INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO

SAN ANTONIO

Escuela de Ciencias de la Salud

“Diseño de un Protocolo Técnico para la Elaboración de Provisionales Dentales Mediante el Uso de PMMA Fresado y Resina Dental Impresa en el Laboratorio TESA, Quito, 2026”

Andrés Sebastián Yánez Carrera

Aparatología Dental

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito para la obtención del título de

Tecnólogo Superior en Aparatología Dental

Quito, 02 de 05 de 2026

INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO SAN ANTONIO

Escuela de Ciencias de la Salud

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

Diseño de un Protocolo Técnico para la Elaboración de Provisionales Dentales Mediante el Uso de PMMA Fresado y Resina Dental Impresa en el Laboratorio TESA, Quito, 2026

Andrés Sebastián Yánez Carrera

Denisse Yánez, Tecnóloga Superior en Aparatología Dental

Quito, 02 de 05 de 2026

Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales del Instituto Superior Tecnológico San Antonio TESA, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual TESA, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a TESA para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad con lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Nombres y apellidos: Andrés Sebastián Yánez Carrera

Código estudiante: 2151

Cédula de identidad: 1724181530

Lugar y fecha: Quito, 01 de 2026

Aclaración para Publicación

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, pese a estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en ttp://bit.ly/COPETheses.

Unpublished Document

Note: The following capstone project is available through Instituto Superior Tecnológico San Antonio TESA institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around these publishing available on http://bit.ly/COPETheses.

Dedicatoria

Dedico este proyecto de grado a mis padres, Liliana y Nikolay, por todo el amor y la atención que me han brindado, así como por el gran esfuerzo que realizaron para que yo pudiera continuar con mis estudios. A mis abuelos, quienes han sido como unos segundos padres, por su apoyo constante e incondicional para que yo lograra culminar este proyecto y a mi familia por su apoyo y preocupación por que yo lograra alcanzar esta meta.

Con todo mi cariño,

Andrés Yánez

Agradecimiento

Agradezco a la institución TESA y a cada docente que compartió su conocimiento conmigo para formarme como profesional, y de manera especial, a mis tutores Denisse Yánez, José Miranda y al director de carrera Luis Muñoz, por su preocupación y empuje continuo para mi formación académica.

A las valiosas amistades que surgieron a lo largo de mi formación, quienes me brindaron su cariño y compañía, y me apoyaron desde el primer momento.

Y un agradecimiento infinito a mi novia Dayana, por cada día darme ánimos y ayudarme a cumplir mis sueños, no permitirme decaer y levantarme en mis momentos más bajos. Agradezco su constante compañía y respaldo desde mucho antes del inicio de mi carrera hasta ahora, así como su sincera ayuda. Este logro no habría sido posible sin ti. Te amo.

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo diseñar un protocolo técnico para la elaboración de provisionales dentales mediante PMMA fresado y resina 3D, con el propósito de estandarizar procedimientos en el laboratorio dental y optimizar la precisión, calidad y eficiencia del proceso.

El estudio surgió ante la necesidad de reducir la variabilidad técnica, minimizar errores operativos y mejorar la reproducibilidad en la fabricación de restauraciones provisionales mediante tecnologías digitales.

Se desarrolló bajo un enfoque mixto, de tipo aplicado, descriptivo y propositivo, utilizando revisión bibliográfica, observación directa, encuestas y validación mediante Focus Group. A partir del análisis comparativo entre ambos sistemas de manufactura, se estructuró un protocolo que integra materiales, equipos, bioseguridad y procedimientos operativos específicos.

Los resultados evidenciaron una alta aceptación del protocolo, destacando su organización, claridad, utilidad práctica y capacidad para fortalecer la estandarización del trabajo técnico.

Se concluye que el protocolo constituye una herramienta funcional para mejorar procesos de laboratorio y formación técnica, con proyección futura hacia su actualización continua conforme evolucionen los sistemas CAD/CAM y los materiales dentales.

Palabras clave: provisionales dentales, PMMA fresado, resina 3D, CAD/CAM, protocolo técnico, odontología digital, laboratorio dental.

Abstract

This research aimed to design a technical protocol for the fabrication of provisional dental restorations using milled PMMA and 3D-printed resin, with the objective of standardizing laboratory procedures and optimizing precision, quality, and operational efficiency. The study arose from the need to reduce technical variability, minimize operational errors, and improve the reproducibility of provisional restoration manufacturing through the implementation of digital technologies. A mixed-methods approach was employed, incorporating direct observation, surveys, and Focus Group validation. Based on a comparative analysis of both manufacturing systems, a comprehensive protocol was developed integrating materials, equipment, biosafety measures, and specific operational procedures. The results demonstrated a high level of acceptance of the protocol, particularly regarding its organization, clarity, practical applicability, and contribution to the standardization of technical workflows. It is concluded that the protocol constitutes a functional tool for improving laboratory processes and technical training, while also offering the potential for continuous updating in response to advances in CAD/CAM systems and dental materials.

Keywords: provisional dental restorations, milled PMMA, 3D resin, CAD/CAM, technical protocol, digital dentistry, dental laboratory.

Tabla De Contenidos

Resumen 7

Abstract 8

Capítulo I Introducción 17

1.1 Planteamiento del Problema 17

1.2 Justificación 18

1.3 Alcance 20

1.4 Objetivos General y Específicos 21

1.4.1 Objetivo General 21

1.4.2 Objetivos Específicos 21

Capítulo II Marco Teórico 22

2.1 Protocolo Técnico en el Laboratorio Dental 24

2.1.1 Concepto De Protocolo Técnico 24

2.1.2 Características de un Protocolo 25

2.1.3 Estructura de un Protocolo 26

2.2 Provisionales Dentales 26

2.2.1 ¿Qué Son Provisionales Dentales? 26

2.2.Función de los Provisionales Dentales 27

2.2.3 Tipos de Provisionales Dentales Según su Fabricación 27

2.2.4 Técnicas de Elaboración de Provisionales Dentales 30

2.3 Materiales Utilizados en la Elaboración de Provisionales Dentales 31

2.4 Odontología Digital 33

2.4.1 Qué es la Odontología Digital 33

2.4.2 Evolución de la Odontología Digital 34

2.4.3 Importancia de la Aplicación Digital en la Rehabilitación Oral 34

2.4.4 Ventajas y Desventajas Frente a las Técnicas Convencionales 34
2.5 CAD/CAM Aplicado a Diseño de Provisionales 36
2.5.1 Sistemas CAD/CAM (Digitalización, Diseño, Manufactura) 37
2.5.2 Ventajas y Limitaciones de la Tecnología CAD/CAM 42
2.6 Flujo de Trabajo Digital en Provisionales Dentales 44
2.6.1 Etapas del Flujo Digital 44
2.6.2 Variables Técnicas que Afectan la Precisión 45
2.7 Materiales Para Provisionales Dentales en Flujo Digital 46
2.7.1 PMMA Fresado 46
2.7.2 Propiedades del PMMA 47
2.7.3 Proceso de Fabricación de PMMA Fresado 48
2.7.4 Ventajas y Desventajas del PMMA Fresado 48
2.8 Resinas para Impresión 3D 51
2.8.1 ¿Qué Son? 51
2.8.2 Tipos de Resinas 3D 51
2.8.3 Propiedades de las Resinas 3D 53
2.8.4 Procesos de Fabricación de Provisionales Impresos 55
2.8.5 Ventajas y Limitaciones de las Resinas 3D 55
2.9 Síntesis Comparativa Entre PMMA Fresado y Resina Impresa 3D 57
Capítulo III Marco Metodológico 61
3.1 Tipo de Investigación 61
3.1.1 Según el Propósito 61
3.1.2 Según la Manipulación de Variables 62
3.1.3 Según el Tiempo de Desarrollo 62
3.2 Tipo de Enfoque 63

3.3 Herramientas Metodológicas 64

3.4 Técnicas 65

3.5 Estudios Iniciales 66

3.5.1 Criterios y Exclusión 66

3.5.2 Muestreo no Probabilístico por Conveniencia y Deliberado 68

3.6 Desarrollo de Provisionales Dentales en PMMA fresado y Resina 3D 69

3.6.1 Escaneo de modelo 70

3.6.2 Diseño digital CAD 75

3.6.3 Provisionales en PMMA fresado 84

3.6.4 Provisionales en Resina Impresa 3D 91

Capítulo IV Resultados y Discusión 99

4.1 Análisis e interpretación de resultados de la encuesta inicial 99

4.2 Análisis e Interpretación de Resultados de la encuesta final 105

4.2.1 Matriz de Validación del producto 115

4.3 Discusión de Resultados 116

Conclusiones y Recomendaciones 118

Referencias Bibliográficas 120

ANEXO A: ENCUESTA INICIAL 123

ANEXO B: FOCUS GROUP 126

ANEXO C: ENCUESTA FINAL 130

Índice de Tablas

Tabla 1 Ventajas y desventajas de la técnica digital frente a la técnica convencional 35

Tabla 2 Ventajas y limitaciones de la tecnología CAD/CAM en la elaboración de provisionales 43

Tabla 3 Cuadro comparativo: ventajas y desventajas de PMMA fresado 50

Tabla 4 Ventajas y desventajas de las resinas en 3D 56

Tabla 5 Cuadro comparativo entre ambas técnicas.....58

Tabla 6 Criterios de inclusión.....67

Tabla 7 Criterios de exclusión 68

Tabla 8 Matriz de Validación 115

Índice de Figuras

Figura 1 Provisionales Dentales, Puente y Corona 26

Figura 2 Provisional dental directo 28

Figura 3 Provisional dental indirecto 28

Figura 4 Provisionales dentales elaborados mediante técnicas convencionales 29

Figura 5 Provisionales dentales fabricados mediante tecnologías digitales 29

Figura 6 Materiales convencionales utilizados en la fabricación de provisionales dentales. ..32

