{6,10}.

En estudios más recientes como el de Morales Valenzuela *et al.* 2019 se demostró que la incorporación de NPs de TiO₂ aumenta la liberación de fluoruro sin ejercer potencial citotóxico. Razón por la cual las nanopartículas de TiO₂ podrían ser una alternativa para mejorar las propiedades de los cementos de ionómero de vidrio extendiendo el tiempo en la prevención de caries¹⁰.



3. MARCO TEÓRICO

Los ionómeros de vidrio son biomateriales de restauración a base de agua, conocidos como “cementos de poliacrilato de vidrio”. Formados por un vidrio de aluminio y sílice con alto contenido en flúor. Son el resultado de una solución acuosa que contiene copolímeros de un ácido acrílico o ácido polialquenoico sobre un silicato doble de aluminio y de calcio, los cuales permiten combinar las propiedades del ácido poliacrílico (biocompatibilidad y adhesión) con las propiedades de los silicatos (fuerza, dureza y liberación de flúor)¹¹.

3.1 COMPOSICIÓN

Los cementos de ionómero de vidrio convencionales están constituidos por un vidrio capaz de liberar una gran cantidad de iones de calcio, fosfato, aluminio y fluoruro, lo que se atribuye a la propiedad de disminuir caries secundaria en los márgenes de las restauraciones^{9,11}. La composición del polvo del ionómero de vidrio se puede observar en la tabla I.

Tabla I. La composición del polvo del ionómero de vidrio¹¹.

Compuesto	Composición (%)
CaF ₂	34.3%
SiO ₂	29%
Al ₂ O ₃	16.5%
Na ₃ AlF ₆	2.6%
AlF ₃	3.7%
AlPO ₄	10%

El sílice (SiO₂) y la alúmina (Al₂O₃) se encargan de la resistencia del material. El fluoruro de calcio (CaF₂) participa en la reacción de endurecimiento y junto con otros fluoruros es responsable de la liberación de flúor para el medio¹².

Los poliácidos, se encuentran en forma de líquido y se componen por un 47% de ácidos copolímeros en solución acuosa, en relación 2:1 donde el ácido poliacrílico se encuentra en mayor composición que el ácido itacónico, este último se encarga

de reducir la viscosidad e inhibir la gelación^{7,12}. La composición del líquido del ionómero de vidrio puede observarse en la tabla II.

Tabla II. La composición del líquido del ionómero de vidrio¹².

Compuesto	Composición
Ácido alquenónico	30%
Ácido itacónico	15%
Ácido tartárico	10%
Agua	45%

La adición del ácido tartárico tiene como función reducir la viscosidad del material, aumentando el tiempo de trabajo¹².

Aunque el agua no sea considerada por algunos autores como constituyente del material, su presencia se encarga de proporcionar el medio en el que se realizan los intercambios iónicos^{9,12}.

Las formas de presentación de los cementos ionómero de vidrio se observan de la siguiente manera:

- Polvo / líquido autocurado.
- Polvo / líquido fotocurado.
- Pasta / pasta fotocurado.
- Cápsulas^{7,12}.

3.2 MANIPULACIÓN

- Seguir la proporción polvo / líquido recomendada por el fabricante¹³.
- Introducir la cuchara dosificadora en el frasco y evitar realizar presiones en las laterales, una vez recolectado el polvo se retira del frasco raspando la superficie libre de la cuchara dosificadora contra la tapa de plástico.
- Colocar el polvo próximo a la extremidad de la loseta dejando espacio para que la gota sea dispensada entre la extremidad de la placa y el polvo, con el

fin de reducir la dispersión del líquido durante la manipulación, facilitando así la aglutinación entre polvo y líquido.

- La división del polvo en dos partes al momento de realizar el espatulado ayuda a la aglutinación.
- Colocar el frasco del líquido paralelo a la superficie de la loseta y posteriormente moverlo hasta que se observe perpendicular, esta acción disminuirá la inclusión de burbujas de aire dentro del líquido (en especial ionómeros de vidrio modificados con resina).
- Realizar la mezcla sobre un papel.
- Incorporar el polvo al líquido rápidamente utilizando una espátula rígida (en caso de aplicaciones restauradoras) o una espátula de plástico (en caso de cementado).
- El tiempo de manipulación no debe rebasar de 45 a 60 segundos (dependiendo de las indicaciones del fabricante).
- Durante el tiempo de manipulación, la mezcla debe de presentar un aspecto brillante que indica la presencia de políácido que no ha reaccionado a nivel de la superficie.
- La presencia de este ácido es crítica en la adhesión al diente, si se observa una apariencia mate indica que no hay suficiente ácido libre para una adhesión adecuada¹³.

Se deben de considerar los cuidados previos a la dosificación del polvo y líquido entre los cuales se describen los siguientes:

- Agitar el polvo antes de hacer la dosificación, de esta manera se verá favorecida la homogeneización de los diferentes componentes del polvo^{11,13}.
- Dosificar siempre primero el líquido, para evitar la pérdida o ganancia de agua del líquido.
- En caso de usar loseta de vidrio se recomienda que no esté a una temperatura por debajo del punto de concentración, debe de ser enfriada hasta alcanzar a una temperatura de 20 °C. y así aumentar el tiempo de trabajo.

- Si se utiliza el bloque de papel para realizar el espatulado, este material debe ser impermeable para evitar la absorción de agua proveniente del líquido del ionómero de vidrio^{12,13}.

3.3 REACCIÓN DE FRAGUADO

La reacción de fraguado que presentan los ionómeros de vidrio convencionales se establece por una reacción ácido-base y en la formación de una sal de estructura nucleada donde el ácido graba las superficies de las partículas de vidrio y son liberados iones de calcio, estroncio, zinc, flúor y aluminio al medio acuoso¹³.

Quedando como núcleo la estructura silíceo del vidrio. De primera intención los iones bivalentes de calcio y estroncio, seguidos de los de aluminio constituirán la matriz nucleada del ionómero, como poliacrilato de calcio y aluminio. El flúor queda en libertad y puede salir del ionómero como fluoruro de sodio, mecanismo de liberación de fluoruro de sodio, que ejemplifica así el mecanismo de liberación de flúor^{7,13}.

3.4 PROPIEDADES

Los cementos ionómero de vidrio poseen algunas características deseables las cuales son las siguientes:

- A) Biocompatibilidad: A pesar de que este cemento esté compuesto por moléculas ácidas, estas son de un peso elevado lo que evita que pueda penetrar por los túbulos dentinarios, además de que inicialmente el pH es ácido y en pocos minutos se acerca a la neutralidad^{7,13}.
- B) Unión con la estructura dental: Puede adherirse con el esmalte y la dentina mediante una unión irreversible de los iones de poliacrilato a la superficie de la hidroxiapatita, esta propiedad le confiere la ventaja de aislar el tejido pulpar de los microorganismos pulpares^{7,9,13}.

La unión al esmalte lograda con los cementos ionómero de vidrio alcanzan valores de 40 Kg/cm² (3.8 MPa), y en la dentina obtienen valores de 30 Kg/cm² (2.4 MPa).

Se recomienda previamente preparar las superficies del esmalte y la dentina mediante una limpieza con solución del propio ácido poliacrílico a concentraciones entre 25 y 40%, para conseguir doblar los valores de adhesión^{11,13}.

- C) Solubilidad: Una de las propiedades menos deseables de los ionómeros de vidrio es su sensibilidad a la captación o pérdida de humedad durante las primeras 24 horas después de su aplicación, también pueden observarse grietas superficiales si se seca demasiado durante las primeras 24 horas.
- D) Expansión térmica: Presentan un módulo de elasticidad y rigidez comparable con la dentina.
- E) Protección térmica: Buenos aislantes ante extremos de temperatura¹⁴.

3.5 CLASIFICACIÓN

Existen múltiples clasificaciones para los cementos ionómero de vidrio, las cuales se enunciarán a continuación.

1. De acuerdo con su composición.

A. Cementos de ionómero de vidrio convencionales:

Su presentación comercial está constituida por un polvo (cristal fluoraluminosilicato) y un líquido (ácido poliacrílico), endurecen solo por una reacción ácido base, fraguado químico que no requiere activarse con la luz, y siempre se utilizan previa mezcla de sus componentes^{7,14}.

B. Cementos de ionómero de vidrio modificados con resinas:

Presentación comercial de polvo (cristal fluoraluminosilicato) y líquido (constituido por ácido policarboxílico con grupos acrílicos unidos a él), su reacción de fraguado es ácido base y se complementa con una de fotopolimerización^{7,13}.

2. De acuerdo con las indicaciones clínicas.

Una de las clasificaciones más antiguas y aceptada de los cementos ionómero de vidrio es la de Wilson y Mc Lean (1988)^{7,9}. En la tabla III se muestran los grupos en los que se clasifican^{7,13}.

Tabla III. Clasificación de los cementos ionómero de vidrio según Wilson y Mc Lean^{11,12,13}.

Clasificación de los ionómeros de vidrio.		
Tipo I	Tipo II	Tipo III
Cementos de fijación o selladores	Materiales restaurativos	Cementos protectores
Se indican para la cementación de: <ul style="list-style-type: none"> • Dispositivos protésicos (coronas, puentes, incrustaciones, postes) • Dispositivos Ortodónticos 	Este tipo se subdivide en: <p>A. Estética restauradora.</p> <p>Indicados para bajos esfuerzos masticatorios, y estética aceptable, se utilizan en clase V y erosiones cervicales</p> <p>B) Restaurador reforzado (Cermet). Materiales sujetos a esfuerzos masticatorios intensos reforzados con partículas de metal.</p>	Se usan como bases o forros cavitarios, son fotopolimerizables Ejemplo: ionómeros de vidrio modificados con resina

1. De acuerdo con su composición y reacción de endurecimiento.

Fue sugerida por Mclean *et al.* (1994)¹⁵.

En la Figura 1. se muestra la clasificación según su composición y reacción de endurecimiento¹⁵.

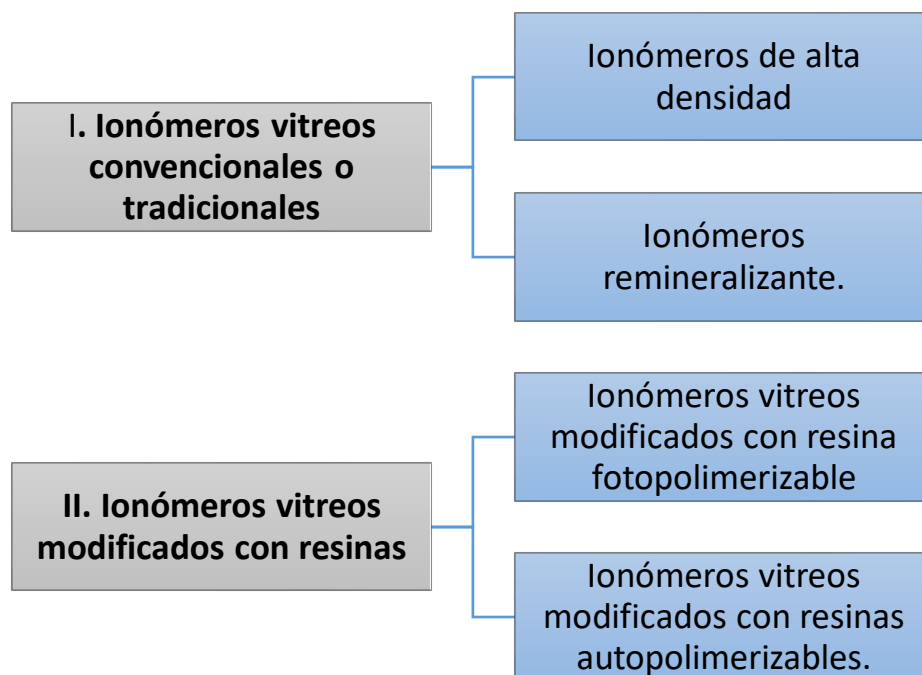


Figura 1. Clasificación según su composición y reacción de endurecimiento Mclean *et al* (1994)¹⁵.

2. Clasificación de acuerdo con las indicaciones clínicas.

En la tabla IV. Se muestra la clasificación según las indicaciones clínicas.

Tabla IV. Tipos de cementos según las indicaciones clínicas^{11,15}.

Tipos de cementos según las indicaciones clínicas.	
Tipo I:	Cementación
Tipo II:	Obturaciones
Tipo III:	Sellantes
Tipo IV:	Bases y forros
Tipo V:	Ionómeros más limaduras conocidos como “cermets”

3.6 INDICACIONES

Los cementos ionómero de vidrio tiene las siguientes aplicaciones:

A. Como cemento protector

1. Liner, forro o fondo

Por su gran capacidad de liberar flúor, además de iones Zn que le proporcionan a estos cementos una capacidad antibacteriana.^{7,16}

2. Base para restauraciones metálicas o de resina compuesta.

Su uso se justifica porque estos cementos presentan una adhesión aceptable a los tejidos dentinarios, además de una excelente biocompatibilidad con los materiales de restauración y el diente.^{7,16}

Un claro ejemplo de esta aplicación es la técnica de laminación o sándwich.^{14,16}

En la tabla V. Se observan las marcas comerciales de ionómero de vidrio para bases cavitarias¹⁷.

Tabla V. Marcas comerciales de ionómero de vidrio para bases cavitarias¹⁷.

Marcas comerciales de ionómero de vidrio para bases.	
Ionómeros de vidrio convencionales	Ionómeros de vidrio modificados con resinas
Ketac Bond (3M ESPE)	Vitrebond (3M ESPE)
Chemflex (Dentsply)	Fuji Lining LC (GC)
Glass Line (Pulpdent)	Vivaglass Liner (Ivoclar – Vivadent)
Glass Base (Pulpdent)	

B. Material de restauración

1. Material de restauración en el tratamiento de hipersensibilidad.

Debido a su importante capacidad de soportar la erosión acida, además de ser considerado un agente conservador, y por su capacidad de imitar el color

dentario, se recomienda su uso en restauraciones cervicales (clase V) y en restauraciones clase III^{7,17}.

