



Facultad De Ciencias De La Salud

Posgrado De Odontología

Tema:

**EFFECTIVIDAD DE PULIDO DE RESINAS PROVISIONALES DE
POLIMETILMETACRILATO MEDIANTE ESTUDIOS. *IN SITU***

Tesis Para La Obtención Del Título De

“Rehabilitador Oral “

Presentado por:

Lizeth Nataly Ocampo Castro

Tutor:

Dra. Valeria Castro

Quito, junio 2025

Resumen

Introducción: El polimetilmetacrilato (PMMA) es uno de los materiales más utilizados en la elaboración de prótesis provisionales. Su comportamiento superficial influye directamente en la adhesión bacteriana, siendo la rugosidad y la energía libre superficial factores determinantes. La técnica de fabricación y el protocolo de pulido pueden modificar estas propiedades y, con ello, la interacción del material con el medio oral.

Objetivo: Evaluar el efecto del pulido sobre la proyección del ángulo de contacto en resinas de PMMA elaboradas mediante fotopolimerización y fresado CAD-CAM.

Materiales y métodos: Se realizó un estudio experimental in vitro con 20 discos de PMMA (10 fotopolimerizados y 10 fresados). Todas las muestras fueron sometidas al mismo protocolo de pulido manual con discos abrasivos Sof-Lex™. Se midió el ángulo de contacto utilizando el método de la gota sésil, registrando el ángulo izquierdo, derecho y su promedio.

Resultados: El grupo fresado presentó valores significativamente mayores de ángulo de contacto promedio ($81.0^\circ \pm 2.6^\circ$) en comparación con el grupo fotopolimerizado ($68.0^\circ \pm 3.2^\circ$), con diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.0001$). El análisis gráfico confirmó la dispersión reducida y mayor consistencia en el grupo fresado.

Conclusión: La técnica de elaboración influye significativamente en las propiedades superficiales del PMMA tras el pulido. El fresado CAD-CAM ofrece superficies más homogéneas, con mayor ángulo de contacto y menor energía libre superficial, lo cual podría estar asociado a una menor susceptibilidad a la adhesión bacteriana.

Palabras clave: PMMA, pulido, ángulo de contacto, CAD-CAM, energía libre superficial, adhesión bacteriana.

Declaración de aceptación de normativa ética y derechos

El presente documento se ciñe a las normas éticas y reglamentarias de la Universidad Hemisferios. Así, declaro que lo contenido en este ha sido redactado con entera sujeción al respeto de los derechos de autor, citando adecuadamente las fuentes. Por tal motivo, autorizo a la Biblioteca a que haga pública su disponibilidad para lectura dentro de la institución, a la vez que autorizo el uso comercial de mi obra a la Universidad Hemisferios, siempre y cuando se me reconozca el cuarenta por ciento (40%) de los beneficios económicos resultantes de esta explotación.

Además, me comprometo a hacer constar, por todos los medios de publicación, difusión y distribución, que mi obra fue producida en el ámbito académico de la Universidad Hemisferios.

De comprobarse que no cumplí con las estipulaciones éticas, incurriendo en caso de plagio, me someto a las determinaciones que la propia Universidad plantee.

Nombre: Lizeth Ocampo

Firma:  Firmado electrónicamente por:
LIZETH NATALY
OCAMPO CASTRO

Cedula de identidad: 1725624546

Dedicatoria

Agradezco profundamente a Dios, cuya presencia constante ilumina mi camino y me otorga la prudencia y sabiduría necesarias para tomar decisiones acertadas en cada situación a lo largo de mi trayectoria profesional. Su guía inquebrantable me permite discernir con claridad, actuar con responsabilidad y enfrentar cada desafío con serenidad y confianza, asegurándome de seguir siempre la senda correcta en mi desarrollo laboral y personal.

"Esfuézate y sé valiente; no temas ni desmayes, porque el Señor tu Dios estará contigo dondequiera que vayas." – Josué 1:9

A mi padre, Rami Ocampo, por su amor infinito, sus palabras de aliento y por enseñarme el verdadero significado de la perseverancia. A mi madre, Irene Castro, por su apoyo incondicional, sus valiosas enseñanzas y por ser un ejemplo de esfuerzo y dedicación.

A mi hermana menor, Samira Ocampo, por ser mi compañera en este viaje, por su alegría contagiosa y por recordarme siempre la importancia de seguir adelante con entusiasmo.

A mis queridos tíos, Aura Castro y Edgar Castro, por su amor incondicional, por creer en mí y por estar siempre a mi lado, brindándome su apoyo en cada etapa de mi vida. Su confianza ha sido un pilar fundamental en mi crecimiento y desarrollo.

A cada uno de ustedes, gracias por su amor, paciencia y por estar siempre conmigo. Este logro también es suyo.

Lizeth Nataly Ocampo Castro

Índice

EFFECTIVIDAD DE PULIDO DE RESINAS PROVISIONALES DE POLIMETILMETACRILATO MEDIANTE ESTUDIOS IN SITU	8
Resumen	8
Abstract	10
Introducción	11
Metodología	13
<i>Tipo de estudio</i>	<i>13</i>
<i>Características de las muestras, cantidades y materiales utilizados</i>	<i>14</i>
<i>Diseño, elaboración y protocolo de pulido</i>	<i>16</i>
<i>Elaboración del Grupo A: PMMA fotopolimerizado.....</i>	<i>16</i>
<i>Elaboración del Grupo B: PMMA fresado CAD-CAM.....</i>	<i>18</i>
<i>Medición del ángulo de contacto</i>	<i>20</i>
Hallazgos.....	23
Discusión	27
Conclusiones	28
Referencias	29

Índice De Figuras.

