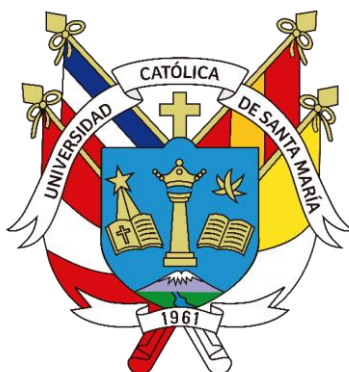


Universidad Católica de Santa María
Facultad de Odontología
Escuela Profesional de Odontología



**Estudio comparativo in vitro de la influencia de dos geles inhibidores de
oxígeno en la dureza superficial de dos resinas nanohíbridas, Arequipa
2025**

Tesis presentada por la Bachiller:

Mantilla Mollenedo, Daniela Ximmena

ORCID: 0009-0004-8579-5582

para optar el Título Profesional de Cirujano Dentista

Asesor (a):

Dra. Meza Zegarra, Solange Ana

ORCID: 0000-0003-1875-3775

Arequipa – Perú

2025

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ODONTOLOGIA

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 28 de Junio del 2025

Dictamen: 014790-C-EPO-2025

Visto el borrador del expediente 014790, presentado por:

2020836152 - MANTILLA MOLLENEDO DANIELA XIMMENA

Titulado:

ESTUDIO COMPARATIVO IN VITRO DE LA INFLUENCIA DE DOS GELES INHIBIDORES DE OXÍGENO EN LA DUREZA SUPERFICIAL DE DOS RESINAS NANOHÍBRIDAS, AREQUIPA 2025

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

CIRUJANO DENTISTA

**29666930 - ROSADO LINARES MARTIN LARRY
DICTAMINADOR**



**29714707 - QUIROZ HUERTA CARLOS ALBERTO
DICTAMINADOR**



**04641311 - TEJADA TEJADA RENAN FERNANDO
DICTAMINADOR**



Estudio comparativo in vitro de la influencia de dos geles inhibidores de oxígeno en la dureza superficial de dos resinas nanohíbridas, Arequipa

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Católica de Santa María	19%
	Trabajo del estudiante	
2	dokumen.pub	2%
	Fuente de Internet	
3	1library.co	1%
	Fuente de Internet	
4	tesis.ucsm.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
5	upc.aws.openrepository.com	1%
	Fuente de Internet	
6	hdl.handle.net	1%
	Fuente de Internet	
7	www.coursehero.com	<1%
	Fuente de Internet	
8	repositorio.continental.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
9	repositorio.ucsm.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
10	revistas.ucr.ac.cr	<1%
	Fuente de Internet	
11	alicia.concytec.gob.pe	<1%
	Fuente de Internet	

DEDICATORIA

A Dios, por guiarme en cada etapa de este camino y por fortalecerme en los momentos en que más lo necesitaba.

A mis adorados padres John y Ana por su eterno amor, compromiso y apoyo; por nunca dudar de mí, y por cada palabra de aliento en el momento que lo necesitaba.

A mis abuelos Octavio, Nancy y Belisario porque son parte fundamental en todo este proceso, por creer en mí y hacerme saber que no estoy sola, los amo con todo mi corazón.

A Milena Mantilla, mi tía, que me impulsa a ser mejor todos los días, su apoyo y enseñanza durante esta etapa fueron fundamentales para seguir adelante, las palabras de aliento cuando sentía que podía rendirme en cualquier momento, gracias por ser mi guía y ejemplo de gran profesional.

AGRADECIMIENTOS

A toda mi familia, mis queridos hermanos, tíos, primas y Erick porque sin ustedes no hubiera llegado hasta aquí. Gracias por creer en mis capacidades y brindarme su apoyo, por su tiempo y compromiso en ser los mejores pacientes.

A mis amigos de la universidad, mi odonto-familia, por todas las risas, llantos, estrés que pudimos pasar juntos, porque me enseñaron que las buenas amistades si existen y en especial a Jacqui, mi compañera de jornadas largas en clínica, porque siempre estuvo alentándome tanto en lo académico como en lo personal y nunca dudo de mí. Asimismo, mi grupito de 4, simplemente gracias, Tatiana, Lucero y Fernanda, porque estuvieron en todo momento que las necesitaba, por compartir las mismas alegrías, angustias y siempre tener una solución en cualquier problema.

Y por último, a mi profesores, gracias por las enseñanzas y paciencia en todo este proceso de formación académica.

RESUMEN

El principal objetivo del presente trabajo de investigación fue el de comprobar si es que las dos marcas de resinas nanohíbridas del estudio (FORMA™ Y VITTRA APS) presentan alguna modificación en la microdureza superficial, luego de que aplicamos dos marcas comerciales de geles inhibidores de la capa de oxígeno (DeOx y MCC).

La parte experimental de la investigación está conformada por 48 unidades de estudio, elaboradas con un molde especialmente diseñado y con forma de cilindros de resina. Se formaron seis grupos: el grupo A1 con 8 muestras de resina FORMA™ que es el grupo control, el A2 con 8 muestras con gel DeOx, y el A3 con 8 muestras con gel MCC. Asimismo, el grupo B1 incluyó 8 muestras de resina VITTRA APS como grupo control, el B2 con 8 muestras tratadas con gel DeOx y el B3 con 8 muestras con gel MCC..

Luego de la elaboración de las muestras, realizamos el control de la dureza superficial con el instrumento GOYOJO con resultados en dureza Vickers (HV), en donde se obtuvo los siguientes resultados: grupo A1 con un promedio de 109,88 HV, en el A2, el valor promedio de dureza fue de 125 HV, y en el A3, el promedio fue de 111,75 HV. Los resultados en los siguientes grupos fueron de: En el B1, se presentó una dureza de 106,38 HV, en el grupo B2, la dureza promedio fue de 127 HV, y finalmente en el B3, la dureza fue de 126,25 HV.

En el análisis estadístico realizado mediante ANOVA, se observaron diferencias significativas dentro del grupo de resina FORMAT™. La prueba de Tukey no reveló diferencias entre el grupo control y la aplicación de gel MCC; sin embargo, la aplicación de gel DeOx a la resina resultó en un aumento de la dureza superficial de hasta 125 HV. En el caso de la resina VITTRA APS, el análisis de varianza (ANOVA) reveló cambios significativos en la dureza. Según el análisis de Tukey, la aplicación de ambos geles (DeOx y MCC) resultó en un aumento sustancial de la dureza de la resina en comparación con el grupo control. Se utilizó la prueba T de Student para las comparaciones cuando se trató de dos grupos. Entre tanto, la prueba de Shapiro-Wilk se empleó para evaluar la normalidad de los datos, lo que facilitó la aplicación de pruebas paramétricas convencionales.

Palabras clave: Microdureza superficial, resinas nanohíbridas, gel inhibidor de oxígeno DeOx, gel inhibidor de oxígeno MCC.

SUMMARY

The main objective of this research was to determine whether the two brands of nanohybrid resins in the study (FORMA™ and VITTRA APS) exhibit any modification in surface microhardness after applying two commercial brands of oxygen layer inhibitor gels (DeOx and MCC).

The experimental part of the study consisted of 48 study units, made with a specially designed mold in the form of resin cylinders. Six groups were formed: group A1 with 8 samples of FORMAT™ resin, which is the control group; group A2 with 8 samples with DeOx gel; and group A3 with 8 samples with MCC gel. Group B1 included eight VITTRA APS resin samples as a control group, Group B2 included eight samples treated with DeOx gel, and Group B3 included eight samples treated with MCC gel.

After sample preparation, we tested the surface hardness using the GOYOJO instrument, with Vickers hardness (HV) results, which yielded the following results: Group A1 had an average of 109.88 HV; Group A2 had an average hardness of 125 HV; and Group A3 had an average of 111.75 HV. The results for the following groups were: Group B1 had a hardness of 106.38 HV; Group B2 had an average hardness of 127 HV; and Group B3 had a hardness of 126.25 HV.

Statistical analysis using ANOVA revealed significant differences within the FORMAT™ resin group. The Tukey test revealed no differences between the control group and the MCC gel application; however, the application of DeOx gel to the resin resulted in an increase in surface hardness of up to 125 HV. In the case of the VITTRA APS resin, the analysis of variance (ANOVA) revealed significant changes in hardness. According to the Tukey analysis, the application of both gels (DeOx and MCC) resulted in a substantial increase in the hardness of the resin compared to the control group. The Student t-test was used for comparisons between two groups. Meanwhile, the Shapiro-Wilk test was used to assess data normality, which facilitated the application of conventional parametric tests.

Keywords: Surface microhardness, nanohybrid resins, DeOx oxygen-inhibiting gel, MCC oxygen-inhibiting gel.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

EPÍGRAFE

RESUMEN

SUMMARY

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
PLANTEAMIENTO TEÓRICO	3
1.- PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	4
1.1 Determinación del problema	4
1.2 Enunciado del problema	4
1.3 Descripción del problema	5
1.4. Justificación del problema	8
2.- OBJETIVOS	9
2.1 Objetivo Primario	9
2.2 Objetivos Secundarios	9
3. MARCO TEÓRICO	11
3.1 Revisión de Literatura	11
3.1.1 Resinas	11
3.1.2 Fotopolimerización	21
3.1.3 Dureza y Microdureza superficial	26
3.1.4 Capa Inhibida por oxígeno	31
3.2 Antecedentes investigativos	35
3.2.1 Internacionales:	35
3.2.2 Nacionales:	38

3.2.3 Locales:	41
4. HIPÓTESIS	43
CAPÍTULO II	44
PLANTEAMIENTO OPERACIONAL	44
1. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y MATERIALES DE VERIFICACIÓN	45
1.1 Técnica de investigación	45
1.2 Técnica de ejecución de investigación	45
1.3. Instrumentos	47
1.4 Materiales	48
2.- CAMPO DE VERIFICACIÓN	48
2.1 Ubicación Espacial	48
2.2 Ubicación Temporal	49
2.3 Unidades de Estudio y ficha instrumental:	50
3. ESTRATEGIA DE INVESTIGACIÓN	51
3.1 Estrategia de recolección	51
4. ESTRATEGIA PARA LOS RESULTADOS	52
4.1 Sistematización y procesamiento	52
4.2 A nivel de conclusiones	53
CAPÍTULO III	54
RESULTADOS	54
DISCUSIÓN	80
CONCLUSIONES	83
RECOMENDACIONES	85
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
ANEXOS	90
REGISTRO DE DATOS	91
FRECUENCIA FOTOGRÁFICA	94

CONSTANCIAS DE DUREZA 99

DICTÁMEN COMITÉ DE ÉTICA 101



ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: Análisis de Variables	5
TABLA 2: Ejemplo de ficha para recolección de datos.....	47
TABLA 3:Cronograma	49
TABLA 4: Unidades de estudio	50
TABLA 5: Análisis de investigación.....	52
TABLA 6: PRUEBA DE NORMALIDAD.....	55
TABLA 7: DUREZA – RESINA FORMATM – GRUPO CONTROL.....	58
TABLA 8: DUREZA – RESINA FORMATM – GEL DEOX.....	60
TABLA 9: DUREZA – RESINA FORMATM – GEL MCC.....	62
TABLA 10: DUREZA – RESINA VITTRA APS – GRUPO CONTROL	64
TABLA 11: DUREZA – RESINA VITTRA APS – GEL DEOX	66
TABLA 12: DUREZA – RESINA VITTRA APS – GEL MCC.....	68
TABLA 13: COMPARACIÓN DE DUREZA – RESINA FORMATM.....	70
TABLA 14: COMPARACIÓN DE DUREZA – RESINA VITTRA APS	72
TABLA 15: DUREZA - FORMATM Y VITTRA APS – GRUPO CONTROL.....	74
TABLA 16: DUREZA - FORMATM Y VITTRA APS – GEL DEOX.....	76
TABLA 17: DUREZA - FORMATM Y VITTRA APS – GEL MCC.....	78
TABLA 18: RECOLECCIÓN DE DATOS - RESINA FORMATM	92
TABLA 19: RECOLECCIÓN DE DATOS - RESINA VITTRA APS.....	93

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: Marcas Identador Vickers	30
FIGURA 2: RESINA FORMA	56
FIGURA 3: RESINA VITRA	57
FIGURA 4: DUREZA – RESINA FORMATM – GRUPO CONTROL	59
FIGURA 5: DUREZA – RESINA FORMATM – GEL DEOX	61
FIGURA 6: DUREZA – RESINA FORMATM – GEL MCC	63
FIGURA 7: DUREZA – RESINA VITTRA APS – GRUPO CONTROL	65
FIGURA 8: DUREZA – RESINA VITTRA APS – GEL DEOX	67
FIGURA 9: DUREZA – RESINA VITTRA APS – GEL MCC	69
FIGURA 10: COMPARACIÓN DE DUREZA – RESINA FORMATM	71
FIGURA 11: COMPARACIÓN DE DUREZA – RESINA VITTRA APS	73
FIGURA 12: DUREZA - FORMATM Y VITTRA APS – GRUPO CONTROL	75
FIGURA 13: DUREZA - FORMATM Y VITTRA APS – GEL DEOX	77
FIGURA 14: DUREZA - FORMATM Y VITTRA APS – GEL MCC	79
FIGURA 15: Elaboración de muestras (EP)	94
FIGURA 16: Elaboración de muestras (EP)	94
FIGURA 17: Elaboración de muestras (EP)	95
FIGURA 18: Elaboración de muestras (EP)	95
FIGURA 19: Elaboración de muestras (EP)	96
FIGURA 20: Elaboración de muestras (EP)	96
FIGURA 21: Elaboración de muestras (EP)	97
FIGURA 22: Medición de dureza (EP).....	97
FIGURA 23: Gel DeOx (EP).....	98
FIGURA 24: Gel MCC (EP)	98

INTRODUCCIÓN

El desarrollo y la mejora de los materiales odontológicos han permitido avances significativos en el ámbito de las restauraciones dentales. Dentro de este campo, los compuestos resinosos han logrado ser los materiales de mayor elección en la actualidad, debido a su versatilidad, características estéticas, y comportamiento clínico satisfactorio. Particularmente, las resinas nanohíbridas han ganado aceptación debido a su combinación de partículas de relleno nanoestructuradas y microhíbridas, que les confiere un equilibrio óptimo entre resistencia mecánica, estabilidad dimensional y propiedades ópticas, necesarias para satisfacer las altas demandas de la odontología restauradora moderna (1).

Sin embargo, el éxito clínico de las resinas compuestas depende de múltiples factores, entre ellos el grado de conversión y las características superficiales tras el proceso de polimerización. Una limitante común en este proceso es cuando se forma una película delgada, denominada capa inhibida de oxígeno, que se genera debido a la exposición del material polimerizable al oxígeno atmosférico. Esta capa puede influir en la resistencia al desgaste y la microdureza de la restauración, comprometiendo su longevidad y desempeño clínico (2).

Para abordar este problema, se acostumbra el uso de la glicerina, pero han aparecido en el mercado geles inhibidores de oxígeno, que actúan como barreras físicas durante el proceso de polimerización, disminuyendo la interacción del oxígeno con las moléculas de monómero en la superficie de la resina. El uso de estos geles tiene el potencial de mejorar las propiedades mecánicas y estéticas de las resinas, incrementando su durabilidad y funcionalidad. A pesar que se puede encontrar distintos productos en el comercio, las distinciones en su eficacia sobre diversos tipos de resinas compuestas, incluyendo las nanohíbridas, no han sido exploradas de manera exhaustiva en la literatura científica (3).

Este trabajo experimental in vitro se propone comparar la influencia de dos geles inhibidores de oxígeno en la dureza superficial de dos resinas nanohíbridas comúnmente utilizadas en odontología restauradora. La elección de las resinas y los geles está fundamentada en su relevancia clínica y su uso habitual en procedimientos dentales. Este estudio busca no solo generar datos que permitan optimizar las prácticas clínicas, sino también enriquecer la formación de estudiantes de odontología, quienes representan la próxima generación de profesionales comprometidos con el avance de la ciencia y la mejora de la atención al paciente.

Los resultados de esta investigación podrían sentar las bases para futuras recomendaciones en la selección y aplicación de materiales dentales, contribuyendo a la práctica basada en evidencia y al desarrollo continuo de la odontología restauradora.





CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO TEÓRICO

1.- PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Determinación del problema

La formación de la capa de oxígeno inhibido (OIL, por sus siglas en inglés) durante la polimerización de resinas compuestas, especialmente las nanohíbridas, plantea un problema considerable en la odontología restauradora. Esta capa reduce la dureza superficial y la resistencia al desgaste de las restauraciones, lo que afecta su eficacia clínica y durabilidad.

Aunque los geles inhibidores de oxígeno han demostrado ser una solución prometedora, la eficacia comparativa de diferentes productos y su impacto sobre diversas resinas nanohíbridas sigue siendo poco estudiada. La falta de evidencia científica limita la capacidad de los profesionales y estudiantes de odontología para tomar decisiones fundamentadas en la selección de materiales y protocolos clínicos.

Por ello, es necesario investigar cómo diferentes geles inhibidores de oxígeno influyen en las propiedades de dureza y microdureza de las resinas nanohíbridas, proporcionando información clave para optimizar los procedimientos restauradores.

1.2 Enunciado del problema

“Estudio comparativo in vitro de la influencia de dos geles inhibidores de oxígeno en la dureza superficial de dos resinas nanohíbridas, Arequipa 2025”

1.3 Descripción del problema

Áreas del conocimiento

- Área general : Ciencias de la Salud
- Área específica : Odontología
- Especialidad : Odontología Restauradora
- Tópico : Materiales odontológicos

TABLA 1: Análisis de Variables

VARIABLE	INDICADORES	SUBINDICADORES	ITEMS
VARIABLE ESTÍMULO: Resinas compuestas	Forma™		
	Vittra APS		
VARIABLE ESTÍMULO: Geles inhibidores de oxígeno	Gel DeOx		
	Gel MCC		
VARIABLE RESPUESTA: Dureza superficial	Grados de Dureza	Grado 1	< 80 HV
		Grado 2	> 80 y ≤ 100 HV
		Grado 3	> 100 y ≤ 115 HV
		Grado 4	> 115 y ≤ 130 HV
		Grado 5	> 130 y ≤ 150 HV

HV = Dureza Vickers

Interrogantes Principales

- ¿Qué grado de microdureza superficial alcanza la resina Forma™ sin el uso de inhibidores de oxígeno?
- ¿Qué grado de microdureza superficial alcanza la resina Forma™ aplicando el gel inhibidor de oxígeno marca DeOx?
- ¿Qué grado de microdureza superficial alcanza la resina Forma™ aplicando el gel inhibidor de oxígeno marca MCC?
- ¿Qué grado de microdureza superficial alcanza la resina Vittra APS sin el uso de inhibidores de oxígeno?
- ¿Qué grado de microdureza superficial alcanza la resina Vittra APS aplicando el gel inhibidor de oxígeno marca DeOx?
- ¿Qué grado de microdureza superficial alcanza la resina Vittra APS aplicando el gel inhibidor de oxígeno marca MCC?
- ¿El tipo de gel inhibidor de oxígeno influye significativamente en la microdureza superficial de las dos resinas nanohíbridas del estudio?

Taxonomía de la investigación

La taxonomía de la investigación podría clasificarse de la siguiente manera:

- **Según el propósito:**

Investigación aplicada: El objetivo del estudio es aplicar conocimientos científicos para resolver un problema práctico en odontología, específicamente, cómo los geles inhibidores de oxígeno pueden mejorar las propiedades de las resinas nanohíbridas utilizadas en restauraciones dentales. Busca generar recomendaciones prácticas para mejorar los protocolos clínicos.

- **Según el enfoque metodológico:**

Investigación cuantitativa: La investigación cuantifica la dureza superficial de las resinas nanohíbridas mediante metodologías objetivas y numéricas. Los resultados se presentarán como valores numéricos, lo que facilitará la investigación estadística de las diferencias entre los grupos experimentales.

- **Según el diseño de la investigación:**

Investigación Relacional: La investigación de las resinas y los geles permite establecer posibles relaciones causales entre las variables. Se comparan los efectos de los dos geles inhibidores de oxígeno sobre dos tipos de resinas nanohíbridas, evaluando sus diferencias en términos de dureza superficial. Esto se enfoca en la comparación de grupos experimentales.