2. En la técnica ART (Técnica Restauradora Atraumática)^{7,17}.

Técnica utilizada en odontopediatría, donde se requiere un material para la inactivación de caries abiertas o rampantes, su uso se justifica por la protección que brinda el mecanismo de liberación de flúor^{7,17}.

3. Selladores de fosas y fisuras^{7,17}.

En la tabla VI. Se observan marcas comerciales de ionómero de vidrio para obturación.

Tabla VI. Marcas comerciales de ionómero de vidrio para material de obturación¹⁷.

Marcas comerciales de ionómero de vidrio para obturación.	
Ionómeros de vidrio convencionales	Ionómeros de vidrio modificados con resinas
Fuji II (GC)	Vitremer (3M ESPE)
Fuji IX GP (GC)	Photac-Fil Quick (3M ESPE)
Fuji IX cápsulas (GC)	Fuji II LC improved (GC)
Ketac Molar Aplicap (3M ESPE)	Geristore (Den Mat)
Ketac Silver Aplicap (3M ESPE)	Cention N (Ivoclar)
Chemfil superior (Dentsply)	

C. Cementación de restauraciones rígidas, estéticas y necesariamente traslucidas^{7,17}.

Por su capacidad adhesiva, su actividad cariostática, su menor contracción de polimerización, resistencia a la tracción, a la abrasión, biocompatibilidad a los tejidos pulpaes y gingivales, se utilizan comúnmente para la cementación definitiva de Inlays, Onlays, coronas y puentes metal-cerámico, zirconio y aditamentos ortodóncicos^{7,17}.

En la tabla VII. Se observan marcas comerciales de ionómero de vidrio para cementar.

Tabla VII. Marcas comerciales de ionómero de vidrio para cementar¹⁷.

Marcas comerciales de ionómero de vidrio para cementar.	
Ionómeros de vidrio convencionales	Ionómeros de vidrio modificados con resinas
Fuji I (GC)	Fuji Plus (GC)
Ketac Cem easy mix (3M ESPE)	Fuji Plus EWT (GC)
Ketac Cem cápsulas) (3M ESPE)	Fuji Ortho LC (GC)
Vivaglass Cem (Ivoclar- Vivadent)	Fuji Ortho SelfCure (GC)
Cement KDM (KDM)	Protec Cem (Ivoclar-Vivadent)

3.7 VENTAJAS

Los cementos ionómero de vidrio poseen grandes ventajas bioterapéuticas, como las siguientes:

1. Liberación a largo plazo de iones de flúor.
2. Buena capacidad para adherirse a la estructura del diente.
3. Biocompatibilidad alta.
4. Son capaces de proporcionar un excelente sellado marginal porque poseen un coeficiente de expansión térmica similar al de la estructura del diente.
5. Resistencia a la compresión adecuada.
6. Costo accesible¹⁸.

3.8 DESVENTAJAS

A pesar de su acción anticariogénica, los cementos ionómero de vidrio tienen aplicaciones clínicas limitadas en comparación con otros materiales restauradores, las cuales son las siguientes:

1. Baja durabilidad en comparación con otros materiales.
2. Son sensibles a los cambios en su contenido de agua.

3. Baja resistencia a las cargas oclusales.
4. La liberación de flúor desaparece a los 6 meses^{9,18}.

Los cementos ionómero de vidrio han sufrido diversas modificaciones en su composición durante el paso de los años, esto con la finalidad de obtener mejores propiedades físicas y que pueda diversificarse su uso como material de restauración, además de incluir mejoras en sus usos actuales^{9,18}. Razón por la cual se mencionarán los más relevantes.

3.9 IONÓMEROS DE VIDRIO MODIFICADOS CON RESINA (RMGIs)

Son ionómeros a los cuáles se les ha añadido un porcentaje de resina tipo 2-hidroxietilmetacrilato (HEMA) a la solución de ácidos poliacrílicos. Presentan el mismo vidrio liberador de iones que las partículas de relleno que se utilizan en los ionómeros de vidrio convencionales, pero en menor tamaño¹⁹.

A) Composición.

El polvo del cemento químicamente activado contiene fluoraluminosilicato y un sistema catalizador. Mientras que el líquido es una solución acuosa de ácido policarboxílico modificado por grupos de metacrilato, contiene 2-hidroxietilmetacrilato (HEMA) y ácido tartárico^{18,19}.

B) Reacción de fraguado.

Su reacción de fraguado inicial es desencadenada por la luz, similar a la de las resinas compuestas, seguido de una reacción ácido-base entre las partículas de vidrio de fluoraluminosilicato y el ácido poliacrílico^{18,19}.

El fraguado de este material se puede describir como un proceso dual, sin embargo, estos cementos tienen una reacción de polimerización de resina por radicales que se activa únicamente por la energía de la luz; por esta razón para asegurar un verdadero fraguado dual en todo el espesor del material debe ser colocado en capas de 2mm²⁰.

C) Liberación de flúor.

Estudios han demostrado que los cementos de ionómero de vidrio modificados con resina pueden liberar fluoruro a una velocidad comparable a la de los cementos de ionómero de vidrio convencionales. Se describe que la liberación de flúor de los ionómeros de vidrio modificados con resina en promedio comienza de 8ppm a 15ppm en el primer día y disminuye a 1-2 ppm en el séptimo día, posteriormente se estabiliza en 10 a 21 días^{19,20}.

D) Propiedades mecánicas.

Presentan valores de resistencia a la compresión en promedio de 40 a 141 MPa y de resistencia a la flexión de 13 a 24 MPa. La resistencia al descementado en la dentina varia de 10 a 14MPa. A pesar de presentar valores superiores a otros cementos a base de agua, sus valores son inferiores a las resinas compuestas^{18,20}.

E) Adhesión.

La adhesión de los cementos de ionómero de vidrio modificados con resina a los tejidos duros se origina a través de dos mecanismos diferentes, los cuales se enunciarán a continuación:

1. Un enlace químico que se produce entre las cadenas de ácido polialquenoico (presentes en el líquido del cemento) y los iones de calcio que se encuentran en la hidroxiapatita del esmalte.
2. La retención micromecánica que se obtiene por la infiltración de componentes orgánicos en un medio parcialmente desmineralizado (la superficie de dentina creada por el autograbado de los ionómeros de vidrio modificados con resina)²¹.

Algunos estudios recomiendan un pretratamiento con un acondicionador para maximizar la unión de los ionómeros de vidrio con la dentina, porque de esta manera incapacitan el efecto del smear layer (barrillo dentinario) y potencian la adhesión²¹.

Se cree que el smear layer está compuesto de hidroxiapatita rota, triturada, junto con colágeno desnaturalizado y fragmentado, mismo que se produce por el uso de

instrumentos rotatorios al realizar una cavidad, la cual puede estar contaminada por bacterias y saliva. Se cree que la desventaja es que el smear layer cubre la superficie de la dentina subyacente y dificulta la adhesión²².

Por lo cual se han propuesto agentes como el ácido cítrico, poliacrílico, tánico y etilendiaminotetraacético para realizar un tratamiento superficial y así eliminar o modificar el smear layer antes de la colocación del cemento de ionómero de vidrio²³.

El líquido del ionómero de vidrio es el acondicionador más utilizado, porque el ácido poliacrílico es capaz de limpiar la superficie de la dentina sin penetrar completamente en los túbulos dentinarios. Su eficacia se debe a un efecto de desmineralización parcial que aumenta el área superficial y crea microporosidades, interacción química producida entre el ácido poliacrílico del ionómero de vidrio con la hidroxiapatita residual^{22,23}.

También se ha propuesto la eliminación del barrillo dentinario por medio de un grabado con ácido fosfórico, el cual no solo elimina el smear layer por la disolución de su parte inorgánica, sino que también desmineraliza superficialmente la dentina subyacente, efecto que se considera demasiado excesivo para la unión de los ionómeros de vidrio hacia la dentina²⁴.

F) Ventajas.

Los ionómeros de vidrio modificados con resina ofrecen múltiples ventajas con respecto a los ionómeros de vidrio convencionales como:

- Mayor resistencia a las fuerzas oclusales.
- Mejora la adhesión al diente.
- Menor tiempo clínico de endurecimiento.
- Disminuye la sensibilidad a la desecación.
- Mayor resistencia a la solubilidad, sobre todo ante sustancias ácidas.
- Mayor estética (acabado y gran disponibilidad de colores).
- Liberación de flúor similar (el mecanismo de fotopolimerización no inhibe esta capacidad)^{18,24}.

G) Desventajas.

También presenta algunas desventajas como las siguientes:

1. Mayor contracción de polimerización.
2. Mayor coeficiente de expansión térmico-lineal: aumenta conforme lo hace el porcentaje de resina^{19,24}.

Recientemente, se han desarrollado nuevas formulaciones de ionómeros de vidrio modificados con resina, las cuales reciben el nombre de “materiales inteligentes”, quienes prometen mejorar sus propiedades mecánicas y aumentar la liberación de iones de flúor y calcio. Un ejemplo de estos nuevos materiales es el Cention N (Ivoclar Vivadent) que es el primer composite de resina bioactiva disponible comercialmente²⁵.

Cention N.

Es un material de restauración directa de tipo “Alkasita”, el cual pertenece a una nueva categoría de material de relleno alcalino, capaz de liberar iones neutralizantes de ácido. Forma parte de una nueva categoría de material de obturación como un subgrupo de las resinas compuestas²⁶.

Se presenta como un material básico del color del diente, con dimetacrilato de uretano (UDMA), polvo/líquido. Autopolimerizable con fotopolimerización opcional que se lleva a cabo con luz LED con un rango de longitud de onda de aproximadamente 400 – 500 nm²⁷.

Se caracteriza por poseer una red de polímero de alta densidad y un grado de polimerización en toda la profundidad de la restauración gracias a sus monómeros de metacrilato reticulados combinados con un iniciador de autocurado estable (presente en el líquido del material)^{26,27}.

3.10 IONÓMEROS DE VIDRIO DE ALTA DENSIDAD

Son ionómeros de vidrio convencionales que presentan una muy alta viscosidad o consistencia cuyos vidrios han sido mejorados por medio de partículas de estroncio

e incluso zirconia, se caracteriza porque ofrece una reducción en los tiempos de trabajo y fraguado en comparación con los de generaciones pasadas, además por liberar altas y sostenidas cantidades de fluoruros, así como también mejorar notablemente sus propiedades físico-químicas y mecánicas (resistencia al desgaste y a la abrasión). Se suelen emplear en procedimientos de instrumentación manual de invasión mínima como la Técnica Restauradora Atraumática^{18,27}.

Las marcas comerciales más conocidas se presentan en la Tabla VIII.

Tabla VIII. Marcas comerciales de ionómeros de vidrio de alta densidad^{18,27}.

Marcas comerciales de ionómeros de vidrio de alta densidad
Ketac Molar EM
3M – ESPE
Fuji IX GP
Ionofil Molar ART

3.11 NANOCIENCIA

La nanociencia se define como el estudio de estructuras y moléculas a escalas de nanómetros. El prefijo “nano” proviene del griego y significa “enano” y representa la mil millonésima parte de un metro²⁸.

El desarrollo de la nanociencia surge a partir de la época de los griegos y Demócrito en el siglo V a.C, cuando existía el cuestionamiento sobre si la materia era continua y por lo tanto infinitamente divisible en pequeños fragmentos compuestos de partículas pequeñas, lo que actualmente se conoce como átomo²⁸.

3.12 NANOTECNOLOGÍA

La iniciativa de Nanotecnología (NNT) en los Estados Unidos define la nanotecnología como una ciencia, ingeniería y tecnología llevada a cabo en nanoescala (1 a 100nm), donde fenómenos únicos permiten novedosas

aplicaciones en diversos campos, desde la química, física, biología, medicina, ingeniería y electrónica²⁹.

La diferencia entre la nanociencia y la nanotecnología es que la primera se define como una convergencia de la física, biología y la ciencia de los materiales, las cuales se encargan de la manipulación de materiales a nivel atómico y escalas moleculares; mientras que la nanotecnología se describe como la capacidad de observar, medir, manipular, ensamblar, controlar, fabricar materia a escala nanométrica^{28,29}.

3.13 APLICACIONES DE LA NANOTECNOLOGÍA EN MEDICINA

En los últimos 30 a 40 años la síntesis de nuevos nanomateriales ha incrementado rápidamente debido a que tienen una amplia gama de aplicaciones en diferentes campos científicos. Especialmente en medicina a través de la integración de nano y biotecnología³⁰.

Las cualidades únicas de los nanobiomateriales, su capacidad de manipular y adaptar su fisicoquímica a la escala donde ocurren las interacciones biomoleculares abre una mirada de oportunidades en el campo médico^{29,30}.

Algunas de las aplicaciones de la nanotecnología en medicina son las siguientes:

A. Abordaje de infecciones microbianas.

El uso convencional de fármacos orales o intravenosos para tratar infecciones microbianas se asocia a muchos problemas, entre los cuales se describe la resistencia microbiana, y las grandes dosis para asegurar que cumpla con su efecto antimicrobiano³⁰.

Estudios como el de “Nano vehículos para dar vida a los antimicrobianos existentes” de Mela y Kaminski proponen el uso de nanomateriales para la administración controlada y dirigida de fármacos, mediante la aplicación de nanoestructuras orgánicas basadas en DNA para facilitar la funcionalización de fármacos y otras moléculas para generar una potenciación de la actividad farmacológica³⁰.