Figura 7 Material utilizado en provisionales digitales (PMMA). 33

Figura 8 Escáner intraoral 38

Figura 9 Escáner extraoral de laboratorio para digitalización de modelos físicos 38

Figura 10 Interfaz del software Exocad durante el diseño de una restauración provisional.... 39

Figura 11 Software 3Shape Dental System utilizado para diseño CAD en prótesis dentales. 39

Figura 12 Uso de Blender en el modelado digital de estructuras dentales 39

Figura 13 Manufactura Asistida por Computadora CAM. 40

Figura 14 Resultado de fresado en Zirconio 41

Figura 15 Impresión en resina para 3D 42

Figura 16 Secuencia general del proceso de fresado CAD/CAM 48

Figura 17 Resinas fotopolimerizables utilizadas para la fabricación de provisionales dentales mediante impresión 3D. 52

Figura 18 Resinas estándar utilizadas para la impresión de modelos dentales. 53

Figura 19 Resinas 3D de alta resistencia utilizadas en aplicaciones dentales. 53

Figura 20 Modelo con desgaste para inserción de corona 71

Figura 21 Cepilladlo del modelo 72

Figura 22 Calibración del escáner 72

Figura 23 Escaneo del modelo 73

Figura 24 Creación de caso 73
Figura 25 Escaneado del modelo 74
Figura 26 Escaneo del antagonista 74
Figura 27 Corrección de escaneo 75
Figura 28 Generación de archivo STL 75
Figura 29 Preparación del caso 76
Figura 30 Selección de piezas 77
Figura 31 Creator de Exocad 77
Figura 32 Exportación de escaneo 78
Figura 33 Posicionamiento del escaneo 79
Figura 34 Selección de margen cervical 79
Figura 35 Eje de inserción 80
Figura 36 Modelo anatómico 80
Figura 37 Puntos de Contacto 81
Figura 38 Ajuste oclusal 82
Figura 39 Contorno y márgenes 82
Figura 40 Alisamiento de superficie 83
Figura 41 Simulación de posición 83
Figura 42 Archivo STL del diseño para impresión 84
Figura 43 Discos de PMMA para fresar 86
Figura 44 Posicionamiento de la corona en el disco 86
Figura 45 Posicionamiento de retenciones en el disco 87
Figura 46 Selección de estrategia de fresado 88
Figura 47 Selección de parámetros finales, (Fresas, velocidad, etc.) 88
Figura 48 Fresadora lista para producción 89

Figura 49 Disco con las piezas removidas 89
Figura 50 Provisional (corona) ajustada y pulida 90
Figura 51 Revisión de ajuste en el modelo 90
Figura 52 Selección de resina 92
Figura 53 Resina tamizada 93
Figura 54 Impresora 3D 93
Figura 55 Software Slicer 94
Figura 56 Posicionamiento de soportes 94
Figura 57 Pantalla de selección de capa 95
Figura 58 Simulación de impresión 95
Figura 59 Impresión de varias piezas 96
Figura 60 Retiro de la plataforma 96
Figura 61 Lavado primario 96
Figura 62 Postcurado 97
Figura 63 Pieza pulida final 98
Figura 64 Resultados previos pregunta 1 100
Figura 65 Resultados previos pregunta 2 100
Figura 66 Resultados previos pregunta 3 101
Figura 67 Resultados previos pregunta 4 102
Figura 68 Resultados previos pregunta 5 102
Figura 69 Resultados previos pregunta 6 103
Figura 70 Resultados previos pregunta 7 104
Figura 71 Resultados previos pregunta 8 104
Figura 72 Resultados previos pregunta 9 105
Figura 73 Resultados previos pregunta 1 106

Figura 74 Resultados previos pregunta 2 107
Figura 75 Resultados previos pregunta 3 108
Figura 76 Resultados previos pregunta 4 108
Figura 77 Resultados previos pregunta 5 109
Figura 78 Resultados previos pregunta 6 110
Figura 79 Resultados previos pregunta 7 110
Figura 80 Resultados previos pregunta 8 111
Figura 81 Resultados previos pregunta 9 112
Figura 82 Resultados previos pregunta 10 112
Figura 83 Resultados previos pregunta 11 113
Figura 84 Resultados previos pregunta 12 113
Figura 85 Resultados previos pregunta 13 114

Capítulo I

Introducción

1.1 Planteamiento del Problema

Las restauraciones provisionales constituyen un componente esencial en los tratamientos de rehabilitación oral y prótesis fija, pues permiten mantener la función masticatoria, preservar la estética y fonética, proteger los tejidos dentarios y periodontales, y brindar estabilidad durante el periodo de transición hacia la restauración definitiva.

Sin embargo, la calidad de estos tratamientos provisionales está determinada principalmente por el ajuste preciso en los bordes y la robustez mecánica de los materiales utilizados, aspectos que repercuten directamente en la longevidad del procedimiento y en el bienestar de los tejidos de soporte periodontal. Las restauraciones elaboradas con métodos convencionales, como las resinas acrílicas de auto polimerización o bis acrílicas, suelen presentar desventajas como contracción durante el endurecimiento, liberación de monómeros residuales, presencia de poros y una mayor predisposición a sufrir fracturas.

La integración de nuevas tecnologías ha dado lugar a dos alternativas con un futuro prometedor: por un lado, el PMMA fresado mediante sistemas CAD/CAM, que se distingue por su alta estabilidad dimensional, superficie pulida y un ajuste marginal superior; y por otro, las resinas foto polimerizables para impresión 3D, que facilitan la creación de restauraciones totalmente personalizadas en menos tiempo, ofrecen un control digital del proceso y minimizan el desperdicio de material.

La literatura reciente ha demostrado que tanto el PMMA fresado como las resinas impresas en 3D alcanzan valores de resistencia flexural superiores a 100 MPa, cumpliendo los estándares internacionales para restauraciones provisionales. No obstante, aún existe controversia sobre qué técnica ofrece un mejor desempeño al integrarse en condiciones

clínicas. Algunas investigaciones sostienen que los bloques fresados CAD/CAM presentan mayor resistencia a la flexión y menor susceptibilidad a la degradación hidrólica, debido a su polimerización industrial bajo alta presión y temperatura. En contraste, otras publicaciones destacan que las restauraciones impresas en 3D poseen menos fragilidad, mejor capacidad de absorber tensiones y liberan menos monómero residual, lo que podría favorecer su comportamiento clínico.

Esta falta de consenso general incertidumbre en la práctica clínica y de laboratorio, dende los profesionales se enfrentan al dilema de que material y técnica seleccionar para la confección de provisionales, considerando la duración del tratamiento, las demandas funcionales y estéticas del paciente, y la relación costo-beneficio.

Ante esta problemática, surge la necesidad de contar un protocolo técnico que reúna la evidencia científica y la experiencia práctica, con el fin de proporcionar criterios claros y actualizados sobre las ventajas, limitaciones e indicaciones de las restauraciones provisionales elaboradas en PMMA fresado y en resina dental impresa en 3D.

El presente trabajo, desarrollado en Quito, en el Laboratorio TESA, busca aportar a la odontología restauradora una herramienta académica y practica que oriente la toma de decisiones clínicas y contribuya a optimizar los resultados de los tratamientos rehabilitadores.

1.2 Justificación

La odontología contemporánea exige restauraciones provisionales que no se limiten a cumplir una función temporal, sino que garanticen condiciones adecuadas de estética o estabilidad dimensional (Shillingburg et al., 2012; Rosenstiel et al., 2016). En la práctica los provisionales de baja calidad pueden comprometer la salud periodontal, favorecer la sensibilidad dentaria, generar fallas en la adaptación marginal e incluso afectar negativamente la aceptación del tratamiento definitivo (Anusavice et al., 2013).

Los métodos convencionales con resinas autopolimerizables presentan limitaciones en resistencia mecánica, estabilidad dimensional y durabilidad, lo que aumenta el riesgo de fracturas y filtraciones marginales. Por ello, alternativas como el PMMA fresado en CAD/CAM y las resinas para impresión 3D surgen como opciones innovadoras, al ofrecer procesos industrializados, mayor control del diseño y personalización digital (Renishaw, 2014; Revilla-León et al., 2019).

La evidencia actual muestra resultados divergentes. Algunos estudios destacan la mayor resistencia del PMMA fresado, por su polimerización industrial controlada, mientras que otros señalan ventajas en las resinas 3D, como menor fragilidad y liberación de monómero residual. Esta situación, similar a lo observado en técnicas como las carillas de resina inyectada, enfatiza la necesidad de evaluaciones comparativas basadas en evidencia para una selección de materiales óptima (Rosenstiel et al., 2016).

Desde esta perspectiva, el desarrollo de un manual comparativo entre restauraciones provisionales elaboradas en PMMA fresado y en resina dental impresa en 3D se justifica por su relevancia clínica, académica y práctica. Este protocolo le permitirá al profesional fundamentar sus decisiones en evidencia científica actualizada y en la experiencia clínica, seleccionar adecuadamente el material y la técnica según la duración prevista del provisional, las condiciones del paciente y los recursos disponibles, optimizando los resultados funcionales y estéticos, y favorecer la integración responsable de tecnologías digitales (ISO 10477, 2018; Revilla-León et al., 2019). De esta manera, el presente trabajo, desarrollado en Quito, en el Laboratorio TESA, busca aportar a la odontología restauradora una herramienta académica y práctica que contribuya a mejorar la toma de decisiones clínicas y los resultados de los tratamientos rehabilitadores.