Figura 1.....	17
Figura 2.....	19
Figura 3.....	21
Figura 4.....	22
Figura 5.....	24
Figura 6.....	26

Índice De Tablas.

Tabla 1	15
Tabla 2	25

EFFECTIVIDAD DE PULIDO DE RESINAS PROVISIONALES DE POLIMETILMETACRILATO MEDIANTE ESTUDIOS IN SITU

Lizeth Ocampo

Universidad Hemisferios

Resumen

Introducción: El polimetilmetacrilato (PMMA) es uno de los materiales más utilizados en la elaboración de prótesis provisionales. Su comportamiento superficial influye directamente en la adhesión bacteriana, siendo la rugosidad y la energía libre superficial factores determinantes. La técnica de fabricación y el protocolo de pulido pueden modificar estas propiedades y, con ello, la interacción del material con el medio oral.

Objetivo: Evaluar el efecto del pulido sobre la proyección del ángulo de contacto en resinas de PMMA elaboradas mediante fotopolimerización y fresado CAD-CAM.

Materiales y métodos: Se realizó un estudio experimental in vitro con 20 discos de PMMA (10 fotopolimerizados y 10 fresados). Todas las muestras fueron sometidas al mismo protocolo de pulido manual con discos abrasivos Sof-Lex™. Se midió el ángulo de contacto utilizando el método de la gota sécil, registrando el ángulo izquierdo, derecho y su promedio. Los datos fueron analizados mediante prueba t de Student, ANOVA y ajuste de Bonferroni, con un nivel de significancia de $p < 0.05$.

Resultados: El grupo fresado presentó valores significativamente mayores de ángulo de contacto promedio ($81.0^\circ \pm 2.6^\circ$) en comparación con el grupo fotopolimerizado ($68.0^\circ \pm 3.2^\circ$), con diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.0001$). El análisis gráfico confirmó la dispersión reducida y mayor consistencia en el grupo fresado.

Conclusión: La técnica de elaboración influye significativamente en las propiedades superficiales del PMMA tras el pulido. El fresado CAD-CAM ofrece superficies más homogéneas, con mayor ángulo de contacto y menor energía libre superficial, lo cual podría estar asociado a una menor susceptibilidad a la adhesión bacteriana.

Palabras clave: PMMA, pulido, ángulo de contacto, CAD-CAM, energía libre superficial, adhesión bacteriana.

Abstract

Introduction: Polymethylmethacrylate (PMMA) is one of the most widely used materials in the fabrication of temporary prostheses. Its surface behavior has a direct influence on bacterial adhesion, with roughness and surface free energy being determining factors. The fabrication technique and polishing protocol can modify these properties and thus the interaction of the material with the oral environment.

Objective: To evaluate the effect of polishing on the contact angle projection of PMMA resins produced by light-curing and CAD-CAM milling.

Materials and methods: An experimental in vitro study was carried out with 20 PMMA discs (10 light-cured and 10 milled). All samples were subjected to the same manual polishing protocol with Sof-Lex™ abrasive discs. The contact angle was measured using the sessile drop method, recording the left, right angles and their average.

Results: The milled group presented significantly higher mean contact angle values ($81.0^\circ \pm 2.6^\circ$) compared to the light-cured group ($68.0^\circ \pm 3.2^\circ$), with statistically significant differences ($p < 0.0001$). Graphical analysis confirmed the reduced dispersion and greater consistency in the milled group. **Conclusion:** The processing technique significantly influences the surface properties of PMMA after polishing. CAD-CAM milling offers more homogeneous surfaces, with higher contact angle and lower surface free energy, which could be associated with a lower susceptibility to bacterial adhesion.

Keywords: PMMA, polishing, contact angle, CAD-CAM, surface free energy, bacterial adhesion.

Introducción

Las resinas acrílicas a base de polimetilmetacrilato (PMMA) continúan siendo uno de los materiales más utilizados en odontología para la elaboración de prótesis provisionales, debido a su facilidad de manipulación, buena estabilidad dimensional, bajo costo y aceptable estética (Guadarrama Bello, López Hernández & Brizuela Guerra, 2011, p. 3). Sin embargo, presentan desventajas como la porosidad, susceptibilidad a la fractura y acumulación de placa bacteriana, aspectos que pueden comprometer su durabilidad y desempeño clínico (Cierech, 2016, p. 4).

Uno de los factores más relevantes que afecta la interacción biológica entre el material y el entorno oral es la rugosidad superficial, ya que esta puede favorecer la adhesión microbiana, especialmente de *Streptococcus mutans*, considerado un colonizador primario en la formación de biopelículas dentales (Hahnel, Rosentritt & Bürgers, 2008, p. 12). Estudios han demostrado que valores de rugosidad superiores a $0.2 \mu\text{m}$ se asocian a un incremento significativo en la adhesión bacteriana, lo que puede derivar en caries secundarias o inflamación periimplantaria (Almaguer Flores, 2011; Abdalla, 2020, p. 5).