B. Vacunas

Utilizando implantes nanoestructurados poliméricos porosos que proporcionan un sustrato para administrar medicamentos, ocasionando una liberación controlada y sostenida del agente activo, para mejorar la interacción con el sistema inmunológico y generar fuertes defensas inmunes^{29,30}.

Es una excelente oportunidad para utilizar este enfoque en el control de vacunas aplicando una gran variedad de combinaciones de antígenos con nanobiomateriales.

C. Cáncer

El cáncer de pulmón se ha descrito como uno de los más difíciles de tratar debido a su complejidad para establecer un diagnóstico. Entre las aplicaciones de los nanomateriales para su tratamiento encontramos el uso de un biosensor para el diagnóstico no invasivo de la enfermedad, así como también la inhalación de nanopartículas de oro funcionalizado con carga útil de fármacos para reducir el crecimiento tumoral, al mismo tiempo limitar los efectos secundarios^{29,30}.

3.14 APLICACIONES DE LA NANOTECNOLOGÍA EN ODONTOLOGÍA

La nanotecnología se ha convertido en una parte esencial en el sistema de atención a la salud, y la odontología no es la excepción. Esta rama de la tecnología ha incorporado sus aplicaciones dentro de este ámbito en el diagnóstico, prevención y tratamiento de diversos padecimientos dentales³¹.

Se han incorporado numerosos biomateriales modificados mediante la incorporación de nanopartículas metálicas como plata (Ag), oro (Au), titanio (Ti), zinc (Zn), cobre (Cu) y zirconia (Zr) que ayudan a la restauración de la dentición estética y funcional, mejorando sus propiedades antimicrobianas, mecánicas y regenerativa³¹.

Las aplicaciones de la nanotecnología en odontología según lo informado en varios estudios se resumen de la siguiente manera.



A. Nano-metales aplicados en materiales dentales

Han sido incorporados en resinas compuestas, resinas acrílicas de base para prótesis removible, barnices de cavidades, cemento de ionómero de vidrio, materiales de endodoncia (Hidróxido de calcio), cementos restauradores, adhesivos de ortodoncia³².

B. Nano-metales aplicados en materiales prostodónticos e implantes dentales

Se han agregado NPs de Ag, ZrO₂ y TiO₂ a él PMMA (polimetilo de metacrilato) de las prótesis removibles como recubrimiento o inmersas para evitar la colonización de candida albicans causante de estomatitis, así como también para mejorar sus propiedades mecánicas.

También se ha mencionado su uso como recubrimiento en las superficies de implantes dentales para aumentar sus propiedades antimicrobianas, favorecer a la osteointegración, y cicatrización de los tejidos blandos alrededor de los implantes dentales^{31,32}.

C. Aparatos de ortodoncia

La adición de NPs de óxidos de Cu y Zn a los brackets de ortodoncia ha demostrado que inhibe la biopelícula dental y produce un efecto anticariogénico.

También se asocia su aplicación mediante la incorporación de NPs a los adhesivos utilizados para ortodoncia para unir los brackets a la superficie del diente, donde se agregaron nanorrellenos de óxidos de Zr y Ti para mejorar su fuerza de unión^{31,32}.

3.15 NANOPARTÍCULAS DE TITANIO

El titanio (Ti) presenta una gran afinidad al oxígeno y otros elementos, razón por la cual no existe en su forma metálica en la naturaleza, se encuentra presente como compuesto mineral denominado dióxido de titanio (TiO₂)^{10,33}.

El TiO_2 es un particulado poco soluble con apariencia de polvo blanco no combustible e inodoro, que tiene un peso molecular de 79.9 g/mol, punto de ebullición de 2972 °C³³.

Está disponible en tres diferentes estructuras cristalinas polimórficas: (1) Anatasa, (2) Rutilo, (3) Brookita. La estructura anatasa tiene un tamaño promedio de 3-5 nm; dosis de 100mg/mL, es químicamente más reactiva con respecto a la rutilo quien genera 6 veces menos especies reactivas de oxígeno (por sus siglas en inglés, reactive oxygen species ROS). Después de la irradiación con luz UV, por lo que tiene menor potencial citotóxico^{10,33}.

3.16 NANOPARTÍCULAS DE DIÓXIDO DE TITANIO (NPS DE TiO_2) EN MEDICINA.

En el campo de la medicina se ha reportado su uso como un potencial agente fotosensibilizador en terapia fotodinámica, además de componente de las partes articulares de prótesis, especialmente de cadera y rodilla³³.

Actualmente también se han realizado investigaciones sobre su uso en productos para el cuidado de la piel, para tratar acné vulgaris, dermatitis atópica, lesiones hiperpigmentadas de la piel, condiloma acuminado, entre otras^{10,33}.

3.17 NANOPARTÍCULAS DE DIÓXIDO DE TITANIO (NPS DE TiO_2) EN ODONTOLOGÍA.

El uso de NPs en odontología abre un gran campo de potencial para el desarrollo de nuevos materiales de restauraciones, implantes dentales, irrigación de conductos, entre otros, debido a las propiedades antibacterianas y terapéuticas que poseen. La aplicación de NPs de TiO_2 ha sido mayormente aplicada a cementos de ionómero de vidrio, con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas y proporcionar un efecto antibacterial, sin afectar la adhesión para con el diente^{10,33}.

La incorporación de NPs de TiO_2 en los cementos ionómero de vidrio, sigue siendo un motivo frecuente de investigación debido a la gran necesidad de mejorar sus propiedades físicas y mecánicas para lograr así su aplicación como material de restauración en diversos tratamientos.

3.18 NANOPARTÍCULAS DE TITANIO (NPs) ADICIONADAS AL IONÓMERO DE VIDRIO.

Los cementos de ionómero de vidrio tienen diversas propiedades, entre las más destacadas encontramos que presenta biocompatibilidad hacia los tejidos, se adhiere a la superficie dental, libera flúor. Las cuales han llevado a utilizar este cemento como base, material de revestimiento, restauración, cementación. Sin embargo, las principales desventajas de estos cementos son las fracturas, baja resistencia al desgaste, alta disolución de agua. Mismas que contribuyen a fallas en la reconstrucción o restauración que conducen a una proliferación bacteriana consecuente en secundaria caries o fractura de dientes³⁴.

Razón por la cual se han incorporado NPs de TiO_2 a los cementos ionómero de vidrio convencionales para dar solución a las desventajas de este material, en concentraciones de 3, 5 y 7%³⁴.

Estudios recientes han demostrado que se observa un aumento en la resistencia a la flexión, compresión, cizallamiento, además mejoran la actividad antibacteriana contra *S. mutans*³⁴.

3.19 MICRODUREZA

La dureza se define como la resistencia a la indentación producida en la superficie de un material a partir de una fuerza con punta afilada o por una partícula abrasiva^{13,34}.

Las pruebas de dureza se incluyen en las diferentes especificaciones sobre materiales dentales de la American Dental Association (ADA). Y existen varios métodos para medir la dureza superficial^{13,34}.

Los métodos para la medición de la dureza se distinguen por la forma de la herramienta empleada por el penetrador, por las condiciones de aplicación de la carga y por la propia forma de calcular la dureza³⁵.

La elección del método para determinar la dureza depende de factores como: A) Tipo de material, B) Dimensiones, C) Espesor de la muestra³⁵.

La metodología indica lo siguiente:

1. La superficie de prueba debe ser pulida, para tener claridad en la indentación (particularmente a bajas cargas).
2. La Superficie de prueba debe de ser paralela y perpendicular al indentador.
3. Se debe de utilizar la mayor carga posible siempre³⁵.

Las pruebas más utilizadas son: la prueba de Barcol, Brinell, Rockwell, Shore, Vickers y Knoop, y la elección de la prueba dependerá del material que se estudie^{13,35}.

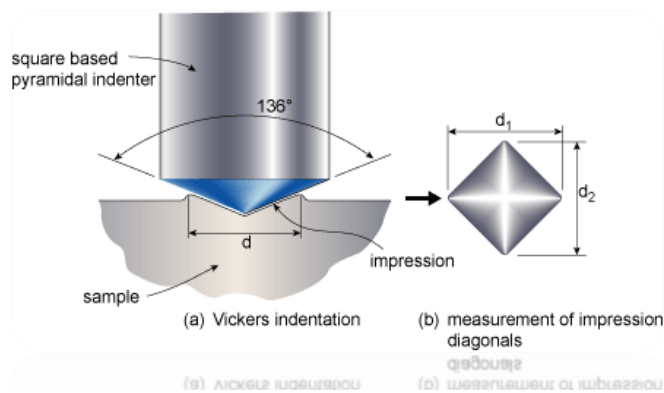
Para este estudio se utilizará la prueba de microdureza Vickers, el cual es el siguiente:

3.20 MÉTODO DE DUREZA VICKERS

En esta prueba el valor de la dureza es la razón de la carga aplicada al área de indentación. Estas cargas son de 5 a 120kg (9.81 Newtons) con incrementos de 5kg durante 10 segundos³⁵.

El método consiste en un indentador de diamante en forma de pirámide de base cuadrada con 136° en la punta, el cual se aplica perpendicularmente a la superficie cuya dureza se desea medir, bajo la acción de una carga P . Esta carga se mantiene durante un tiempo determinado y posteriormente se retira y se mide la diagonal (d) de la impresión que quedo sobre la superficie de la muestra³⁵.

En la Figura 2. Se muestra como se realiza una indentación con la punta de diamante del indentador del Microdurómetro.



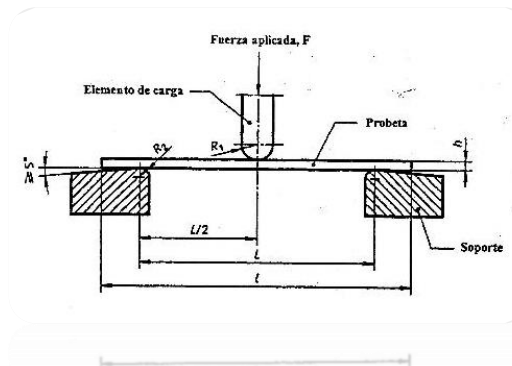
Fuente: [Escala de dureza 2019] en: <https://dureza.weebly.com/escalas-de-dureza.html>

Figura 2. Imagen representativa de indentación

3.21 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

También es conocida como resistencia transversal o el módulo de ruptura, y es una prueba de resistencia que consiste en una barra que se encuentra sujeta a ambos lados, o un disco sujeto sobre un círculo de soporte inferior, sometido a una carga elástica^{13,35}.

En la figura 3, Se puede observar un esquema donde se emplea una fuerza aplicada sobre un espécimen que reposa sobre dos soportes hasta que este sea fracturado.



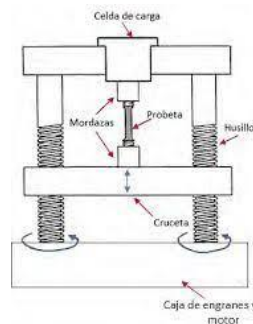
Fuente: [EUR colegio virtual] 2015 en <https://www.euomotor.org/mod/resource/view.php?id=22390>

Figura 3. Esquema representativo de la resistencia a la flexión.

3.22 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Se define como la fuerza de compresión aplicada sobre la muestra de una prueba de compresión en el punto de fractura^{13,35}.

En la figura 4, se observa un esquema que representa como se realiza una fuerza constante sobre un espécimen con una punta plana hasta obtener la fractura



Fuente: [Repositorio institucional mx] 2017 en <https://cio.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1002/360/1/17276.pdf>

Figura 4. Esquema de resistencia a la compresión.

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La popularidad de los ionómeros de vidrio en odontología se debe a sus propiedades anticariogénicas, su capacidad de unión química a la dentina, baja citotoxicidad y coeficiente de expansión térmica similar al del esmalte. Sin embargo, algunos estudios han demostrado que los ionómeros de vidrio convencionales presentan propiedades mecánicas limitadas, resistencia a la abrasión y a la compresión deficientes, alta solubilidad y mala estética, en comparación a las resinas compuestas³⁶.

Manhart *et al*, informaron que las fracturas en restauraciones de ionómero de vidrio convencional presentaron una tasa de falla anual de 7.2%, superior al de la amalgama (3.0%) o que las restauraciones de composite (2.2%) en zonas posteriores³⁷.

Para superar las limitaciones mencionadas anteriormente en los últimos años se han realizado numerosas modificaciones, en un intento de mejorar sus propiedades mecánicas, capacidad de pulido y obtener una estética similar a la de las resinas compuestas. Diversas investigaciones han incluido la adición de una variedad de rellenos, tales como aleaciones de amalgama, polvos de acero inoxidable, fibras de carbono, hidroxiapatita, fluorapatita y aluminio silicato³⁸.

Los resultados que se han obtenido han cambiado al paso de los años, encontrando que los cementos de ionómero de vidrio modificados con aleación de amalgama no tienen diferencias significativas en la resistencia entre los ionómeros convencionales y modificados, además de no tener una estética favorable. Los ionómeros de vidrio modificados con silicato de calcio y vidrio bioactivo han presentado una buena actividad antibacteriana, sin embargo, disminuyen ligeramente su resistencia a la compresión, afectando la durabilidad de la restauración limitando su aplicación clínica^{8,38}.

El titanio destaca por ser un aditivo inorgánico químicamente estable, biocompatible que puede presentar efectos antimicrobianos y en los últimos años ha sido incorporado a los ionómeros de vidrio convencionales para mejorar sus propiedades

mecánicas, antibacterianas y potencializar el mecanismo de liberación de flúor, y aunque se han logrado algunos avances, aun no existen estudios previos de la aplicación de este aditivo en cementos de ionómero de vidrio modificados con resina, a pesar de que estos últimos presentan propiedades mecánicas mejores que los convencionales³⁹.