1.3 Alcance

El presente protocolo técnico se centra en la elaboración de restauraciones provisionales mediante dos técnicas digitales: PMMA fresado con tecnología CAD/CAM y resina dental impresa en 3D. Su propósito es canalizar, donde se busca comparar y describir las características, ventajas, limitaciones e indicaciones clínicas de ambos materiales, integrando la evidencia científica reciente con la experiencia práctica de laboratorio.

El alcance del presente manual busca integrar las etapas: revisión bibliográfica de antecedentes relacionando los estudios con las impresiones en 3D y los fresados, así como su diseño y fabricación, todo dentro de un protocolo técnico claro y conciso.

El manual está dirigido a estudiantes de odontología, profesionales clínicos y técnicos de laboratorio dental, brindándoles una herramienta de consulta que facilite la toma de decisiones fundamentadas al momento de seleccionar el material y la técnica más adecuada para cada caso.

El presente manual se limita al diseño y estructuración de un protocolo técnico para la elaboración de provisionales dentales mediante PMMA fresado y resina dental impresa en 3D en el laboratorio TESA, Quito. Como parte del desarrollo del protocolo, se realizará la confección de un modelo provisional en PMMA fresado y otro en resina impresa en 3D, ambos a partir del mismo diseño digital, con el fin de describir y estandarizar el proceso operativo de cada técnica. No obstante, el trabajo no contempla la realización de ensayos mecánicos, pruebas clínicas en pacientes, análisis estadísticos comparativos ni estudios de comportamiento a largo plazo. Su alcance se circunscribe a la descripción técnica del procedimiento, los parámetros operativos y los criterios de control de calidad aplicables en el entorno de laboratorio.

1.4 Objetivos General y Específicos

1.4.1 Objetivo General

Elaborar protocolo técnico sobre la confección de restaurante provisionales en PMMA fresado y resina dental impresa de 3D, que integre evidencia científica y experiencia práctica de laboratorio, con el fin de proporcionar criterios claros y actualizados para optimizar la selección de materiales y técnicas en la odontología restauradora

1.4.2 Objetivos Específicos

- Analizar la evidencia científica actual sobre las propiedades mecánicas, estéticas y biológicas del PMMA fresado y de la resina dental impresa en 3D, así como los parámetros técnicos involucrados en su procesamiento digital, con el fin de identificar criterios fundamentales para la elaboración de provisionales dentales.
- Diseñar un protocolo técnico estandarizado que describa de manera detallada el procedimiento de elaboración de provisionales, equipos, parámetros operativos y criterios de control de calidad aplicables en el laboratorio TESA.
- Aplicar el protocolo técnico mediante la elaboración de un provisional en PMMA fresado y otro en resina impresa en 3D, ambos a partir del mismo diseño digital, con el propósito de verificar su viabilidad operativa y su aplicabilidad en el entorno real del laboratorio.

Capítulo II

Marco Teórico

La elaboración de restauraciones provisionales constituye una fase fundamental dentro de los tratamientos de rehabilitación oral, ya que estas restauraciones cumplen funciones biológicas, mecánicas y estéticas indispensables durante el periodo transitorio previo a la colocación de la restauración definitiva. Entre sus principales objetivos se encuentran la protección de la corona y la dentina expuesta, el mantenimiento de la posición dentaria, la preservación previa de aspectos estéticos y objetivos del tratamiento restaurador. Además, los provisionales permiten valorar clínicamente la respuesta de los tejidos y realizar ajustes antes de la fabricación de la restauración definitiva. (Shilingburg et al., 2012; Rosentiel et al., 2016)

A pesar de su importancia clínica, las restauraciones presentan ciertas limitaciones asociadas tanto a los materiales utilizados como a los métodos de fabricación convencionales. Entre los problemas más frecuentes se encuentran la contracción durante la polimerización, la alteración dimensional, el desgaste superficial, la susceptibilidad a fracturas y la pérdida de adaptación marginal con el paso del tiempo. Estas deficiencias pueden afectar la estabilidad de la restauración provisional y comprometer el éxito del tratamiento rehabilitador (Anusavice et al., 2013).

Tradicionalmente, el polimetilmetacrilato (PMMA) ha sido uno de los materiales más utilizados para la confección de provisionales debido a su trabajo costo, facilidad de manipulación y aceptables propiedades estéticas. Sin embargo, el PMMA elaborado mediante técnicas convencionales puede presentar desventajas relacionadas con la contracción de polimerización, generación de calor durante el fraguado, presencia de monómeros residuales y resistencia mecánica limitada en restauraciones sometidas a cargas prolongadas (Anusavice et al., 2013; Rosenstiel et al., 2016).

El desarrollo de la odontología digital ha impulsado la incorporación de tecnologías CAD/CAM para la fabricación de restauraciones provisionales, permitiendo obtener estructuras más precisas y reproducibles. En este contexto, el PMMA fresado a partir de bloques industrialmente prepolimerizados ha demostrado una mayor estabilidad dimensional, menor porosidad y mejores niveles de adaptación marginal en comparación con los métodos convencionales. Estas características han favorecido su utilización en tratamientos de rehabilitación fija y provisional de mediana y larga duración (Revilla-León et al., 2019).

Paralelamente, el avance de las tecnologías de manufactura aditiva ha permitido la introducción de resinas fotopolimerizables para impresión 3D, constituyendo una alternativa innovadora para la fabricación de provisionales dentales. Esta tecnología ofrece ventajas relacionadas con la rapidez de producción, personalización de diseños complejos, optimización del uso de materiales y reducción de desperdicios. Además, la constante evolución de las resinas dentales ha permitido mejorar progresivamente sus propiedades mecánicas, ópticas y biológicas, ampliando sus posibilidades de aplicación clínica (Jain et al., 2022; Revilla-león et al., 2019).

Diversas investigaciones recientes han comparado el comportamiento de los materiales utilizados en manufactura sustractiva y aditiva. Los estudios reportan que tanto las resinas impresas en 3D como los bloques de PMMA fresados presentan valores de resistencia flexural superiores a los requisitos mínimos establecidos por la norma ISO 10477 para materiales destinados a restauraciones provisionales. Asimismo, se ha observado que las restauraciones fabricadas mediante sistemas CAD/CAM presentan una adaptación marginal más precisa que aquellas confeccionadas mediante técnicas convencionales, contribuyendo a mejorar la longevidad clínica y disminuir el riesgo de complicaciones biológicas y mecánicas (Alharbi et al., 2016; ISO 10477, 2018; Sidhom et al., 2022).

No obstante, la literatura científica continúa reportando diferencias en aspectos relacionados con precisión dimensional, estabilidad cromática, comportamiento mecánico y procedimientos de postprocesado entre ambos sistemas de fabricación. Por esta razón, resulta necesario continuar generando evidencia que permita establecer criterios objetivos para la selección del material y la tecnología más adecuados según las necesidades clínicas y las condiciones de trabajo del laboratorio dental.

En este contexto, surge la necesidad de analizar los procedimientos empleados en la elaboración de provisionales mediante PMMA fresado y resina dental impresa en 3D, con el propósito de identificar sus ventajas, limitaciones y aplicaciones clínicas. El presente trabajo, integra la evidencia científica disponible con la experiencia práctica del laboratorio para diseñar un protocolo técnico que contribuya a la estandarización de los provisionales en la odontología contemporánea.

2.1 Protocolo Técnico en el Laboratorio Dental

2.1.1 Concepto De Protocolo Técnico

Un protocolo técnico en el laboratorio dental se define como un documento sistematizado que establece de manera estandarizada los procedimientos operativos necesitados para la fabricación de restauraciones protésicas, con el propósito de garantizar calidad, reproducibilidad y control de los procesos. Su función principal es minimizar la variabilidad técnica inherente a la manipulación de materiales y tecnologías, asegurando que los resultados obtenidos cumplan con parámetros clínicamente aceptables y medibles, tales como ajuste marginal, estabilidad dimensional y comportamiento mecánico (Anusavice et al., 2013).

En el ámbito de la odontología digital, la necesidad de protocolos técnicos adquiere mayor relevancia debido a la integración secuencial de etapas tecnológicas que incluyen la

digitalización tridimensional, el diseño asistido por computadora (CAD) y la manufactura asistida (CAM), ya sea mediante fresado o impresión 3D. Cada una de estas fases incorpora variables técnicas específicas – como resolución de escaneo, espacio de cemento, parámetros de fresado, orientación de impresión y postcurado – que pueden influir directamente en la precisión y desempeño del provisional (Revilla-León et al., 2019; Sidhom et al., 2022).

La estandarización de estos procesos permite establecer criterios objetivos de control y aceptación, reduciendo errores acumulativos y mejorando la previsibilidad clínica. En este sentido, un protocolo técnico no solo organiza el flujo de trabajo, sino que constituye una herramienta fundamental para garantizar que las restauraciones provisionales elaboradas mediante tecnologías digitales cumplan con los estándares internacionales aplicables a materiales poliméricos de uso odontológico (International Organization for Standarization, 2018).

Estos elementos permiten organizar y estandarizar las actividades realizadas en el laboratorio dental, facilitando el control de los procedimientos técnicos y la reducción de errores durante la fabricación de restauraciones. En este sentido, dichos fundamentos constituyen la base para el diseño del protocolo técnico aplicado a la elaboración de provisionales dentales mediante tecnologías digitales en laboratorio.

2.1.2 Características de un Protocolo

Un protocolo técnico debe caracterizarse por ser estandarizado, reproducible, cuantificable y basado en evidencia científica. En sistemas CAD/CAM y manufactura aditiva, los parámetros técnicos deben expresarse en unidades objetivas (micrómetros, minutos, megapascales, longitud de onda, entre otros), debido a que pequeñas variaciones pueden alterar significativamente el resultado final.