Con el avance de las tecnologías CAD-CAM, se ha introducido el fresado de bloques industriales de PMMA como una alternativa al procesamiento convencional, permitiendo obtener superficies más homogéneas y de menor porosidad. Estas propiedades han sido relacionadas con una menor retención de biopelículas y una mejor respuesta clínica (Quezada et al., 2022, p. 6). No obstante, la superficie final del material puede variar según el protocolo de pulido utilizado, el cual tiene un impacto directo sobre la energía libre superficial y el ángulo de contacto, parámetros que influyen en la humectabilidad del material y su interacción con proteínas salivales y microorganismos (Buegers, Rosentritt & Handel, 2007, p. 7; Cierech et al., 2016).

Dado que la superficie de contacto de las restauraciones provisionales puede actuar como reservorio de microorganismos, es indispensable evaluar y optimizar los procesos de acabado y pulido, especialmente en materiales elaborados por distintas técnicas de procesamiento. En este contexto, la medición del ángulo de contacto mediante el método de la gota sésil constituye una herramienta confiable para caracterizar las propiedades superficiales de los biomateriales y su susceptibilidad a la adhesión bacteriana (Duymus, Aydiner & Yanikoglu, 2023).

Por tanto, este estudio tiene como objetivo evaluar el efecto del pulido sobre la energía libre superficial y el ángulo de contacto de resinas acrílicas de PMMA elaboradas mediante fotopolimerización y fresado CAD-CAM, contribuyendo al conocimiento sobre el comportamiento físico y biológico de los materiales provisionales utilizados en rehabilitación protésica.

Metodología

Tipo de estudio

Se planteó un estudio de tipo experimental *in vitro*, diseñado para analizar la influencia del protocolo de pulido sobre la energía libre superficial y la rugosidad de discos de resina provisional de polimetilmetacrilato (PMMA), considerando dos técnicas de procesamiento: fotopolimerización directa y fresado CAD-CAM. La elección de un entorno *in vitro* obedece a la necesidad de controlar las variables externas que pudieran interferir en las propiedades de superficie, garantizando condiciones homogéneas y repetibles durante todo el procedimiento (Burgers et al., 2007; Hahnel et al., 2008, p. 16).

Este diseño experimental permite establecer comparaciones directas entre los grupos de estudio mediante la aplicación de pruebas estadísticas, controlando la influencia de factores como el tipo de pulido, la técnica de fabricación y las características del sustrato. La estandarización de las muestras permite evaluar de manera objetiva la respuesta del material frente a estímulos externos, en este caso, el tratamiento abrasivo y el comportamiento del líquido sobre la superficie.

Además, se ha reportado que valores de rugosidad superiores a $0.2 \mu\text{m}$ favorecen la colonización microbiana, mientras que superficies lisas, producto de un protocolo de pulido eficaz, presentan menor riesgo de acumulación de placa (Hahnel et al., 2008, p. 14; Abdalla et al., 2020, p. 10). Por ello, la determinación del ángulo de contacto mediante el método de la gota sécil representa una herramienta válida para estimar la energía libre superficial, parámetro íntimamente relacionado con el comportamiento biológico del material en medios húmedos y

con la probabilidad de adhesión microbiana (Guadarrama Bello et al., 2011, p. 13; Almaguer Flores, 2011, p. 9).

Este enfoque metodológico permite no solo la caracterización física del material, sino también establecer correlaciones entre su morfología superficial y su potencial impacto clínico, siendo este tipo de análisis una tendencia creciente en investigaciones sobre materiales restauradores.

Características de las muestras, cantidades y materiales utilizados

Se utilizaron un total de veinte discos de polimetilmetacrilato (PMMA), con un diámetro de 10 mm y un espesor uniforme de 2 mm, elaborados para simular restauraciones provisionales utilizadas en prótesis fija. Las muestras fueron divididas aleatoriamente en dos grupos experimentales, con el fin de comparar dos técnicas de procesamiento ampliamente utilizadas en la práctica odontológica:

Grupo A ($n = 10$). Discos fabricados mediante fotopolimerización directa utilizando resina PRIZMA®.

Grupo B ($n = 10$). Discos obtenidos por fresado CAD-CAM, a partir de bloques industriales de PMMA de la marca IVOCLAR®.

Ambas técnicas presentan diferencias significativas en cuanto a sus propiedades físico-mecánicas y morfología superficial. El PMMA fotopolimerizado puede presentar mayor porosidad, mientras que el PMMA fresado ha demostrado ofrecer mayor homogeneidad

estructural y menor retención bacteriana cuando es adecuadamente pulido (Duymus et al., 2023; Quezada et al., 2022).

Para estandarizar el análisis, todos los discos fueron diseñados digitalmente y elaborados bajo las mismas condiciones de laboratorio. La selección del espesor y diámetro responde a valores frecuentemente utilizados en estudios in vitro que analizan ángulos de contacto y energía libre superficial (Cierech et al., 2016, p. 14; Abdalla et al., 2020, p. 12).