Por lo tanto, surge la siguiente pregunta de investigación:

¿La incorporación de nanopartículas de dióxido de titanio modifica las propiedades mecánicas del ionómero de vidrio modificado con resina?



5. JUSTIFICACIÓN

La necesidad de obtener un material de restauración que tenga propiedades mecánicas aceptables, biocompatibilidad, larga duración, liberación prolongada de flúor, ha generado que los cementos de ionómero de vidrio tengan modificaciones en su composición hasta la fecha^{8,39}.

Hoy en día se ha desarrollado gran interés por los ionómeros de vidrio modificados con resina, los cuales fueron desarrollados para aumentar las características mecánicas y estéticas de los ionómeros de vidrio convencionales. Su baja solubilidad, sus propiedades mecánicas mejoradas y la capacidad que poseen para adherirse a la dentina sin la necesidad de requerir procedimientos extras para su adhesión, lo ha convertido en una alternativa exitosa. Sin embargo, aun presenta propiedades mecánicas limitadas en comparación a las resinas compuestas⁴⁰.

El uso de la nanotecnología ha innovado en los últimos años debido a su capacidad de cambiar estructuralmente muchos materiales dentales a tamaño nanométrico, lo que conduce a cambios en las propiedades químicas y físicas de los mismos. Estudios recientes han propuesto la aplicación de nanopartículas de Dióxido de Titanio al 3%, 5% y 7% peso de soluto / peso de una solución (p/p), como aditivos a los ionómeros de vidrio convencionales, su efecto ha demostrado que la microdureza, la resistencia a la flexión y la resistencia a la compresión han mejorado significativamente sin interferir con la adhesión a los tejidos dentales mineralizados, además de presentar actividad antibacteriana, baja citotoxicidad y potencializar el mecanismo de liberación de flúor^{41,42}.

La aplicación de Nanopartículas de Dióxido de Titanio ofrece un panorama innovador para los ionómeros de vidrio convencionales, sin embargo, es escasa la literatura sobre los efectos en las propiedades mecánicas de los ionómeros de vidrio modificados con resina después de su adición, razón por la cual se emprende el siguiente proyecto de investigación.

6. HIPÓTESIS

HIPÓTESIS DE TRABAJO.

La incorporación de NPs de TiO_2 aumenta la microdureza, resistencia a la flexión y la resistencia a la compresión en el ionómero de vidrio modificado con resina.

HIPÓTESIS DE NULA.

La incorporación de NPs de TiO_2 disminuye la microdureza, resistencia a la flexión y la resistencia a la compresión en el ionómero de vidrio modificado con resina.

7. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto que tienen las Nanopartículas de Dióxido de Titanio en la microdureza, resistencia a la flexión y resistencia a la compresión en los ionómeros de vidrio modificados con resina.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Comprobar la microdureza en los bloques de ionómero de vidrio modificado con resina al agregar NPS de TiO_2 y compararlo con su grupo control.
- ✓ Estimar la resistencia a la flexión en los bloques de ionómero de vidrio modificado con resina al agregar NPS de TiO_2 y compararlo con su grupo control.
- ✓ Identificar la resistencia a la compresión en los bloques de ionómero de vidrio modificado con resina al agregar NPS de TiO_2 y compararlo con su grupo control.

8. MARCO METODOLÓGICO.

8.1 Diseño de la investigación

- Consiste en una investigación: experimental, comparativa, transversal, prospectiva.

8.2 Universo

- Ionómero de vidrio modificado con resina.
- Nanopartículas de dióxido de titanio (NPs de TiO₂).

8.3 Muestra

- 190 bloques de ionómero de vidrio modificado con resina de 10mm de diámetro por 1mm de grosor para la microdureza, resistencia a la compresión y resistencia a la flexión divididos en 9 grupos.

8.4 Tipo de muestreo

- No probabilístico.

8.5 Criterios de inclusión

- Bloques con superficies planas y lisas.

8.6 Criterios de exclusión

- Bloques que no cumplan con las medidas estandarizadas.

8.7. Criterios de eliminación

- Bloques en mal estado, que hayan sufrido alteraciones durante su procesamiento para realizar este estudio.

8.8 Material y equipo

- Ionómero de vidrio modificado con resina. Cention N (Ivoclar).
- Nanopartículas de Dióxido de Titanio (NPs de TiO_2) a una concentración de 3% y al 5% (p/p) con un tamaño promedio de 10 nm fase anatasa en polvo.
- Glicerina.
- Moldes cúbicos de teflón de 10mm de diámetro por 1 mm de grosor.
- Balanza analítica.
- Espátula para cementos de plástico.
- Lámpara para resinas.
- Pinzas de curación, explorador.
- Papel enserado / loseta de papel.
- Microdurómetro modelo SXHV-1000TA (Sinowen; DongGuan, China).
- Maquina universal de ensayos modelo (Autograph AGS-X, Shimadzu Corporation, Tokyo, Japón).

Como se ilustra en la figura 5. Se utilizó un molde de teflón de color blanco con medidas de 10mm de diámetro por 1 mm de grosor para fabricar los bloques de ionómero de vidrio modificado con resina con nanopartículas de Dióxido de Titanio al 3 y 5% para su estudio.



Figura 5. Molde de teflón para realizar los bloques de ionómero de vidrio modificado con resina con nanopartículas de Dióxido de Titanio al 3 y 5%

En la figura 6, se muestra el cemento de ionómero de vidrio modificado con resina que se utilizó (Cention N, color A2. Ivoclar Vivadent) el cual contiene dentro del empaque la cucharilla dosificadora y espátula de plástico para manipular el instrumental.



Figura 6. Ionómero de vidrio modificado con resina que se utilizó (Cention N, color A2. Ivoclar Vivadent)

La figura 7, muestra la lampara de fotocurado 3M, Ortholux™ Luminous Curing Light, que se utilizó para fotopolimerizar los bloques de ionómero de vidrio modificado con resina del grupo control y los modificados con NPs de TiO_2 a una concentración de 3% y al 5% (p/p)



Figura 7. lampara de fotocurado 3M, Ortholux™ Luminous Curing Light

La figura 8, muestra las nanopartículas de Dióxido de Titanio que fueron utilizadas para realizar este proyecto de investigación.



Figura 8. Nanopartículas de Dióxido de Titanio con un tamaño promedio de 10 nm fase anatasa en polvo.

Para conocer cuántos gramos exactamente contenía el tubo de ensayo donde se encontraban las Nanopartículas de Dióxido de Titanio se utilizó una balanza analítica la cual está disponible en el laboratorio del Centro de Investigación y Estudios Avanzados de la Facultad de Odontología UAEMex. Se observa en la figura 9.



Figura 9. Balanza analítica del laboratorio del Centro de Investigación y Estudios Avanzados de la Facultad de Odontología UAEMex

En la figura 10 y 11 se observa el Microdurómetro modelo SXHV-1000TA (Sinowen; DongGuan, China). Y la máquina universal de ensayos (Autograph AGS-X,

Shimadzu Corporation, Tokyo, Japón) las cuales se utilizaron para realizar las pruebas de microdureza, resistencia a la flexión y a la compresión respectivamente.



Figura 10. Microdurómetro modelo SXHV-1000TA (Sinowen; DongGuan, China).

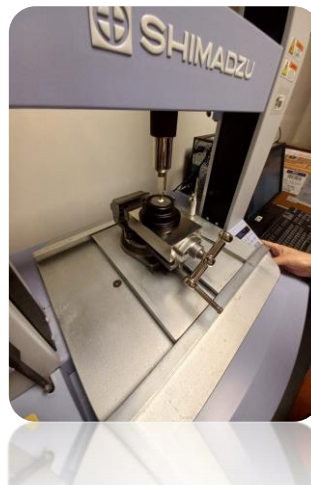


Figura 11. Máquina universal de ensayos (Autograph AGS-X, Shimadzu Corporation, Tokyo, Japón)

8.9 Unidad de estudio

La muestra se conformó por 1 marca de ionómero de vidrio modificado con resina, donde se utilizaron 2 concentraciones de NPs de TiO_2 , al 3% y al 5 %.

En la Figura 12. En sentido vertical de arriba hacia abajo se ilustran las tres pruebas mecánicas que se estudiaron en los bloques elaborados con ionómero de vidrio modificado con resina divididos en dos grupos experimentales (NPs de TiO_2 al 3% y 5%) y su grupo control.

Según la norma ISO 9917-1:200716 e ISO 9917-2:2010

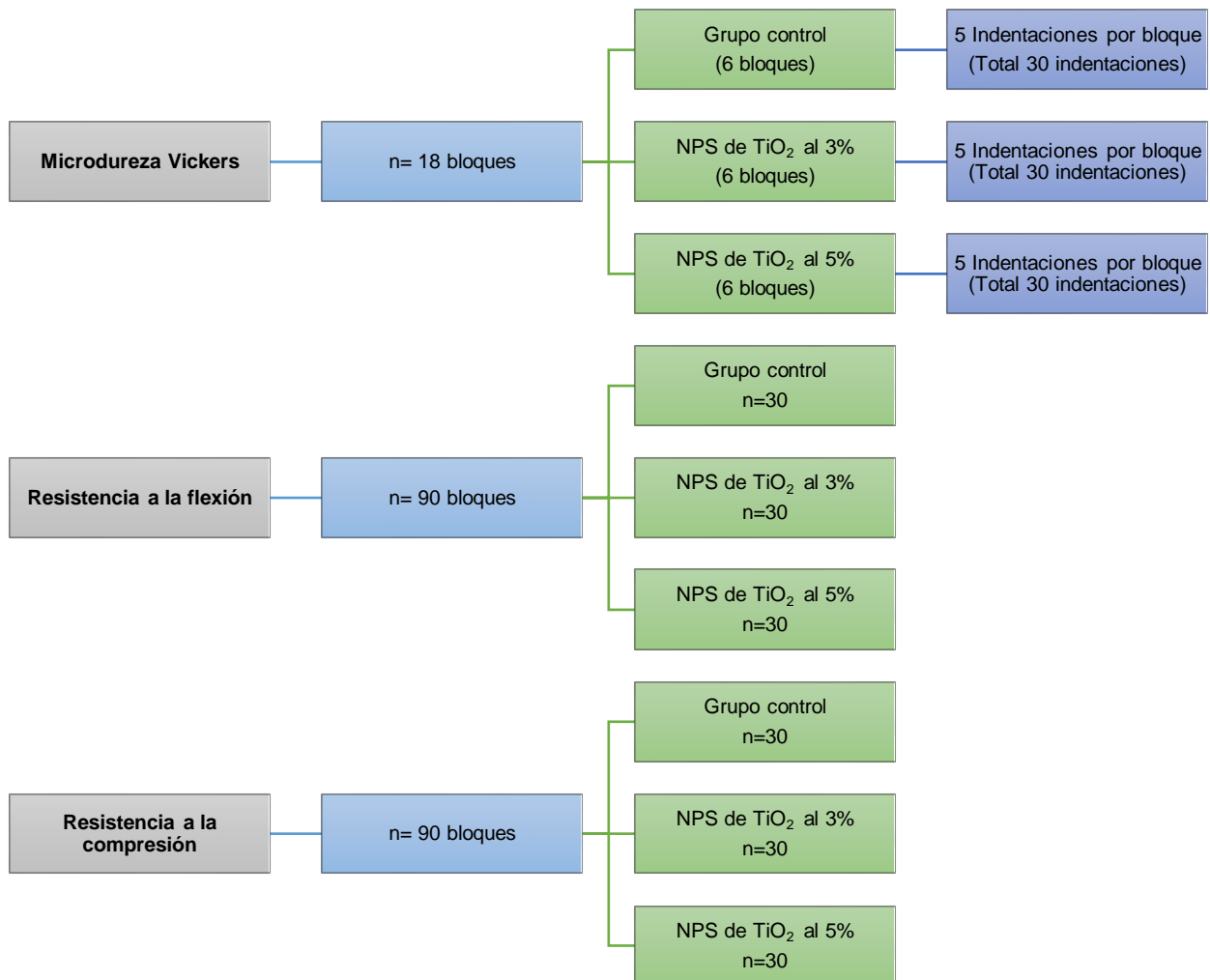


Figura 12. Diagrama de los bloques que se realizaron de ionómero de vidrio modificado con resina.

8.10 Método

Elaboración de muestras.

Paso 1: Como se muestra en la figura 13, se pesaron en la balanza analítica las Nanopartículas de Dióxido de Titanio con ayuda de un tubo de ensayo, dando un resultado de 2.47g (descontando el peso del tubo de ensayo que previamente había sido pesado)



Figura 13. Balanza analítica donde se muestra el peso de las Nanopartículas de Dióxido de Titanio.

Paso 2: Por medio de la balanza analítica se pesó el polvo contenido en el frasco del ionómero de vidrio modificado con resina (Cention N), el cual tuvo como resultado 11.50g.

La figura 14, muestra cómo se pesó el polvo del ionómero de vidrio (Cention N) en la balanza analítica y fue colocado nuevamente en su recipiente.

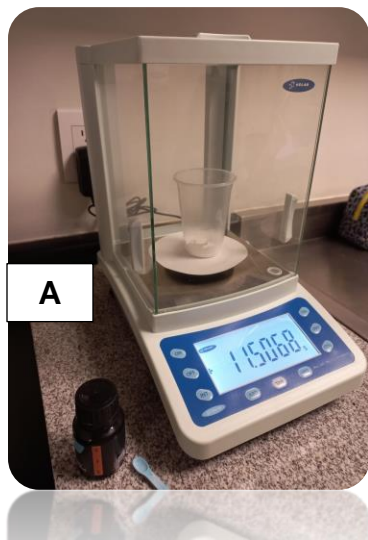


Figura 14A. Balanza analítica donde se muestra el peso del polvo del ionómero de vidrio modificado con resina (Cention N).