Asimismo, debe incluir controles de calidad y criterios de aceptación de manera clara y definidos, especialmente cuando se trabaja con materiales poliméricos cuya respuesta depende de variables como temperatura, presión y grado de conversión.

2.1.3 Estructura de un Protocolo

Un protocolo técnico estructurado debe contener: objetivo, alcance, materiales y equipos, procedimiento detallado, parámetros críticos de control, medidas de bioseguridad y criterios de aceptación final. En el laboratorio TESA, la diferencia entre el flujo de trabajo para PMMA fresado y resina impresa es indispensable, dado que cada tecnología presenta fundamentos físicos y mecánicos distintos.

2.2 Provisionales Dentales

2.2.1 ¿Qué Son Provisionales Dentales?

Los provisionales dentales son restauraciones temporales destinadas a proteger las estructuras dentarias preparadas y mantener función, estética y estabilidad periodontal durante el periodo previo a la restauración definitiva. Muestra en la figura 1. Además de su función transitoria, cumplen un papel biológico relevante al preservar el contorno gingival y evitar migraciones dentarias.

Una adaptación marginal inadecuada puede favorecer la acumulación bacteriana y provocar inflamación gingival, lo que convierte al ajuste en un criterio determinante de calidad clínica.

Figura 1

Provisionales Dentales, Puente y Corona



2.2.2 Función de los Provisionales Dentales

Las funciones principales incluyen la protección pulpar, mantenimiento de la dimensión vertical, estabilidad oclusal y preservación periodontal y estética provisional.

Según Sidhom et al. (2022), los sistemas digitales permiten mejorar la precisión y consistencia dimensional en comparación con técnicas convencionales manuales.

2.2.3 Tipos de Provisionales Dentales Según su Fabricación

Los provisionales dentales pueden clasificarse principalmente según su forma de elaboración en directos, lo que permite una organización más clara desde el punto de vista clínico y técnico:

- ***Directos.*** Son aquellos confeccionados directamente en la cavidad oral del paciente, como se ve en la Figura 2; generalmente mediante el uso de resinas autopolimerizables o bis-acrílicas. Este método se caracteriza por su rapidez de ejecución; sin embargo, presenta limitaciones relacionadas con la contracción de proliferación, generación de calor, menor control anatómico y mayor dependencia de la habilidad del operador (Anusavice et al., 2013).

Figura 2

Provisional dental directo



- ***Indirectos.*** *S*on elaborados fuera de la cavidad oral, como se observa en la figura 3; generalmente sobre modelos de trabajo, lo que permite un mayor control de las variables técnicas y mejores resultados en términos de ajuste y acabado. Dentro de esta categoría se distinguen dos subtipos:

Figura 3

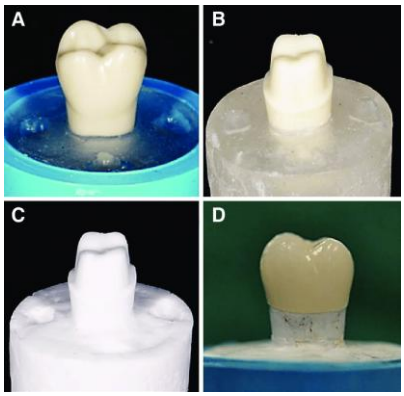
Provisional dental indirecto



- ***Indirectos convencionales.*** Fabricados mediante técnicas tradicionales de laboratorio, como el modelado en yeso y el uso de matrices, como se ve en la figura 4; empleando resinas acrílicas o bis-acrílicas. Aunque ofrecen mayor control que los directos, aun presentan variabilidad asociada a la manipulación manual del material.

Figura 4

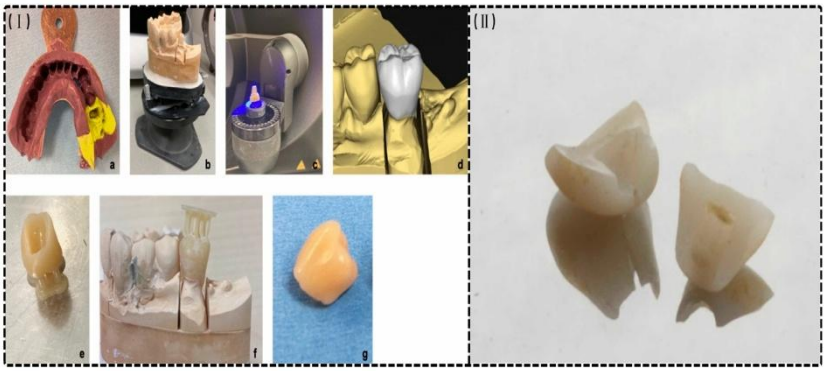
Provisionales dentales elaborados mediante técnicas convencionales



- ***Indirectos digitales.*** Elaborados mediante flujos de trabajo CAD/CAM, que incluyen digitalización, diseño asistido por computadora y manufactura automatización manual del material. Como se ve en la figura 5.

Figura 5

Provisionales dentales fabricados mediante tecnologías digitales



La incorporación de tecnologías digitales dentro de los métodos indirectos ha permitido optimizar la calidad de los provisionales dentales, al ofrecer mayor control sobre parámetros críticos del proceso y reducir la variabilidad inherente a las técnicas convencionales.

2.2.4 Técnicas de Elaboración de Provisionales Dentales

La elaboración de provisionales puede desarrollarse mediante un flujo convencional o mediante un flujo digital, diferenciándose principalmente en la secuencia operativa y el nivel de control sobre las variables técnicas.

- ***Técnica Convencional.*** En la técnica convencional, el proceso inicia con la toma de una impresión física de la preparación dentaria, seguida del vaciado en yeso para la obtención del modelo de trabajo. Posteriormente, se realiza la confección del provisional mediante la manipulación y polimerización directa o indirecta de resinas autopolimerizables. Durante esta fase, variables como la proposición de mezcla, el tiempo de trabajo, la presión aplicada y las condiciones ambientales influyen en la contracción de polimerización y en la estabilidad dimensional de material, lo que puede generar mayor variabilidad operatoria y menor control sobre el ajuste marginal (Anusavice et al., 2013). La elaboración convencional de provisionales implica el uso de resinas acrílicas polimerizadas directamente sobre un modelo o en la boca del paciente. Este método ha sido utilizado extensamente, pero presenta limitaciones como contracción de polimerización, inclusiones de aire y variabilidad estructural (Anusavice et al., 2013). Además, la calidad final está muy influenciada por la habilidad del operador y las condiciones de polimerización.
- ***Técnica Digital.*** Los métodos digitales estructuran la producción de provisionales integrando escaneo intraoral o de modelos, diseño asistido por computadora (CAD), y manufactura asistida (CAM – fresado o impresión 3D). Las tecnologías emergentes han demostrado mejoras en precisión, repetibilidad y eficiencia, además de facilitar la trazabilidad de cada paso del proceso (Cabrera Duffaut, 2023). La odontología digital también permite almacenar archivos digitales para replicaciones futuras sin necesidad de retrabajo manual.

En contraste la técnica digital sigue una secuencia estructurada que comienza con la digitalización mediante escaneo intraoral o de modelos físicos, continua con el diseño asistido por computadora (CAD), donde se definen parámetros anatómicos y funcionales, y culmina con la manufactura asistida por computadora (CAM), ya sea mediante fresado sustractivo de bloques de PMMA o impresión 3D de resinas fotopolimerizables. Este flujo permite estandarizar parámetros técnicos, mejorar la repetibilidad del proceso y reducir la influencia directa del factor humano.

Estudios recientes han evidenciado diferencias significativas en propiedades mecánicas y desempeño estructural entre restauraciones elaboradas mediante métodos digitales y convencionales, lo que resalta la importancia del sistema de fabricación en el resultado final (Zarate-Maquera et al., 2025).

Las diferencias existentes entre la técnica convencional y la técnica digital evidencian variaciones en los procesos de trabajo, el uso de materiales y el nivel de precisión obtenido en cada método. Estas diferencias justifican la necesidad de establecer un protocolo técnico que permita estandarizar el proceso de elaboración de los resultados dentro del laboratorio.

2.3 Materiales Utilizados en la Elaboración de Provisionales Dentales

Los materiales empleados en la elaboración de provisionales dentales varían en función del método de fabricación, pudiendo clasificarse en materiales utilizados en técnicas convencionales y materiales empleados en flujos digitales.

En la técnica convencional, los provisionales se elaboran principalmente con resinas acrílicas autopolimerizables (polimetacrilato, PMMA) y resinas bis-acrílicas. Estos materiales se caracterizan por su facilidad de manipulación y polimerización rápida, como se ve en la Figura 6; sin embargo, presentan limitaciones como contracción de polimerización, mayor

porosidad y variabilidad estructural, lo que puede afectar la precisión marginal y la estabilidad dimensional (Anusavice et al., 2013).

Figura 6

Materiales convencionales utilizados en la fabricación de provisionales dentales.



En los sistemas digitales emplean materiales industrializados diseñados específicamente para procesos CAD/CAM. En el fresado, se utilizan bloques de PMMA prepolimerizados, como se ve en la Figura 7; bajo condiciones controladas de presión y temperatura, lo que permite obtener una estructura más homogénea, menor contenido de monómero residual y mejores propiedades mecánicas. Por otro lado, en la impresión 3D se emplean resinas fotopolimerizables basadas en metacrilatos, las cuales se solidifican mediante exposición a luz ultravioleta en un proceso de polimerización por capas. Estas resinas requieren un postproceso que incluye lavado y postcurado, etapas críticas que influyen directamente en el grado de conversión polimérica, la resistencia mecánica y la biocompatibilidad del material (Jain et al., 2022).

Figura 7

Material utilizado en provisionales digitales (PMMA).