A continuación, en la tabla 1 se detallan los materiales, equipos y reactivos utilizados durante el procedimiento:

Tabla 1

Materiales, equipos y reactivos utilizados para la elaboración y evaluación de discos de PMMA

No.	Material o equipo	Marca / Modelo	Uso
1	Resina fotopolimerizable	PRIZMA®	Fabricación de muestras del Grupo A
2	Bloques de PMMA para fresado	IVOCLAR®	Fabricación de muestras del Grupo B
3	Discos abrasivos Sof-Lex™ (4931C, M, F, SF)	3M ESPE®	Protocolo de pulido manual
4	Goniómetro digital DMK 21AF04n	The Imaging Source® (Alemania)	Captura de imágenes para ángulo de contacto
5	Solución salina calibrada (2,0 µL)	Uso clínico	Evaluación de energía libre superficial
6	Acetona	Uso de laboratorio	Limpieza de superficies tras pulido
7	Jeringa calibrada para gota sécil	—	Aplicación precisa de gotas
8	Software estadístico	SPSS® (IBM Corp., Windows)	Análisis de datos

Todos los materiales se almacenaron en condiciones controladas de humedad y temperatura ambiente (22–25 °C), evitando la contaminación cruzada. El instrumental fue desinfectado antes y después de cada procedimiento para mantener la integridad del estudio.

Diseño, elaboración y protocolo de pulido

Las muestras fueron diseñadas y elaboradas en un laboratorio especializado en materiales dentales, siguiendo criterios de estandarización dimensional y técnica. Se elaboraron 20 discos de polimetilmetacrilato (PMMA) con un diámetro constante de 10 mm y un espesor de 2 mm, empleando dos métodos de fabricación distintos, correspondientes a los grupos experimentales definidos:

Grupo A (n=10). Muestras fabricadas mediante fotopolimerización directa.

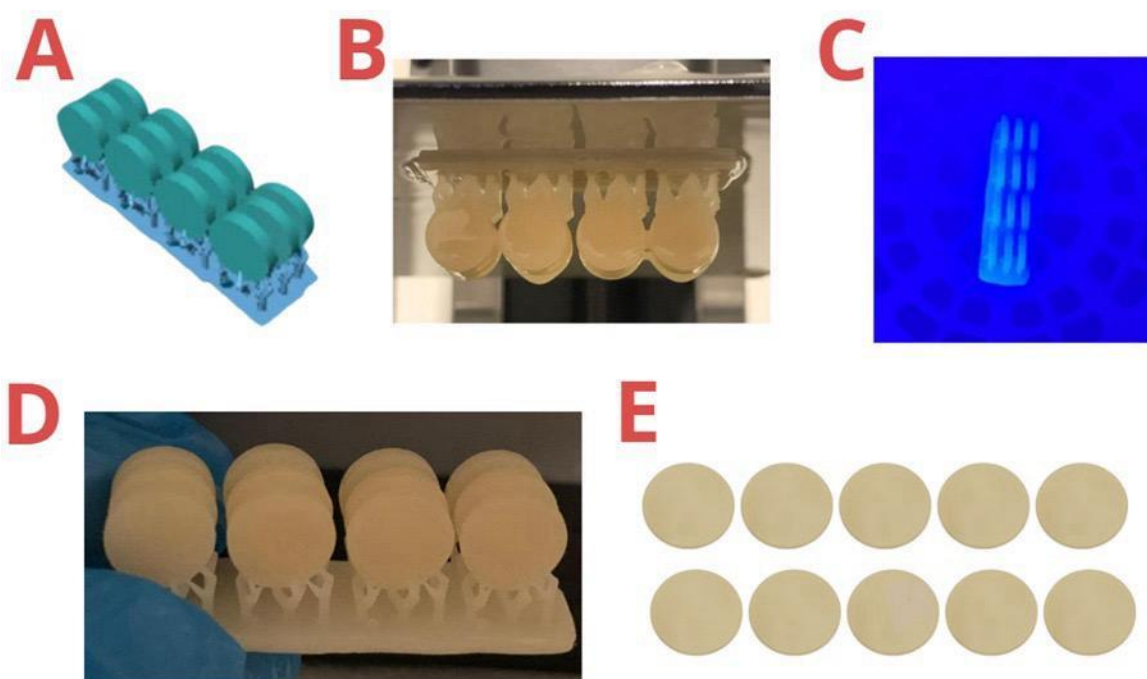
Grupo B (n=10). Muestras obtenidas mediante fresado CAD-CAM a partir de bloques industriales de PMMA.

Elaboración del Grupo A: PMMA fotopolimerizado

Las muestras del Grupo A fueron elaboradas a partir de resina acrílica fotopolimerizable (PRIZMA®), seleccionada por su amplio uso clínico en prótesis provisionales por su estabilidad dimensional, biocompatibilidad y facilidad de manipulación (Cierech et al., 2016, p. 18; Quezada et al., 2022, p. 16). En la Figura 1 se puede observar el proceso de elaboración.

Figura 1

Proceso de elaboración de discos de PMMA fotopolimerizado del Grupo A.



El proceso inició con el diseño digital CAD de las geometrías cilíndricas (Figura A), utilizando un software tridimensional para modelar los discos con un diámetro de 10 mm y un espesor de 2 mm, asegurando precisión y repetibilidad. Este diseño se trasladó a una impresora 3D de resina de alta resolución, que ejecutó la fabricación capa por capa (Figura B), utilizando la tecnología de estereolitografía (SLA) para solidificar la resina mediante luz ultravioleta controlada.

Una vez completada la impresión, las estructuras fueron sometidas a un proceso de fotopolimerización secundaria (Figura C), mediante una lámpara LED de polimerización (Bluephase G2®, Ivoclar Vivadent®), con una potencia de 1200 mW/cm², durante 40 segundos por cada cara. Este paso es crítico para asegurar una conversión monomérica adecuada,

mejorando las propiedades mecánicas del material y reduciendo la liberación de monómeros residuales (Guadarrama Bello et al., 2011, p. 17; Hahnel et al., 2008, p. 115).