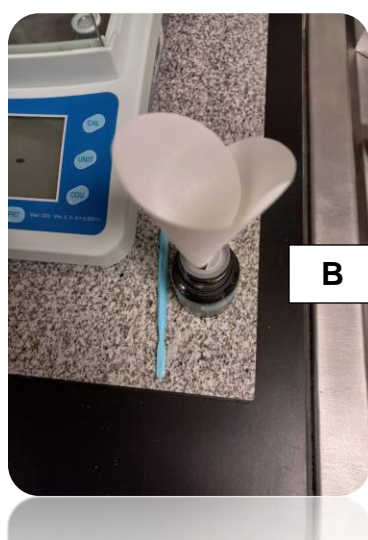


Figura 14B. colocación del ionómero de vidrio modificado con resina en su frasco correspondiente.

Paso 3: Se realizó una regla de tres para calcular los gramos de Nanopartículas de Dióxido de Titanio que se requerían para las dos diferentes concentraciones (al 3 y 5%). A continuación, la figura 15 muestra una regla de tres en dónde se toma en cuenta que el peso del polvo del ionómero de vidrio Cention N es de 11.50g:

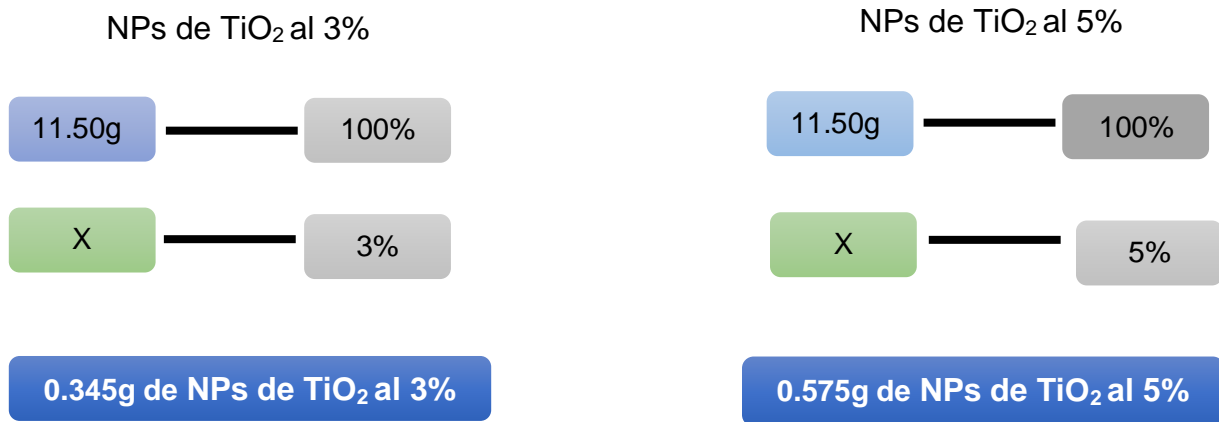


Figura 15. Cálculo de la cantidad de gramos de NPs de TiO₂ al 3 y 5% que se utilizaron.

Como se ilustra en la figura 16 se pesaron en la balanza analítica la cantidad de gramos indicados de NPs de TiO₂ según la concentración correspondiente de 3 y 5%, posteriormente se incorporaron cada una en frasco de ionómero de vidrio (Cention N) utilizando un cono de papel como se muestra en la figura 17.



Figura 16. NPs de TiO_2 al 3% sobre la balanza analítica para ser pesadas.



Figura 17. Incorporación de NPs de TiO_2 al 3% y 5% al frasco de ionómero de vidrio correspondiente.

Paso 4: Una vez adicionadas las NPs de TiO_2 al 3% y al 5% en su frasco correspondiente se procedió a agitar cada recipiente para que se incorporaran al polvo del ionómero de vidrio (Cention N) y poder comenzar a realizar las muestras.

Paso 5: Posteriormente se procedió a elaborar cada uno de los bloques con medidas estandarizadas de 10mm de diámetro por 1 mm de grosor para evaluar la microdureza, resistencia a la flexión y resistencia a la compresión.

Como se muestra en la figura 18, se realizó un espatulado de forma manual, considerando la dosis indicada por el fabricante que es una proporción 1:1 (1 gota de líquido por una gota de polvo), se dispensó primero la gota de líquido sobre una loseta de papel y posteriormente se colocó la porción de polvo por medio de la cucharilla dispensadora a ras.



Figura 18. Dosificación del ionómero de vidrio modificado con resina con NPs de TiO_2 al 3%.

Se dividió la cantidad de polvo en dos porciones y se incorporó la primera parte al líquido y posteriormente la segunda, hasta obtener una consistencia manipulable y el aspecto del cemento se pudiera observar brillante, indicando la activación del ácido poliacrílico del ionómero de vidrio (Cention N). Como se muestra en la figura 19 y 20.

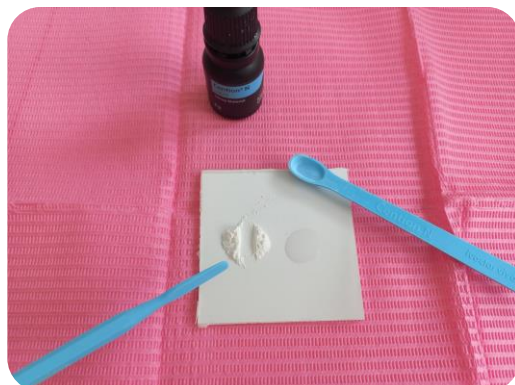


Figura 19. Manipulación del ionómero de vidrio modificado con resina con NPs de TiO_2 al 3%.



Figura 20. Consistencia brillante del ionómero de vidrio modificado con resina con NPs de TiO_2 al 3%.

La figura 21, muestra la colocación del ionómero de vidrio modificado con resina con NPs de TiO_2 al 3% en el molde de teflón, para posteriormente ser fotopolimerizado durante 20 segundos (siguiendo las indicaciones del fabricante).



Figura 21. Colocación del ionómero de vidrio modificado con resina con NPs de TiO_2 al 3% en el molde de teflón para conformar los bloques de estudio.

Una vez fotopolimerizados los bloques de ionómero de vidrio se retiraron del molde de teflón con ayuda de un explorador y pinzas de curación, posteriormente fueron almacenados en moldes de plástico marcados con etiqueta según la concentración de nanopartículas de dióxido de titanio que presentaban.

La figura 22, muestra una comparativa de los bloques de los tres grupos correspondientes (grupo control, y los adicionados con NPs de TiO_2 al 3% y 5%), donde se pueden observar diferencias en el color de los tres.

Se observa que el aspecto del grupo de ionómero de vidrio modificado con resina con NPs de TiO_2 al 5% presenta un tono más blanquecino a comparación del grupo modificado con NPs de TiO_2 al 3% y el grupo control, además que se muestra más opaco con un aspecto similar al de un gis.

El grupo de ionómero de vidrio modificado con resina con NPs de TiO_2 al 3% se observa con un tono ligeramente más oscuro en comparación con el grupo control, pero no se observan cambios en la translucidez del material.



Figura 22. Bloques de ionómero de vidrio (Cention N) al 3%, grupo control y al 5% con un orden de izquierda a derecha respectivamente.

Una vez realizados las 190 muestras de ionómero de vidrio modificado con resina en moldes circunferenciales de 10mm de diámetro por 1 mm se procedió a realizar las pruebas mecánicas correspondientes.

Microdureza.

Para evaluar la microdureza se elaboraron 18 bloques circunferenciales de 10mm de diámetro por 1 mm divididos en tres grupos, realizando 5 indentaciones por bloque, como se puede observar en la figura 23.

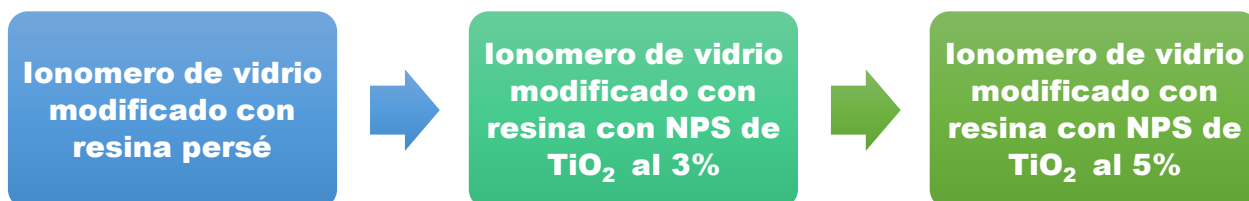


Figura 23. Desglose de los bloques de ionómero de vidrio modificado con resina de acuerdo con las concentraciones de NPS de TiO_2 .

Se colocaron sobre la base de acero inoxidable del Microdurómetro modelo SXHV-1000TA (Sinowen; DongGuan, China) para ser analizados mediante el microscopio, como se muestra en la figura 24.



Figura 24. Bloque de ionómero de vidrio modificado con resina del grupo control.

Cómo se ilustra en la figura 25, se colocó el indentador en forma de diamante sobre el bloque, el cual realizó una indentación aplicando una fuerza constante de 10 Newtons durante 10 segundos, para posteriormente ser observado por el microscopio integrado al aparato.

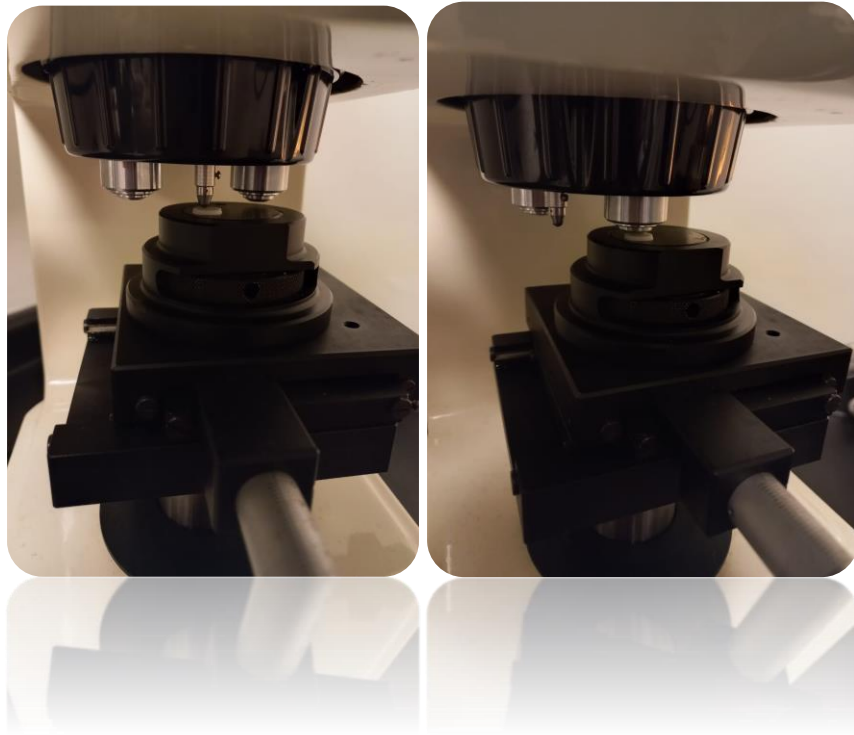


Figura 25. Indentación de bloque de ionómero de vidrio modificado con resina del grupo control.

Una vez analizados los 18 bloques en el microscopio, se procedió a registrar los datos obtenidos en la pantalla del Microdurómetro en la base de datos para posteriormente ser interpretados. (Figura 26)



Figura 26. Resultados obtenidos en la pantalla del Microdurómetro.

Resistencia a la compresión.

Se elaboraron 90 bloques circunferenciales de 10mm de diámetro por 1 mm divididos en tres grupos (n=90 bloques) para evaluar la resistencia a la compresión, el desglose de los bloques de ionómero de vidrio modificado con resina de acuerdo con las concentraciones de NPS de TiO_2 puede observarse en la figura 27.

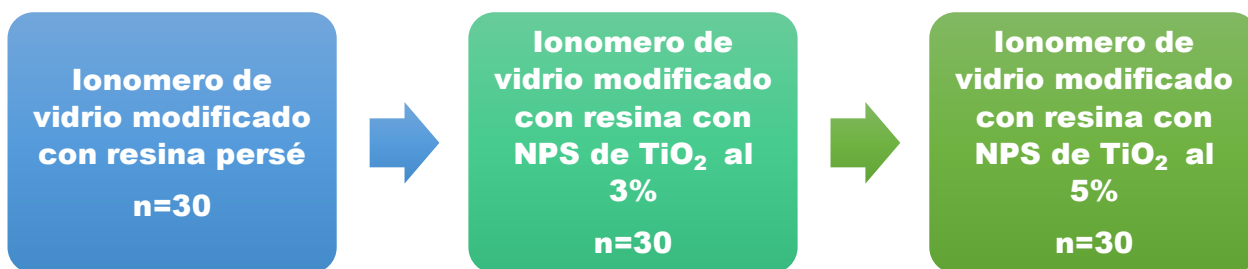


Figura 27. Desglose de los bloques de ionómero de vidrio modificado con resina de acuerdo con las concentraciones de NPS de TiO_2 para evaluar la resistencia a la compresión.

Cómo se observa en la figura 28. Para determinar la resistencia a la compresión, los bloques fueron colocados sobre la base de acero inoxidable de la máquina universal de ensayos (Autograph AGS-X, Shimadzu Corporation, Tokyo, Japón).