- **Según el ámbito temporal:**

Investigación transversal: Dado que se mide la dureza superficial en un solo momento, después de la polimerización y aplicación de los geles inhibidores, el estudio es transversal. Los resultados se obtienen a partir de un análisis puntual sin seguimiento a largo plazo.

- **Según el ámbito operacional:**

Investigación de laboratorio: Se realiza en un entorno controlado de laboratorio, donde las condiciones experimentales, como la aplicación de los geles y la medición de la dureza superficial, son estrictamente reguladas.

1.4. Justificación del problema

1.4.1. Estudio original

Se han realizado algunos estudios sobre el uso de glicerina regular para bloquear el oxígeno, pero no muchos sobre los geles comerciales fabricados para este fin. No se ha investigado mucho sobre cómo estos geles afectan a las resinas nanohíbridas, ampliamente utilizadas por sus excelentes propiedades mecánicas y estéticas. Esta investigación es única porque compara dos geles que impiden que el oxígeno se libere en la etapa final de la polimerización. Esto podría ayudarnos a determinar cuál funciona mejor para mejorar las restauraciones dentales.

1.4.2. Importancia científica

Este trabajo reviste una gran importancia científica, ya que profundiza en la comprensión de cómo optimizar los materiales dentales para obtener resultados superiores en procedimientos restaurativos. El estudio ofrece información empírica sobre el impacto de los geles inhibidores de oxígeno y su posible influencia en la mejora de las propiedades físicas y mecánicas de las resinas nanohíbridas, un tema poco explorado en la odontología contemporánea. Esto podría allanar el camino para futuras investigaciones sobre la optimización de materiales dentales y proporcionar recomendaciones más claras para su uso clínico.

1.4.3. Relevancia dentro de la sociedad

Visto desde el ámbito de la comunidad, el estudio tiene un impacto directo en la salud pública, ya que las restauraciones dentales son procedimientos comunes en odontología. El conocer las mejores técnicas y su aplicación, tiene implicaciones para los pacientes, ya que puede mejorar la funcionalidad de las restauraciones y prolongar su vida útil, así como su mayor longevidad en boca sin la necesidad de intervenciones adicionales.

1.4.4. Interés personal

La investigación contribuirá a mi formación académica y profesional, pues me permitirá graduarme como cirujana dentista.

1.4.5. Viabilidad del estudio

La propuesta es totalmente viable desde el punto de vista técnico y metodológico. El estudio se realizará en entornos de laboratorio controlados, utilizando instrumentos de medición de dureza superficial (como durómetros) comunes en los laboratorios. Además, los geles inhibidores de oxígeno son fácilmente accesibles en odontología, y las resinas nanohíbridas se utilizan con frecuencia en la práctica clínica. La viabilidad se sustenta además en los procedimientos y normativas científicas establecidas que fundamentarán el diseño experimental, así como en la experiencia previa de otros investigadores en la realización de estudios in vitro.

2.- OBJETIVOS

2.1 Objetivo Primario

- Evaluar cuál de los dos geles inhibidores de oxígeno influyen significativamente en la microdureza superficial de las dos resinas nanohíbridas del estudio.

2.2 Objetivos Secundarios

- Evaluar cuál es el grado de microdureza superficial de la resina Forma™ sin el uso de inhibidores de oxígeno.
- Evaluar cuál es el grado de microdureza superficial de la resina Forma™ aplicando el gel inhibidor de oxígeno marca DeOx.
- Evaluar cuál es el grado de microdureza superficial de la resina Forma™ aplicando el gel inhibidor de oxígeno marca MCC.

- Evaluar cuál es el grado de microdureza superficial de la resina Vittra APS sin el uso de inhibidores de oxígeno.
- Evaluar cuál es el grado de microdureza superficial de la resina Vittra APS aplicando el gel inhibidor de oxígeno marca DeOx.
- Evaluar cuál es el grado de microdureza superficial de la resina Vittra APS aplicando el gel inhibidor de oxígeno marca MCC.



3. MARCO TEÓRICO

3.1 Revisión de Literatura

3.1.1 Resinas

a) Conceptos

Los composites, anteriormente conocidos como "resinas reforzadas" o "resinas compuestas", son los materiales predominantes para las restauraciones con insertos plásticos y recientemente han adquirido relevancia en las restauraciones rígidas.

Las resinas reforzadas constituyen materiales compuestos. Consisten en dos materiales distintos, fusionados para crear una estructura innovadora. Sus cualidades dependen de muchos factores, como el volumen y las características de cada componente, así como la distribución y la eficacia de la unión entre ellos.

Una de las fases, definida como componente principal, consiste en una resina, una sustancia orgánica sintética que alcanza su forma sólida mediante un proceso de polimerización. Esta fase permite la generación de una masa que puede pasar de un estado flexible y maleable a un estado sólido en circunstancias adecuadas para su uso terapéutico (4).

Para restaurar la función y la estética de los dientes dañados, se han utilizado numerosos materiales en odontología desde principios del siglo pasado. Los estudios clínicos han impulsado los avances en la producción de materiales dentales, lo que ha resultado en la eliminación de algunos materiales o en mejoras considerables, respectivamente. Actualmente, existe una amplia gama de productos para la restauración directa. Normalmente, esto presenta dificultades para los dentistas. Los métodos de marketing de los fabricantes son muy agresivos, lo que plantea una pregunta importante: ¿qué producto químico es el más adecuado para aplicaciones que implican la restauración directa con agua? (5).

Para lograr buenas restauraciones con resinas compuestas, es necesario examinar variables esenciales. Estos elementos incluyen la replicación de la morfología y la estética dental, así como las cualidades ópticas de las restauraciones fabricadas con resinas compuestas.

Los materiales a base de resina se prefieren en la mayoría de los casos clínicos que incluyen pérdida de tejido duro debido a su capacidad para preservar eficazmente las estructuras dentales sanas y conservar la vitalidad del tejido pulpar mediante restauraciones de adhesión directa. Una cualidad importante de estas restauraciones es su capacidad para imitar el color del diente, y su aplicación precisa garantiza su durabilidad y fiabilidad durante un largo periodo.

Desde su introducción en la industria odontológica, los adhesivos y las resinas compuestas han experimentado un gran desarrollo. Inicialmente, se ofrecían solo en un único tono denominado "universal", pero recientemente se han ampliado para incluir una amplia variedad de materiales que se distinguen por su variedad de colores, consistencias y opacidades (6).

Las aplicaciones más comunes de los composites dentales son la restauración y el reemplazo de dientes perdidos y otros componentes dentales. Es posible fijar estos composites directamente a la estructura del diente mediante composites complementarios u otros materiales restauradores. Los dientes artificiales pueden unirse a la base de la prótesis, que se apoya en el tejido blando que rodea el maxilar y la mandíbula, para restaurar la función masticatoria en casos de edentulismo total. Este tipo de prótesis permite restaurar la función masticatoria (7).

Al intentar reemplazar el tejido perdido con el mismo material (debido a caries, fracturas, abrasión o decoloración), surge una preocupación considerable debido a la notable variación en la calidad, especialmente en las propiedades mecánicas, entre el bloque restaurador y el tejido dental. Esta disparidad es especialmente problemática en lo que respecta a las propiedades mecánicas de ambos.

Para empezar, las diferencias esperadas generalmente consistirían en una estructura cerámica (el esmalte está formado principalmente por hidroxiapatita) o una mezcla de materiales cerámicos y orgánicos (dentina, que comprende hidroxiapatita y colágeno), en contraste con una estructura orgánica comparable a la del sellador. Además, el componente orgánico de un sellador resulta en un mayor coeficiente de fluctuación dimensional térmica en comparación con la estructura dental, que tiene un contenido cerámico total o parcial. Esto a pesar de que el componente orgánico tiene una importancia menor (8).

En el ámbito de las restauraciones dentales, las resinas dentales son compuestos sintéticos que han revolucionado el campo desde mediados del siglo XX. Históricamente, la necesidad de materiales estéticamente agradables y útiles para reparar piezas dentales fracturadas impulsó su desarrollo. Inicialmente, se utilizaban cementos de silicato; sin embargo, estos cementos presentaban importantes inconvenientes, como una resistencia al desgaste insuficiente. A finales de la década de 1940, las resinas acrílicas de polimetilmetacrilato (PMMA) sustituyeron a los silicatos. Estas resinas ofrecían diversas ventajas, como una mejor estética y trabajabilidad, pero carecían de la resistencia y la estabilidad dimensional de los silicatos (9).

En 1960, el Dr. Bowen logró con éxito la combinación de una fase orgánica (BIS-GMA) y una fase inorgánica (cuarzo). Esta sustancia se denominó resina compuesta. Su estructura es nucleada y consta de una fase orgánica reactiva continua y una fase inorgánica inerte discontinua. El vinilsilano actúa como catalizador para la unión entre estas dos fases. El diseño de Bowen se ha conservado.

A lo largo de los años, se han realizado pocas modificaciones en el componente orgánico. Estos ajustes incluyen la adición de moléculas de baja viscosidad (UDMA), que reducen la contracción que se produce durante la polimerización. Las alteraciones más notables se encontraron en el componente inorgánico, que experimentó una transformación desde un tamaño inicial de 20 a 50 micrómetros hasta los rellenos de escala nanométrica que se utilizan actualmente ($1 \text{ nm} = 0,001 \mu\text{m}$) (10).

Las resinas compuestas dentales son productos químicos restauradores utilizados en odontología cosmética. Están compuestas por una matriz polimérica orgánica, partículas de relleno inorgánico y un agente de acoplamiento de silano. Su innovación revolucionó la odontología al permitir la realización de restauraciones adhesivas que preservan la estructura dental sana, a diferencia de las amalgamas tradicionales. Además, estas resinas se presentan en una amplia variedad de colores que facilitan su integración con los dientes naturales, además de poseer características mecánicas adecuadas para resistir las presiones de la masticación. Según el tamaño de partícula ($0,6\text{-}1 \mu\text{m}$ para las híbridas y $<0,4 \mu\text{m}$ para los

nanorellenos), estas resinas se clasifican actualmente en híbridas, microhíbridas y nanorellenos. Esta clasificación se basa en el hecho de que el tamaño de partícula influye en la capacidad de pulido, la resistencia al desgaste y la calidad superficial de estas resinas. Las restauraciones directas en las zonas frontal y posterior, las carillas cosméticas y la reconstrucción de muñones en dientes tratados mediante endodoncia son ejemplos de aplicaciones de estos materiales (11).

b) Composición de las resinas:

En el campo de la odontología, los primeros restauradores poliméricos que se utilizaron fueron resinas acrílicas. Sin embargo, problemas como la insuficiente resistencia al desgaste, un alto coeficiente de expansión térmica y una contracción de polimerización significativa obligaron a los fabricantes a incorporar partículas inorgánicas en el material para corregir estas deficiencias. Esto ocurrió entre la década de 1940 y principios de la de 1950. Durante este período, tuvieron un éxito moderado. La adhesión inadecuada entre la matriz polimérica y las partículas de relleno resultó en el fallo del material, la decoloración causada por fluidos orales y una reducción de la resistencia al desgaste como resultado de que las partículas de relleno se separaran completamente de la superficie. R. L. Bowen introdujo una nueva resina en el mercado odontológico a mediados de la década de 1960. Esta resina se denominó Bis-GMA, y era una molécula generada por la interacción del bisfenol A y el metacrilato de glicidilo. Se mezclaba con partículas de relleno de silano que tenían la capacidad de unirse químicamente a la matriz orgánica. En comparación con el metacrilato de metilo, el bis-GMA presenta diversas características valiosas, como un mayor peso molecular y una menor contracción de polimerización. La fórmula inicial desarrollada por Bowen sienta las bases de las resinas restauradoras modernas; sin embargo, con el tiempo se han introducido diversas modificaciones. A continuación, analizaremos cada uno de sus componentes (5).

- **Matriz de la resina:**

El componente orgánico de los composites antes del endurecimiento está compuesto por moléculas insaturadas con grupos vinilo ($C=C$), pesos moleculares variables y grupos laterales; se denominan "monómeros". Al completarse el endurecimiento (por ejemplo, durante la restauración), esta matriz se transforma en una red mayoritariamente interconectada compuesta por un polímero reticulado. El grado de reticulación y el grado de conversión (la cantidad de dobles enlaces saturados formados durante la reacción) influyen en diversas características, como las mecánicas y químicas (4).

Las funciones fundamentales de la matriz orgánica son:

- Servir como aglutinante o medio para el relleno.
- Facilitar la adhesión entre las diversas capas de material y otras estructuras, incluido el tejido dental.
- Especificar el método de endurecimiento, que en este caso es la polimerización vinílica.
- Intervenir en los procesos de adhesión a otras estructuras (4).

- **Relleno/Refuerzo:**

Los rellenos compuestos son esenciales para las numerosas características físicas, mecánicas, químicas y ópticas del material. Se pueden identificar cuatro factores que influyen profundamente en el rendimiento final de una reparación compuesta, en correlación directa con el relleno:

- Cantidad.
- Tipo de relleno y dimensiones de las partículas.
- Composición.
- Forma.

La cantidad de relleno (R) integrada en la masa de la matriz (M) está directamente relacionada con las propiedades mecánicas del material. A menudo se expresa como la proporción de relleno respecto a la matriz. La relación R/M puede representarse como masa/masa, peso/peso (p/p) o

volumen/volumen (v/v). Esta última permite al usuario obtener una comprensión más completa de la cantidad real de relleno en el material, así como su correlación con las propiedades mecánicas finales (4).

La naturaleza de las partículas de relleno, en particular sus dimensiones, es crucial para determinar las características superficiales de los composites, incluyendo la resistencia al desgaste y la obtención y conservación de la suavidad superficial. Estos son dos factores cruciales para la eficacia clínica de las restauraciones posteriores y anteriores: preservar la forma anatómica y una superficie que evite la acumulación de placa bacteriana, además de mejorar los resultados estéticos al imitar la textura y la apariencia del esmalte (4).

- **Agente de unión-agente de acoplamiento:**

Los agentes de unión o acoplamiento se crearon por primera vez en la década de 1940 con la introducción de las fibras de vidrio para reforzar las resinas orgánicas. Las superficies de los fragmentos cerámicos (fibras, partículas o filamentos) utilizados como rellenos en compuestos se modifican mediante moléculas bifuncionales. Estos compuestos se denominan así debido a sus grupos funcionales, que pueden unirse químicamente con sustratos de diversos tipos. Los agentes utilizados para unir las fases orgánica y cerámica incluyen grupos vinilo ($C=C$) y grupos silano (SiH_3). La eficacia de esta unión mejora el rendimiento mecánico y la estabilidad química (4).

- **Iniciadores químicos:**

Moléculas que pueden producir radicales libres (canforquinona, PPD fenilpropanodiona, Lucerin TPO y otras como peróxido de benzoilo para activación química o térmica) (4).

- **Activador:**

Su propósito es acelerar la iniciación; puede manifestarse mediante componentes de diversa naturaleza:

- Físicos: energía térmica, radiación electromagnética (ultravioleta, luz visible) de ciertas longitudes de onda.
- Químicos: compuestos específicos (aminas terciarias).

El tipo de activador incluido es un criterio utilizado para clasificar los compuestos (4).

Los polímeros se distinguen de otros tipos de moléculas por estar compuestos de moléculas grandes y poseer una estructura molecular capaz de adoptar una amplia gama de orientaciones y conformaciones. En este contexto, se comprenden las propiedades básicas de los polímeros. La longitud y la reticulación de la cadena, el grado de ramificación y la orientación de la cadena son características esenciales que determinan las cualidades de los materiales poliméricos. Otras características importantes incluyen el grado de ramificación. Los materiales poliméricos se caracterizan por estas características, que determinan sus propiedades. La polimerización es un proceso que implica interacciones recurrentes entre moléculas y puede continuar indefinidamente, dependiendo de las cualidades funcionales de las moléculas involucradas. Todas las moléculas que componen los polímeros se consideran macromoléculas. Todo compuesto químico con un peso molecular superior a 5000 se considera una macromolécula. En ciertas condiciones, el peso molecular de una molécula de polímero puede alcanzar un valor de cincuenta millones. Además, los polímeros inorgánicos, ejemplificados por la red de dióxido de silicio que se encuentra en varias composiciones de resina y cerámica dental, tienen el potencial de ayudar a la creación de macromoléculas junto con polímeros convencionales (7).

c) Clasificación de las resinas:**- Según la aplicación clínica:**

- Resinas universales (o híbridas): Versátiles para aplicaciones anteriores y posteriores, ofrecen un equilibrio entre estética y durabilidad, mejorando la eficiencia del inventario clínico.
- Las resinas de relleno en bloque se pueden aplicar en espesores considerables (>4 mm) y polimerizar bien, minimizando así la duración de la consulta.
- Las resinas fluidas poseen baja viscosidad, lo que las hace adecuadas para restauraciones mínimamente invasivas, revestimientos y selladores de fisuras.
- Resinas compactables: De manipulación comparable a la amalgama, se recomiendan para restauraciones posteriores que requieren contactos oclusales significativos.
- Las resinas monocolor, simplyshade y polyshade son avances contemporáneos que permiten la restauración de varios tonos dentales con un solo material (12).

- Según el tamaño y tipo de partícula de relleno:

- Nanorellenos y nanohíbridos: Integran partículas nanométricas (5-100 nm) para mejorar el pulido, la estética y las propiedades mecánicas.
- Microhíbridos: Integran micro y macrorellenos para obtener una resistencia y estética óptimas.
- Los materiales de relleno a granel suelen incluir partículas más grandes y modificadores de matriz para facilitar la polimerización en cantidades sustanciales.
- Convencional/macrorellenos: Partículas superiores a 1 μm , poco utilizadas en la práctica clínica actual debido a la rugosidad superficial y la abrasión.

- Microrellenos: Compuestos por partículas de entre 0,04 y 0,4 μm , ofrecen capacidades de pulido superiores, pero su resistencia es limitada (13).

d) **Características de la resina ideal:**

- **Propiedades físicas**

Para que la resina resista las presiones de la masticación, las fuerzas de impacto y el desgaste significativo que se produce en la cavidad oral, debe poseer la resistencia, resiliencia y dureza adecuadas. Es necesario que el material presente estabilidad dimensional en cualquier circunstancia, incluidas las variaciones de presión y temperatura. Se requiere una densidad muy baja para cualquier resina que se vaya a utilizar como sustrato para prótesis maxilares (7).

- **Excelente capacidad de adhesión**

Para mantener la estabilidad de la reparación y minimizar la posibilidad de movilidad o fugas en los bordes, una buena resina debe adherirse firmemente tanto al esmalte como a la dentina. Gracias a esta característica, las terapias conservadoras permiten conservar la mayor cantidad posible de tejido dental viable (14).

- **Manipulación**

Al manipularse, la resina no debe desprender polvo ni vapores peligrosos. Debido a su rápido fraguado y a su insensibilidad a las variaciones en las técnicas de manipulación, debe ser fácil de mezclar, insertar, moldear y fotopolimerizar. Además, el tiempo de fraguado debe ser razonablemente corto. Entre las dificultades clínicas que deberían tener poca o ninguna influencia en los resultados de cualquier método de manipulación se incluyen la contaminación por saliva y sangre, así como la inhibición de la oxigenación.

Todos estos son ejemplos de problemas clínicos. Además, el producto final debe ser fácilmente pulible y, en caso de daños inevitables, debe poder repararse de forma rápida y sencilla (7).

- **Contracción de polimerización y tensión de contracción**

El aumento de la densidad aparente resultante de la reducción de la distancia intermolecular se debe al proceso de polimerización. La contracción depende de numerosos elementos asociados con la matriz orgánica y el volumen del relleno cerámico, junto con el relleno no cerámico si se utiliza un precomposite, así como del mecanismo de iniciación o activación. Es también uno de los factores más cruciales en la manipulación del material. En las fases iniciales de los composites, la contracción volumétrica se relacionaba con la existencia de una brecha marginal, resultante ya sea de la reducción del volumen del bloque de material restaurador o de la insuficiente fuerza adhesiva de los sistemas adhesivos contemporáneos, que no impedían que el material se desprendiera de las paredes de la preparación durante la reacción (4).