La selección del material constituye un factor determinante en el desempeño clínico del provisional, ya que influye en propiedades como resistencia flexural, estabilidad dimensional, ajuste marginal y comportamiento óptico. En este sentido, la diferencia entre materiales convencionales y digitales no solo radica en su composición química, sino también en el proceso de fabricación al que son sometidos, lo que justifica su análisis comparativo dentro del desarrollo de protocolos técnicos estandarizados.

2.4 Odontología Digital

2.4.1 Qué es la Odontología Digital.

La odontología digital integra herramientas computacionales para el diseño y fabricación de restauraciones. Su evolución ha permitido mayor precisión en el control del espacio de cemento y adaptación marginal.

La incorporación de tecnologías digitales en rehabilitación oral ha demostrado mejorar la eficiencia operativa y la calidad del ajuste (Sidhom et al., 2022).

La odontología digital constituye un cambio paradigmático en la práctica dental moderna, permitiendo integrar tecnologías de escaneo 3D, diagnóstico virtual, diseño asistido por computadora y manufactura automatizada. Esto no solo acelera el flujo de trabajo, sino

que incrementa la precisión y reduce el riesgo de errores humanos en cada etapa (Revilla-León & Ozcan, 2019).

2.4.2 Evolución de la Odontología Digital

La odontología digital ha evolucionado desde la simple captura digital de impresiones a sistemas complejos de diseño y manufactura electrónicos integrados. La incorporación de tecnologías como CAD/CAM y SLA/DLP para impresión 3D ha ampliado significativamente el campo de aplicación clínica. Laboral, permitiendo replicar estructuras complejas con alta fidelidad geométrica y funcional (Cabrera Duffaut, 2023).

2.4.3 Importancia de la Aplicación Digital en la Rehabilitación Oral

El uso de tecnologías digitales en rehabilitación oral mejora la planificación preoperatoria, el análisis de oclusión, las simulaciones estéticas y la previsión de resultados funcionales antes de la intervención clínica. Esto redunda en menores tiempos de intervención, mayor satisfacción del paciente y reducción de retrabajo técnico.

2.4.4 Ventajas y Desventajas Frente a las Técnicas Convencionales

La incorporación de sistemas digitales en la elaboración de restauraciones provisionales representa una transformación significativa frente a los métodos convencionales basados en impresiones físicas y manipulación manual de materiales. Desde una perspectiva técnica, el flujo digital permite mayor control sobre variables críticas como la precisión marginal, la estabilidad dimensional y la repetibilidad del proceso productivo, al estandarizar parámetros desde la fase de diseño hasta la manufactura. Además, posibilita el almacenamiento y reproducción de modelos digitales, así como la integración con software de análisis oclusal y planificación protésica. No obstante, su implementación implica inversión económica considerable en equipos y licencias, capacitación especializada y dependencia del mantenimiento tecnológico. A pesar de estas limitaciones, la evidencia contemporánea respalda la digitalización como una evolución necesaria para optimizar la

eficiencia y precisión en el laboratorio dental moderno (Revilla-León & Ozcan, 2019; Cabrera Duffaut, 2023).

Con el fin de evidenciar las diferencias entre los métodos de elaboración de provisionales dentales, se presenta en la Tabla 1, una comparación entre la técnica digital basada en sistemas CAD/CAM y la técnica convencional. Esta comparación permite analizar aspectos clave del proceso como la precisión dimensional, la reproducibilidad, el manejo de la información y los requerimientos operativos, los cuales influyen directamente en la calidad y consistencia del resultado final.

Tabla 1

Ventajas y desventajas de la técnica digital frente a la técnica convencional

Comparativa de Técnica Digital vs Técnica Convencional		
Criterio	Técnica Digital (CAD/CAM)	Técnica Convencional
Precisión dimensional	Mayor control de ajuste y reducción de errores acumulativos	Mayor riesgo de distorsión por impresión y contracción de polimerización
Repetibilidad	Alta reproducibilidad mediante archivos digitales almacenados	Variabilidad dependiente del operador
Almacenamiento de casos	Archivos digitales reutilizables y modificables	Modelos físicos susceptibles a deterioro o perdida
Integración tecnológica	Compatible con análisis oclusal y planificación digital	Limitada a procedimientos manuales
Inversión inicial	Alta (equipos, software, mantenimiento)	Relativamente menor
Curva de aprendizaje	Requiere formación en software y manejo de equipos	Basada en habilidades manuales tradicionales
Dependencia tecnológica	Alta (actualizaciones y mantenimiento)	Baja

Como se observa en la tabla, la técnica digital presenta ventajas significativas en términos de precisión, control del proceso y reproducibilidad, lo que permite obtener resultados más consistentes en la elaboración de provisionales dentales. La posibilidad de almacenar y reutilizar archivos digitales optimiza el flujo de trabajo y reduce la necesidad de repetir procedimientos. No obstante, estas ventajas se ven acompañadas de una mayor inversión inicial y una dependencia tecnológica que exige capacitación y mantenimiento constante.

Por otro lado, la técnica convencional, aunque más accesible en términos económicos y menos dependiente de tecnología, presenta mayores limitaciones relacionadas con la variabilidad operatoria, la precisión dimensional y la necesidad de establecer protocolos técnicos que permitan estandarizar los procesos, especialmente en entornos donde se integran tecnologías digitales para la fabricación de restauraciones provisionales.

2.5 CAD/CAM Aplicado a Diseño de Provisionales

El sistema CAD/CAM (Computer-Aided Design / Computer-Aided Manufacturing), o diseño y manufactura asistidos por computadora, es una tecnología digital que permite diseñar restauraciones dentales de forma virtual y fabricarlas mediante procesos automatizados como fresado o impresión 3D. En odontología, este sistema integra tres etapas principales: digitalización mediante escáneres, diseño virtual con software especializado y manufactura computarizada, lo que permite mayor precisión, control dimensional y estandarización en comparación con técnicas convencionales (Revilla-León & Ozcan. 2019).

Aplicado a provisionales dentales, CAD/CAM facilita el control de parámetros como ajuste marginal, espacio de cemento, anatomía y oclusión, optimizando tanto la calidad del provisional como la reproducibilidad del proceso. Su incorporación ha mejorado la eficiencia clínica y de laboratorio, reduciendo errores asociados a procedimientos manuales y

permitiendo la fabricación de restauraciones provisionales mediante tecnologías sustractivas, como PMMA fresado, o aditivas, con resinas impresas en 3D (Sidhom et al., 2022).

2.5.1 Sistemas CAD/CAM (Digitalización, Diseño, Manufactura)

Los sistemas CAD/CAM (Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing) constituyen la base de la odontología digital moderna, permitiendo la integración de procesos tecnológicos para la elaboración de restauraciones protésicas con altos niveles de precisión, reproducibilidad y control. Este sistema se estructura en tres fases fundamentales: digitalización, diseño y manufactura, las cuales se encuentran interrelacionadas y condicionan la calidad final del producto protésico.

Digitalización CAD. La digitalización representa la primera etapa del flujo de trabajo y tiene como objetivo la captura de la información tridimensional de las estructuras dentales mediante dispositivos ópticos denominados escáneres. Estos equipos general archivos digitales, generalmente en formato STL, que reproducen con alta fidelidad la geometría del modelo dental. En odontología, los escáneres se clasifican principalmente en escáneres intraorales, como el observado en la figura 8; y escáneres extraorales o de laboratorio, como el observado en la figura 9. Los escáneres intraorales permiten la captura directa en la cavidad oral del paciente, reduciendo errores asociados a materiales de impresión convencionales y mejorando la comodidad del paciente; sin embargo, pueden verse influenciados por factores clínicos como la humedad o el acceso limitado.

Figura 8

Escáner intraoral



Por su parte, los escáneres extraorales, como el visto en la Figura 9, digitalizan modelos físicos obtenidos previamente, ofreciendo mayor estabilidad durante la captura y altos niveles de precisión, lo que los convierte en herramientas fundamentales en el entorno de laboratorio (Revilla-León et al., 2019). La precisión en esta etapa es determinante, ya que influye directamente en el ajuste marginal y la adaptación del provisional.

Figura 9

Escáner extraoral de laboratorio para digitalización de modelos físicos



Diseño. La fase de diseño corresponde al procesamiento del modelo digital mediante software CAD especializado, como los ejemplos presentados en las Figuras 10, 11 y 12; donde se construye la restauración protésica virtual. Estos programas permiten manipular la

geometría tridimensional, controlar parámetros como espesor mínimo, anatomía, puntos de contacto y oclusión, y estandarizar el diseño de provisionales. Entre los softwares más utilizados se encuentran Exocad, 3Shape Dental System y Blender for Dental. Exocad destaca por su facilidad de uso e integración de módulos protésicos que permiten un diseño eficiente y reproducible. 3Shape Dental System ofrece herramientas avanzadas de análisis oclusal y alto nivel de automatización, facilitando la integración completa del flujo digital. Por otro lado, Blender for Dental proporciona un entorno de modelado más flexible y personalizable, aunque requiere mayor curva de aprendizaje. La selección y dominio del software influyen directamente en la precisión del diseño y en la calidad final del provisional, constituyendo un elemento clave dentro del protocolo técnico (Revilla-León et al., 2019).

Figura 10

Interfaz del software Exocad durante el diseño de una restauración provisional.



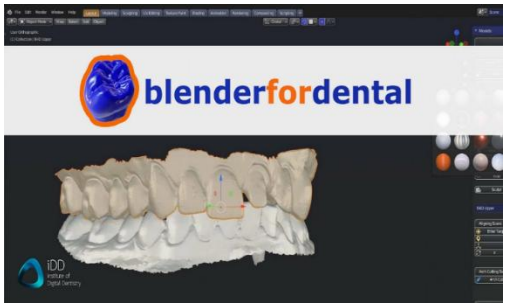
Figura 11

Software 3Shape Dental System utilizado para diseño CAD en prótesis dentales.