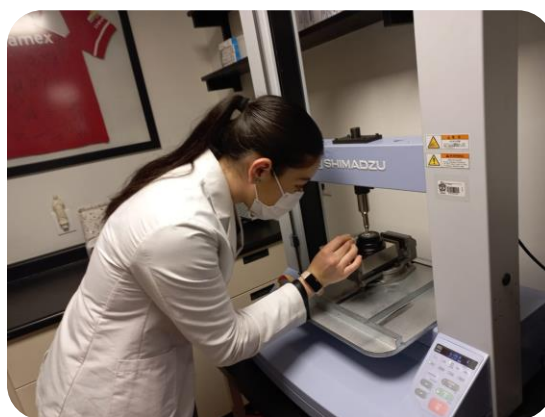


Figura 28. Bloque del grupo control siendo colocado sobre base de acero inoxidable de la máquina universal de ensayos (Autograph AGS-X, Shimadzu Corporation, Tokyo, Japón).

Posteriormente se colocó la punta plana en el centro de la muestra a una velocidad de 1mm/min, hasta provocar su fractura. (figura 29 y 30) Y se procedieron a registrar

los datos obtenidos en la computadora de la maquina universal de ensayos para posteriormente ser interpretados. Como se observa en las figura 31.



Figura 29. Bloque del grupo control con la presencia de punta plana de la maquina universal de ensayos en el centro de la muestra.



Figura 30. Bloque de grupo control fracturado.



Figura 31. Registro de valores obtenidos en la computadora de la maquina universal de ensayos, para posteriormente ser registrados en la base de datos.

Resistencia a la flexión.

Se elaboraron 90 bloques circunferenciales de 10mm de diámetro por 1 mm divididos en tres grupos (n=90 bloques), el desglose de los bloques de ionómero de vidrio modificado con resina de acuerdo con las concentraciones de NPS de TiO_2 puede observarse en la figura 32.

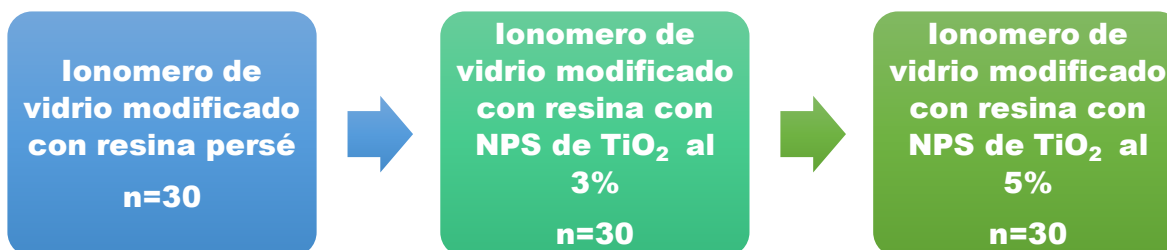


Figura 32. Desglose de los bloques de ionómero de vidrio modificado con resina de acuerdo con las concentraciones de NPS de TiO_2 para evaluar la resistencia a la flexión.

Para realizar las pruebas de resistencia a la flexión fue utilizada la maquina universal de ensayos mencionada con anterioridad. En la cual como se observa en la figura 33, cada bloque fue colocado sobre la base de acero inoxidable y se colocó la punta roma en el centro de la muestra a una velocidad de 1mm/min, hasta provocar su fractura.

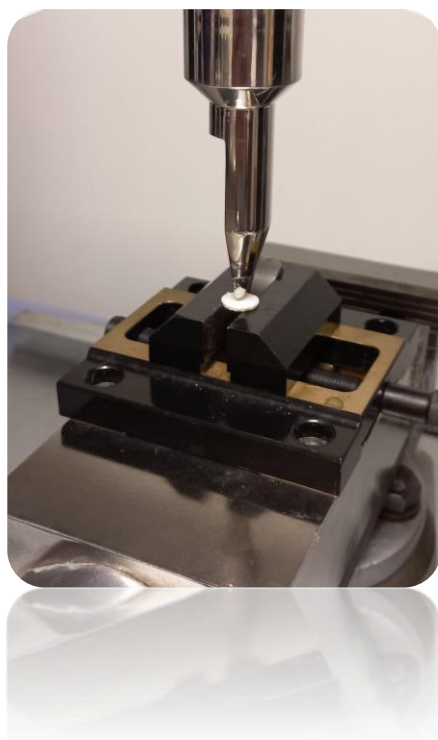


Figura 33. Bloque del grupo control con la presencia de punta roma de la maquina universal de ensayos en el centro de la muestra



Figura 34. Bloques del grupo control fracturado

Posteriormente se procedieron a registrar los datos obtenidos en la computadora de la maquina universal de ensayos para posteriormente ser interpretados. Como se observa en las figura 35.

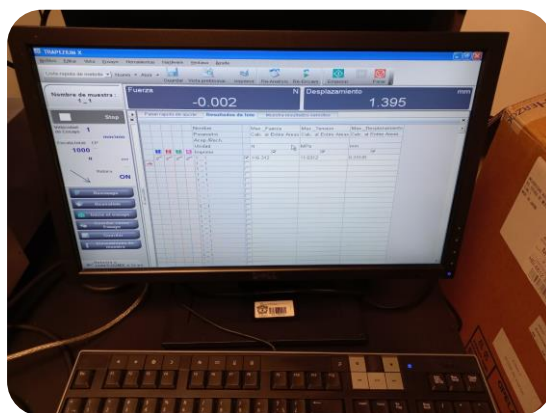


Figura 35. Registro de valores obtenidos en la computadora de la maquina universal de ensayos, para posteriormente ser registrados en la base de datos.

8.11 Análisis estadístico.

La microdureza Vickers, la resistencia a la flexión y la resistencia a la compresión se analizaron mediante datos descriptivos de tendencia central y la prueba de ANOVA de un factor, post hoc Tukey, con un valor de $p \leq 0.05$.

8.12 Variables de estudio.

Las variables dependientes e independientes se muestran en las tablas IX y X, las cuales se presentan a continuación.

Variables de estudio

En la Tabla IX. Se muestran las variables dependientes

Tabla IX. Variables dependientes					
Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Tipo de variable	Escala de medición	Unidad de medida
Microdureza	Resistencia a la indentación producida en la superficie de un material a partir de una fuerza con punta afilada o por una partícula abrasiva.	Escala de Vickers por medio del microdurómetro modelo SXHV-1000TA (Sinowen; DongGuan, China)	Cuantitativa continua	Número de dureza Vickers (NDV)	Kg/cm ³
Resistencia a la flexión	Fuerza aplicada en el punto de fractura sobre un material o muestra	Es una prueba de resistencia que consiste en una barra que se encuentra sujeta a ambos lados, o un disco sujeto sobre un círculo de soporte inferior, sometido a una carga elástica.	Cuantitativa Continuas	Newtons/ Megapascales (N/MPA)	Kg/cm ³
Resistencia a la compresión	Capacidad que tiene un material para resistir la fuerza o la presión aplicada sobre un aditamento.	Se define como la fuerza de compresión aplicada sobre la muestra de una prueba de compresión en el punto de fractura.	Cuantitativa	Newtons/ Megapascales (N/MPA)	Kg/cm ³

Variables de estudio

En la Tabla X. Se muestran las variables independientes

Tabla X. Variables independientes					
Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Tipo de variable	Escala de medición	Unidad de medida
NPs de TiO₂	Partícula microscópica con diámetro menor a 100nm.	NPs de TiO ₂ en polvo fase anatasa	Cualitativa Nominal	3 y 5 %	NPs de TiO ₂ (p/p) con un tamaño promedio de 10 nm
Ionómero de vidrio modificado con resina	Son ionómeros a los cuales se les ha añadido un porcentaje de resina tipo HEMA a la solución de ácidos poliacrílicos	Marca comercial Cention N (Ivoclar).	Cualitativa Nominal	1/1	Gramos (g)

9. RESULTADOS.

MICRODUREZA VICKERS.

Para analizar la microdureza Vickers la muestra fue dividida en 6 bloques circunferenciales por cada grupo, realizando 5 indentaciones por bloque (n=30). En la tabla XI, se pueden observar los resultados descriptivos (media, desviación estándar y valores máximos y mínimos).

La incorporación de NPs de Dióxido de Titanio mostró efectos en la microdureza de los bloques de RMGIs. En este contexto, cuando la cantidad de NPs fue del 3% disminuyó los valores de manera significativa en comparación con el grupo control (ver Tabla XI). Por otro lado, cuando la concentración de NPs fue de del 5%, los valores de microdureza fueron superiores al grupo control; no obstante, dichos resultados no presentaron diferencias estadísticamente significativas.

Tabla XI. Resultados descriptivos de tendencia central de la Microdureza Vickers

Microdureza Vickers					
Grupo	Muestra (N)	Media	Desviación Estándar	Valores Máximos	Valores Mínimos
Control	30	65.44	8.47	87.15	55.01
NPS de TiO ₂ al 3%	30	47.37	10.11	66.05	37.35
NPS de TiO ₂ al 5%	30	70.66	13.63	83.81	45.37

La tabla XII. Se puede observar los resultados obtenidos mediante la prueba de ANOVA y el análisis de Tukey de la Microdureza Vickers.

Tabla XII. Resultados de la prueba ANOVA y análisis Tukey de la Microdureza Vickers.

Prueba de ANOVA y análisis de Tukey de la Microdureza Vickers.			
	Suma de Cuadrados	Media cuadrática	Significancia
Entre grupos	8963.34	4481.67	.000
Dentro de grupos	10439.87	119.99	
Total	19403.21		
HSD TUKEY			
Entre grupos		1.000	.161

En la tabla XIII. Se puede observar el análisis de Tukey el cual compara la diferencia de las medidas de los tres grupos de estudio, la desviación error y los niveles de significancia.

Tabla XIII. Comparaciones múltiples de la resistencia a la compresión en Newtons y MPa.

Comparaciones múltiples Microdureza Vickers.					
Variable dependiente	(I) Grupos	(J) Grupos	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
Microdureza Vickers.	Control	NPSTiO ₂ _3%	18.06867*	2.82841	.000
		NPSTiO ₂ _5%	-5.22433	2.82841	.161
	NPSTiO ₂ _3%	Control	-18.06867*	2.82841	.000
		NPSTiO ₂ _5%	-23.29300*	2.82841	.000
	NPSTiO ₂ _5%	Control	5.22433	2.82841	.161
		NPSTiO ₂ _3%	23.29300*	2.82841	.000

*La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.



RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.

Se evaluaron 90 bloques circunferenciales de 10mm de diámetro por 1 mm divididos en tres grupos (n=90 bloques) para evaluar la resistencia a la compresión (CS), en la tabla XIV, y XV. Se observan los resultados descriptivos de tendencia central (media, desviación estándar, valores máximos y mínimos).

Tabla XIV. Resultados descriptivos de tendencia central de la resistencia a la compresión en Newtons

Resistencia a la compresión en Newtons.					
Grupo	Muestra (N)	Media	Desviación Estándar	Valores Máximos	Valores Mínimos
Control	30	114.35	24.31	161.41	60.29
NPS de TiO ₂ al 3%	30	99.3523	23.02	140.58	22.13
NPS de TiO ₂ al 5%	30	105.43	16.66	138.59	71.61

. Tabla XV. Resultados descriptivos de tendencia central de la resistencia a la compresión en MPa.

Resistencia a la compresión en MPa.					
Grupo	Muestra (N)	Media	Desviación Estándar	Valores Máximos	Valores Mínimos
Control	30	11.43	2.43	16.14	6.03
NPS de TiO ₂ al 3%	30	9.93	2.30	14.01	2.21
NPS de TiO ₂ al 5%	30	10.54	1.66	13.85	7.16

Los resultados fueron sometidos a datos descriptivos de tendencia central y la prueba de ANOVA de un factor, post hoc Tukey, con un valor de $p \leq 0.05$.



En la tabla XVI. Se puede observar a través de la prueba de ANOVA y el análisis de Tukey demostraron que el efecto de las NPs de Dióxido de Titanio disminuye la resistencia a la comprensión siendo una disminución estadísticamente significativa cuando la concentración es del 3%. Cuando la concentración de NPs fue del 5%, la resistencia a la compresión también fue menor; sin embargo, las diferencias no fueron estadísticamente significativas.

Tabla XVI. Resultados de la prueba ANOVA y análisis Tukey de la resistencia a la compresión.

Prueba de ANOVA y análisis de Tukey de la RC.				
		Suma de Cuadrados	Media cuadrática	Significancia
RCN	Entre grupos	3417.79	1708.89	.030
	Dentro de grupos	40584.957	466.49	
	Total	44002.75		
HSD TUKEY				
Entre grupos			.523	.251
RCMPa	Entre grupos	34.408	17.204	.029
	Dentro de grupos	405.47	4.66	
	Total	439.88		
HSD TUKEY				
Entre grupos			.518	.250



En la tabla XVII y XVIII. Se puede observar el análisis de Tukey el cual compara la diferencia de las medidas de los tres grupos de estudio, la desviación error y los niveles de significancia

Tabla XVII. Comparaciones múltiples de la resistencia a la compresión en Newtons

Comparaciones múltiples RC.					
Variable dependiente	(I) Grupos	(J) Grupos	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
RCN	Control	NPSTiO ₂ _3%	15.00500*	5.57670	.023
		NPSTiO ₂ _5%	8.92633	5.57670	.251
	NPSTiO ₂ _3%	Control	-15.00500*	5.57670	.023
		NPSTiO ₂ _5%	-6.07867	5.57670	.523
	NPSTiO ₂ _5%	Control	-8.92633	5.57670	.251
		NPSTiO ₂ _3%	-6.07867	5.57670	.523

*La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.



Tabla XVIII. Comparaciones múltiples de la resistencia a la compresión en y MPa.

Comparaciones múltiples RC.					
Variable dependiente	(I) Grupos	(J) Grupos	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
RCMPa	Control	NPSTiO ₂ _3%	1.50580*	.55741	.022
		NPSTiO ₂ _5%	.89377	.55741	.250.
	NPSTiO ₂ _3%	Control	-1.50580*	.55741	.022
		NPSTiO ₂ _5%	-.61203	.55741	.518
	NPSTiO ₂ _5%	Control	-.89377	.55741	.250
		NPSTiO ₂ _3%	.61203	.55741	.518

*La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN.