- **Compatibilidad biológica**

La resina no debe irritar ni dañar los tejidos bucales, y debe ser inodora, insípida y no representar una amenaza para el organismo. Esta sustancia debe ser totalmente insoluble en la saliva y otros fluidos bucales para cumplir con estos requisitos. Además, debe ser impermeable a los fluidos bucales para evitar sabores u olores desagradables y garantizar la higiene bucal. Es fundamental aplicar la resina como agente de obturación o cementación lo antes posible y asegurar su correcta adhesión a la estructura dental para evitar la formación de gérmenes en la interfaz entre el diente y la restauración (7).

- **Características estéticas**

Para que el material armonice con la apariencia de los tejidos orales que eventualmente reemplaza, debe poseer propiedades translúcidas o transparentes. Es necesario que la resina pueda teñirse o colorearse; sin embargo, una vez fabricada, su color o apariencia no debe variar en absoluto (7).

- **Estabilidad química**

No se ha desarrollado una resina que reúna todas estas características ideales; sin embargo, los polímeros de metacrilato son capaces de cumplir satisfactoriamente con todos los requisitos mencionados. Debido a las duras condiciones que existen en la cavidad oral, es necesario elegir materiales químicamente estables e inertes para resistir eficazmente el deterioro (7).

3.1.2 Fotopolimerización

a) **Conceptos, Definición e Historia:**

Desde aproximadamente la década de 1970, la inserción de unidades de curado intraoral ha permitido ejercer un control significativo sobre el inicio del proceso de polimerización en composites y resinas que se incorporan a otros materiales. Si bien este mayor nivel de control tiene sus ventajas, también requiere una monitorización minuciosa para verificar que todo el espesor del material expuesto se irradie con la cantidad y calidad de energía adecuadas para garantizar que el estado sólido posea las cualidades necesarias.

A pesar de que existen diversos mecanismos que permiten una emisión de calidad y cantidad adecuadas, estas características pueden variar con el tiempo y en función de la calidad del equipo utilizado (4).

Para adaptarse a la amplia variedad de tratamientos que requieren el uso de una fuente de luz, los fabricantes de equipos dentales han creado dispositivos complejos

diseñados específicamente para satisfacer los requisitos de diversos escenarios clínicos. Sin embargo, no son universalmente adecuados para su uso con todos los materiales ni para todos los procesos fotoactivados de forma eficaz y segura.

Los profesionales pueden mejorar la seguridad de la aplicación y reducir las tasas de fallos en los protocolos clínicos fotodependientes si comprenden las propiedades fisicoquímicas y las características de manipulación de los materiales dentales. Además, es beneficioso conocer las unidades de fotoactivación (incluyendo su función fundamental, indicaciones de uso, características ergonómicas y las propiedades físicas de la luz emitida).

En la década de 1970 se inició la práctica de utilizar la activación física para facilitar la polimerización de materiales restauradores. Mediante un reflector intraoral acoplado a una fuente de luz, Buonocore fue la primera empresa en aplicar radiación ultravioleta a la superficie dental durante un periodo de veinte a treinta segundos. Determinó que la intensidad de esta forma específica de luz es suficiente para la polimerización de una resina adhesiva, comúnmente conocida como relleno de fosas y fisuras.

Los fotoiniciadores activados por UV se utilizaron en la producción de las primeras resinas compuestas fotoactivadas que se introdujeron en el mercado odontológico. Nuva-Lite®, fabricado por Caulk y comercializado en Estados Unidos, fue el primer fotoactivador disponible en el mercado global. Utilizaba una lámpara de luz ultravioleta (5).

El uso de estos principios supuso una transformación significativa en la práctica de la terapia restauradora. Gracias a estos enfoques, se eliminó la necesidad de combinar pastas para iniciar el proceso de polimerización química, lo que permitió la eliminación de radicales amina de las composiciones de resina compuesta. Anteriormente, los problemas de inestabilidad del color y porosidad asociados a las restauraciones estéticas directas se limitaban a la región frontal. Esto mejoró significativamente los problemas asociados a estas restauraciones. El avance más importante en el proceso de fotopolimerización es la capacidad de controlar completamente el tiempo de trabajo.

A pesar de estos avances, numerosos estudios científicos han demostrado que la limitada capacidad de penetración de la radiación UV provoca una polimerización

inadecuada. Esto, a su vez, da como resultado restauraciones mecánicamente deficientes y susceptibles a fallos de retención, mala adaptación y una tonalidad amarillenta opaca y estéticamente desagradable. La pulpa y los tejidos gingivales son muy sensibles a la irritación causada por este tipo de radiación. Este sistema de activación en las clínicas dentales tuvo una vida útil limitada debido a la interacción de estos materiales, así como a los posibles efectos negativos de la radiación ultravioleta en profesionales, pacientes y personal de apoyo. En consecuencia, se sustituyó rápidamente por unidades de fotoactivación que utilizaban lámparas halógenas. La mayor capacidad de enfoque de este tipo de luz condujo a una mejora en la tasa de conversión de las resinas compuestas, lo que finalmente resultó en restauraciones estructuralmente superiores con menores tasas de tinción y absorción de agua. Por ello, a lo largo de la historia, se ha considerado la tecnología de fotopolimerización más segura y exitosa (5).

Como resultado de los avances en materiales restauradores y adhesivos dentales, así como de la utilización de diversos tratamientos restauradores directos e indirectos que emplean la fotoactivación, los dispositivos emisores de luz se han convertido en un componente vital de la práctica clínica restauradora. Si bien se han producido avances en la calidad de los materiales y equipos fotoactivadores, aún existen diversos problemas que se observan con frecuencia con los materiales fotoactivados y los métodos de tratamiento asociados. Investigaciones han demostrado que la energía producida por las fuentes de luz, al combinarse con diversas resinas compuestas y otros materiales fotosensibles disponibles para uso comercial, puede alcanzar una tasa de polimerización o conversión de monómeros del cincuenta por ciento. Como consecuencia de esta baja tasa de conversión, las restauraciones son mecánicamente inferiores, menos duraderas y contienen una gran cantidad de monómero residual, lo que afecta a su biocompatibilidad.

Los dispositivos de fotoactivación que emplean diodos emisores de luz dentro de ciertos rangos de longitud de onda son la alternativa más moderna a las lámparas de fotoactivación. Estos dispositivos se conocen como aparatos de fotoactivación LED (diodos emisores de luz). Las baterías que los alimentan son recargables y son más ligeros y duraderos que sus predecesores. Actualmente, existe una amplia gama de marcas y variantes de estos dispositivos disponibles en el mercado. Su

precio competitivo y su forma ergonómica los hacen muy atractivos para los profesionales (5).

El proceso de polimerización va seguido del curado de diversos materiales. Debido a que la etapa de iniciación durante la polimerización por adición requiere energía para su activación, el proceso puede acelerarse. Esto aumenta la eficacia del curado.

La fotoquímica se ocupa de la investigación de la formación de compuestos mediante la estimulación de procesos químicos mediante luz fluorescente. Para que se produzca el fotocurado, es fundamental que el material absorba adecuadamente los rayos de luz. Para determinar la absorción, es fundamental considerar tanto la longitud de onda de la radiación incidente como las propiedades de la estructura que interactúa con ella (15).

Con el tiempo, se han desarrollado diversos enfoques para la fotoactivación de resinas compuestas. Las lámparas de arco de plasma, las lámparas halógenas, los láseres y las lámparas LED, que generan luz a partir de diodos, son ejemplos de las numerosas tecnologías de luz disponibles en la actualidad. La necesidad de nuevos materiales impulsó el desarrollo de las lámparas fotopolimerizables. Las lámparas halógenas existen desde hace tiempo y se ofrecen a los consumidores. La iluminación de plasma y láser se ha utilizado en la odontología actual durante casi diez años desde su introducción. En definitiva, el uso de las lámparas LED permitió a la comunidad odontológica de todo el mundo acceder a un método eficiente para los tratamientos de restauración con resina compuesta. Este procedimiento se sigue realizando a día de hoy (15).

La polimerización vinílica es un proceso que se produce entre moléculas insaturadas, moléculas con dobles enlaces carbono-carbono, y que se origina en la química de los alquenos. El nombre "polimerización vinílica" proviene de la clasificación de los grupos químicos que incluyen dobles enlaces como "vinilo". Para fabricar moléculas de polímero mediante este método, es necesario utilizar monómeros con dobles enlaces, concretamente monómeros vinílicos. Un ejemplo destacado es la molécula de etileno, a veces denominada eteno. Las estructuras moleculares más complejas pueden tener más grupos químicos complementarios o dobles enlaces que uno solo, y todas tienen la capacidad de formar polímeros de la misma manera. Al disociarse en condiciones fáciles de lograr, los dobles enlaces

pueden activar moléculas con valencias libres. Esto se debe a que los dobles enlaces representan un estado bastante inestable. Dado que estas valencias libres no pueden existir de forma independiente, se saturan entre sí, lo que provoca la conexión entre las moléculas y, en última instancia, la formación del polímero deseado. En muchos casos, el monómero se indica con el prefijo "poli", como en el caso del polietileno (16).

En el campo de la odontología, la fotopolimerización es una técnica esencial que se utiliza para garantizar que las restauraciones dentales posean las cualidades funcionales y estéticas esenciales. El éxito de esta intervención quirúrgica depende de diversas circunstancias, entre ellas:

- **Tipo de lámpara de fotopolimerización:** Las lámparas halógenas y las bombillas LED son dos ejemplos de la gran variedad de fuentes de luz disponibles. Las luces LED han experimentado un desarrollo considerable, lo que ha generado numerosas ventajas. Estas incluyen un menor consumo de energía, la ausencia de ventiladores y una mayor vida útil sin reducir la cantidad de luz que proporcionan (17).
- **Duración e intensidad de la exposición:** Para una polimerización óptima, es fundamental una exposición adecuada. Considerando las ventajas de la iluminación LED, treinta segundos pueden ser suficientes. Además, la fase oscura del proceso se caracteriza por la posibilidad de que la fotopolimerización continúe hasta veinticuatro horas después de retirar la fuente de luz (17).
- **Profundidad de curado:** Es crucial que la luz pueda penetrar la resina para garantizar la consistencia del proceso de polimerización. Debido a la mayor concentración de fotoiniciadores activos en la zona más cercana a la fuente de luz, el proceso de polimerización será más completo en esa región (17).

Las restauraciones deficientes pueden deberse a una fotopolimerización insuficiente, lo que puede provocar decoloración, irritación pulpar, sensibilidad postoperatoria o incluso el fracaso de la restauración. Es fundamental elegir la fuente de luz adecuada, calcular la duración de exposición correcta y examinar las

propiedades distintivas del material utilizado en las restauraciones dentales para garantizar su eficacia clínica (17).

3.1.3 Dureza y Microdureza superficial

a) Conceptos:

Es posible determinar la resistencia de un sólido al rayado o la penetración examinando su dureza superficial. La dureza y la resistencia mecánica son dos conceptos que no deben confundirse. Por otro lado, un cuerpo puede tener una dureza superficial baja y una resistencia mecánica alta (resistencia a la fractura), y viceversa. Consideremos que el acero tiene mayor resistencia mecánica que el vidrio, a pesar de que este último parece más duradero, pero en realidad tiene una resistencia menor.

Para determinar la dureza, se utilizan instrumentos especializados como penetrómetros y durómetros. Estos tienen una punta en el extremo de trabajo que se encarga de producir el rayado o la penetración que produce el penetrador. Los nombres de las empresas fabricantes de durómetros se utilizan para identificar las lecturas obtenidas con estos instrumentos.

La dureza superficial es el grado de resistencia de una sustancia al rayado o al desgaste por penetración. La diferencia entre rayado y penetración, por otro lado, es sustancial. Por lo tanto, para evaluar las cualidades del biomaterial investigado, se utilizarán diversos dispositivos, conocidos como penetrómetros. Cada uno de estos penetrómetros se suministrará con un componente llamado indentador. Debido a que este movimiento impactaría el material en lugar de penetrarlo, no pudimos obtener una medición precisa de la dureza de la silicona con un penetrómetro de rayado. Es necesario contar con un penetrador con punta roma que funcione por compresión y pueda dejar una huella (una depresión de baja densidad) (18).

La aplicación de una fuerza estandarizada o un peso constante o variable al biomaterial que se examina con la ayuda de una punta o penetrador es la técnica básica para determinar la dureza del material. Esto es así independientemente de la prueba específica que se utilice.

Las puntas activas de los penetradores, que pueden estar hechas de acero, carburo de tungsteno o diamante, según las especificaciones del fabricante, pueden presentar formas esféricas, piramidales o romboidales.

Al determinar la dureza del cuerpo, es necesario asegurarse de que la superficie que se mide sea excepcionalmente lisa, nivelada y pulida. Esta es una condición básica y crucial. Al aplicar una fuerza al penetrador, se produce una perforación, arañazo o hendidura en la superficie de la muestra. La profundidad, el área o la anchura de esta hendidura se pueden medir con un microscopio. Se comparan las mediciones de la hendidura, marca o raspadura con los valores registrados previamente. Existe una correlación negativa entre la resistencia a la penetración del material ensayado y el tamaño de la huella producida. Existe una correlación entre una mayor resistencia y una menor penetración o marca, lo que indica una mayor dureza (18).

La capacidad de un material para mantener una deformación permanente al ser expuesto a una fuerza, especialmente la aplicada por la penetración de un elemento más duro, se denomina dureza del material. La resistencia del material a la abrasión, el rayado, la indentación y la deformación son algunos de los elementos que se incluyen en esta expresión (19).

El término "dureza superficial" se refiere al grado de penetración en la superficie de un material. En la primera prueba de dureza superficial, se utilizaron dos materiales diferentes, uno de los cuales presentaba una dureza menor. El objetivo de esta prueba era determinar si la sustancia más dura podía rayar la superficie del material más blando. Esta prueba permitió determinar la dureza superficial del material. La dureza de una sustancia puede determinarse mediante un penetrador, aplicando presión sobre la superficie del material. Se cree que esta técnica se utiliza para evaluar el grado de dureza de diversos materiales. En cuanto al fenómeno de la indentación del material, se ha observado que los materiales flexibles presentan indentaciones tanto profundas como anchas, lo que resulta en una evaluación errónea de la dureza del material (20).

Por otro lado, la medición de la microdureza superficial consiste en determinar el grado de dureza de áreas específicas de la superficie de un material mientras se somete a bajas tensiones durante el proceso de prueba. Esta prueba es especialmente útil para evaluar materiales delgados, recubrimientos superficiales o

microestructuras especializadas, sobre todo en aplicaciones de menor escala, como la odontología (21).

Un indentador extremadamente duro se utiliza para aplicar una carga controlada a superficies muy pequeñas, y la microdureza superficial es una propiedad mecánica que muestra la resistencia de la superficie de un material dental, como el esmalte, la dentina o las resinas compuestas, a la penetración o indentación permanente. La microdureza superficial se puede medir utilizando un indentador que sea excepcionalmente duro. Esta medición es crucial en el campo de la odontología, ya que permite la verificación de la calidad de los materiales de restauración, así como su grado de polimerización y resistencia al desgaste, la abrasión y la deformación. Esto garantiza una larga vida útil, así como un excelente rendimiento clínico. Para el propósito de determinar el nivel de dureza de una superficie mínima, se utilizan a menudo pruebas como la Vickers o la Knoop. Posteriormente, esta información se utiliza para comparar el comportamiento de los tejidos dentales y los materiales de restauración cuando se someten a la masticación u otros aspectos (22).

Seguidamente veremos las características que separan a la microdureza superficial con la dureza:

- Existen dos categorías de escalas de medición: dureza volumétrica y microdureza superficial. La dureza volumétrica evalúa la resistencia integral de un material a la deformación, mientras que la microdureza superficial se centra en microestructuras específicas o características superficiales localizadas.
- Las evaluaciones de dureza suelen incluir pesas e indentadores considerables, como las técnicas Rockwell o Brinell. Estas evaluaciones se utilizan para determinar el nivel de dificultad. Las evaluaciones de microdureza utilizan pesas e indentadores pequeños, como las técnicas Vickers o Knoop. Esto garantiza que incluso regiones diminutas puedan evaluarse sin causar daños considerables a la muestra (23).
- La dureza volumétrica es adecuada para evaluar materiales homogéneos y de mayor tamaño, ya que ofrece una evaluación exhaustiva de su resistencia. Cuando es necesario evaluar la dureza en ciertas regiones de una muestra, la microdureza superficial es la opción preferida. También

es adecuada para materiales heterogéneos, películas delgadas y recubrimientos (21).

El durómetro, un instrumento predilecto para determinar la dureza, está equipado con penetradores de diversas formas, como esferas de acero y diamante, así como pirámides. La fuerza aplicada a estos penetradores puede variar desde gramos hasta kilos, y el examinador o investigador que realiza la prueba es quien determina su duración (20).

Al analizar la dureza de los materiales, existen diversas formas y técnicas para evaluarla, como son:

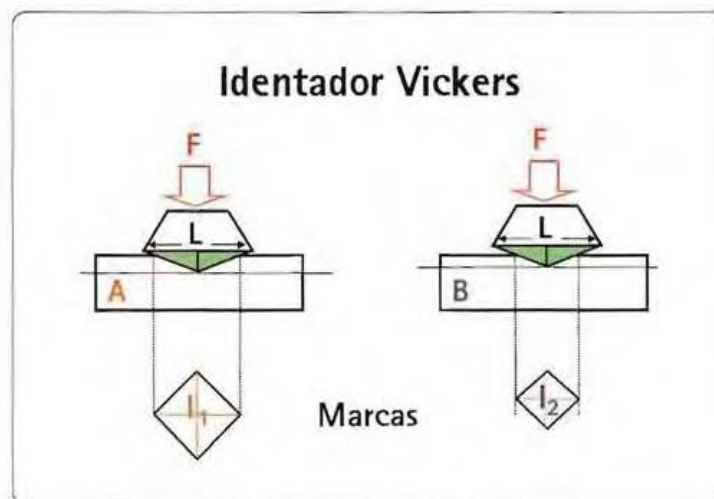
- La capacidad de un material para resistir el rayado de otra sustancia se denomina dureza de rayado. Cuando una sustancia es más tenaz, puede degradar un material más blando. En la mayoría de los casos, se utiliza la escala de Mohs, un sistema de clasificación que clasifica los materiales del 1 (talco) al 10 (diamante), para realizar este proceso de medición (19).
- Dureza por indentación: Evalúa la resistencia de un material a la deformación bajo la presión continua de un penetrador. Las técnicas empleadas con frecuencia incluyen:
 - Para determinar la dureza Brinell de un material, se aplica una fuerza continua sobre su superficie mientras se presiona una bola de acero o carburo. Todo esto se hace para determinar la resistencia del material a la penetración (24).
 - La prueba de dureza Rockwell es un método que permite determinar la resistencia a la penetración de un material. En esta técnica, se mide la profundidad a la que un penetrador (ya sea un cono de diamante o una bola de acero) puede penetrar un material sometido a una carga determinada (25).

El método conocido como dureza Vickers evalúa la resistencia de un material a la deformación plástica mediante indentación. Para ello, se utiliza un indentador de diamante de pirámide cuadrada y se mantiene una carga constante durante todo el proceso. La magnitud de la depresión producida determina la resistencia general del material.

Para determinar la resistencia superficial de materiales dentales, como resinas compuestas, cerámicas y aleaciones metálicas, se utiliza la escala de dureza Vickers en odontología. La información que proporciona esta escala se refiere a la capacidad de los materiales para tolerar presiones oclusales, abrasión y desgaste regular (26).

En la prueba de durómetro Vickers se utiliza un penetrador de diamante piramidal cuadrangular con facetas en un ángulo de 136 grados. Este penetrador se presiona contra el material con una tensión determinada para determinar su dureza. Dependiendo de la dureza del material evaluado, las tensiones aplicadas pueden variar entre uno y ciento veinte kilogramos. El penetrador produce una indentación romboidal, cuyas diagonales se miden como se muestra en la Ilustración 1. En estas circunstancias, el cuerpo B es más robusto que el cuerpo A (18).

FIGURA 1: Marcas Identador Vickers



*Fuente (18).

- Si bien la técnica Knoop es análoga al método Vickers, se diferencia por el uso de un indentador expandido. Esto la hace adecuada para evaluar materiales frágiles o con capas delgadas (26).