Figura 12

Uso de Blender en el modelado digital de estructuras dentales



Manufactura Asistida por Computadora CAM. Finalmente, la fase de manufactura (CAM) implica la materialización del diseño digital mediante equipos automatizados, como el observado en la figura 13. Esta etapa puede realizarse a través de dos enfoques principales: tecnologías sustractivas y tecnologías aditiva.

Figura 13

Manufactura Asistida por Computadora CAM.



Manufactura Sustractiva. La manufactura sustractiva cosiste en la eliminación progresiva de material desde un bloque solido prepolimerizado, como el PMMA, mediante fresadoras controladas por computadora. Durante este proceso las herramientas rotatorias siguen trayectorias definidas por el software CAM para obtener la forma final de la restauración, como se ve en la figura 14.

Este método ofrece alta precisión dimensional, estabilidad estructural y buenas propiedades mecánicas. Sin embargo, presenta algunas limitaciones, como el desperdicio de

material y restricciones geométricas asociadas al diámetro de las herramientas de corte (Sidhom et al., 2022).

Figura 14

Resultado de fresado en Zirconio



Manufactura Aditiva (Impresión 3D). La manufactura aditiva, representada por la impresión 3D, como el equipo presentado en la figura 15; construye el objeto mediante la adición sucesiva de capas de resina fotopolimerizable que se solidifica mediante luz ultravioleta en sistemas como SLA o DLP. Este proceso permite fabricación restauraciones con geometrías complejas y con menor desperdicio de material.

No obstante, el desempeño de la impresión 3D depende de variables técnicas como la orientación de impresión, el espesor de capa y el proceso de postcurado, factores que influyen que influyen directamente en la resistencia mecánica, la precisión dimensional y la biocompatibilidad del provisional (Jain et al., 2022).

Figura 15

Impresión en resina para 3D



2.5.2 Ventajas y Limitaciones de la Tecnología CAD/CAM

La tecnología CAD/CAM aplicada a la elaboración de restauraciones provisionales ofrece ventajas sustanciales en términos de precisión y estandarización del proceso productivo. Entre sus principales beneficios se encuentran la alta reproducibilidad de las estructuras protésicas, la reducción de errores asociados a la manipulación manual, el mejor control dimensional durante el diseño y la manufactura, así como la optimización del tiempo clínico y de laboratorio. Asimismo, permite el almacenamiento digital de los archivos, facilitando la reproducción o modificación futura del diseño sin necesidad de repetir etapas iniciales del procedimiento. No obstante, esta tecnología presenta limitaciones relevantes, como el elevado costo inicial de adquisición de equipos y licencias de software, la necesidad de calibración y mantenimiento periódico para garantizar exactitud, y la dependencia estricta de parámetros técnicos correctamente configurados. En el caso específico de la impresión 3D, un postprocesado inadecuado- especialmente en las fases de elevado y fotopolimerización final – puede comprometer significativamente las propiedades mecánicas y la biocompatibilidad del material debido a la presencia de monómero residual, lo cual impacta directamente en el desempeño clínico del provisional (Jain et al., 2022).

Con el objetivo de analizar de manera estructurada el desempeño de la tecnología CAD/CAM en la elaboración de provisionales dentales, se presenta en la Tabla 2 un cuadro comparativo que sintetiza sus principales ventajas y limitaciones. Este análisis permite identificar los aspectos técnicos, operativos y económicos que influyen en su implementación dentro del laboratorio dental, así como su impacto en la calidad y eficiencia del proceso productivo.

Tabla 2

Ventajas y limitaciones de la tecnología CAD/CAM en la elaboración de provisionales

Cuadro comparativo: ventajas y limitaciones de la tecnología CAD/CAM		
Aspecto	Ventajas	Limitaciones
Precisión y Control	Alto control dimensional y estandarización del diseño	Dependencia de correcta calibración del equipo
Reproducibilidad	Alta repetibilidad mediante archivos digitales almacenados	Requiere configuración técnica precisa
Eficiencia Operativa	Optimización del tiempo clínico y de laboratorio	Curva de aprendizaje en software y hardware
Costos	Ahorro a largo plazo por digitalización de procesos	Alta inversión inicial en equipos y licencias
Impresión 3D	Producción adictiva precisa y adaptable	Riesgo de alteración mecánica y biocompatible por postcurado inadecuado (monómero residual)

De acuerdo con lo presentado en la tabla, la tecnología CAD/CAM ofrece ventajas significativas en términos de precisión, control del proceso y reproducibilidad, lo que favorece la estandarización en la elaboración de provisionales dentales. La capacidad de optimizar tiempos y almacenar información digital contribuye a mejorar la eficiencia operativa del laboratorio. Sin embargo, su implementación requiere una adecuada configuración técnica y mantenimiento constante de los equipos, además de una inversión

inicial considerable. En el caso específico de la impresión 3D, el control del postcurado resulta un factor crítico, ya que influye directamente en las propiedades mecánicas y la biocompatibilidad del material. Estos aspectos deben ser considerados dentro del diseño de un protocolo técnico, son el fin de garantizar resultados consistentes y clínicamente aceptables.

2.6 Flujo de Trabajo Digital en Provisionales Dentales

2.6.1 Etapas del Flujo Digital

El flujo digital para la elaboración de provisionales dentales comprende una secuencia estructurada de etapas interdependientes que influyen directamente en la precisión, adaptación marginal y calidad final de la restauración. Estas fases incluyen escaneo, diseño digital, manufactura mediante fresado en PMMA o impresión 3D, y control final del provisional. La correcta estandarización de cada etapa resulta fundamental para reducir errores técnicos y garantizar reproducibilidad dentro del protocolo de trabajo.

Escaneo digital. La primera fase corresponde a la captura de la anatomía dental mediante escáneres intraorales o de laboratorio, generando archivos digitales tridimensionales que reproducen la geometría de dientes y tejidos circundantes. La precisión del escaneo es determinante, ya que errores en esta etapa pueden afectar el ajuste marginal y la exactitud del diseño posterior.

Diseño CAD. Una vez obtenido el modelo digital, se procede al diseño asistido por computadora mediante software especializado, donde se define la morfología anatómica, contactos proximales, oclusión, espesor y espacio de cemento del provisional. Esta etapa permite estandarizar parámetros técnicos y realizar ajustes virtuales antes de la fabricación.

Fresado en PMMA En la manufactura sustractiva, el diseño digital se transfiere a una fresadora CAD/CAM que talla la restauración a partir de bloques prepolimerizados de

PMMA. Durante este proceso, el software compensa el diámetro de las fases mediante algoritmos de ajuste; sin embargo, limitaciones geométricas en áreas internas pueden influir en la precisión de ciertas zonas.

Impresión 3D: En la manufactura aditiva, el provisional se fabrica mediante deposición sucesiva de capas de resina fotopolimerizable. Este proceso requiere configurar variables como orientación de impresión, espesor de capa, soportes y postcurado, factores que pueden afectar la estabilidad dimensional, contracción de polimerización y propiedades mecánicas del material (Jain et al., 2022).

Finalmente, independientemente del método de fabricación utilizado, el flujo digital concluye con etapas de acabado, pulido y condiciones funcionales del provisional antes de su uso clínico.

2.6.2 Variables Técnicas que Afectan la Precisión

La precisión de las restauraciones provisionales elaboradas mediante impresión 3D depende de múltiples variables técnicas que interviene en las distintas fases del proceso, desde la configuración digital hasta el postproceso. Estas variables influyen directamente en la exactitud dimensional, el ajuste marginal y el comportamiento mecánico del material, por lo su control es fundamental dentro de un protocolo técnico estandarizado.

A continuación, se describen las principales variables que afectan la precisión:

Orientación de la pieza. La orientación del provisional dentro de la plataforma de impresión determina la forma en que se depositan las capas de material. Orientaciones inadecuadas pueden generar distorsión dimensional, especialmente en márgenes cervicales. También influyen en la distribución de tensiones durante la polimerización.

Espesor de capa. El espesor de cada capa influye en la resolución y exactitud del modelo. Capas más delgadas tienen mayor precisión y mejor detalle marginal; capas más gruesas tienen menor tiempo de impresión, pero mayor error dimensional.

Parámetros de exposición. En sistemas SLA o DLP, la polimerización depende de la energía lumínica aplicada, en exposición insuficiente el curado es incompleto, y con menor estabilidad dimensional; en exposición excesiva hay sobre polimerización y expansión del material.

Resolución del equipo de impresión. La resolución está determinada por la capacidad del sistema para reproducir detalles finos; En DLP depende del tamaño del píxel; en SLA depende del diámetro del láser. Una menor resolución puede generar irregularidades en superficies y bordes marginales, afectando el ajuste clínico.

Contracción de polimerización. Durante el proceso de fotopolimerización, las resinas experimentan contracción volumétrica, la cual puede generar discrepancias marginales y afecta la estabilidad dimensional del provisional. Este fenómeno es inherente a los materiales basados en metacrilatos (Sidhom et al., 2022).

Proceso de lavado. El lavado elimina la resina no polimerizada superficial, un lavado insuficiente deja residuos que afectan la precisión y biocompatibilidad, mientras que un lavado excesivo podría afectar la superficie del provisional.

2.7 Materiales Para Provisionales Dentales en Flujo Digital

2.7.1 PMMA Fresado

El PMMA (polimetilmetacrilato) fresado es un polímero industrializado fabricado bajo condiciones controladas de presión y temperatura, lo que permite un alto grado de polimerización y una estructura homogénea. Este proceso reduce la presencia de porosidades internas y monómero residual.