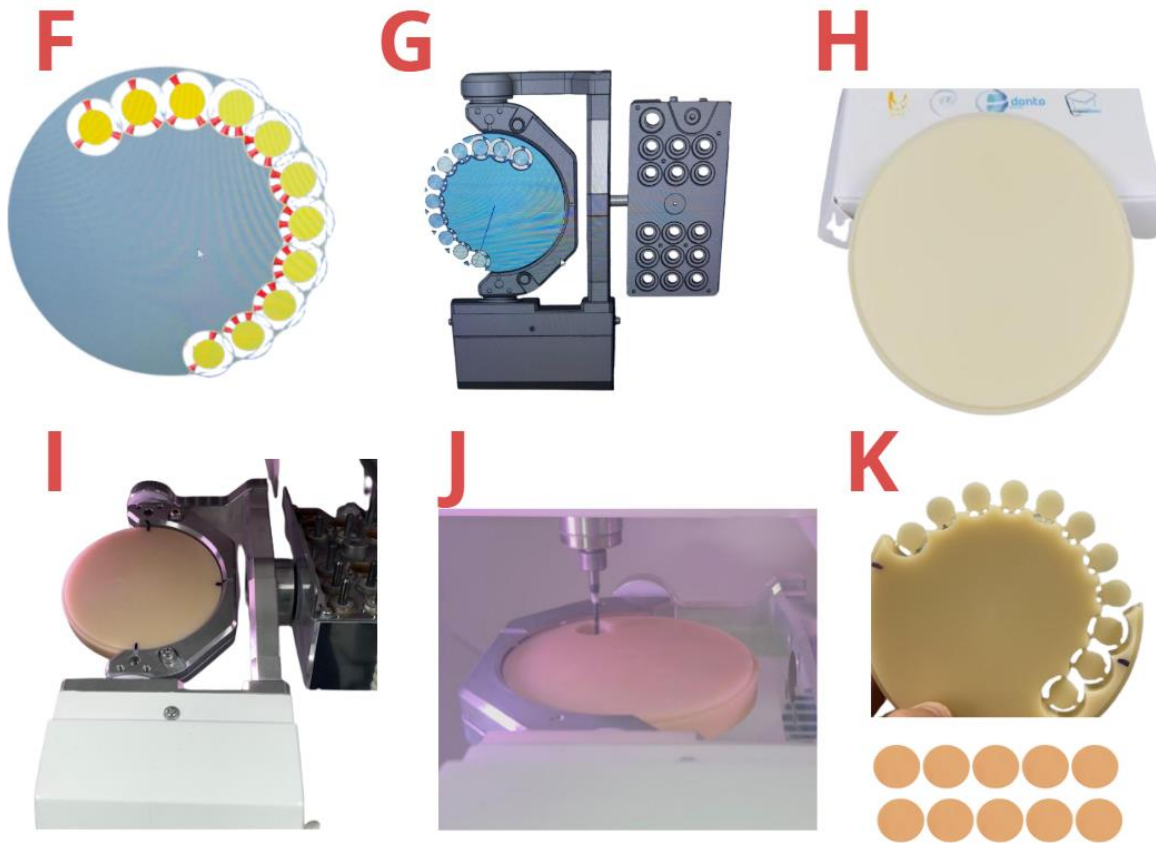
Tras el curado, los discos fueron retirados cuidadosamente del soporte de impresión (Figura D), empleando una espátula plástica para evitar microfracturas o deformaciones. Posteriormente, fueron limpiados con alcohol isopropílico para eliminar residuos de resina no polimerizada y almacenados en cajas Petri estériles hasta su utilización. En la Figura E se visualiza el conjunto completo de muestras fotopolimerizadas listas para el proceso de pulido.

Elaboración del Grupo B: PMMA fresado CAD-CAM

Las muestras correspondientes al Grupo B fueron elaboradas mediante fresado asistido por computadora (CAD-CAM) a partir de bloques industriales de polimetilmetacrilato (PMMA) de alta densidad (IVOCLAR®), ampliamente utilizados en odontología por su baja porosidad, buena estabilidad térmica y propiedades mecánicas superiores respecto a resinas autocurables (Guadarrama Bello et al., 2011; Quezada et al., 2022). En la Figura 2 se puede observar el proceso de elaboración.

Figura 2

Proceso de elaboración de discos de PMMA fresado del Grupo B



El diseño tridimensional de los discos se realizó con el software Exocad®, configurando parámetros precisos de diámetro (10 mm) y espesor (2 mm) (Figura F). Posteriormente, se planificó la posición de las piezas dentro del bloque cilíndrico (Figura G), optimizando el uso del material y garantizando un fresado uniforme.

El material base utilizado fue un disco industrial de PMMA de 98 mm de diámetro (Figura H), colocado en el soporte de fresado del equipo Roland DWX-50® (Roland DGA®, EE.UU.), una fresadora de cinco ejes con sistema automatizado de cambio de herramientas

(Figura I). El fresado se realizó a velocidad constante, empleando fresas de carburo de tungsteno refrigeradas por aire para evitar la acumulación de calor y microfracturas del material.

Durante el proceso (Figura J), se mantuvo una profundidad de corte controlada por capas de 0,5 mm, lo que permitió una terminación precisa sin deformaciones. Una vez finalizado el fresado, se procedió al retiro manual de las muestras del disco (Figura K), eliminando las pestañas de sujeción con una fresa de baja velocidad.