Los materiales utilizados en odontología pueden evaluarse por su microdureza. Considerar esta característica es necesario para evaluar su resistencia a la abrasión, el desgaste y el deterioro en el entorno bucal. La microdureza de un material se puede determinar mediante pruebas de indentación, como las técnicas Vickers o Knoop, que permiten evaluar la dureza del material en superficies muy pequeñas (27).

Los productos dentales se han sometido a estas pruebas en numerosas investigaciones. Se ha determinado que la microdureza del esmalte dental se ha evaluado para explorar el impacto de diversos tratamientos o factores externos en la estructura del esmalte dental. También se ha probado la microdureza de resinas compuestas, cementos de resina y materiales endodónticos a base de silicato de calcio para identificar la polimerización, la resistencia y la durabilidad de estos materiales en circunstancias que simulan el entorno bucal (28).

3.1.4 Capa Inhibida por oxígeno

a) Definición:

La capa inhibida por oxígeno, también conocida como OIM, es una capa superficial de las resinas compuestas dentales que no polimeriza completamente debido a la interferencia de los radicales libres y el oxígeno ambiental que se forman durante el proceso de polimerización. Este fenómeno se produce cuando el oxígeno impide la formación de enlaces cruzados entre monómeros, lo que finalmente resulta en una superficie pegajosa y con capacidades mecánicas reducidas (29).

Los radicales libres son producidos por fotoiniciadores durante el proceso de fotopolimerización de las resinas compuestas. Estos radicales libres son responsables de iniciar la polimerización de los monómeros. Por otro lado, el oxígeno interactúa con estos radicales en la zona expuesta al aire, lo que resulta en la generación de radicales peróxido menos reactivos. Esto retrasa o inhibe la polimerización en esa zona.

La eliminación incorrecta de la capa inhibidora puede dañar los aspectos mecánicos y estéticos de la restauración, dejándola más vulnerable al desgaste y

a la formación de placa. Esto puede aumentar la probabilidad de que la restauración falle (30).

En el proceso de polimerización, los radicales libres son responsables de iniciar una reacción en cadena. Cuando la superficie de la resina compuesta se expone al aire durante el proceso de polimerización, la interacción entre el oxígeno y los radicales es mayor que la interacción entre el monómero y los radicales. Esto resulta en la formación de una capa inhibida por el oxígeno, también conocida como OIL. El proceso de polimerización puede verse obstaculizado por esta capa, lo que también puede resultar en una disminución de la calidad de la resina compuesta.

Mediante la incorporación de glicerina en la superficie de la resina compuesta, es posible reducir la probabilidad de formación de una capa inhibida por el oxígeno. Además, la glicerina tiene la capacidad de inhibir el contacto entre la resina compuesta y el aire, lo que resulta en una polimerización más efectiva. Las resinas compuestas pueden mejorar su resistencia a la compresión, la resistencia a la abrasión y la dureza mediante un proceso de polimerización bien realizado (31).

b) DeOx™:

El gel viscoso conocido como DeOx, elaborado con glicerina, se utiliza para recubrir componentes de resina fotopolimerizables antes de la polimerización. Durante el proceso de polimerización, este protege la resina de la exposición al oxígeno y evita la formación de una capa en su superficie que inhibe el oxígeno. Tras su aplicación, el DeOx se elimina fácilmente rociándolo con agua. Para reducir el tiempo y el esfuerzo necesarios para el pulido posterior de superficies de composite, se utiliza el tratamiento con DeOx.

La formación progresiva de una capa inhibidora de oxígeno en las superficies de composite durante la fotopolimerización resulta ventajosa inicialmente, ya que mejora la adhesión entre las capas de composite al utilizar un método de estratificación. Esta capa se forma gradualmente a lo largo del proceso de fotopolimerización. Por otro lado, una vez esculpida la superficie de la restauración final, no es deseable, ya que oculta las pequeñas características previas. Además, suele requerir un pulido minucioso. La aplicación de una capa de DeOx antes del proceso de polimerización final actúa como barrera contra el

oxígeno, garantizando así la finalización del proceso de polimerización y reduciendo considerablemente el pulido posterior. Para disimular las crestas cavomarginales, DeOx es un método muy eficaz. Es posible que la resina de cementación sufra erosión en el borde si se forma una capa inhibidora del oxígeno en su superficie. Para evitarlo, utilice DeOx (32).

Características de DeOx:

- Logra evitar que se forme la capa inhibida de oxígeno.
- No altera la anatomía superficial de las restauraciones.
- En algunos casos no es necesario realizar pulido.
- Presenta una jeringa aplicadora que facilita su uso (32).

c) Gel MCC fórmula magistral:

Como resultado del procedimiento de obturación realizado en la clínica dental, las superficies seguirán presentando imperfecciones y rugosidades. Si no se eliminan, podrían perjudicar la calidad, la resistencia a la fractura y la vida útil de la restauración. El oxígeno, además de todos los factores mencionados, puede impedir que las resinas compuestas se adhieran a los dientes. Esta solución está diseñada para evitar estos defectos, lo que a su vez mejorará la calidad de las restauraciones. Una jeringa de diez mililitros (33).

Un gel inhibidor de oxígeno eficiente, más allá de ser solo glicerina, debe tener las siguientes características:

- Base hidrosoluble: Esto permite que el gel tenga una consistencia suficiente (alta viscosidad) para cubrir la superficie de la resina de manera uniforme sin provocar que se corra, y también permite que el gel se elimine rápidamente con agua después de su uso, evitando así residuos que puedan afectar negativamente el proceso de restauración.
- Ausencia de olor y sabor: Para no afectar la comodidad del paciente durante su aplicación.

- Componentes humectantes y estabilizadores: Además, puede incluir agentes que preservan la humedad e inhiben la evaporación rápida, garantizando así una barrera eficaz contra el oxígeno durante todo el proceso de polimerización. La glicerina es uno de los componentes que puede estar presente (33).



3.2 Antecedentes investigativos

3.2.1 Internacionales:

- **Autor: Isabel Ferreto-Gutiérrez**

Título: “Descripción físico-matemática de la capa inhibida por oxígeno en polímeros dentales nano rellenados”.

Universidad de Costa Rica. 2023.

En esta investigación, se examinó una capa inhibida por oxígeno, también conocida como ACEITE, para determinar su presencia en la superficie fotopolimerizada final de una resina compuesta dental cubierta por una capa de glicerina. Se emplearon métodos físicos y matemáticos para este examen. Como parte de la evaluación de la microdureza Vickers (VHN), se fabricaron discos polimerizados. Además, se desarrollaron discos prepolimerizados y pospolimerizados para determinar las relaciones de enlace C-O/C-H mediante espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) ($n = 10$). Esto se logró empleando dos tipos distintos de glicerina: una para aplicaciones médicas (MG) y otra para aplicaciones dentales (DG). En la secuencia de MG, DG y CO, la dureza superficial se redujo, y el aumento de las relaciones de enlace C-O/C-H disminuyó proporcionalmente a la reducción de la dureza superficial ($p < 0,05$). Las muestras que fueron cubiertas con capas de glicerina médica y dental mostraron mayores niveles de dureza y menores relaciones de enlace C-O/C-H en comparación con el grupo que sirvió como control.

PALABRAS CLAVE: Polímero; Resina compuesta; Glicerol; Prueba de dureza; FTIR (34).

- **Autor: Hyun-Hee Park**

Título: “Efecto de la glicerina sobre la dureza superficial de los composites después del curado”.

Seoul National University. 2011.

Esta investigación se realizó con el propósito de determinar el efecto de la aplicación tópica de glicerina en la dureza superficial de los composites después de su curado.

Componentes y procedimientos: Tras colocar un material composite (Z-250, 3M ESPE) en un molde de latón en forma de disco, el material se fotopolimerizó según una de las técnicas descritas. El grupo 1, que sirvió como control, se expuso al aire y se fotopolimerizó durante cuarenta segundos; el grupo 2, que se protegió con una tira de Mylar y se fotopolimerizó durante cuarenta segundos; el grupo 3, que se recubrió superficialmente con glicerina y se fotopolimerizó durante cuarenta segundos; y el grupo 4, que se expuso al aire y se fotopolimerizó durante veinte segundos, seguido de un recubrimiento superficial con glicerina y un fotopolimerizado adicional durante veinte segundos. Se generaron veinte muestras de cada grupo. Se realizó una evaluación para determinar la dureza superficial de las muestras con y sin pulido. Tras cinco días, se revisó la dureza superficial de cada muestra para un análisis más detallado. Los datos se analizaron mediante pruebas post hoc de Tukey y un análisis de varianza de tres vías (ANOVA).

Resultado final: Inmediatamente después del curado, la dureza superficial de las muestras sin pulir disminuyó en el siguiente orden: grupo 2 > grupo 3 > grupo 4 > grupo 1. El examen de las muestras pulidas reveló que no existían diferencias apreciables entre los grupos. La dureza de las muestras pulidas mostró un mayor nivel de dureza que la de las muestras sin pulir. Esto indica que la dureza de las muestras aumentó en el transcurso de cinco días en comparación con la evaluación inmediatamente posterior al curado.

La conclusión es que pulir el composite después del curado es la forma más eficiente de aumentar su dureza superficial. Antes de continuar con el proceso de curado, se sugiere aplicar tópicamente una tira de Mylar o glicerina.

Palabras clave: Composite; Glicerina; Tira de Mylar; Pulido; Dureza superficial (35).

- **Autor: Paula Daniela Calvo Jaimes**

Título: “Efecto de la capa inhibida de oxígeno en la fuerza adhesiva en materiales dentales. Revisión sistemática”.

UNIVERSIDAD EL BOSQUE, BOGOTÁ. 2024.

A pesar de que se han realizado varios estudios para evaluar la fuerza adhesiva de diversos materiales dentales en relación con la capa inhibida por oxígeno (OIM), aún no se ha establecido de forma concluyente si esta influencia es positiva o negativa. Además, el problema de la adhesión en el momento de la fractura de la restauración es un tema ampliamente estudiado, en particular respecto a si es necesario retirar toda la resina o solo la pieza dañada. Las reparaciones con composite se utilizan a menudo en entornos clínicos; sin embargo, la OIM puede tener consecuencias tanto beneficiosas como perjudiciales simultáneamente.

El propósito de este estudio es determinar el efecto de la capa inhibida por oxígeno (OIM) en la fuerza adhesiva de las restauraciones dentales.

Se realizó una revisión exhaustiva que incluyó un metanálisis, y el protocolo se guardó en el repositorio de investigación PROSPERO. Mediante el uso del marco PICO, se formuló la pregunta de investigación. Tras una búsqueda exhaustiva en LILACS, PubMed, Cochrane y Google Académico, los estudios identificados se analizaron y seleccionaron con la ayuda de Rayyan. Con base en los criterios CRIS, se evaluó la calidad del estudio y se asignaron puntuaciones de 0 (incumplimiento), 0,5 (cumplimiento parcial) y 1 (cumplimiento completo) para evaluar la validez y el riesgo de la hipótesis. Se utilizó una hoja de cálculo de Excel para organizar cuidadosamente los datos recuperados, que incluían elementos como el tipo de resina, la presencia de OIM, la fuerza de adhesión y las técnicas de eliminación de capas. Para evaluar la fuerza de adhesión en MPA entre la presencia y la ausencia de OIM para cada tipo de resina, se realizó un metanálisis de efectos aleatorios. Los resultados mostraron que se consideraron once estudios in vitro, con cuatro

estudios de baja calidad y siete de calidad moderada. Se detectaron diferencias significativas en la fuerza de adhesión entre la presencia y la ausencia de una capa inhibida en dos de los siete subgrupos de resinas investigados. Estos subgrupos fueron microhíbridos y nanohíbridos entre los siete. Existe una preferencia por la adhesión en presencia de una capa inhibida por oxígeno, como lo demuestran las medias agrupadas y los intervalos de confianza (IC) obtenidos, que son 11,13 MPa (IC: 0,37-21,89) y 5,70 MPa (IC: 3,18-8,22), respectivamente.

Según los hallazgos de esta exhaustiva investigación, en la práctica, la capa inhibida por oxígeno debe mantenerse entre las capas de resina. Esto se debe a que la presencia de radicales libres en la superficie de cada incremento mejora la adhesión, lo que a su vez resulta en un aumento de la fuerza adhesiva. Para reducir la heterogeneidad y fortalecer los datos existentes, se recomienda realizar más estudios con diseños más robustos y controlados..

Palabras clave: capa inhibida de oxígeno, fuera adhesiva, materiales dentales, revisión sistemática de la literatura (36).

3.2.2 Nacionales:

- **Autor: Melissa Analy Aguilar Mollo**

Título: “Efecto de la glicerina gel en la formación de la capa inhibida de oxígeno superficial en las resinas compuestas”.

Universidad de San Martín de Porres. 2012.

El propósito de este estudio es determinar el efecto del gel de glicerina en la formación de la capa superficial inhibida por el oxígeno de las resinas compuestas. Se realizó un estudio prospectivo, experimental, transversal y comparativo. Para este experimento, se utilizó resina compuesta fluida, también conocida como PROFILTM FLOW, como material dental. El material de relleno se dividió en dos grupos: un grupo control y un grupo experimental. En el grupo experimental, se aplicó glicerina (BLOCK ACTION FORM, gel bloqueador de oxígeno) a la superficie de los discos. El grupo control sirvió como control. Posteriormente, las

muestras se transfirieron a tubos de ensayo que contenían metanol. Para determinar las cantidades de monómeros remanentes, se utilizó cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) y la prueba U de Mann-Whitney con un nivel de significancia del 5%. Como resultado, la concentración de monómero TEGDMA en partes por millón (ppm) mostró una diferencia muy significativa entre el grupo control y el grupo experimental ($p < 0,001$). De igual forma, la concentración de monómero BisGMA en ppm también mostró una diferencia significativa ($p < 0,001$). En resumen, la capa inhibida por oxígeno de las resinas compuestas se reduce significativamente con la aplicación de gel de glicerina (37).

- **Autor: Nayda Delia Candelario Vilcapoma**
Título: “Efecto del gel de glicerina en la estabilidad del color en resinas de fotocurado in vitro”.
Universidad Continental. 2023.

El propósito de este estudio es determinar el efecto del gel de glicerina en la estabilidad del color de las resinas fotopolimerizables probadas in vitro. Procedimientos y elementos: La muestra consistió en sesenta discos de resina, divididos en dos grupos de treinta discos cada uno. Uno de los grupos contenía glicerina, mientras que el otro no. Dado que los datos sobre la variación del color se recopilaban durante un período de tiempo (cada dos días durante un total de 15 días), se empleó una técnica científica y explicativa aplicada. Se utilizó una hoja de recolección verificada y analizada por jueces experimentados como herramienta para la recopilación de datos. Resultado final: Se sumergieron sesenta discos de resina en líquidos carbonatados, y el tono inicial de los discos se registró como 120. Después de quince días de inmersión, el color final de la solución salina fisiológica utilizada en el primer grupo de control fue de 130. De manera similar, el color final de la solución utilizada en el segundo grupo de control, que no incluía glicerina, fue similarmente 130 después de quince días. Después de quince días de inmersión, el color final del segundo grupo de Coca-Cola que tenía glicerina fue de 140, pero el color del grupo que no contenía glicerina fue de 130. Después de 15 días de inmersión, el tono final del tercer grupo de Inca Kola que tenía glicerina midió 130; de manera similar, el color final fue 130 cuando no había glicerina presente.

Después de un período de quince días, se demostró que la glicerina no tuvo ningún efecto sobre la estabilidad del color de las resinas fotopolimerizables cuando se probó in vitro.

Palabras claves: gel de glicerina, resina compuesta, estabilidad y color (38).

- **Autor: Alayo Zamudio, Mayra Alejandra**

Título: “Evaluación de la resistencia adhesiva a dentina de sistemas adhesivos universales con y sin cinta celuloide como neutralizador de la capa inhibida de oxígeno”.

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS. 2020.

Para determinar la resistencia de adhesión entre la dentina y los sistemas adhesivos universales Ambar™ Universal (FGM), Tetric® N-Bond Universal (Ivoclar) y Scotchbond™ Universal (3M ESPE), el objetivo fue evaluar la resistencia de adhesión de estos sistemas con y sin el uso de cinta de celuloide como inhibidor de la capa de oxígeno.

Componentes y procedimientos: Se seleccionaron noventa dientes de bovinos para su examen y disección. Para exponer la dentina, se utilizó papel de lija de grano 320 y bases acrílicas para asegurar las coronas. Los participantes se asignaron a los tres grupos G1 - Ambar™ Universal; G2 - Tetric® N-Bond Universal; y G3 - Scotchbond™ Universal, cada uno de los cuales consistió en treinta individuos. Las actividades de adhesión se realizaron de acuerdo con las especificaciones del fabricante, utilizando la técnica de inhibición de la capa de oxígeno y cinta de celuloide en cada uno de los grupos. Se utilizaron microcilindros de resina Filtek™ Z350XT-A2 de 2 x 4 milímetros en el procedimiento de restauración. Las muestras se mantuvieron en un horno durante veinticuatro horas. Se utilizó un comprobador de cizallamiento universal, a una velocidad de 0,5 milímetros por minuto y una capacidad de 500 Newtons, para calcular la resistencia de adhesión. Se utilizó un microscopio digital Dino-Lite con cincuenta aumentos para determinar el tipo de fractura. Se realizaron estadísticas inferenciales mediante las pruebas de Kruskal-Wallis y U de Mann-Whitney, mientras que las estadísticas descriptivas se

calcularon mediante la media y la desviación estándar. En cuanto a la fuerza adhesiva de Tetric® N-Bond Universal ($4,14 \pm 1,73$) ($4,62 \pm 3,79$) y Scotchbond™ Universal ($6,48 \pm 2,26$) ($10,64 \pm 4,68$), no se observaron diferencias apreciables. Sin embargo, se observó que Ambar™ Universal ($11,34 \pm 6,47$) ($10,74 \pm 4,45$) presentaba una fuerza adhesiva mucho mayor que los otros dos. Se utilizaron tanto el método de inhibición ($p = 0,001$) como el de no inhibición ($p = 0,002$) para realizar una comparación entre los adhesivos.

Mediante el método de inhibición, Ambar™ Universal mostró una mayor fuerza adhesiva en comparación con los demás adhesivos evaluados. Sin embargo, cuando no se utilizó el método inhibitorio no hubo ningún cambio perceptible en los niveles de fuerza detectados.

Palabras Claves: Adhesivos; Dentina; Resistencia al Corte (39).

3.2.3 Locales:

- **Autor: Hinojosa Ordoñez, Luis Gonzalo**
Título: “Susceptibilidad a la pigmentación superficial de las resinas compuestas filtek™Z350 XT (3M) y VITTRA APS (FGM) con y sin aplicación de glicerina”.
Universidad Católica de Santa María. 2019.

El propósito de este estudio fue determinar el grado de sensibilidad de dos resinas compuestas (Filtek™ Z350 XT 3M y Vittra APS FGM, Esmalte A2) a la pigmentación superficial cuando fueron tratadas con café como agente pigmentante, tanto con como sin la aplicación de glicerina. La investigación se llevó a cabo utilizando un diseño experimental que incluyó enfoques comparativos, de laboratorio, longitudinales y prospectivos en varios puntos en el tiempo. Para este proyecto, se utilizó un troquel metálico para crear veinticuatro discos de resina, cada uno de los cuales medía dos milímetros de altura y ocho milímetros de diámetro. Los discos se dividieron en dos grupos: un grupo experimental que consistía en doce discos de resina que fueron tratados con glicerina antes de la

fotopolimerización, y un grupo de control que consistía en doce discos de resina que fueron polimerizados sin el uso de glicerina. Hubo dos subgrupos de seis discos cada uno para cada marca de resina en cada conjunto. Tras siete días de inmersión en café, las muestras se almacenaron en una incubadora a 37 °C durante todo el proceso. Para registrar el color inicial y final, se utilizó el espectrofotómetro VITA Easyshade® V junto con la guía VITA SYSTEM 3D-MASTER®. Este instrumento se empleó para evaluar el brillo, el croma y el tono. Los resultados se registraron en una hoja de observación preparada específicamente para tal fin. Se realizaron estudios estadísticos utilizando frecuencias absolutas (número) y relativas (porcentaje), además de calcular medidas de tendencia central (media aritmética) y dispersión (desviación estándar, valores mínimo y máximo). Se realizaron las pruebas de Chi-cuadrado y t de Student con un umbral de significancia del 5 % (0,05). Se determinó que el tono original de los composites Filtek™ Z350 XT y Vittra APS, tono EA2, era 2M2 antes de sumergirlos en la solución colorante hasta su completa saturación. A partir de los resultados, se determinó que la resina 3M Filtek™ Z350 XT tratada con glicerina mostró una sensibilidad significativamente menor a la pigmentación superficial en comparación con la resina sin tratamiento. Estos cambios fueron estadísticamente significativos. No se observaron diferencias apreciables en los resultados de la resina Vittra APS, independientemente de si se consideró o no la glicerina.