Se evaluaron 90 bloques circunferenciales de 10mm de diámetro por 1 mm divididos en tres grupos (n=90 bloques) para evaluar la resistencia a la flexión (RF), en la tabla XVII, y XVIII. Se observan los resultados descriptivos de tendencia central (media, desviación estándar, valores máximos y mínimos).



Tabla XIX. Resultados descriptivos de tendencia central de la resistencia a la flexión en Newtons.

Resistencia a la flexión en Newtons.					
Grupo	Muestra (N)	Media	Desviación Estándar	Valores Máximos	Valores Mínimos
Control	30	114.35	24.31	161.41	60.29
NPS de TiO₂ al 3%	30	99.35	23.02	140.58	22.13
NPS de TiO₂ al 5%	30	105.45	16.66	138.59	71.61

Tabla XX. Resultados descriptivos de tendencia central de la resistencia a la flexión en MPa.

Resistencia a la flexión en MPa.					
Grupo	Muestra (N)	Media	Desviación Estándar	Valores Máximos	Valores Mínimos
Control	30	11.43	2.43	16.14	6.02
NPS de TiO₂ al 3%	30	9.93	2.30	14.01	2.21
NPS de TiO₂ al 5%	30	10.54	1.66	13.85	7.16

Los resultados fueron sometidos a datos descriptivos de tendencia central y la prueba de ANOVA de un factor, post hoc Tukey, con un valor de $p \leq 0.05$.

Similar a los resultados de la resistencia a la compresión y como se observa en la tabla XXI, la prueba ANOVA y el análisis de Tukey dieron como resultados que los efectos de las NPs de Dióxido de Titanio disminuyeron la resistencia a la flexión, con valores estadísticamente significativos cuando la concentración fue del 3%. En contraste, cuando la concentración de NPs fue del 5%, la resistencia a la flexión también reflejó valores inferiores; sin embargo, las diferencias no fueron estadísticamente significativas.

Tabla XXI. Resultados de la prueba ANOVA y análisis Tukey de la resistencia a la flexión.

Prueba de ANOVA y análisis de Tukey de la RF.				
		Suma de Cuadrados	Media cuadrática	Significancia
RFN	Entre grupos	3416.31	1708.15	.030
	Dentro de grupos	40579.42	466.43	
	Total	43995.73		
HSD TUKEY				
Entre grupos			.520	.253
RFMPa	Entre grupos	34.21	17.10	.030
	Dentro de grupos	405.58	4.66	
	Total	439.79		
HSD TUKEY				
Entre grupos			.518	.253

En la tabla XXII Y XXIII. Se puede observar el análisis de Tukey el cual compara la diferencia de las medidas de los tres grupos de estudio, la desviación error y los niveles de significancia.



Tabla XXII. Comparaciones múltiples de la resistencia a la flexión en Newtons

Comparaciones múltiples RF.					
Variable dependiente	(I) Grupos	(J) Grupos	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
RFN	Control	NPSTiO ₂ _3%	15.00500*	5.57632	.023
		NPSTiO ₂ _5%	8.90000	5.57632	.253
	NPSTiO ₂ _3%	Control	-15.00500*	5.57632	.023
		NPSTiO ₂ _5%	-6.10500	5.57632	.520
	NPSTiO ₂ _5%	Control	-8.90000	5.57632	.253
		NPSTiO ₂ _3%	6.10500	5.57632	.520

*La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.



Tabla XXIII. Comparaciones múltiples de la resistencia a la flexión en MPa.

Comparaciones múltiples RF.					
Variable dependiente	(I) Grupos	(J) Grupos	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
RFMPa	Control	NPSTiO ₂ _3%	1.50167*	.55749	.023
		NPSTiO ₂ _5%	.88967	.55749	.253
	NPSTiO ₂ _3%	Control	-1.50167*	.55749	.023
		NPSTiO ₂ _5%	-.61200	.55749	.518
	NPSTiO ₂ _5%	Control	-.88967	.55749	.253
		NPSTiO ₂ _3%	.61200	.55749	.518

*La diferencia de medias es significativa en el nivel



10. DISCUSIÓN.

Los cementos de ionómero de vidrio son considerados el material ideal para colocar rellenos y bases cavitarias, porque tienen la capacidad de reemplazar la dentina eliminada por caries por su adhesión fisicoquímica a esta, además de poseer la rigidez suficiente para soportar las fuerzas de masticación, presenta una alta resistencia a la compresión si se compara con los fosfatos, lo cual aumenta el tiempo de vida de la restauración⁴³.

Sin embargo, estos materiales presentan diversas limitaciones como valores de solubilidad bajos, poca estabilidad química, propiedades estéticas limitadas, a comparación de otros cementos dentales, lo cual significa una gran limitante para su uso, en especial cuando se trata de restauraciones en el sector posterior⁴³.

Por las razones antes mencionadas los cementos de ionómero de vidrio han sufrido diversas modificaciones en su composición durante el paso de los años, esto con la finalidad de obtener mejores propiedades físicas y que pueda diversificarse su uso como material de restauración. Hoy en día se ha desarrollado gran interés por los ionómeros de vidrio modificados con resina, los cuales fueron desarrollados para aumentar las características mecánicas y estéticas de los ionómeros de vidrio convencionales, sin embargo, aun presenta propiedades mecánicas limitadas en comparación a las resinas compuestas^{40,43}.

El uso de NPs en odontología abre un gran campo de potencial para el desarrollo de nuevos materiales de restauraciones, implantes dentales, irrigación de conductos, entre otros, debido a las propiedades antibacterianas y terapéuticas que poseen^{10,43}

Actualmente, uno de los avances más importantes en el campo de los materiales dentales es la aplicación de la nanotecnología en los cementos de ionómero de vidrio. La incorporación de Nanopartículas de Dióxido de Titanio ofrece un panorama innovador ya que se ha demostrado en diversos estudios que causan un aumento en la resistencia a la flexión, compresión, cizallamiento, además mejoran la actividad antibacteriana contra *S. mutans*^{34,43}.



Sin embargo, es escasa la literatura sobre los efectos en las propiedades mecánicas de los ionómeros de vidrio modificados con resina después de su adicción, por lo que reforzarlo resulta innovador. Razón por la cual, se emprendió este proyecto de investigación en donde se elaboraron un total de 190 muestras de ionómero de vidrio modificado con resina los cuales fueron divididos de acuerdo con las pruebas físicas que se estudiaron.

En los resultados obtenidos por medio de las pruebas de ANOVA y Tukey para la microdureza mostraron que la incorporación de NPs de Dióxido de Titanio causa efectos en los bloques de RMGIs. Cuando la cantidad de NPs fue del 3% disminuyó los valores de manera significativa en comparación con el grupo control y cuando la concentración de NPs fue de del 5%, los valores de microdureza fueron superiores al grupo control; sin embargo, dichos resultados no presentaron diferencias estadísticamente significativas.

En contraste con los estudios presentados por Moshaverinia *et al.* en 2008 y Elsaka *et al.* 2011, demostraron que la microdureza de los ionómeros de vidrio convencionales aumentó de manera significativa después de la adición de Nanopartículas de Dióxido de Titanio al 3 y 5%, atribuyendo este resultado a que éstas tienen la capacidad de rellenar los espacios que se encuentran entre las partículas de vidrio del polvo de los ionómeros de vidrio convencionales, actuando como sitios de unión adicionales para el polímero poliacrílico⁴⁴.

En cuanto a la resistencia a la flexión y compresión evaluadas en este proyecto de investigación; los efectos de las NPs de Dióxido de Titanio disminuyeron, con valores estadísticamente significativos cuando la concentración fue del 3%. En este contexto, cuando la concentración de NPs fue del 5%, también reflejaron valores inferiores; sin embargo, las diferencias no fueron estadísticamente significativas en ninguna de las dos pruebas mecánicas.

Estudios más recientes como Hamid N *et al.* 2019. Mostraron que los grupos de ionómeros de vidrio convencionales modificados con Nanopartículas de Dióxido de Titanio al 3% presentaron valores medios de resistencia a la compresión de ($\pm 14,88441$) MPa⁴⁵. En contraste con el que se obtuvo en este proyecto de



investigación en el ionómero de vidrio modificado con resina que fue de (± 9.93) MPa, donde se puede observar que existe una disminución significativa en la resistencia a la compresión entre el ionómero de vidrio modificado con resina y el cemento convencional al incorporar NPs de TiO_2 al 3%.

Considerando los resultados antes mencionados que se presentaron en este proyecto de investigación se niega la hipótesis de trabajo en la cual se plantea que la incorporación de NPs de TiO_2 aumenta la microdureza, resistencia a la flexión y la resistencia a la compresión en el ionómero de vidrio modificado con resina.

Aunque se han demostrado efectos positivos de las NPs de Dióxido de Titanio en las propiedades mecánicas de los cementos de ionómero de vidrio convencionales, Se requiere de más estudios para determinar realmente cual es la concentración ideal de NPs de Dióxido de Titanio en los ionómeros modificados con resina en la cual el efecto en la microdureza, resistencia a la flexión y a la compresión sean afectadas de manera significativa que muestre un resultado favorable, conserve sus propiedades estéticas, así como también determinar su citotoxicidad y liberación de flúor, para poder ofrecer un material innovador que tenga menores limitaciones en su uso para poder ser aplicado como material de obturación del sector posterior como alternativa de resinas compuestas.



11.CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados promedio de los valores de microdureza en los grupos que fueron analizados en este proyecto de investigación, se muestra que en el tercer grupo (GIII), el valor promedio es superior a comparación del primer grupo (GI) sin embargo no presentaron valores estadísticamente significativos. En contraste se pudo observar que el segundo grupo (GII) presentó valores menores a comparación de los grupos GI y GII, por lo que si afectó la microdureza de este material.

En cuanto a la resistencia a la flexión y compresión los resultados promedio arrojaron que los grupos GII y GIII, presentaron valores inferiores a comparación del grupo GI, por lo que se demostró que si tiene un efecto en ambas propiedades mecánicas con valores estadísticamente significativos.



12. SUGERENCIAS.

Se sugiere realizar más estudios acerca de las propiedades mecánicas de los ionómeros de vidrio modificados con resina al incorporar NPs de Dióxido de Titanio, para así poder establecer una mejor concentración de nanopartículas en la cual favorezca a sus propiedades mecánicas, se pudiera realizar una comparación analizando una concentración más (al 7%) que muestra efectos en el ionómero de vidrio convencional, además de complementar el estudio con pruebas de citotoxicidad y liberación de ion flúor.



13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

1. Fattah, Z., Jowkar, Z., & Rezaeian, S. Microshear Bond Strength of Nanoparticle-Incorporated Conventional and Resin-Modified Glass Ionomer to Caries-Affected Dentin. *International journal of dentistry*,2021; 5565556:2-8.
2. R. Franzon, NJ Opdam, LF Guimarães et al., Randomized controlled clinical trial of the 24-month survival of composite resin restorations after one-step incomplete and complete excavation in primary teeth. *Journal of Dentistry*. 2015; 4:1235–1241.
3. Mezzomo Elio, Makoto Suzuki Roberto. *Rehabilitación Oral Contemporánea*. 1era edición. Tomo II. Sao Paulo, Brasil: AMOLCA;2010.
4. Laiteerapong, A., Reichl, F. X., Yang, Y., Hickel, R., & Högg, C. Induction of DNA double-strand breaks in human gingival fibroblasts by eluates from titanium dioxide modified glass ionomer cements. *Dental materials*. 2018;34(2): 282–287.
5. Amin, F., Rahman, S., Khurshid, Z., Zafar, M. S., Sefat, F., & Kumar, N. Effect of Nanostructures on the Properties of Glass Ionomer Dental Restoratives/Cements: A Comprehensive Narrative Review. *Materials*. Basel, Switzerland. 2021;14(21): 62-60.
6. Elsaka SE, Hamouda IM, Swain MV. Titanium dioxide nanoparticles addition to a conventional glass-ionomer restorative: influence on physical and antibacterial properties. *J Dent*. 2011;39(9):589-98.
7. De la Paz Suárez Tomás, García Alguacil Carmen de los milagros, Ureña Espinosa Maydelyn. Ionómero de vidrio: el cemento dental de este siglo. *Rev. Electron. Zolio*.2016; 41 (7):1-9.
8. Ching HS, Luddin N, Kannan TP, Ab Rahman I, Abdul Ghani NRN. Modification of glass ionomer cements on their physical-mechanical and antimicrobial properties. *J Esthet Restor Dent*. 2018 Nov;30(6):557-571.
9. Morales Valenzuela Adriana Alejandra, Scougall Vilchis Rogelio José, Lara Carrillo Edith, Garcia Contreras René, Salmeron Valdes Elias Nahum et al. Nanotechnology: fluoride reléase and cytotoxicity in glass ionomers reinforced

- whit NPs of TiO₂. *Estudios Multidisciplinarios en Ciencias de la Salud*. 2019;(1):35-47.
10. Argueta Figueroa Liliana, Torres Gómez Nayely, Scougall Vilchis Rogelio J, García Contreras René. Biocompatibilidad y toxicidad de nanopartículas de dióxido de titanio en la cavidad oral: Revisión sistemática. *Investigación Clínica* 2018; (59): 352-368.
 11. Casanellas J.M, Navarro J.L, Espías A. Cementos de ionómero de vidrio. A propósito del cemento Keta-Cem (Espe). *Av Odontoestomatol* 1999;15:445-451.
 12. Reis Alessandra, D. Loguercio Alessandro. *Materiales dentales directos de los fundamentos a la aplicación clínica*. 1era edición. Sao Paulo, Brasil: Santos;2012. p 520-535.
 13. Anusavice J. Kenneth. *Phillips Ciencia de los materiales dentales*. 11ª edición. Madrid, España: Elsevier Science;2004. p. 890-910.
 14. Dixon Hatrick Carol , Stephan Eakle W. F. Bird William. *Materiales dentales, Aplicaciones clínicas*, 2da edición. México: El manual moderno; 2012. p . 93-95.
 15. Cedillo VJJ. Ionómero de Vidrio de alta densidad como base en la técnica restauradora de Sandwich. *Rev ADM*. 2011;68(1):39-47.
 16. Berg JH. Glass ionomer cements. *Pediatr Dent*. 2002;(5):430-438
 17. Aura Tormos J.T, Catalá Pizarro M., Estrela Sanchís F., Zaragoza Fernández A., Ferrer Tuset I. Ionómeros de vidrio y compómeros en odontopediatría: actualización sobre características e indicaciones. *Odontol. Pediatr* 2004; (12):45-50.
 18. Freedman George. *Odontología estética contemporánea*. 1era edición. New York: Amolca;2015(1):1-15.
 19. Khoroushi, M., & Keshani, F. A review of glass-ionomers: From conventional glass-ionomer to bioactive glass-ionomer. 2013; 10 (4): 411–420.
 20. Vallittu, P. K., Boccaccini, A. R., Hupa, L., & Watts, D. C. Bioactive dental materials-Do they exist and what does bioactivity mean?. *Dental materials*. 2018; 34(5): 693-694.