Finalmente, los discos fueron limpiados con alcohol isopropílico al 70 %, secados al ambiente y almacenados en condiciones estériles en recipientes sellados. El uso de este método garantiza una mayor homogeneidad estructural y propiedades ópticas estables, lo cual es fundamental para evaluar con precisión el comportamiento superficial del material frente a tratamientos mecánicos como el pulido (Ciarech et al., 2016, p. 13; Duymus et al., 2023, p. 10).

Medición del ángulo de contacto

La determinación de la energía libre superficial de las muestras se realizó mediante el método de la gota sésil, técnica ampliamente utilizada en estudios de caracterización de materiales odontológicos. Este método permite evaluar la humectabilidad de una superficie midiendo el ángulo de contacto entre una gota líquida depositada y la superficie sólida, lo cual refleja directamente las propiedades de adhesión del material (Almaguer Flores, 2011, p. 9; Ciarech et al., 2016, p. 12).

El sistema experimental estuvo compuesto por una fuente de luz lateral fría, una plataforma de soporte horizontal para la muestra, un sistema de dispensación de gotas calibradas

(2,0 μL de solución salina isotónica), y una cámara digital de alta resolución dispuesta en forma perpendicular para la captura lateral del perfil de la gota (Figura 3).

Figura 3

Esquema del principio óptico de medición del ángulo de contacto mediante gota sésil.



La captura de imágenes fue realizada con una cámara digital DMK 21AF04n (The Imaging Source®, Alemania), integrada en un goniómetro óptico modelo CAM 100® (ver Figura 4). Este dispositivo incluye un sistema de alineación milimétrica y calibración automática, permitiendo una medición precisa del perfil de la gota.

Cada muestra fue colocada sobre la plataforma horizontal y se aplicaron dos gotas calibradas (2,0 μL) de solución salina, utilizando una jeringa dosificadora. Después de 30 segundos de estabilización, se capturaron las imágenes, que luego fueron analizadas mediante software de procesamiento de imagen (incluido con el sistema CAM 100®), registrando el ángulo de contacto derecho e izquierdo y calculando el valor promedio por muestra.

El ensayo se realizó bajo condiciones ambientales controladas: temperatura constante de 25 °C y humedad relativa del 60 %, en una sala sin corriente de aire ni variaciones térmicas. Este procedimiento estandarizado garantiza la confiabilidad de los valores obtenidos y permite comparar las diferencias entre tratamientos de superficie con rigor técnico (Abdalla et al., 2020, p. 11).

Figura 4

Equipo de medición de ángulo de contacto modelo CAM 100®.



Los datos obtenidos en este estudio fueron organizados y analizados con el propósito de comparar la efectividad del protocolo de pulido entre resinas compuestas de PMMA elaboradas mediante fotopolimerización y discos de PMMA obtenidos por fresado. Se aplicó la prueba U de Mann-Whitney en combinación con el ajuste de Bonferroni para detectar diferencias significativas entre los grupos experimentales. Además, se evaluaron diferencias en la prevalencia mediante el

test de T de Student y ANOVA de un factor, según correspondiera al tipo de distribución de los datos. Todo el procesamiento estadístico se realizó mediante el software SPSS® versión 25 para Windows (IBM Corp., Armonk, NY, EE.UU.), considerando un nivel de significancia estadística de $p < 0.05$.

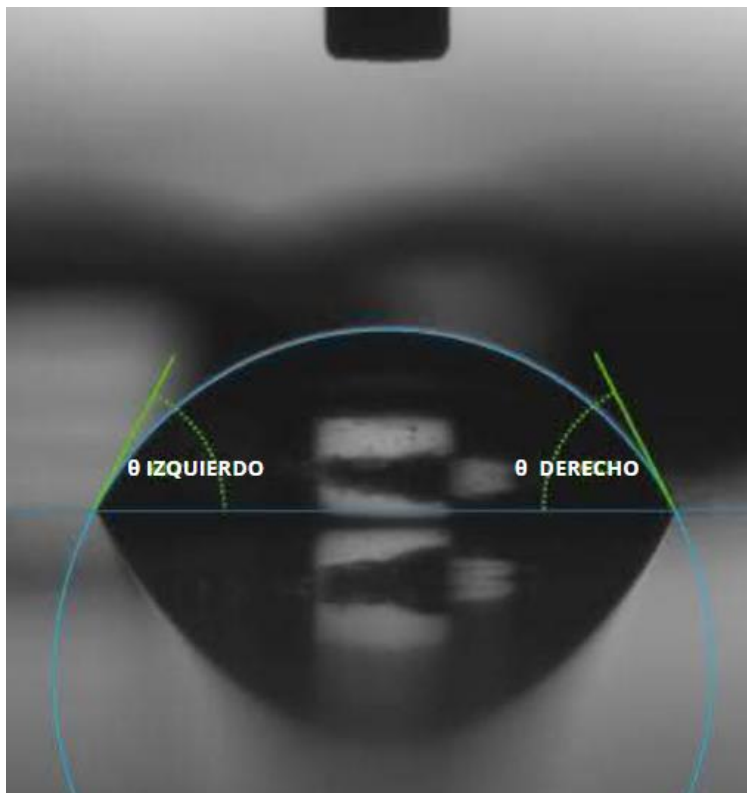
Hallazgos

Se evaluaron los valores promedio del ángulo de contacto de las muestras pertenecientes a los grupos experimentales de PMMA, con el fin de determinar el efecto del protocolo de pulido sobre la energía libre superficial. El Grupo A, conformado por discos elaborados mediante fotopolimerización, presentó valores de ángulo de contacto menores, en comparación con el Grupo B, integrado por discos de PMMA obtenidos mediante fresado CAD-CAM.