Palabras clave:, Resinas compuestas, estabilidad de color, glicerina (40).

4. HIPÓTESIS

Dado que las propiedades de las resinas como la dureza pueden verse afectadas por la liberación de radicales en la capa superficial al inhibirse la polimerización por el oxígeno

Es probable que, al aplicar dos tipos de geles específicamente diseñados para inhibir dicha capa de oxígeno, se pueda conseguir una mejora en el valor de la microdureza de las resinas nanohíbridas.





CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO OPERACIONAL

1. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y MATERIALES DE VERIFICACIÓN

1.1 Técnica de investigación

En la presente investigación se emplearon los métodos de observación y experimentación como herramientas fundamentales para recolectar los datos y posteriormente analizarlos. La observación permitió registrar los resultados, tal como ocurrieron en el entorno del laboratorio. Por otro lado, la experimentación facilitó la manipulación de variables específicas. Toda esta metodología nos permitió validar y confiar en los resultados.

1.2 Técnica de ejecución de investigación

1.2.1 Selección de muestras

Se crearon cuarenta y ocho unidades de estudio o muestras, cada una en forma de cilindros de resina de las marcas designadas para la investigación. De acuerdo con las normas internacionales y una evaluación de trabajos previos, los cilindros de resina tendrán las siguientes dimensiones: 4 mm de grosor y 8 mm de diámetro.

Se utilizó una lámpara de luz LED a 800 mW/cm^2 para realizar la polimerización de las muestras.

No fue necesario realizar ningún pulido sobre la superficie de los cilindros.

Utilizamos un molde de aluminio especialmente confeccionado para realizar dichos cilindros de resina.

1.2.2 Elaboración de las muestras:

Cuando ya tenemos listas las muestras, se procedió a separarlas en 6 grupos que quedaron conformados de acuerdo a:

- Grupo A1: Se fabricaron ocho cilindros con resina Forma™, que se obtuvieron colocando la resina inmediatamente en el molde y fotopolimerizando la parte superior sin materiales adicionales. Posteriormente, se midió la dureza superficial de los cilindros con un durómetro de la marca GOYOJO.
- Grupo A2: Consta de ocho cilindros fabricados con resina Forma™, que se coloca inmediatamente en el molde y se fotopolimeriza sobre el cilindro. Durante la polimerización final, se añadió una capa de gel DeOx. Posteriormente, se midió la dureza superficial de los cilindros con el durómetro.
- Grupo A3: Consta de ocho cilindros fabricados con resina Forma™. La resina se coloca inmediatamente en el molde y se fotopolimeriza sobre la parte superior del cilindro. Durante la polimerización final, se añade una capa de gel MCC. A continuación, se mide la dureza superficial de los cilindros con el durómetro (41).
- Grupo B1: Se fabricaron ocho cilindros con resina Vittra APS, simplemente colocando la resina en el molde y fotopolimerizando su superficie sin materiales adicionales, lo que permitirá la acción inhibidora del oxígeno. Posteriormente, se midió la dureza superficial de los cilindros con un durómetro marca GOYOJO.
- Grupo B2: Este conjunto consta de ocho cilindros fabricados con resina Vittra APS. La resina se colocó inmediatamente en el molde y se fotopolimerizó sobre el cilindro. Durante la polimerización final, se añadió una capa de gel DeOx. Posteriormente, se midió la dureza superficial de los cilindros con el durómetro.

- Grupo B3: Fabricamos ocho cilindros con resina Vittra APS. La resina se aplicó directamente al molde y la parte superior del cilindro fue la que se fotopolimerizó. Añadimos una capa de gel MCC durante la polimerización final. Posteriormente, se midió la dureza superficial de los cilindros con el durómetro GOYOJO (41).

1.3. Instrumentos

- a) Instrumento de recolección de datos

TABLA 2: Ejemplo de ficha para recolección de datos

N° Muestra	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
	HV	HV	HV
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

b) Lista de Instrumental:

- Recipientes de vidrio para almacenar las muestras
- Jeringas descartables
- Lámpara de luz LED de alta gama
- Pieza de mano de alta y baja velocidad
- Computadora
- Impresora
- Espátulas de resina
- Durómetro GOYOJO
- Molde de aluminio

1.4 Materiales

- Resinas de fotocurado FormaTM y Vittra APS
- Geles inhibidores de oxígeno DeOx™ y MCC fórmula magistral.
- Suero fisiológico

2.- CAMPO DE VERIFICACIÓN

2.1 Ubicación Espacial

Ámbito general: Arequipa ciudad

Ámbito específico: Laboratorios de la Facultad de Ingeniería de Materiales.

2.2 Ubicación Temporal

TABLA 3:Cronograma

Tiempo Actividades	2025												
	Enero				Febrero			Marzo			Abril, mayo		
	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Presentación de plan de tesis													
Elaboración del marco conceptual													
Experimentación y metodología													
Recuento de resultados													
Presentación de borrador de tesis													

2.3 Unidades de Estudio y ficha instrumental:

Se decidió que habría un total de 48 muestras, así como seis grupos primarios, que se asignarían de la siguiente manera:

TABLA 4: Unidades de estudio

Grupo	Marca de resina	N° de muestras	Barrera inhibitoria de oxígeno	Instrumento de recolección de datos
Grupo A1	Forma™	8	Sin aplicar gel	Ficha tipo muestra para recolección de datos
Grupo A2	Forma™	8	Gel DeOx	Ficha tipo muestra para recolección de datos
Grupo A3	Forma™	8	Gel MCC	Ficha tipo muestra para recolección de datos
Grupo B1	Vittra APS	8	Sin aplicar gel	Ficha tipo muestra para recolección de datos
Grupo B2	Vittra APS	8	Gel DeOx	Ficha tipo muestra para recolección de datos
Grupo B3	Vittra APS	8	Gel MCC	Ficha tipo muestra para recolección de datos

Fuente (41).

3. ESTRATEGIA DE INVESTIGACIÓN

3.1 Estrategia de recolección

3.1.1 Organización

Toda la información y resultados obtenidos, fueron tratados como resultados alfanuméricos.

3.1.2 Recursos

A) Recursos Humanos

- Investigadora: Daniela Ximmena Mantilla Mollenedo
- Asesora: Dra. Solange Ana Meza Zegarra
- Asesor de laboratorio: Ing. Guido Quispe Ampuero

B) Recursos Físicos

- Recursos institucionales y de laboratorio
- Infraestructura de la Biblioteca de la UCSM.

C) Recursos económicos

Recursos propios de la tesista encargada de la investigación

D) Recursos Institucionales

- Instalaciones de la Universidad Católica de Santa María.
- Instalaciones de la Universidad Nacional de San Agustín

4. ESTRATEGIA PARA LOS RESULTADOS

4.1 Sistematización y procesamiento

a) Tipo de procesamiento

Todo el manejo de la información se realizó manualmente.

b) Plan de operaciones

b.1 Clasificación de datos

Todos los datos obtenidos durante el desarrollo de la investigación se organizaron de manera estructurada en una matriz de sistematización, la cual permite clasificar y relacionar los datos de forma ordenada según las variables. Además, dicha información se llevó a una hoja de cálculo especialmente diseñada para facilitar su procesamiento automatizado, lo que mejora el análisis estadístico y garantiza mayor precisión en la interpretación de los resultados.

TABLA 5: Análisis de investigación

Tipo de Variable	Tipo de Investigación	Escala de Medición	Medidas Estadísticas	Pruebas estadísticas
Cuantitativa	Relacional	De razón	Tendencia central y dispersión	Shapiro Wilk Anova Tukey T de Student

b.3 Tabulación

Los datos obtenidos tras la aplicación del análisis estadístico son organizados y expuestos mediante cuadros y tablas, los cuales permiten una visualización clara y sistemática de los resultados. Esta forma de presentación contribuye a una interpretación más objetiva y precisa de la información obtenida durante la investigación.

b.4 Diagramación

La mayoría de los gráficos utilizados en la presentación de los datos fueron gráficos de barras y de tendencia. Los gráficos de barras son útiles para mostrar las diferencias entre grupos, mientras que los gráficos de tendencia ilustran la evolución o el comportamiento de las variables en un rango de valores determinado.

4.2 A nivel de conclusiones

Los resultados fueron obtenidos teniendo en cuenta las interrogantes planteadas en el estudio, así como los objetivos presentados. Además, nos basamos en la hipótesis como eje para interpretar los hallazgos, permitiendo evaluar su validez.



CAPÍTULO III

RESULTADOS

TABLA 6: PRUEBA DE NORMALIDAD

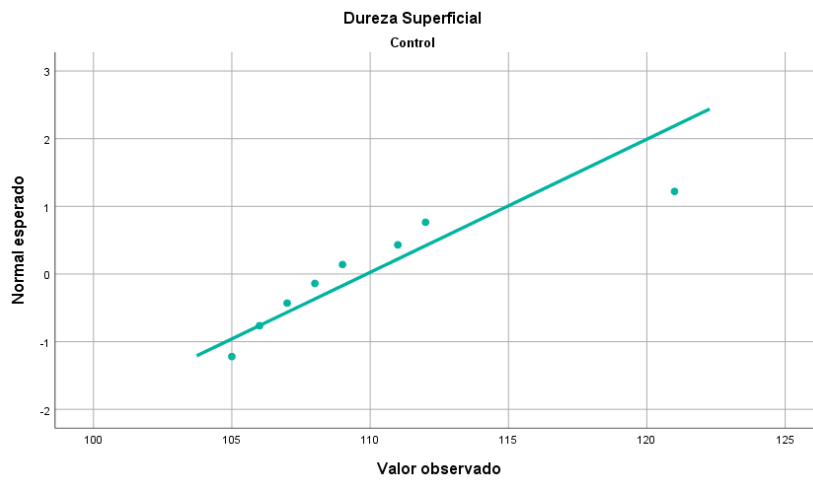
DUREZA SUPERFICIAL	SHAPIRO – WILK		Muestras
	Valor	P	
RESINA FORMA™			
Grupo Control	0,841	0,078	8
Gel DeOx	0,845	0,084	8
Gel MCC	0,946	0,670	8
RESINA VITRA APS			
Grupo Control	0,937	0,582	8
Gel DeOx	0,941	0,616	8
Gel MCC	0,960	0,810	8

*Matriz de Registro y Control
(Elaboración propia)

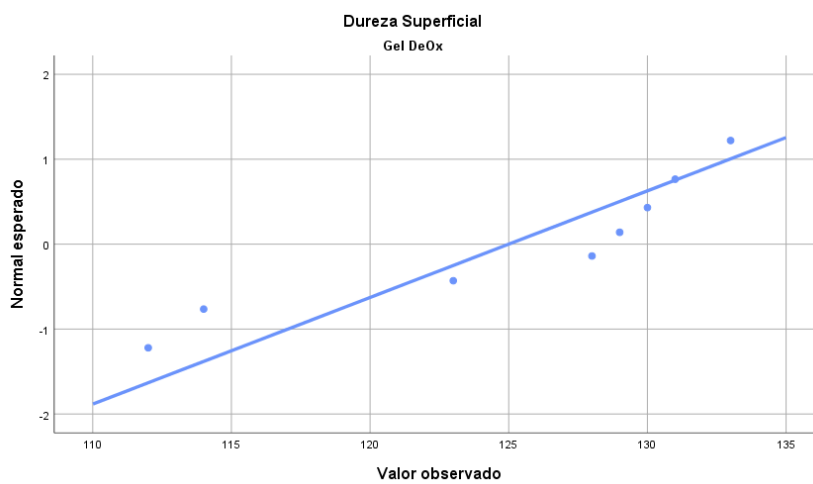
Realizamos la prueba de Shapiro Wilk para analizar la normalidad de los datos obtenidos luego de la experimentación, y podemos observar que con valores todos sobre 0,05 se puede concluir que nuestros datos son normales, por lo que utilizaremos pruebas estadísticas de primera intención o paramétricas como son las de Anova, T de Student y Tukey.

FIGURA 2: RESINA FORMA

A: Control



B: Gel DeOx



C: Gel MCC

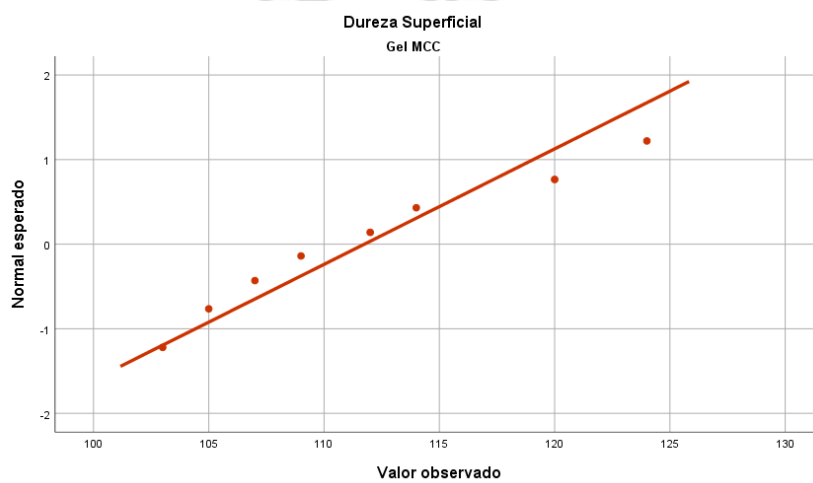
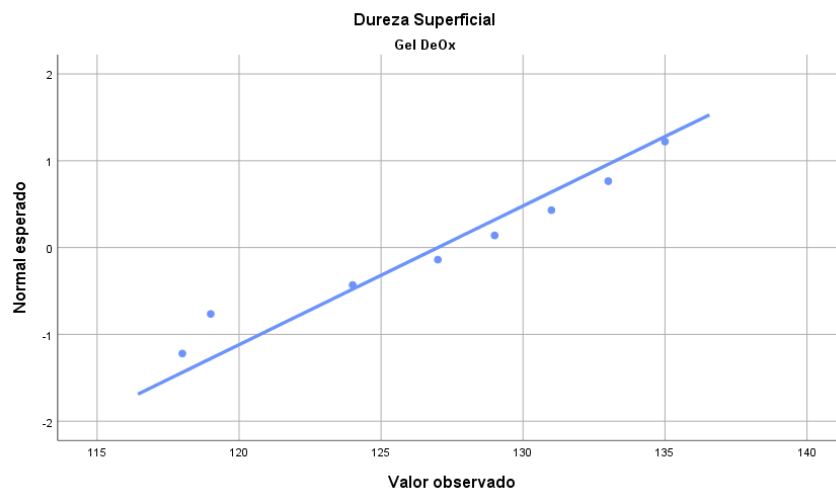


FIGURA 3: RESINA VITRA

A: Control



B: Gel DeOx



C: Gel MCC

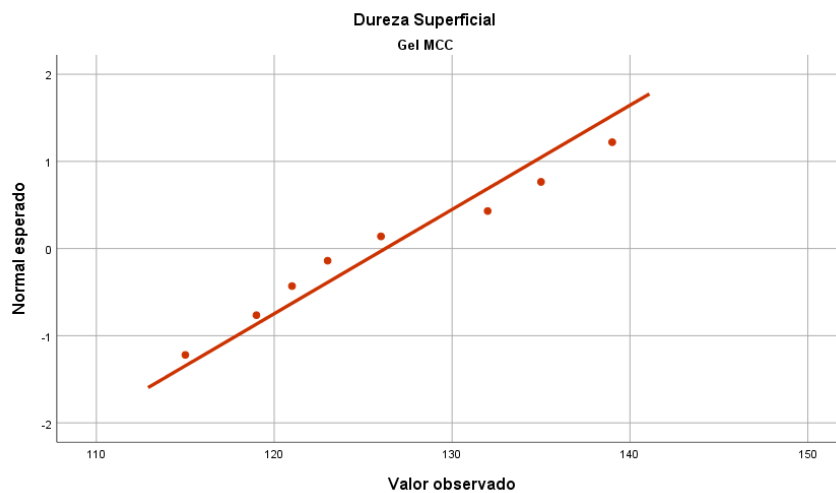


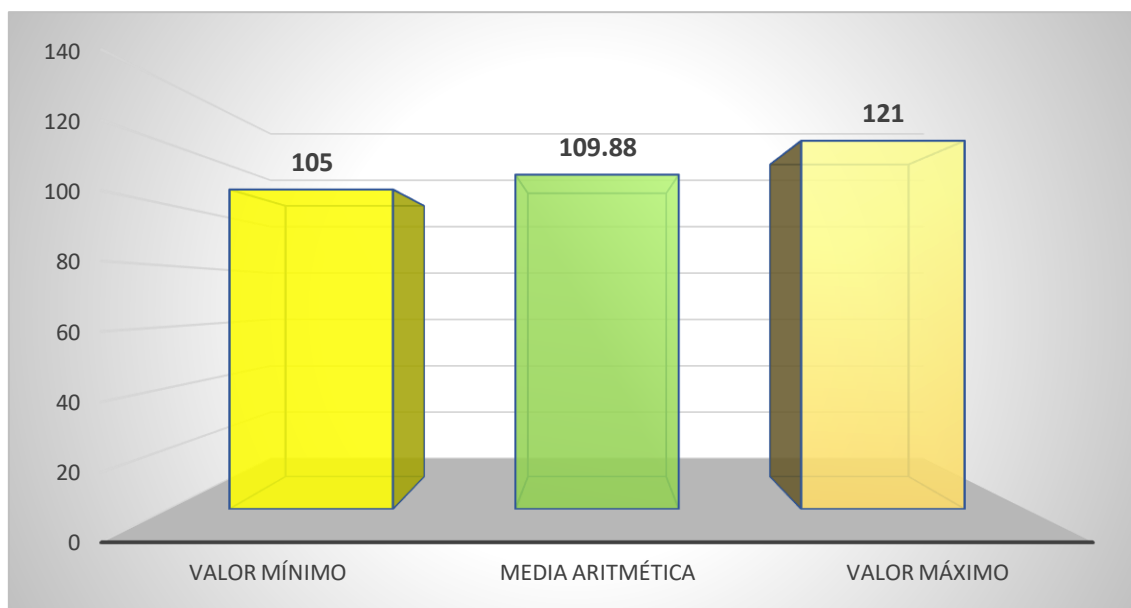
TABLA 7: DUREZA – RESINA FORMA™ – GRUPO CONTROL

RESINA FORMA	
Grupo Control	Dureza Superficial
Media Aritmética (Promedio)	109,88
Desviación Estándar	5,08
Valor Mínimo	105
Valor Máximo	121
Total Muestras	8

*Matriz de Registro y Control
(Elaboración propia)

Esta tabla examina la dureza superficial de la resina Forma™ en el grupo de control, sin aplicación de gel, revelando una dureza promedio de 109,88 HV, con valores máximos y mínimos de 121 HV y 105 HV, respectivamente.