En comparación con resinas impresas, el PMMA CAD/CAM presenta mayor estabilidad dimensional y mejor comportamiento mecánico tras envejecimiento artificial, según lo reportado por SIDHOM et al. (2022).

2.7.2 Propiedades del PMMA

El polimetilmetacrilato (PMMA) fresado, utilizado en sistemas CAD/CAM, presenta un conjunto de propiedades físico-mecánicas, ópticas y biológicas que determinan su desempeño en la elaboración de provisionales dentales. Estas propiedades están directamente relacionadas con su proceso de fabricación industrial, caracterizado por una polimerización bajo condiciones controladas de presión y temperatura, lo que permite una estructura más homogénea y un mayor grado de conversión polimérica (Sidhom et al., 2022).

Propiedades mecánicas: El PMMA fresado presenta una alta resistencia flexural y a la fractura en comparación con materiales procesados mediante técnicas convencionales o impresión 3D. Valores de resistencia flexural superiores a 100 MPa cumplen con estándares internacionales para materiales provisionales. Su estructura homogénea reduce la propagación de grietas.

Propiedades ópticas: Las propiedades ópticas del PMMA fresado son fundamentales para la integración estética del provisional, las cuales constan de; translucidez que permite imitar el comportamiento óptico del esmalte dental; el color, ya que hay disponibilidad de múltiples tonalidades de bloques; y el acabado superficial que tiene menor porosidad y favorece el pulido y brillo.

Estabilidad dimensional: El PMMA fresado presenta alta estabilidad dimensional, debido a su prepolimerizacion industrial; mínima contracción en comparación con resinas autopolimerizables, con mayor precisión en el ajuste marginal.

Absorción de agua: El PMMA fresado presenta baja absorción de agua, lo que contribuye a mantener estabilidad estructural en el medio oral y reducir cambios dimensionales a lo largo del tiempo. Sin embargo, como todo polímero acrílico, puede experimentar cierta degradación a largo plazo (Anusavice et al., 2013).

Estabilidad cromática: Una de sus principales ventajas es su alta resistencia al cambio de color, menor pigmentación extrínseca, baja variación cromática tras envejecimiento artificial; Sidhom et al. (2022) reportaron que el PMMA fresado mantiene su color de forma estable, incluso en condiciones simuladas de envejecimiento.

2.7.3 Proceso de Fabricación de PMMA Fresado

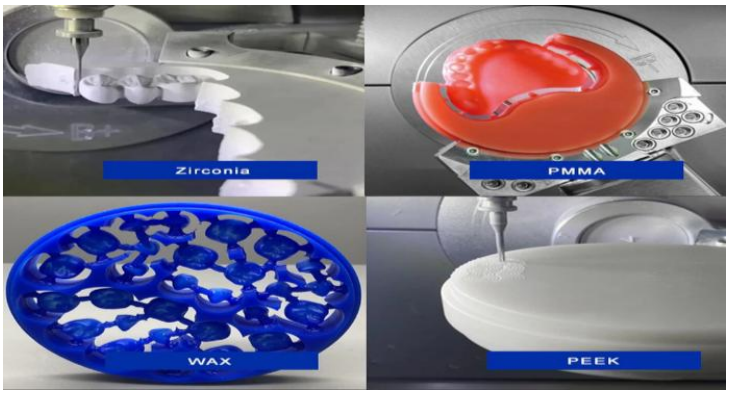
El proceso de fabricación del PMMA fresado es sustractivo. Parte de un bloque prefabricado, como los presentados en la figura 16, que es mecanizado mediante fresas rotatorias controladas por software CAM.

La precisión depende de variables como la velocidad de rotación, numero de ejes de la fresadora y desgaste de las herramientas. La calibración periódica es esencial para mantener la exactitud dimensional. Una incorrecta compensación del radio de la fresa puede generar discrepancias marginales clínicamente relevantes.

Posteriormente, se realiza el pulido y control de ajuste antes de su entrega.

Figura 16

Secuencia general del proceso de fresado CAD/CAM



2.7.4 Ventajas y Desventajas del PMMA Fresado

El PMMA fresado, obtenido a partir de bloques prepolimerizados industrialmente mediante sistemas CAD/CAM, presenta propiedades físico-mecánicas superiores en comparación con materiales procesados por técnicas directas o aditivas. Su estructura

homogénea y alto grado de conversión polimérica le confiere elevada resistencia flexural, menor absorción de agua y mayor estabilidad cromática a lo largo del tiempo. Estudios comparativos han demostrado un mejor desempeño mecánico del PMMA fresado frente a resinas impresas en la fabricación de coronas provisionales, evidenciando mayor resistencia a la fractura y comportamiento estructural más estable bajo carga funcional (Zarate-Maquera et al., 2025).

Desde el punto de vista del ajuste marginal, el fresado sustractivo permite obtener restauraciones con buena precisión dimensional; sin embargo, este resultado depende de factores técnicos como el diámetro mínimo de la fresa, la estrategia de fresado y la compensación digital del radio interno. Estas limitaciones geométricas pueden influir en la adaptación en áreas internas agudas, por lo que deben ser contempladas dentro del protocolo técnico del laboratorio.

Adicionalmente, el PMMA fresado presenta menor susceptibilidad a pigmentación extrínseca y mejor comportamiento óptico en términos de estabilidad de color, lo que favorece su uso en provisionales de mediano plazo.

No obstante, el material también presenta desventajas. El proceso sustractivo genera desperdicio de material y mayor degaste instrumental, lo que incrementa costos operativos. Además, la anatomía interna puede verse limitada por el acceso de las fresas, dificultando la reproducción exacta de detalles finos. El tiempo de fabricación puede ser mayor en comparación con impresión 3D en casos múltiples, y la inversión en equipos de fresado y mantenimiento sigue siendo elevada. Finalmente, aunque su comportamiento mecánico es favorable, el PMMA mantiene la naturaleza intrínseca de los polímeros acrílicos, lo que implica susceptibilidad a fracturas bajo cargas excesivas o en restauraciones de gran extensión.

Con el fin de evaluar el desempeño del PMMA fresado en la elaboración de provisionales dentales, se presenta a continuación en la Tabla 3, un cuadro comparativo que resume sus principales ventajas y desventajas. Este análisis permite identificar las características fisco-mecánicas, operativas y económicas del material, así como las limitaciones inherentes al proceso de manufactura sustractiva, aspectos relevantes para su consideración dentro del diseño de un protocolo técnico.

Tabla 3

Cuadro comparativo: ventajas y desventajas de PMMA fresado

Cuadro comparativo: ventajas y desventajas del PMMA fresado		
Aspecto	Ventajas	Desventajas
Resistencia mecánica	Alta resistencia flexural y a la fractura	Puede fracturarse en restauraciones extensas
Estabilidad dimensional	Bloques prepolimerizados con menor contracción	Precisión limitada por diámetro de fresa
Ajuste marginal	Buena adaptación con correcta calibración	Dependencia de compensación digital y estrategia de fresado
Comportamiento óptico	Mayor estabilidad cromática y menor pigmentación	Opciones estéticas limitadas según el bloque disponible
Absorción de agua	Baja sorción y mejor estabilidad en medio oral	Sigue siendo material polimérico susceptible a degradación a largo plazo
Proceso de fabricación	Flujo digital estandarizado y reproducible	Desperdicio de material y desgaste de fresas
Costos	Rentable en producción seria	Alta inversión inicial en equipo CAD/CAM

Como se observa en la tabla, el PMMA fresado presenta ventajas importantes en términos de resistencia mecánica, estabilidad dimensional y comportamiento óptico, lo que lo convierte en un material confiable para la elaboración de provisionales dentales de mediano

plazo. Su fabricación a partir de bloques prepolimerizados permite reducir la contracción y mejorar la homogeneidad estructural del material. Sin embargo, el proceso de fresado implica limitaciones técnicas asociadas al diámetro de las herramientas de corte, así como un mayor consumo de material y desgaste instrumental. Además, la inversión en equipos CAD/CAM representa una barrera inicial para su implementación. Estos factores deben ser considerados dentro del protocolo técnico, con el fin de optimizar el proceso de fabricación y garantizar resultados clínicamente adecuados.

En consecuencia, el control de estos parámetros técnicos resulta fundamental dentro del protocolo de trabajo del laboratorio, ya que influyen directamente en la precisión dimensional, el ajuste marginal y la calidad final de los provisionales fabricados mediante PMMA fresado.

2.8 Resinas para Impresión 3D

2.8.1 ¿Qué Son?

Las resinas para impresión 3D son polímeros fotopolimerizables basados en metacrilatos activados mediante luz ultravioleta. Su fabricación se realiza por deposición en capas sucesivas.

2.8.2 Tipos de Resinas 3D

Las resinas utilizadas en impresión 3D para aplicaciones odontológicas corresponden a materiales fotopolimerizables basados en monómeros de metacrilato, diseñados para solidificarse mediante exposición a fuentes de luz ultravioleta. Estas resinas presentan una amplia diversidad en su composición y propiedades, lo que permite su clasificación según su uso clínico y características mecánicas. Su selección es determinante en la calidad del provisional, ya que influye directamente en la resistencia, precisión, estabilidad dimensional y biocompatibilidad del material (Jain et al., 2022).

En el ámbito de los provisionales dentales, las resinas 3D pueden clasificarse principalmente en resinas para provisionales, resinas estándar (modelos), resinas de alta resistencia y resinas biocompatibles, cada una con aplicaciones específicas en el flujo digital.