Esta diferencia sugiere un comportamiento superficial más homogéneo en las muestras fresadas, asociado a una menor humectabilidad y mayor ángulo de contacto. En la Figura 5, se muestra el espectro generado por el goniómetro digital durante la medición, en el que se trazan líneas tangenciales al punto de contacto de la gota con la superficie, permitiendo el cálculo automático y preciso del ángulo izquierdo (θ izquierdo) y del ángulo derecho (θ derecho), los cuales se promedian para obtener el valor final representativo de cada muestra.

Figura 5

Espectro de medición del ángulo de contacto en el goniómetro digital



Los resultados muestran que las muestras del Grupo A alcanzaron un valor promedio de $68,0^\circ \pm 3,2^\circ$, mientras que las del Grupo B presentaron un valor promedio significativamente mayor de $81,0^\circ \pm 2,6^\circ$. Estos datos sugieren una diferencia cuantitativa entre ambas técnicas de elaboración, reflejada en el comportamiento de la superficie tras la aplicación del protocolo de pulido.

A continuación, se detallan los resultados obtenidos para cada muestra individual en la

Tabla 2:

Tabla 2

Valores de ángulo de contacto izquierdo, derecho y promedio en discos de PMMA según el grupo experimental

Muestra	Grupo	Ángulo izquierdo (°)	Ángulo derecho (°)	Ángulo promedio (°)
A1	Fotopolimerizado	68.49	66.61	67.55
A2	Fotopolimerizado	66.59	66.60	66.60
A3	Fotopolimerizado	68.94	68.73	68.84
A4	Fotopolimerizado	71.57	62.26	66.91
A5	Fotopolimerizado	66.30	62.83	64.56
A6	Fotopolimerizado	66.54	68.08	67.31
A7	Fotopolimerizado	68.65	66.02	67.34
A8	Fotopolimerizado	65.76	71.30	68.53
A9	Fotopolimerizado	65.77	68.05	66.91
A10	Fotopolimerizado	68.40	67.57	67.99
B1	Fresado CAD-CAM	81.17	84.47	82.82
B2	Fresado CAD-CAM	79.55	80.92	80.24
B3	Fresado CAD-CAM	80.84	80.30	80.57
B4	Fresado CAD-CAM	78.47	83.12	80.80
B5	Fresado CAD-CAM	79.61	82.91	81.26
B6	Fresado CAD-CAM	78.44	84.17	81.31
B7	Fresado CAD-CAM	82.46	81.30	81.88
B8	Fresado CAD-CAM	82.46	80.01	81.24
B9	Fresado CAD-CAM	78.82	81.79	80.31
B10	Fresado CAD-CAM	81.24	78.68	79.96

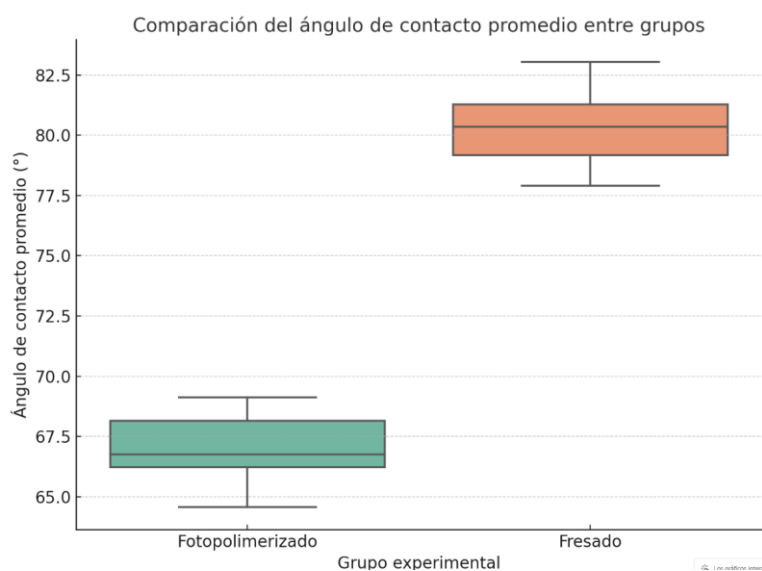
Para determinar la existencia de diferencias significativas entre los grupos experimentales, se aplicó un análisis estadístico inferencial. La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk confirmó que los datos de ambos grupos seguían una distribución normal ($p = 0.856$ para el Grupo A y $p = 0.958$ para el Grupo B). Por ello, se utilizó la prueba t de Student para muestras independientes, la cual arrojó un resultado estadísticamente significativo ($t = -19.225$, $p <$

0.0001), indicando diferencias marcadas entre los valores promedio de ángulo de contacto según la técnica de elaboración.