FIGURA 4: DUREZA – RESINA FORMA™ – GRUPO CONTROL



(Elaboración propia)

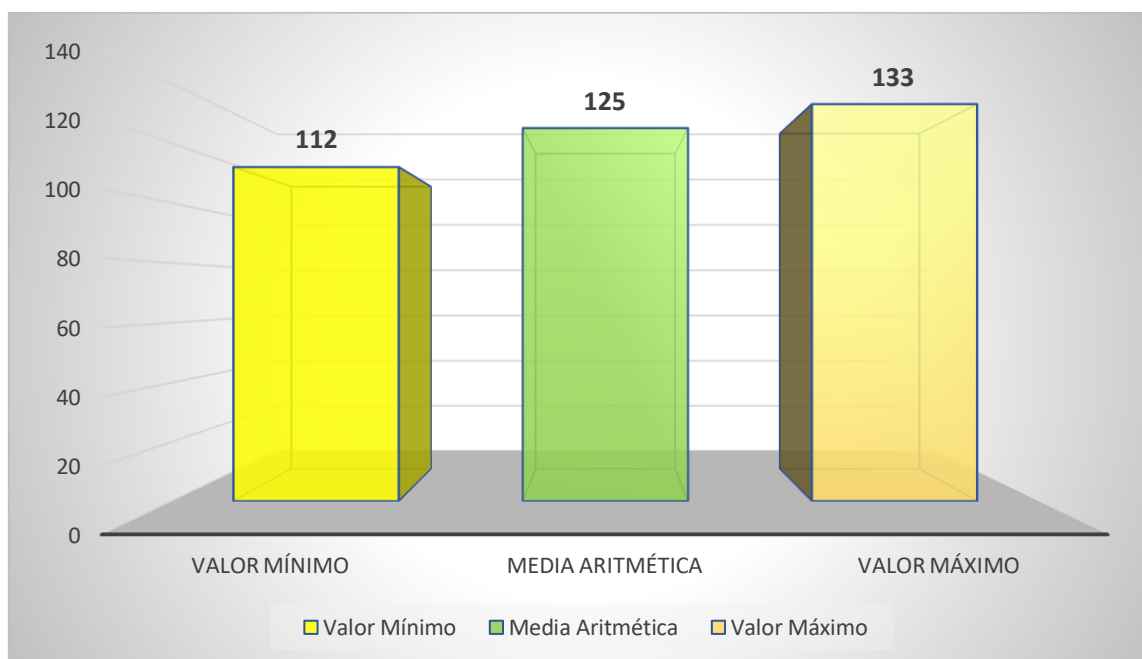
TABLA 8: DUREZA – RESINA FORMATM – GEL DEOX

RESINA FORMA	Dureza Superficial
Gel DeOx	
Media Aritmética (Promedio)	125,00
Desviación Estándar	7,96
Valor Mínimo	112
Valor Máximo	133
Total Muestras	8

*Matriz de Registro y Control
(Elaboración propia)

En este cuadro analizamos la microdureza de la resina FormaTM en el caso de las muestras que fueron sometidas al gel inhibidor DeOx, y se puede ver una dureza promedio de 125 HV, con una dureza mínima de 112 HV y máxima de 133 HV.

FIGURA 5: DUREZA – RESINA FORMA™ – GEL DEOX



(Elaboración propia)

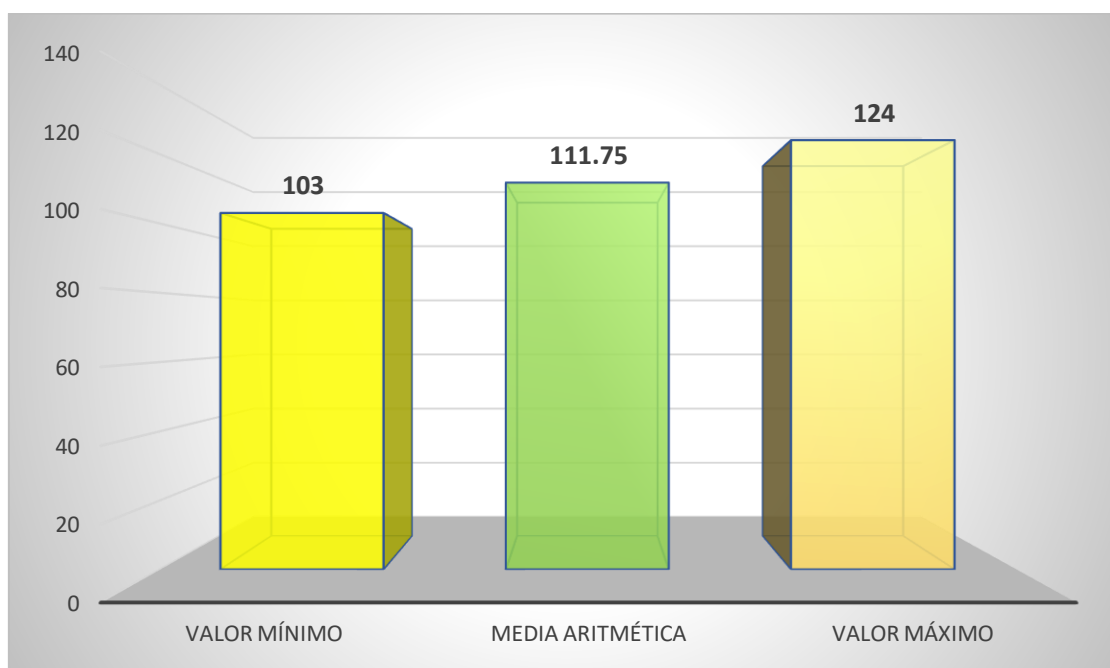
TABLA 9: DUREZA – RESINA FORMA™ – GEL MCC

RESINA FORMA	
Gel MCC	Dureza Superficial
Media Aritmética (Promedio)	111,75
Desviación Estándar	7,32
Valor Mínimo	103
Valor Máximo	124
Total Muestras	8

*Matriz de Registro y Control
(Elaboración propia)

Por último, observamos el grupo de muestras de la resina Forma™ que fueron sometidas al gel inhibidor MCC de fórmula magistral, en donde encontramos una dureza mínima de 103 HV, y una máxima de 124 HV, logrando un promedio de microdureza de 111,75 Vickers.

FIGURA 6: DUREZA – RESINA FORMATM – GEL MCC



(Elaboración propia)

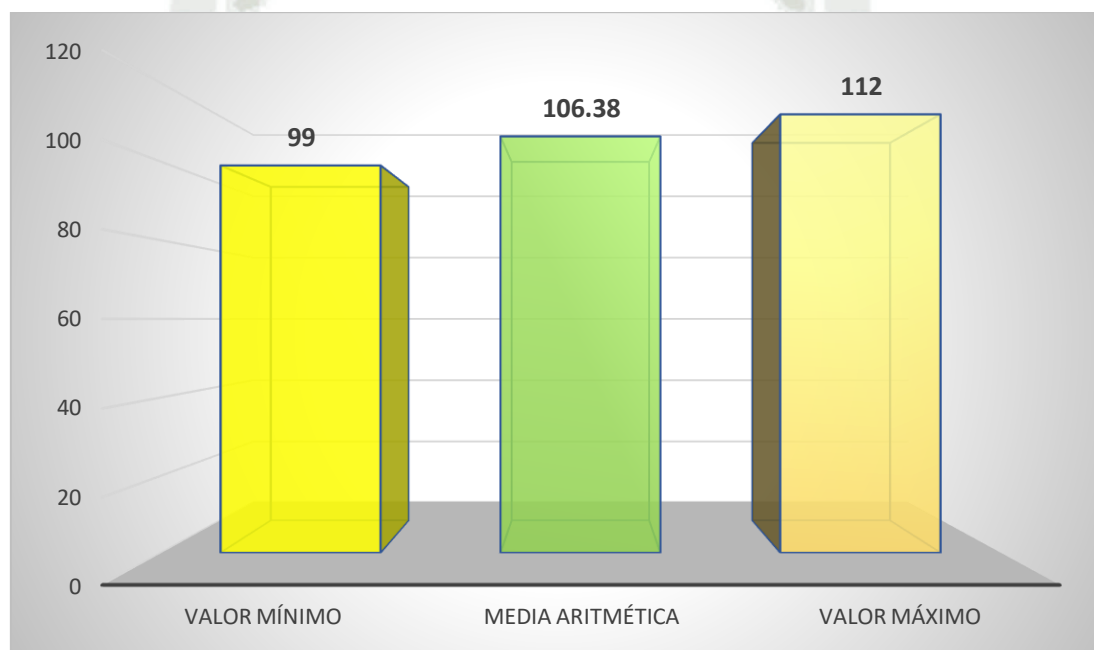
TABLA 10: DUREZA – RESINA VITTRA APS – GRUPO CONTROL

RESINA VITTRA APS	
Grupo Control	Dureza Superficial
Media Aritmética (Promedio)	106,38
Desviación Estándar	4,53
Valor Mínimo	99
Valor Máximo	112
Total Muestras	8

*Matriz de Registro y Control
(Elaboración propia)

El cuadro 7 es también una tabla descriptiva, y en ella encontramos las muestras de resina Vittra APS que no fueron sometidas a ninguna sustancia inhibidora de oxígeno, y se obtuvo un promedio de dureza de 106,38 HV, con valores mínimos y máximos de 99 HV y 112 HV respectivamente.

FIGURA 7: DUREZA – RESINA VITTRA APS – GRUPO CONTROL



(Elaboración propia)

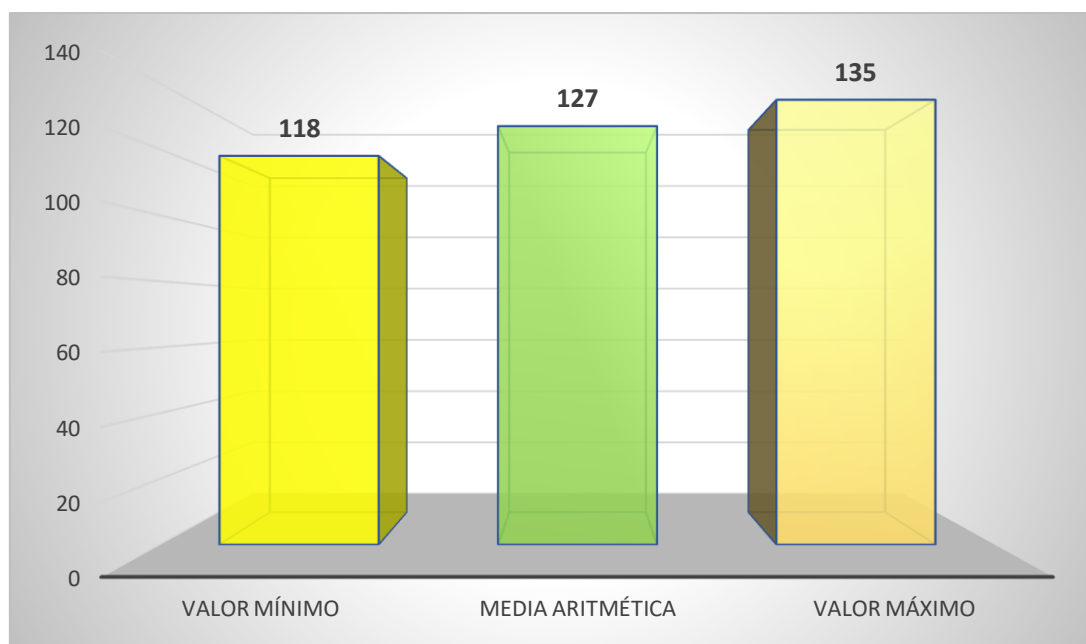
TABLA 11: DUREZA – RESINA VITRA APS – GEL DEOX

RESINA VITRA APS	
Gel DeOx	Dureza Superficial
Media Aritmética (Promedio)	127,00
Desviación Estándar	6,25
Valor Mínimo	118
Valor Máximo	135
Total Muestras	8

*Matriz de Registro y Control
(Elaboración propia)

Esta tabla describe la dureza superficial de las muestras de resina Vittra APS, recubiertas con gel DeOx para evitar la formación de la capa de oxígeno. La dureza media medida fue de 127 HV.

FIGURA 8: DUREZA – RESINA VITTRA APS – GEL DEOX



(Elaboración propia)

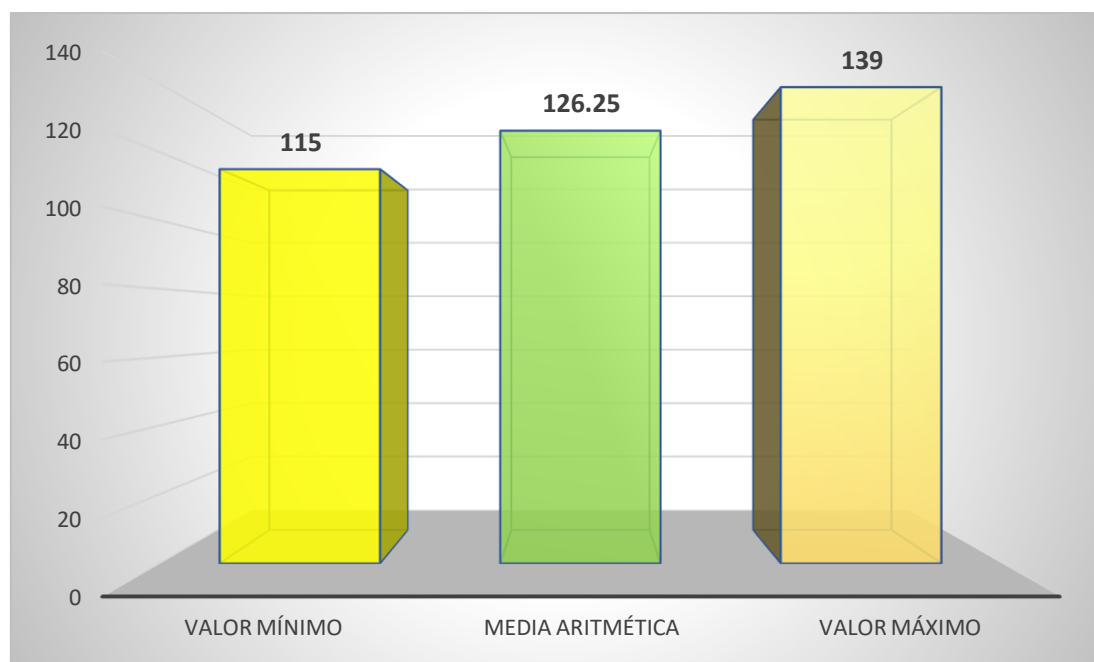
TABLA 12: DUREZA – RESINA VITTRA APS – GEL MCC

RESINA VITTRA APS	
Gel MCC	Dureza Superficial
Media Aritmética (Promedio)	126,25
Desviación Estándar	8,36
Valor Mínimo	115
Valor Máximo	139
Total Muestras	8

*Matriz de Registro y Control
(Elaboración propia)

En la última tabla descriptiva se muestra los resultados de la resina Vittra APS, donde la aplicación del gel inhibidor de MCC resultó en una dureza promedio de 126,25 HV, con una máxima de 139 HV y una mínima de 115 HV..

FIGURA 9: DUREZA – RESINA VITTRA APS – GEL MCC



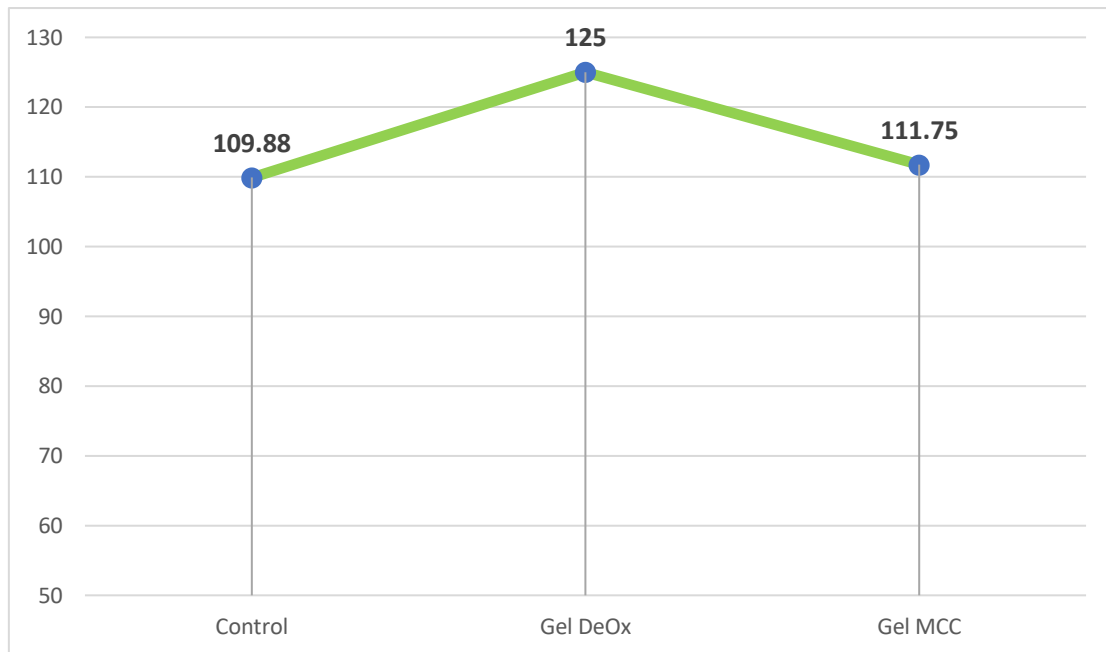
(Elaboración propia)

TABLA 13: COMPARACIÓN DE DUREZA – RESINA FORMA™

RESINA FORMA	Grupo de Estudio		
	Control (A1)	Gel DeOx (A2)	Gel MCC (A3)
Media Aritmética (Promedio)	109,88	125,00	111,75
Desviación Estándar	5,08	7,96	7,32
Valor Mínimo	105	112	103
Valor Máximo	121	133	124
Total Muestras	8	8	8
*Matriz de Registro y Control (Elaboración propia)	P = 0,000 (P < 0,05) S.S. A1 = A3 < A2		

En la tabla N° 8 se observa la relación de los tres casos de la resina Forma™, es decir, entre el grupo control, el grupo con DeOx y el grupo con MCC. Utilizando el test de ANOVA se puede observar que existen diferencias marcadas entre los grupos del estudio. Pero inmediatamente después se realizó la prueba Post Hoc de Tukey en donde se determina que el grupo control (109,88 HV) y el grupo con el gel MCC (111,75 HV) no presentan diferencias en la dureza. Mientras que el grupo al que se aplicó el gel inhibidor DeOx, si presentó un aumento de la dureza superficial, con un promedio de 125 HV.

FIGURA 10: COMPARACIÓN DE DUREZA – RESINA FORMA™



(Elaboración propia)

TABLA 14: COMPARACIÓN DE DUREZA – RESINA VITTRA APS

RESINA VITTRA APS	Grupo de Estudio		
	Control	Gel DeOx	Gel MCC
	(B1)	(B2)	(B3)
Media Aritmética (Promedio)	106,38	127,00	126,25
Desviación Estándar	4,53	6,25	8,36
Valor Mínimo	99	118	115
Valor Máximo	112	135	139
Total Muestras	8	8	8

*Matriz de Registro y Control

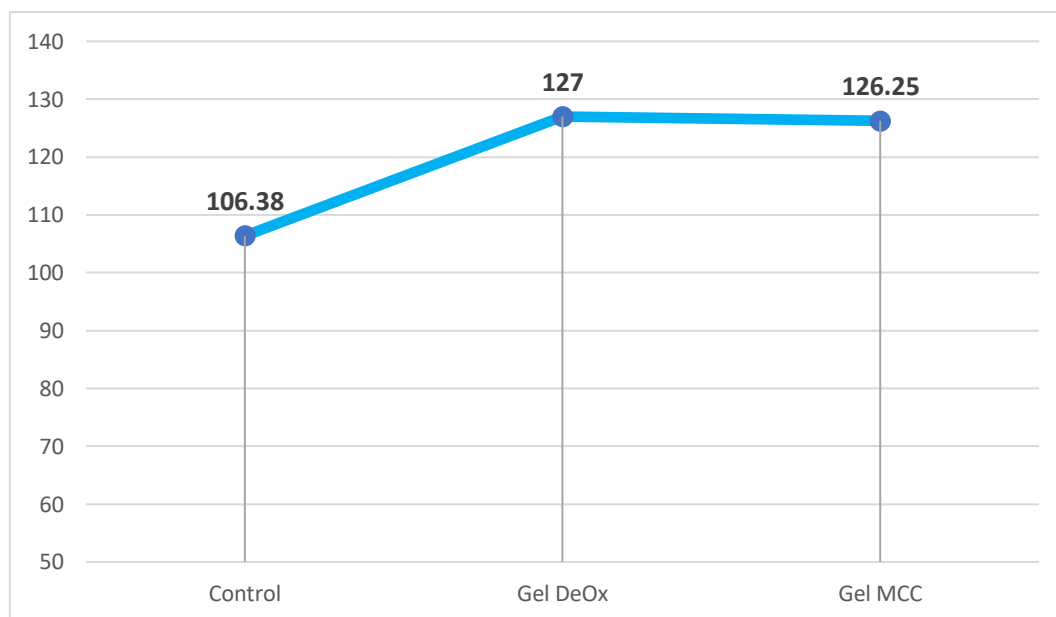
P = 0,000 (P < 0,05) S.S.