21. Ugurlu M. Bonding of a resin-modified glass ionomer cement to dentin using universal adhesives. *Bonding of a resin-modified glass ionomer cement to dentin using universal adhesives*. 2020; 45(3): 36-46.
22. Rai, N., Naik, R., Gupta, R., Shetty, S., & Singh, A. Evaluating the Effect of Different Conditioning Agents on the Shear Bond Strength of Resin-Modified Glass Ionomers. 2017; 8(4): 604-612.
23. Imbery, T. A., Namboodiri, A., Duncan, A., Amos, R., Best, A. M., & Moon, P. C. Evaluating dentin surface treatments for resin-modified glass ionomer restorative materials. *Operative dentistry*, 2013; 38(4): 429-438.
24. Paing, S. Y., Tichy, A., Hosaka, K., Nagano, D., Nakajima, M., & Tagami, J. Effect of smear layer deproteinization with HOCl solution on the dentin bonding of conventional and resin-modified glass-ionomer cements. *European journal of oral sciences*. 2020; 128(3): 255-262.
25. Francois, P., Fouquet, V., Attal, J. P., & Dursun, E. Commercially Available Fluoride-Releasing Restorative Materials: A Review and a Proposal for Classification. *Materials*. 2020; 13(10): 13-23.
26. Firouzmandi, M., Alavi, A. A., Jafarpour, D., & Sadatsharifee, S. Fracture Strength and Marginal Adaptation of Conservative and Extended MOD Cavities Restored with Cention N. *International journal of dentistry*. 2021; 55(99): 42-90.
27. Mazumdar, P., Das, A., & Das, U. K. Comparative evaluation of microleakage of three different direct restorative materials (silver amalgam, glass ionomer cement, cention N), in Class II restorations using stereomicroscope: An in vitro study. *Indian journal of dental research*. 2019; 30(2): 277-281.
28. Bayda S, Adeel M, Tuccinardi T, Cordani M, Rizzolio F. The History of Nanoscience and Nanotechnology: From Chemical-Physical Applications to Nanomedicine. *Molecules*. 2019;25(1):112
29. Contera S, Bernardino de la Serna J, Tetley TD. Biotechnology, nanotechnology and medicine. *Emerg Top Life Sci*. 2020;4(6):551-554.
30. Kinnear, C., Moore, T. L., Rodriguez-Lorenzo, L., Rothen-Rutishauser, B., & Petri-Fink, A. Form Follows Function: Nanoparticle Shape and Its Implications for Nanomedicine. *Chemical reviews*, 2017; 117(17): 11476–11521.



31. Agnihotri R, Gaur S, Albin S. Nanometals in Dentistry: Applications and Toxicological Implications-a Systematic Review. *Biol Trace Elem Res.* 2020;197(1):70-88.
32. Lei Cheng, Ke Zhang, Michael D. Weir, Huaibing Liu, Xuedong Zhou, Hockin H.K. Xu. Effects of antibacterial primers with quaternary ammonium and nano-silver on *Streptococcus mutans* impregnated in human dentin blocks, *Dental Materials*, Volume 29, Issue 4, 2013, Pages 462-472,
33. Shi H, Magaye R, Castranova V, Zhao J. Titanium dioxide nanoparticles: a review of current toxicological data. *Part Fibre Toxicol.* 2013;(1):10-15.
34. García-Contreras R, Scougall-Vilchis RJ, Contreras-Bulnes R, Sakagami H, Morales-Luckie RA, Nakajima H. Mechanical, antibacterial and bond strength properties of nano-titanium-enriched glass ionomer cement. *J Appl Oral Sci.* 2015;23(3):321-328.
35. Lopez Flores AI, González Flores A. Efecto en la microdureza de resinas compuestas aplicando un recubrimiento de nanopartículas de plata inmersas en un adhesivo hidrofílico. Tesis licenciatura, Toluca, Edo. Mex. Universidad Autónoma del Estado de México Facultad de odontología, 2018
36. Valanezhad A, Odatsu T, Udoh K, Shiraishi T, Sawase T, Watanabe I. Modification of resin modified glass ionomer cement by addition of bioactive glass nanoparticles. *J Mater Sci Mater Med.* 2016;27(1):1-3
37. Fuhrmann D, Murchison D, Whipple S, Vandewalle K. Properties of New Glass-Ionomer Restorative Systems Marketed for Stress-Bearing Areas. *Oper Dent.* 2020;45(1):104-110
38. Gjorgievska E, Van Tendeloo G, Nicholson JW, Coleman NJ, Slipper IJ, Booth S. The incorporation of nanoparticles into conventional glass-ionomer dental restorative cements. *Microsc Microanal.* 2015;21(2):392-406.
39. Kantovitz, Kamila Rosamilia et al. TiO₂ nanotubes improve physico-mechanical properties of glass ionomer cement. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials* 2020;(3):1-9
40. Ugurlu M. Bonding of a resin-modified glass ionomer cement to dentin using universal adhesives. *Restor Dent Endod.* 2020;(3): 15-45.



41. Ivanišević A, Rajić VB, Pilipović A, Par M, Ivanković H, Baraba A. Compressive Strength of Conventional Glass Ionomer Cement Modified with TiO₂ Nano-Powder and Marine-Derived HAp Micro-Powder. *Materials* 2021;14(17):49-64.
42. Balkaya, H., Arslan, S., & Pala, K. A randomized, prospective clinical study evaluating effectiveness of a bulk-fill composite resin, a conventional composite resin and a reinforced glass ionomer in Class II cavities: one-year results. 2019; 27(20): 60-78.
43. López Flores Alejandra Itzel, Scougall Vilchis Rogelio José, Salmerón Valdés Elías Nahúm, Medina Solís Carlo Eduardo, González López Blanca Silvia. Cemento de ionómero de vidrio, propiedades, clasificación, y usos en odontología restauradora: Revisión de la literatura. *Revisiones en odontología*. Primera edición. Pachuca, Hidalgo: Río subterráneo;2022. p. 1-11.
44. Moshaverinia A, Rohpoor N, Billington RW, et al. Synthesis of N-vinylpyrrolidone modified acrylic acid copolymer in supercritical fluids and its application in dental glass-ionomer cements. *J Mater Sci Mater Med*. 2008; 19:2705-2711.
45. Hamid, N., Telgi, R. L., Tirth, A., Tandon, V., Chandra, S., & Chaturvedi, R. K. Titanium Dioxide Nanoparticles and Cetylpyridinium Chloride Enriched Glass-Ionomer Restorative Cement: A Comparative Study Assessing Compressive Strength and Antibacterial Activity. *The Journal of clinical pediatric dentistry*, 2019; 43(1): 42–45.



14. ANEXOS.

Base de datos de la Microdureza.

#	CN	CN NPS 3%	CN NPS 5%
1	62.28	37.25	45.37
2	62.32	39.23	75.35
3	55.95	38.36	56.84
4	66.35	41.38	50.97
5	79.28	51.24	77.94
6	57.36	39.45	85.9
7	55.01	42.2	72.78
8	61.83	39.73	78
9	63.35	39.18	83.81
10	61.34	35.62	73.99
11	53.35	65.07	61.92
12	56.53	66.05	83.74
13	56.57	42.4	79.87
14	61.12	40.45	56.84
15	79.67	44.37	70.07
16	71.15	33.62	88.5
17	66.99	42.4	95.21
18	59.83	41.56	82.69
19	79.74	61.74	60.47
20	67.7	40.76	79.67
21	62.5	58.41	57.32
22	64.55	42.94	81.26
23	66.25	46.6	64.4
24	72.38	48.12	92.7
25	75	43.73	78.45
26	71.82	62.59	60.64
27	56.41	64.26	56.6
28	68.37	60.3	51.27
29	61.16	62.32	61.56
30	87.15	49.92	55.91



Base de datos resistencia a la compresión.

ID	RCN	RCMPa
1	60.29	6.029
1	69.39	6.939
1	96.8	9.68
1	123.32	12.332
1	114.7	11.47
1	113.08	11.308
1	115.7	11.57
1	137.8	13.78
1	124.48	12.448
1	110.47	11.047
1	147.78	14.778
1	161.41	16.141
1	133.97	13.397
1	136.2	13.62
1	102.13	10.213
1	82.66	8.266
1	143.84	14.384
1	91.08	9.108
1	118.53	11.853
1	78.84	7.884
1	99.19	9.919
1	127.96	12.796
1	99.87	9.987
1	125.22	12.522
1	136.58	13.658
1	79.53	7.953
1	116.38	11.63
1	134.41	13.451
1	129.29	12.929
1	119.82	11.982
2	106.31	10.63
2	113.62	11.36
2	78.61	7.86
2	119.06	11.9
2	123.02	12.3
2	81.16	8.11
2	87.93	8.79
2	126.51	12.65
2	106.52	10.65



2	102.07	10.2
2	134.53	13.45
2	120.34	12.03
2	96.11	9.61
2	140.58	14.01
2	82.37	8.23
2	109.49	10.94
2	75.91	7.59
2	89.25	8.92
2	79.5	7.95
2	84.19	8.41
2	108.3	10.83
2	88.06	8.8
2	104.21	10.42
2	92.27	9.22
2	105.03	10.5
2	22.13	2.21
2	129.68	12.96
2	96.59	9.65
2	88.11	8.81
2	89.11	8.91
3	87.56	8.75
3	120.56	12.05
3	103.75	10.37
3	136.03	13.6
3	91.81	9.18
3	112.2	11.22
3	96.79	9.67
3	99.95	9.99
3	116.21	11.62
3	91.71	9.17
3	105.11	10.51
3	138.59	13.85
3	90.12	9.01
3	100.89	10.08
3	105.37	10.53
3	122.13	12.21
3	107.99	10.79
3	99.93	9.99
3	104.64	10.46
3	128.54	12.85



3	93.43	9.34
3	130.41	13.04
3	71.61	7.16
3	119.91	11.99
3	110.01	11.001
3	101.01	10.19
3	113.31	11.33
3	77.59	7.75
3	107.18	10.71
3	78.59	7.85

Base de datos resistencia a la flexión.

RF	RFN	RFMPa
1	60.29	6.02
1	69.39	6.93
1	96.8	9.68
1	123.32	12.332
1	114.7	11.47
1	113.08	11.3
1	115.7	11.57
1	137.8	13.78
1	124.48	12.44
1	110.47	11.04
1	147.78	14.77
1	161.41	16.14
1	133.97	13.39
1	136.2	13.62
1	102.13	10.21
1	82.66	8.26
1	143.84	14.38
1	91.08	9.108
1	118.53	11.85
1	78.84	7.88
1	99.19	9.91
1	127.96	12.79
1	99.87	9.98
1	125.22	12.52
1	136.58	13.65
1	79.53	7.95
1	116.38	11.63



1	134.41	13.45
1	129.29	12.92
1	119.82	11.98
2	106.31	10.63
2	113.62	11.36
2	78.61	7.86
2	119.06	11.9
2	123.02	12.3
2	81.16	8.11
2	87.93	8.79
2	126.51	12.65
2	106.52	10.65
2	102.07	10.2
2	134.53	13.45
2	120.34	12.03
2	96.11	9.61
2	140.58	14.01
2	82.37	8.23
2	109.49	10.94
2	75.91	7.59
2	84.19	8.41
2	108.3	10.83
2	88.06	8.8
2	104.21	10.42
2	92.27	9.22
2	105.03	10.5
2	22.13	2.21
2	129.68	12.96
2	96.59	9.65
2	88.11	8.81
2	89.11	8.91
2	89.25	8.92
2	79.5	7.95
3	87.56	8.75
3	120.56	12.05
3	103.73	10.37
3	136.03	13.6
3	91.81	9.18
3	112.2	11.22
3	96.7	9.67
3	99.95	9.99



3	116.21	11.62
3	91.71	9.17
3	105.11	10.51
3	138.59	13.85
3	90.12	9.01
3	100.89	10.08
3	105.37	10.53
3	122.13	12.21
3	107.99	10.79
3	99.93	9.99
3	104.64	10.46
3	128.54	12.85
3	93.43	9.34
3	130.41	13.04
3	71.61	7.16
3	119.91	11.99
3	110.01	11
3	101.91	10.19
3	113.31	11.33
3	77.59	7.75
3	107.18	10.71
3	78.59	7.85