De forma complementaria, se aplicó un ANOVA de un factor, que confirmó estas diferencias con un valor de significancia igualmente significativo ($p < 0.0001$). En la Figura 6, se presenta un gráfico de cajas (boxplot) con superposición de puntos individuales, el cual evidencia la tendencia central y la dispersión de los valores obtenidos. Se observa una clara separación entre ambos grupos, con valores consistentemente más altos en el Grupo B (fresado CAD-CAM) en comparación con el Grupo A (fotopolimerizado).

Figura 6

Comparación gráfica del ángulo de contacto promedio entre los grupos experimentales.



Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio muestran diferencias significativas en los valores del ángulo de contacto promedio entre los grupos experimentales de PMMA según la técnica de elaboración. El Grupo A (fotopolimerizado) presentó ángulos de contacto más bajos, mientras que el Grupo B (fresado CAD-CAM) mostró valores considerablemente más altos, con una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.0001$). Esta variación puede atribuirse a la morfología superficial que se genera en cada tipo de procesamiento: el fresado digital produce superficies más lisas y homogéneas, lo que incrementa el ángulo de contacto y reduce la energía libre superficial. Estos hallazgos sugieren que una superficie más regular favorece condiciones físico-químicas menos propensas a la adhesión de agentes biológicos, lo cual puede tener implicaciones clínicas importantes en términos de reducción de la adhesión bacteriana y mejora del comportamiento biológico del material.

Nuestros resultados se encuentran en concordancia con los reportados por Quezada et al. (2022), quienes evaluaron el efecto de un protocolo de pulido estandarizado sobre la rugosidad superficial de diferentes resinas acrílicas utilizadas en prótesis. En su estudio, se demostró que el pulido manual aplicado sobre resinas obtenidas por fresado CAD-CAM reduce de manera más eficiente la rugosidad, en comparación con las resinas procesadas de forma convencional. Asimismo, se indicó que la superficie resultante de las técnicas CAD-CAM favorece una menor adhesión de biopelículas, lo cual coincide con los valores más altos de ángulo de contacto observados en nuestro grupo fresado. Estos datos reafirman que la calidad superficial del PMMA tras el pulido depende en gran medida del método de elaboración inicial, lo cual debe ser considerado al seleccionar materiales provisionales en rehabilitación protésica.

Conclusiones

Los resultados de este estudio evidencian que la técnica de elaboración del PMMA influye de manera significativa en el comportamiento superficial del material tras la aplicación de un protocolo de pulido. Las muestras fresadas mediante tecnología CAD-CAM presentaron ángulos de contacto promedio más elevados en comparación con las elaboradas por fotopolimerización, lo que sugiere una superficie más lisa, homogénea y con menor energía libre superficial. Esta diferencia puede ser clínicamente relevante, ya que superficies más regulares tienden a ser menos susceptibles a la adhesión bacteriana. Por tanto, se resalta la importancia de considerar tanto el método de fabricación como el procedimiento de acabado final al seleccionar materiales provisionales para rehabilitación protésica.

Referencias

- Abdalla, M. M., Ali, I. A. A., Khan, K., Mattheos, N., Murbay, S., Matinlinna, J. P., & Neelakantan, P. (2020). The influence of surface roughening and polishing on microbial biofilm development on different ceramic materials. *Journal of Prosthodontics*.
<https://doi.org/10.1111/jopr.13260>
- Almaguer Flores, A. (2011). Adsorción de proteínas de la saliva y su influencia sobre la adhesión bacteriana sobre superficies utilizadas para implantes dentales [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio UNAM.
<https://repositorio.unam.mx/contenidos/ficha/adsorcion-de-proteinas-de-la-saliva-y-su-influencia-sobre-la-adhesion-bacteriana-sobre-superficies-utilizadas-para-im-1500078>
- Buergers, R., Rosentritt, M., & Handel, G. (2007). Bacterial adhesion of *Streptococcus mutans* to provisional fixed prosthodontic material. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 98(6), 461–469. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(07\)60146-2](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(07)60146-2)
- Cierech, M., Kolenda, A., Grudniak, A. M., Wojnarowicz, J., Woźniak, B., Gołaś, M., Swoboda-Kopeć, E., Łojkowski, W., & Mierzwińska-Nastalska, E. (2016). Significance of polymethylmethacrylate (PMMA) modification by zinc oxide nanoparticles for fungal biofilm formation. *International Journal of Pharmaceutics*, 510(1), 323–335.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2016.06.052>
- Duymus, Z. Y., Aydiner, S. F., & Yanikoglu, N. (2023). El efecto de diferentes soluciones de tinción en la estabilidad del color de los materiales de corona temporales. *Nigerian Journal of Clinical Practice*, 26(2), 234–239. https://doi.org/10.4103/njcp.njcp_659_22

Guadarrama Bello, D., López Hernández, M., & Brizuela Guerra, N. (2011). Determinación de propiedades mecánicas y temperatura máxima de polimerización de cementos óseos acrílicos modificados con micro y nanopartículas de hidroxiapatita. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 31(1), 91–98.

https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0255-69522011000100013

Hahnel, S., Rosentritt, M., & Bürgers, R. (2008). Adhesión de *Streptococcus mutans* NCTC 10449 a dientes artificiales: un estudio in vitro. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 100(4), 309–315.
[https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(08\)60212-7](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(08)60212-7)

Quezada, M. M., Salgado, H., Correia, A., Fernandes, C., & Fonseca, P. (2022). Investigation of the effect of the same polishing protocol on the surface roughness of denture base acrylic resins. *Biomedicines*, 10(8), 1971. <https://doi.org/10.3390/biomedicines10081971>