(Elaboración propia)

B1 < B2 = B3

Esta tabla compara el comportamiento de la resina Vittra APS al ser sometida a los dos geles inhibidores examinados en la investigación. La prueba estadística ANOVA indicó diferencias significativas entre los grupos. Se realizó la prueba de Tukey, que reveló que el grupo de control presentó una dureza promedio de 106,38 HV, mientras que los grupos de gel DeOx y gel MCC mostraron una mejora significativa en la dureza de la resina, con promedios de 127 HV y 126,25 HV, respectivamente.

FIGURA 11: COMPARACIÓN DE DUREZA – RESINA VITTRA APS



(Elaboración propia)

TABLA 15: DUREZA - FORMATM Y VITTRA APS – GRUPO CONTROL

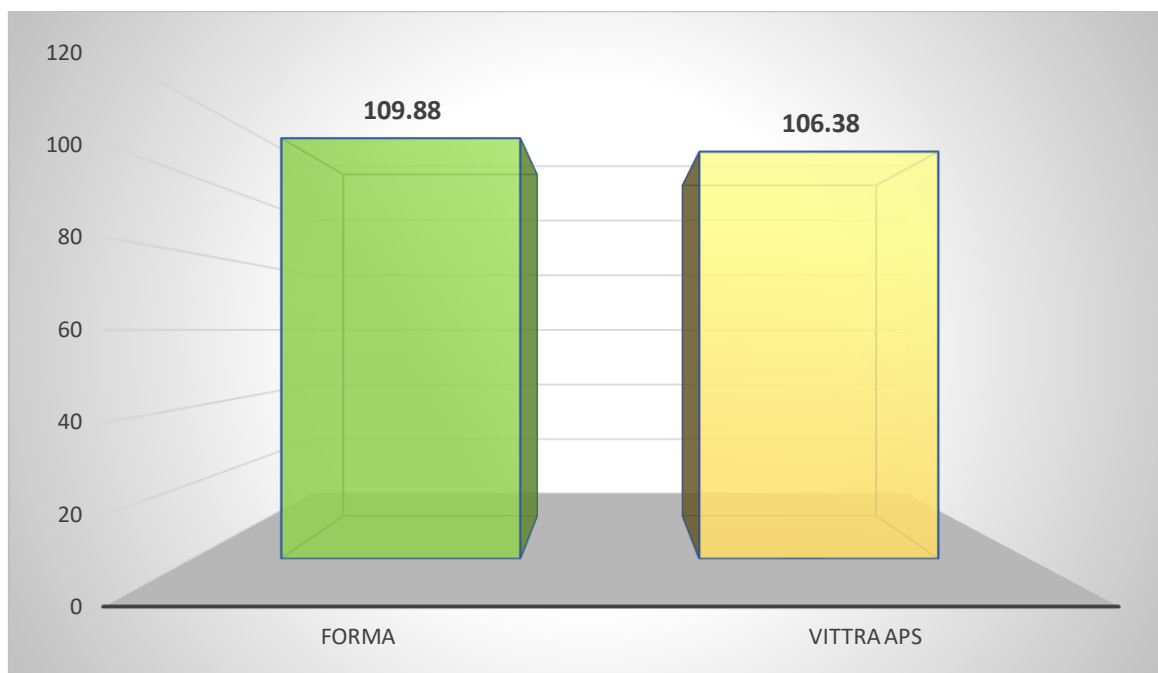
Control	Resina	
	Forma	Vittra APS
Media Aritmética (Promedio)	109,88	106,38
Desviación Estándar	5,08	4,53
Valor Mínimo	105	99
Valor Máximo	121	112
Total Muestras	8	8

*Matriz de Registro y Control $P = 0,169$ ($P \geq 0,05$) N.S.

(Elaboración propia)

Adicionalmente se realizó la comparación de las durezas entre las dos resinas a nivel de los tres grupos de la investigación. En esta presente tabla se ve las dos resinas en el caso del grupo control, es decir, sin aplicación de ningún gel inhibidor de oxígeno. Según la prueba T de Student, no existe diferencia significativa en la dureza superficial de las dos resinas, con una dureza promedio de 109,88 HV para FormaTM y 106,38 HV para Vittra APS.

FIGURA 12: DUREZA - FORMA™ Y VITTRA APS – GRUPO CONTROL



(Elaboración propia)

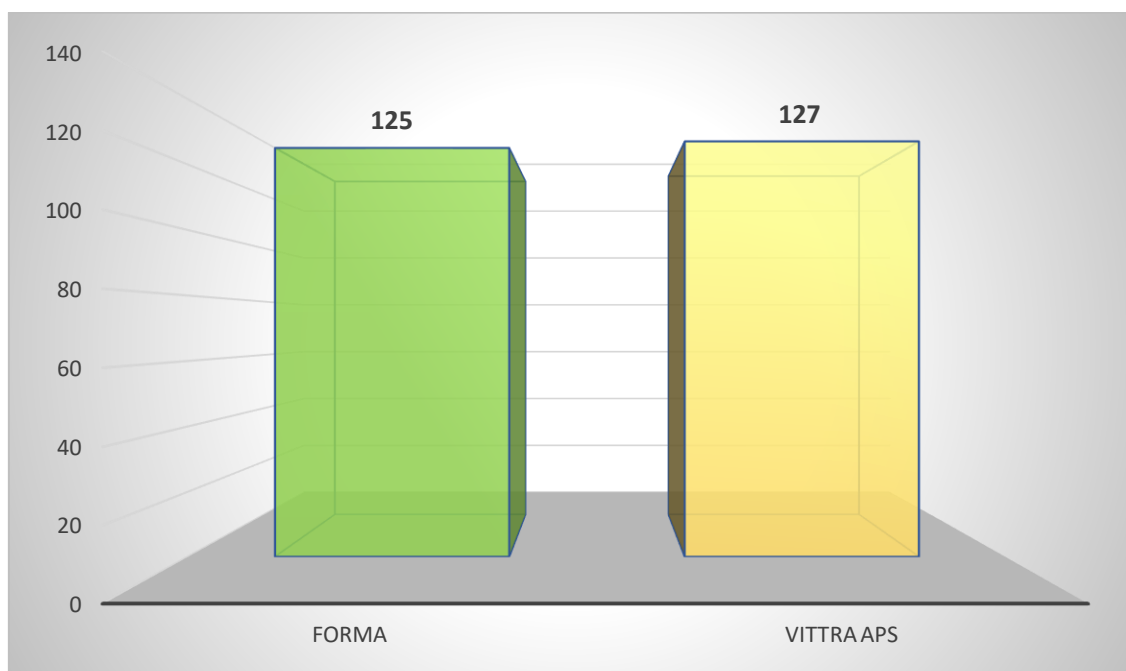
TABLA 16: DUREZA - FORMATM Y VITTRA APS – GEL DEOX

Gel DeOx	Resina	
	Forma	Vittra APS
Media Aritmética (Promedio)	125,00	127,00
Desviación Estándar	7,96	6,25
Valor Mínimo	112	118
Valor Máximo	133	135
Total Muestras	8	8

*Matriz de Registro y Control $P = 0,585 (P \geq 0,05) N.S.$
(Elaboración propia)

Esta tabla compara las dos marcas de resina tras la aplicación del gel inhibidor DeOx. Según la prueba estadística T de Student, no se observan diferencias significativas en la dureza superficial, con un promedio de 125 HV para la resina FormaTM y 127 HV para la resina Vittra APS.

FIGURA 13: DUREZA - FORMA™ Y VITTRA APS – GEL DEOX



(Elaboración propia)

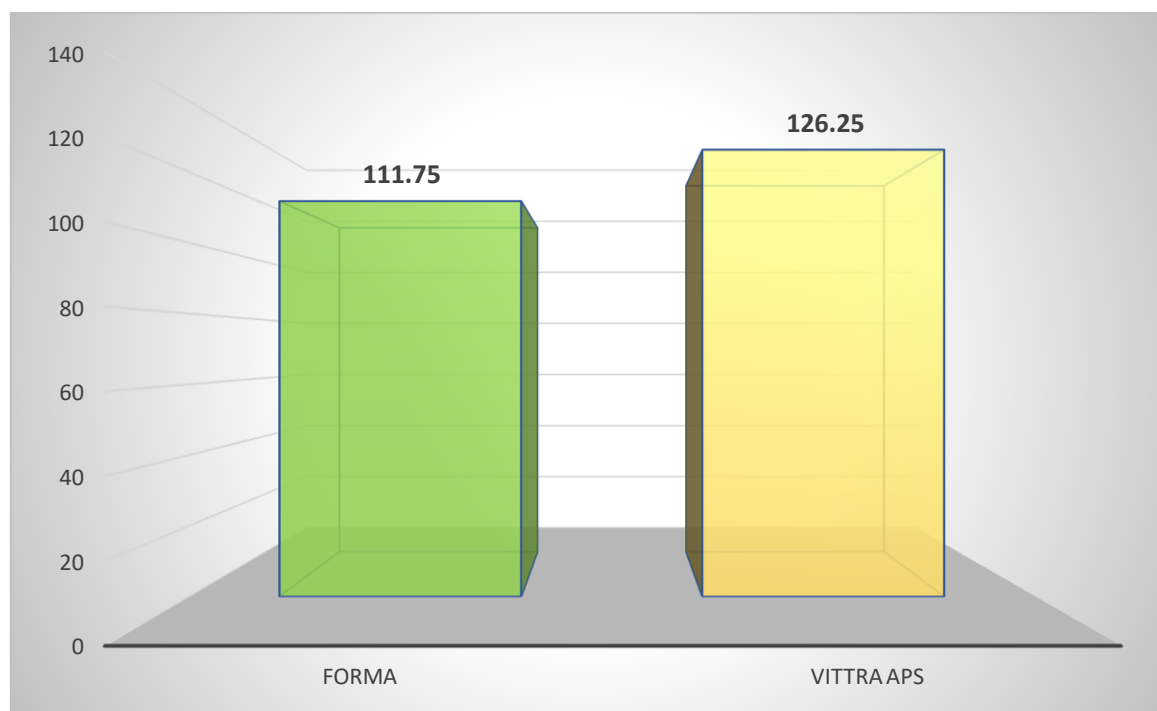
TABLA 17: DUREZA - FORMATM Y VITTRA APS – GEL MCC

Gel MCC	Resina	
	Forma	Vittra APS
Media Aritmética (Promedio)	111,75	126,25
Desviación Estándar	7,32	8,36
Valor Mínimo	103	115
Valor Máximo	124	139
Total Muestras	8	8

*Matriz de Registro y Control **P = 0,002 (P < 0,05) S.S.**
(Elaboración propia)

Finalmente, esta última tabla nos muestra la comparativa de cómo se comportan ambas marcas de resinas al aplicarles el gel de inhibición de oxígeno marca MCC. Según T de Student, en este caso específico, si se presentan diferencias significativas entre la dureza de las dos resinas. La dureza promedio de la resina FORMATM es de 111,75 HV, sin embargo la dureza superficial de la resina Vittra APS mejoró a 126,25 HV.

FIGURA 14: DUREZA - FORMATM Y VITTRA APS – GEL MCC



(Elaboración propia)

DISCUSIÓN

Tomando en cuenta los resultados obtenidos, y después de que se realizaron las pruebas estadísticas, se puede decir que se ha validado parcialmente la hipótesis enunciada en la investigación. Esto se debe a que en el caso de la resina FORMATM, la aplicación del gel DeOx produce una mejora sustancial en la dureza superficial, pero en cuanto al gel MCC, no se observa ninguna variación de la dureza en dicha resina. Por otro lado, al analizar los resultados de las pruebas con la resina VITTRA APS, se observa que la dureza superficial aumenta tanto en las muestras en las que se aplicó el gel DeOx, como en las que se utilizó el gel MCC, todo esto en comparación con las muestras del grupo control, es decir, en las que no se aplicó ningún gel inhibidor de oxígeno.

Revisando el primer antecedente internacional realizado en Costa Rica el 2023 (34); se observa que los resultados de este trabajo coinciden casi completamente con nuestro trabajo, ya que los valores de dureza aumentaron en todos los casos en que se aplicó glicerina, así como en nuestro estudio en que la mayoría de las pruebas arrojaron mejoras de dureza en las muestras que usaron los dos tipos de geles inhibidores de oxígeno del estudio.

En el caso del trabajo realizado en Seúl el año 2011 cuyo título es: “Efecto de la glicerina sobre la dureza superficial de los composites después del curado” (35), se observa que las muestras en las que se realizó el pulido y se aplicó una tira de celuloide o alternativamente glicerina, se obtuvo valores superiores de dureza, en comparación con las muestras en las que no se realizó pulido ni aplicación de glicerina. Los geles que usamos en nuestro estudio, también nos mostraron mejoras en la dureza superficial, lo que es un punto de coincidencia con el estudio de Corea del Sur.

Analizando el siguiente antecedente titulado: “Efecto de la capa inhibida de oxígeno en la fuerza adhesiva en materiales dentales. Revisión sistemática”, realizado en Bogotá el año 2024 (36), se puede ver que su objetivo era el de comprobar si la capa inhibida de oxígeno favorece o no en la adhesión de las resinas con el sustrato dental, obteniendo resultados en los que, al inhibir dicha capa, la adhesión se ve reducida, por lo que recomiendan conservarla. Esto es totalmente diferente a nuestro estudio, en el que medimos otra característica de las resinas como es la dureza superficial beneficiada por la aplicación de geles específicamente recomendados para la inhibición de la capa de oxígeno.

En cuanto a los antecedentes nacionales, tenemos el trabajo realizado en Lima el 2012 (37), donde se demostró que el gel de glicerina es bastante útil para reducir la capa inhibida por el oxígeno en la capa superficial del compuesto. Todo esto concuerda con nuestro trabajo, en el que también se determinó que los dos geles comerciales utilizados, tenían un efecto positivo en la reducción de esta capa.

El estudio titulado "Efecto del gel de glicerina en la estabilidad del color en resinas fotocurables *in vitro*" (38), realizado en la Universidad Continental de Huancayo en 2023, examinó la influencia de la glicerina en la estabilidad del color de diversas resinas. Tras una extensa experimentación que incluyó la inmersión de muestras en diversas sustancias pigmentantes, se determinó que la glicerina no mejora la estabilidad del color de las resinas. Nuestra investigación difiere del estudio de Huancayo en que evaluamos el impacto de los geles en la dureza superficial de las resinas nanohíbridas.

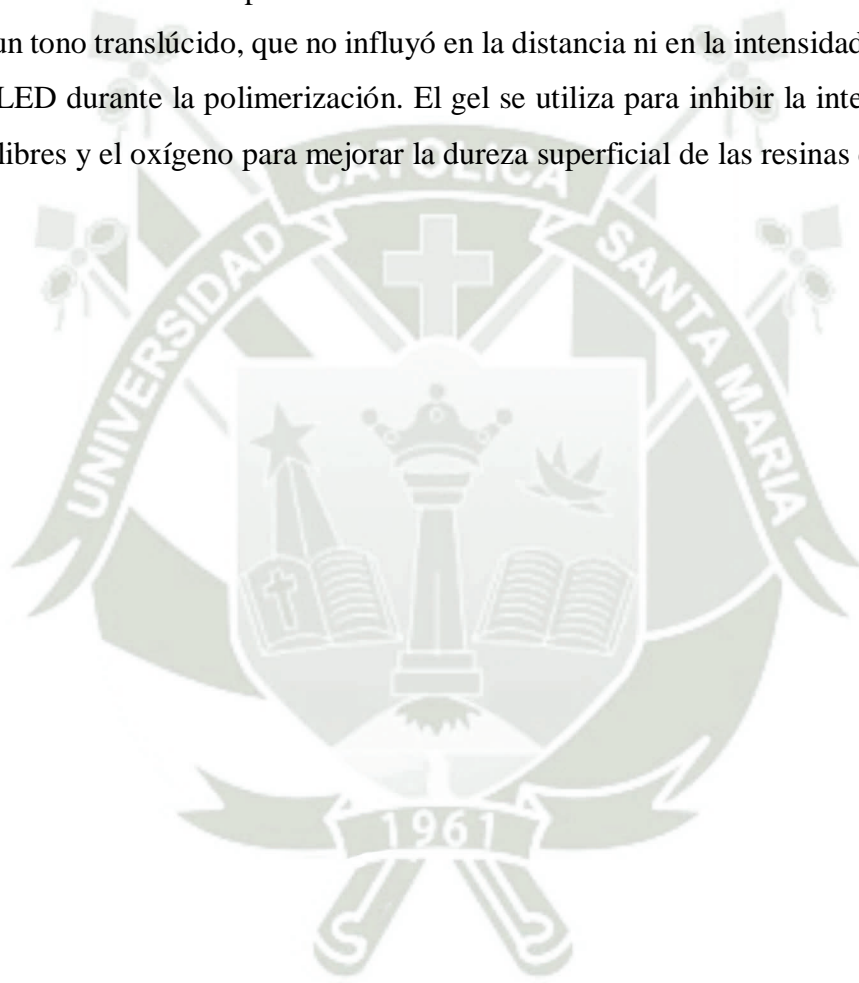
En el antecedente bibliográfico de la Universidad de Ciencias Aplicadas en el año 2020, y que lleva como título: "Evaluación de la resistencia adhesiva a dentina de sistemas adhesivos universales con y sin cinta celuloide como neutralizador de la capa inhibida de oxígeno" (39), se ve que el uso de cintas de celuloide para obstruir la capa de oxígeno y evaluar la fuerza adhesiva de diversos sistemas indica que no existe una diferencia perceptible entre usarlas o no. Esto lo distingue significativamente de nuestro estudio, que identificó un aumento en la dureza superficial de las resinas nanohíbridas tras la aplicación de dos tipos distintos de geles inhibidores de oxígeno.

Finalmente, en el antecedente de la Universidad Católica de Santa María del año 2019 y que lleva por título: "Susceptibilidad a la pigmentación superficial de las resinas compuestas Filtek™ Z350 XT (3M) y VITTRA APS (FGM) con y sin aplicación de glicerina" (40), podemos observar que se coincide con nuestros resultados al validarse parcialmente las hipótesis, pues solo en el caso de una resina (Z350 XT) del antecedente se presenta una menor diferencia de variación de color luego de aplicar el gel de glicerina, mientras en la otra resina no.

No existe consenso sobre la estrategia óptima para eliminar la capa inhibida por oxígeno en los procedimientos con resina. Además, no existen artículos académicos que instruyan a los expertos sobre el uso de un enfoque o metodología específicos. Este estudio busca evaluar la eficacia de dos geles comerciales distintos para eliminar la capa inhibida en dos resinas

compuestas nanohíbridas. Las muestras de resina se sometieron a la aplicación del gel, seguida de la medición de la microdureza superficial.

Los radicales libres que se asocian con el oxígeno disminuyen la cantidad de radicales libres disponibles para unirse al enlace covalente C=C en el metacrilato. Los monómeros no unidos a los radicales libres pueden alterar la dureza superficial de la resina compuesta nanohíbrida. Esta investigación incluyó la aplicación de una gota de gel comercial (DeOx y MCC) sobre la superficie de las resinas compuestas. La consistencia se mantuvo húmeda durante el curado y presentó un tono translúcido, que no influyó en la distancia ni en la intensidad de la irradiación de la luz LED durante la polimerización. El gel se utiliza para inhibir la interacción entre los radicales libres y el oxígeno para mejorar la dureza superficial de las resinas compuestas.



CONCLUSIONES

PRIMERA

En el caso de la resina FORMA™, podemos observar que la dureza superficial es de 109,88 HV en el grupo control, es decir, en el grupo que no se aplicó ninguna sustancia.

SEGUNDA

La medida de la microdureza de la resina FORMA™ al aplicar el gel DeOx, fue en promedio de 125 HV.

TERCERA

En el último grupo de la resina FORMA™, encontramos una dureza promedio de 111,75 HV cuando se utilizó el gel inhibidor de oxígeno MCC.

CUARTA

Con la resina VITTRA APS, se observó una dureza superficial de 106,38 HV en el grupo control.

QUINTA

En el grupo de la resina VITTRA APS en donde se aplicó el gel inhibidor de oxígeno DeOx, la dureza promedio fue de 127 HV.

SEXTA

Finalmente, al aplicar el gel MCC a las muestras de resina VITTRA APS, se obtuvo una dureza promedio de 126,25 HV.

SÉPTIMA

Se puede concluir que al aplicar el gel DeOx en la resina FORMA™, se obtiene una mejora sustancial en la microdureza de esta resina en relación con el estándar de control, pero con el gel inhibidor marca MCC, no se produjo ninguna diferencia en la microdureza comparado con el grupo control. En el caso de la resina VITTRA APS, al aplicar los dos geles inhibidores de oxígeno (DeOx y MCC), la dureza superficial presentó un aumento considerable comparado con la dureza de las muestras del grupo control.



RECOMENDACIONES

1. Los hallazgos del estudio indican que la recomendación principal es utilizar preferentemente el gel DeOx, inhibidor de oxígeno, para ambas resinas examinadas. Si bien el gel MCC no mejoró la dureza de la resina FORMA™, sí mostró una mejora en la resina VITTRA APS; por lo tanto, se recomienda su uso para algunos casos que involucren resinas específicas.
2. A nuevos investigadores y compañeros tesistas, se les recomienda realizar estudios en donde se investigue los efectos de estos geles inhibidores de oxígeno en distintas marcas de resinas, así como también investigar si existen algunas otras sustancias que inhiban la capa de oxígeno como los geles de nuestro estudio o la glicerina que se usa habitualmente.
3. A los odontólogos y especialistas se les podría recomendar mantenerse al tanto sobre las técnicas que existen en el uso de distintas sustancias que controlan la capa de oxígeno que se produce sobre los materiales resinosos, para así poder mejorar las propiedades de los materiales, y ofrecer tratamientos de mayor calidad y durabilidad a sus pacientes.
4. Finalmente, a los fabricantes se les recomienda realizar investigaciones y experimentaciones con nuevas sustancias que ayuden a inhibir las capas de oxígeno que se producen en la polimerización de las resinas, para así ofrecer una mayor variedad y diversidad de productos a disposición de los profesionales de la salud bucal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

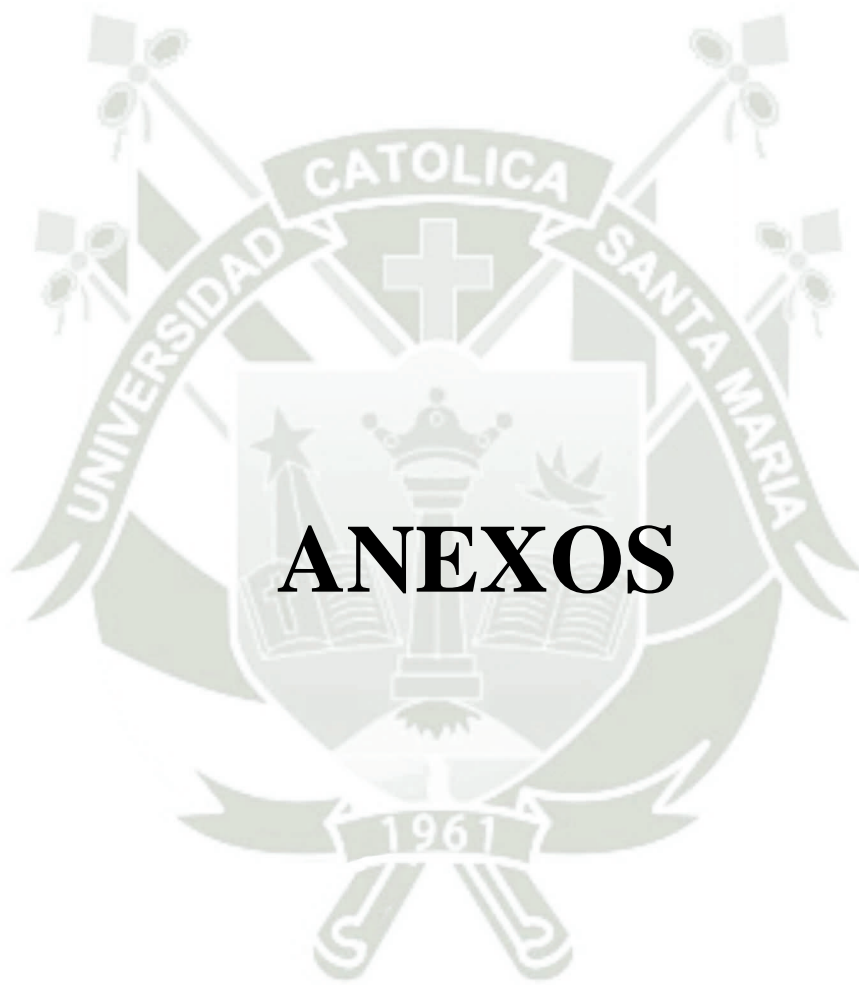
1. Grados-Carrillo S AGLRMG. Comparación de la dureza superficial de resinas de nanotecnología: resina nanohíbrida vs nanorrelleno. Revista Estomatológica Herediana. 2014; 24(1).
2. Moszner N SUZJ. Chemical aspects of self-etching enamel-dentin adhesives: a systematic review. Dental Materials. 2005; 21(10).
3. Cadenaro M BLAFSSRFDLR. Effect of oxygen inhibition on surface layer composition and microhardness of dental adhesives. Dental Materials. 2009; 25(12).
4. Mooney JB. Operatoria Dental. Avances clínicos, restauraciones y estética. Quinta ed. BARRANCOS PJ, editor. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana; 2015.
5. Nocchi Conceição E. Odontología restauradora. Salud y estética. 2nd ed. Frydman ADCMyJ, editor. Buenos Aires: EDITORIAL MÉDICA PANAMERICANA, S.A.C.F.; 2007.
6. Henostroza G. Adhesión en Odontología Restauradora. Primera ed. Curitiba - Paraná - Brasil: Editora Maio; 2003.
7. Anusavice KJ. Phillips. Ciencia de los materiales dentales. Undécima Edición ed. Madrid: Elsevier España S.A.; 2004.
8. Macchi RL. Materiales Dentales. Cuarta ed.: Editorial Médica Panamericana; 2004.
9. MJ SLS. Antecedentes históricos de las resinas dentales. Sabersinfin.com. 2019 Marzo.
10. Lanata EJ. Atlas de Operatoria Dental. Primera ed. Buenos Aires: Alfaomega Grupo Editor Argentino S.A.; 2008.
11. J GL. Materiales dentales en odontología restauradora. Tercera ed. Madrid: Ediciones Avances; 2020.
12. Zorzin J MEHSFTBRLU. Nanohybrid vs. microhybrid composite restorations: Five-year results. Journal of Dental Research. 2015; 94(10).

13. Philippe Francois MIFYSMJSLG. Proposal of a Modular Classification System for Direct Dental Resin Composites Based on Clinical Applications. *Polymers*. 2025 Febrero; 17(5).
14. Ulloa EE. Todo lo que debes saber de las resinas dentales. *Dentalia*. 2024 Abril.
15. Alain Manuel Chaple Gil YMOyJÁR. "Evolución histórica de las lámparas de fotopolimerización". *Revista Habanera de Ciencias Médicas*. 2016; 15(1).
16. VANESSA RGY. "ESTUDIO DEL ESTADO DE LA POTENCIA LUMÍNICA DE LAS LÁMPARAS DE TIPO HALÓGENA DE FOTO POLIMERIZACIÓN, ASIGNADAS EN LA CLÍNICA ESTOMATOLÓGICA DE LA USS-2015". Tesis para título profesional. Pimentel: Universidad Señor de Sipán, Escuela Académico Profesional de Estomatología; 2015.
17. Alexandra Jacqueline Aquino Valverde GdPAVJMDFPALRDAQLKJASKJASMVP. "EFECTIVIDAD DE FOTOPOLIMERIZACIÓN USANDO LÁMPARAS LED: UNA REVISIÓN". *Revista Científica Odontológica*. 2022 Setiembre; 10(3).
18. Steenbecker O. Principios y Bases de Los Biomateriales en Operatoria Dental Estética Adhesiva. Primera ed. Valparaíso: Universidad de Valparaíso; 2006.
19. Leo G. "Dureza de los materiales: definición, tipos y método de prueba". ARIA MANUFACTURING LIMITED. 2024 Junio.
20. Alvarez JT. Evaluación in vitro de la microdureza superficial de una resina compuesta microhíbrida, una resina compuesta fluida y un cemento ionómero vítreo de restauración frente a la acción de una bebida carbonatada. Tesis para título profesional. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Escuela Académico Profesional de Odontología; 2002.
21. Physics I. Explicación de las pruebas de microdureza: pruebas de Vickers y Knoop. Base del conocimiento. 2024.
22. S TF. Microdureza superficial de resinas bulk fill según tiempo de exposición a la lámpara de fotopolimerización. Tesis. Lima: Universidad Peruana Cayetano Heredia, Facultad de Odontología; 2022.

23. S.A.S S. "Ensayos de dureza". 2024.
24. Instruments N. "Control de la Dureza de Metales: Generalidades". 2024.
25. Wikipedia Cd. Dureza. "Wikipedia la enciclopedia libre". 2024 Octubre.
26. Buehler SGd. "Conceptos de prueba de dureza". 2024.
27. Inc. FT. Microdureza del esmalte dental en odontología. 2024.
28. Osvaldo Zmener PEMPRDP. "Microdureza de dos materiales endodónticos a base de silicato de calcio. Un ensayo ex vivo". Revista Asociación Odontológica Argentina. 2020 Julio; 35(81).
29. Isabel Ferreto-Gutiérrez AHM. Mathematical-Physical Description of the Oxygen-Inhibited Layer (OIL) in Nanofilled Dental. Odovtos-International Journal of Dental Sciences. 2023 January; 26(1).
30. I EH. Fracaso en la adhesión. Av. Odontostomatológica. 2005; 21(2).
31. Sukaton EPPAHADBSWS. Compressive strength of nanohybrid composite resin after the application of glycerin immersed in fermented milk. Conservative Dentistry Journal. 2023 January-June; 13(1).
32. Ultradent. DeOx™ Barrera contra el oxígeno en solución viscosa. Ultradent. 2025.
33. Bellodas JLS. Inhibidor de Oxígeno fórmula magistral MCC. peroxgelmcc. 2022.
34. Isabel Ferreto-Gutiérrez AHM. Descripción físico-matemática de la capa inhibida por oxígeno en polímeros dentales nano rellenos. ODOVTOS. 2023; 26(1).
35. Hyun-Hee Park IBL. Efecto de la glicerina sobre la dureza superficial de los composites después del curado. Korean Academy of Conservative Dentistry. 2011 Noviembre; 36(6).
36. Paula Daniela Calvo Jaimes MCTG. Efecto de la capa inhibida de oxígeno en la fuerza adhesiva en materiales dentales. Revisión sistemática. Trabajo de Grado. Bogotá: UNIVERSIDAD EL BOSQUE, FACULTAD DE ODONTOLOGÍA; 2024.
37. MOLLO MAA. Efecto de la glicerina gel en la formación de la capa inhibida de oxígeno superficial en las resinas compuestas. Tesis para Título Profesional. Lima:

UNIVERSIDAD DE SAN MARTÍN DE PORRES, FACULTAD DE ODONTOLOGÍA;
2012.

38. Nayda Delia Candelario Vilcapoma DSMASJRQ. Efecto del gel de glicerina en la estabilidad del color en resinas de fotocurado in vitro. Tesis para Título Profesional. Huancayo: Universidad Continental, Escuela Académico Profesional de Odontología; 2023.
39. Alayo Zamudio MA, Linares Carranza CP. Evaluación de la resistencia adhesiva a dentina de sistemas adhesivos universales con y sin cinta celuloide como neutralizador de la capa inhibida de oxígeno. Tesis para Título Profesional. Lima: UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS, PROGRAMA ACADÉMICO DE ODONTOLOGÍA; 2020.
40. Hinojosa Ordoñez LG. Susceptibilidad a la pigmentación superficial de las resinas compuestas filtek™Z350 XT (3M) y VITTRA APS (FGM) con y sin aplicación de glicerina. Tesis para Título Profesional. Arequipa: Universidad Católica de Santa María, Escuela Profesional de Odontología; 2019.
41. JL F. Resin composite—state of the art. Dental Materials. 2011; 27(1).
42. GmbH 3D. "¿Qué hay en tu resina?" Ciencia aplicada a la vida. 2020.



ANEXOS



REGISTRO DE DATOS

TABLA 18: RECOLECCIÓN DE DATOS - RESINA FORMA™

N° Muestra	A1	A2	A3
	Control	Gel DeOx	Gel MCC
	HV	HV	HV
1	121	128	114
2	111	130	103
3	108	112	105
4	106	123	109
5	112	114	124
6	109	131	120
7	105	129	112
8	107	133	107

***Matriz de datos**

TABLA 19: RECOLECCIÓN DE DATOS - RESINA VITTRA APS

N° Muestra	B1	B2	B3
	Control	Gel DeOx	Gel MCC
	HV	HV	HV
1	108	129	115
2	111	131	123
3	108	119	135
4	105	124	119
5	112	118	126
6	101	133	121
7	99	127	132
8	107	135	139

*Matriz de datos

FRECUENCIA FOTOGRÁFICA

FIGURA 15: Elaboración de muestras (EP)

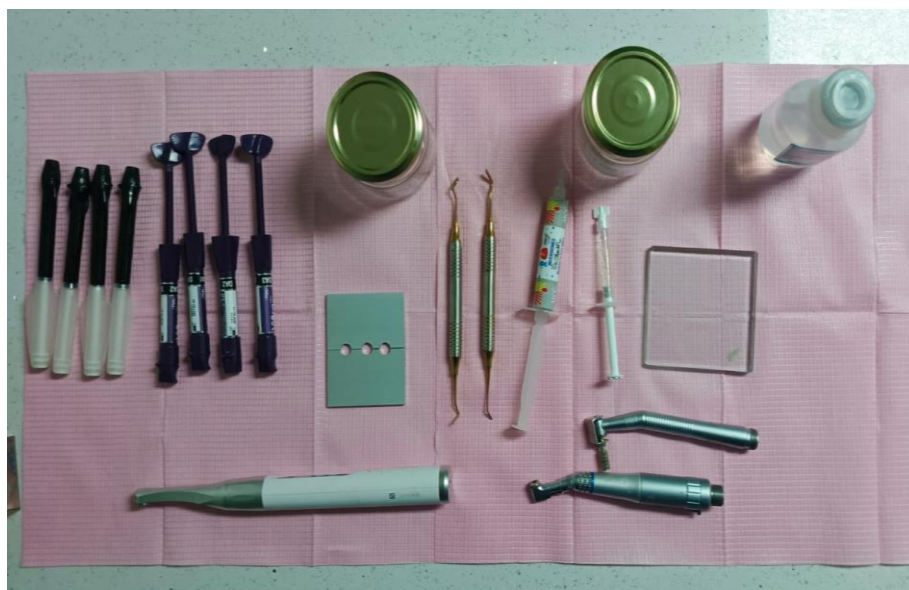


FIGURA 16: Elaboración de muestras (EP)



FIGURA 17: Elaboración de muestras (EP)



FIGURA 18: Elaboración de muestras (EP)



FIGURA 19: Elaboración de muestras (EP)



FIGURA 20: Elaboración de muestras (EP)



FIGURA 21: Elaboración de muestras (EP)



FIGURA 22: Medición de dureza (EP)



FIGURA 23: Gel DeOx (EP)



FIGURA 24: Gel MCC (EP)



CONSTANCIAS DE DUREZA

CERTIFICADO

El que suscribe, Ing. Guido Quispe Ampuero, CERTIFICA que se han realizado los siguientes ensayos:

ENSAYO REALIZADO : ENSAYO DE DUREZA VICKERS
 ESCALA : HV
 MUESTRAS : RESINA FORMA™
 NUMERO DE MUESTRAS : Total 24
 SOLICITANTE : Daniela Mantilla Mollenedo

RESULTADOS DEL ENSAYO DE DUREZA

RESINA FORMA™

Escala N° Muestra	A1 Control	A2 Gel DeOx	A3 Gel MCC
	HV	HV	HV
1	121	128	114
2	111	130	103
3	108	112	105
4	106	123	109
5	112	114	124
6	109	131	120
7	105	129	112
8	107	133	107

Observaciones:

Las muestras ensayadas fueron proporcionadas por el solicitante

Arequipa, 15 de mayo del 2025



GUIDO F. QUISPE AMPUERO
 INGENIERO METALURGISTA
 Mgr. del Colegio de Ingenieros N° 103532

Ing. Guido Quispe Ampuero
 CIP 103532

CERTIFICADO

El que suscribe, Ing. Guido Quispe Ampuero, CERTIFICA que se han realizado los siguientes ensayos:

ENSAYO REALIZADO : ENSAYO DE DUREZA VICKERS
 ESCALA : HV
 MUESTRAS : RESINA VITTRA APS
 NUMERO DE MUESTRAS : Total 24
 SOLICITANTE : Daniela Mantilla Mollenedo

RESULTADOS DEL ENSAYO DE DUREZA

RESINA VITTRA APS

Escala N° Muestra	B1 Control	B2 Gel DeOx	B3 Gel MCC
	HV	HV	HV
1	108	129	115
2	111	131	123
3	108	119	135
4	105	124	119
5	112	118	126
6	101	133	121
7	99	127	132
8	107	135	139

Observaciones:

Las nuestras ensayadas fueron proporcionadas por el solicitante

Arequipa, 15 de mayo del 2025



GUIDO F. QUISPE AMPUERO
 INGENIERO METALURGISTA
 Reg. del Colegio de Ingenieros N° 103532

Ing. Guido Quispe Ampuero
 CIP 103532

DICTÁMEN COMITÉ DE ÉTICA

COMITÉ DE ÉTICA INSTITUCIONAL DE INVESTIGACIÓN UCSM



DICTAMEN COMITÉ DE ETICA DE INVESTIGACION UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

Arequipa, 16 de junio de 2025

Investigadora Daniela Ximmena Mantilla Mollenedo

Presente.-

De mi especial consideración.

Me dirijo a usted para hacerle llegar el resultado de la evaluación de su proyecto de investigación y dictamen del Comité Institucional de Ética de Investigación.

TÍTULO: “Estudio comparativo in vitro de la influencia de dos geles inhibidores de oxígeno en la dureza superficial de dos resinas nanohíbridadas, Arequipa 2025”.

Investigadora: Daniela Ximmena Mantilla Mollenedo.

TIPO Y DISEÑO: Aplicada, cuantitativa, experimental, comparativa, transversal, de laboratorio.

OBJETIVO: La investigación tiene como objetivo: Determinar si existen diferencias significativas en la dureza superficial de las dos resinas nanohíbridadas (FormaTM y Vittra APS) al utilizar dos geles inhibidores de oxígeno.

PROCEDIMIENTOS: Observación, experimentación.



COMITÉ DE ÉTICA INSTITUCIONAL DE INVESTIGACIÓN UCSM



DICTAMEN COMITÉ DE ETICA DE INVESTIGACION UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

SUJETOS DE ESTUDIO:

Resinas nanohíbridas, que serán con la resina FormaTM (A1, A2 y A3), y los grupos con la resina Vittra APS (B1, B2 y B3).

RIESGO DEL ESTUDIO:

Mínimo.

OBSERVACIONES, SUGERENCIAS:

Debe proteger confidencialidad de la data sensible.


DICTAMEN:

DICTAMEN FAVORABLE 200 – 2025 CIEI-UCSM



VIGENCIA:

La aprobación tiene vigencia desde la emisión del presente dictamen hasta el 16 de junio del 2026.



Agueda Muñoz Del Carpio Toia
Comité Institucional de Ética de la Investigación UCSM

Cualquier duda comunicarse a: comiteeticainvestigacionucsm@gmail.com