Las resinas para provisionales son materiales diseñados específicamente para la fabricación de coronas y puentes provisionales. Como los que se muestran en la Figura 17. Se caracterizan por presentar una adecuada resistencia mecánica, estabilidad cromática y capacidad de pulido, lo que permite obtener restauraciones funcionales y estéticas. Sin embargo, su desempeño depende en gran medida del proceso de postcurado, ya que un grado de conversión incompleto puede afectar sus propiedades mecánicas y su biocompatibilidad (Jain et al., 2022).

Figura 17

Resinas fotopolimerizables utilizadas para la fabricación de provisionales dentales mediante impresión 3D.



Resinas estándar. Este tipo de resinas se emplean principalmente para la impresión de modelos diagnósticos o de trabajo, más que para restauraciones intraorales. Como la presentada en la figura 18. Presentan buena precisión dimensional, pero sus provisionales mecánicas son limitadas, lo que restringe su uso en provisionales sometidos a carga funcional.

Figura 18

Resinas estándar utilizadas para la impresión de modelos dentales.



Resinas de alta resistencia. Estas resinas están formuladas para ofrecer mayor resistencia flexural y al desgaste, como la vista en la figura 19, siendo utilizadas en aplicaciones donde se requiere mayor durabilidad del provisional. Suelen incorporar rellenos o modificaciones en la matriz polimérica que mejoran su comportamiento mecánico, acercándose en algunos casos al desempeño del PMMA fresado.

Figura 19

Resinas 3D de alta resistencia utilizadas en aplicaciones dentales.



2.8.3 Propiedades de las Resinas 3D

Las resinas dentales utilizadas en impresión 3D son materiales fotopolimerizables cuya estructura y propiedades dependen no solo de su composición química, sino también de las condiciones del proceso de fabricación, especialmente los parámetros de impresión y postcurado. A diferencia de PMMA fresado, estas resinas presentan una mayor variabilidad

en su comportamiento, lo que hace indispensable el control de las variables técnicas dentro de un protocolo estandarizado (Jain et al., 2022).

Propiedades mecánicas. Como la resistencia flexural y la resistencia a la fractura, depende directamente del grado de conversión polimérica; puede alcanzar valores clínicamente aceptables, pero con alta variabilidad; el postcurado influye significativamente en la resistencia final. Saini et al. (2024) reportaron que la resistencia flexural varía según el tipo de resina y el protocolo de post procesado. Jain et al. (2022) demostraron que un mayor grado de conversión mejora el comportamiento mecánico del material.

Propiedades ópticas. Las resinas 3D presentan propiedades ópticas adecuadas para provisionales, aunque generalmente inferiores al PMMA fresado; buena estética inicial, menor uniformidad estructural debido a la fabricación por capas, acabado superficial dependiente del post procesado. La presencia de microestructuras por capas puede afectar la translucidez y el brillo final.

Estabilidad dimensional. La estabilidad dimensional de las resinas está influenciada por múltiples factores; contracción de polimerización, orientación de impresión, espesor de capa. Esto puede generar ligeras discrepancias en el ajuste marginal si no se controlan los parámetros técnicos (Jain et al., 2022).

Absorción de agua (sorción). Las resinas 3D presentan mayor absorción De agua en comparación con el PMMA fresado; relacionada con su estructura menos densa, puede afectar propiedades mecánicas y dimensionales a largo plazo. Este comportamiento está asociado a la naturaleza de los polímeros basados en metacrilatos.

Estabilidad cromática. Las resinas impresas presentan mayor susceptibilidad a cambios de color; mayor pigmentación extrínseca, influencia de la microporosidad y absorción de liquitos. Zarate – Manquera et al. (2025) reportaron menor estabilidad cromática en comparación con el PMMA fresado, especialmente tras envejecimiento.

Biocompatibilidad. Depende en gran medida del posprocesado; presencia de monómero residual si el postcurado es insuficiente, riesgo potencial de irritación en tejidos blandos. Jain et al. (2022) destacan que el tiempo, la intensidad y la longitud de onda del post curado influyen directamente en el grado de conversión y, por tanto, en la seguridad biológica del material.

2.8.4 Procesos de Fabricación de Provisionales Impresos

El proceso comprende impresión, lavado y post curado. El lavado se realiza generalmente en alcohol isopropílico para eliminar resina no polimerizada superficial.

El post curado UV es una etapa crítica, ya que incrementa el grado de conversión polimérica. Un post curado insuficiente puede dejar monómero residual, afectando biocompatibilidad y resistencia mecánica (Jain et al., 2022). Este aspecto es fundamental en la elaboración de un protocolo técnico, ya que determina la aptitud clínica del provisional.

Asimismo, el control del tiempo. Longitud de onda y temperatura del post curado debe especificarse detalladamente para evitar variaciones en propiedades físicas y ópticas.

La correcta ejecución de cada una de estas etapas es fundamental para garantizar la calidad del provisional obtenido, por lo que se estandarización dentro de un protocolo técnico permite reducir errores operativos y mejorar la precisión y resistencia del material impreso.

2.8.5 Ventajas y Limitaciones de las Resinas 3D

Las resinas dentales utilizan en impresión 3D presentan características particulares derivadas de su proceso de manufactura aditiva, lo que les confiere ventajas operativas importantes, pero también limitaciones técnicas que deben ser controladas dentro de un protocolo estandarizado.

Entre sus principales ventajas se encuentran la reducción del desperdicio de material, la optimización del tiempo de fabricación y la posibilidad de producir múltiples unidades de

forma simultánea. Asimismo, la impresión 3D permite la reproducción de geometrías complejas con alto nivel de detalle.

No obstante, su desempeño este condicionado por variables técnicas como la orientación de impresión, el espesor de capa y el proceso de postcurado, factores que pueden influir en la precisión dimensional, el ajuste marginal y las propiedades mecánicas del material (Jain et al., 2022). Además, desde el punto de vista estético, algunas resinas presentan mayor susceptibilidad a pigmentación en comparación con el PMMA fresado (Zarate-Maquera et al., 2025).

Con el fin de analizar de manera estructurada estas características, se presenta el siguiente cuadro en la tabla 4:

Tabla 4

Ventajas y desventajas de las resinas en 3D

Aspecto	**ventajas**	**Desventajas**
Resistencia mecánica	Propiedades mecánicas adecuadas para provisionales de corto a mediano plazo	Dependencia del grado de conversión y del postcurado
Precisión dimensional	Alta capacidad para reproducir geometrías complejas	Susceptible a contracción de polimerización y distorsión
Ajuste marginal	Posibilidad de buen ajuste con correcta configuración digital	Influenciando por orientación de impresión y espesor de capa
Proceso de fabricación	Producción simultanea de múltiples piezas y menor desperdicio de material	Requiere etapas adicionales (lavado y postcurado)
Tiempo de producción	Reducción del tiempo en fabricación seriada	Tiempo total depende del postproceso
Comportamiento óptico	Buen resultado estético inicial	Mayor susceptibilidad a pigmentación y cambios de color
Biocompatibilidad	Adecuada si el material esta correctamente procesado	Riesgo de monómero residual si el postcurado es insuficiente

Control del proceso	Alta flexibilidad en diseño y manufactura	Alta dependencia de parámetros técnicos y del operador
Costos	Menor desperdicio de material y eficiencia en producción	Inversión inicial en equipos y materiales especializados

2.9 Síntesis Comparativa Entre PMMA Fresado y Resina Impresa 3D

La comparación entre el PMMA fresado y la resina impresa en 3D evidencia diferencias sustanciales desde el punto de vista estructural, mecánico, dimensional y biológico, las cuales influyen directamente en el desempeño clínico de los provisionales. El PMMA fresado se obtiene mediante un proceso sustractivo a partir de bloques prepolimerizados industrialmente bajo condiciones controladas de presión y temperatura, lo que le confiere una estructura homogénea y alto grado de conversión. En contraste, la resina impresa en 3D se fabrica mediante un proceso aditivo por deposición sucesiva de capas fotopolimerizables, donde la polimerización ocurre progresivamente durante la impresión y se completa en la fase de postcurado. Desde el punto de vista mecánico, el PMMA fresado ha demostrado mayor resistencia flexural y menor degradación tras envejecimiento artificial en comparación con resinas impresas, lo que se asocia a su mayor densidad estructural y menor contenido de monómero residual (Zarate-Maquera et al., 2025; Sidhom et al., 2022). Por su parte, las propiedades mecánicas de las resinas impresas dependen significativamente del grado de conversión polimérica y del protocolo de postcurado aplicado, pudiendo variar según el tiempo, la intensidad y la longitud de onda de la luz utilizada (Jain et al., 2022). En términos dimensionales, el PMMA fresado presenta limitaciones relacionadas con el diámetro mínimo de la fresa y la compensación digital del radio interno, mientras que la impresión 3D puede verse afectada por la contracción de polimerización, la orientación de la pieza y el espesor de capa.

Finalmente, desde la perspectiva biológica, el PMMA fresado tiende a presentar menor cantidad de monómero residual debido a su prepolimerizacion industrial, mientras que en las resinas impresas existe riesgo potencial de liberación de monómeros si el postcurado es insuficiente, lo que puede comprometer la biocompatibilidad del provisional. Estas diferencias fundamentan la necesidad de establecer un protocolo técnico comparativo que permita controlar variables críticas y optimizar el rendimiento clínico de ambos, materiales.

La comparación entre el PMMA fresado y la resina impresa en 3D permite identificar diferencias técnicas relevantes que influyen directamente en el comportamiento clínico y en la estandarización del proceso de fabricación de provisionales dentales. Estas diferencias se manifiestan en aspectos estructurales, mecánicos, dimensionales y biológicos, los cuales condicionan tanto la calidad final del producto como la reproducibilidad del procedimiento. En este contexto, resulta necesario sintetizar estos elementos en un esquema comparativo presentado en la Tabla 5, que facilite su análisis y sirva como base para la definición de parámetros críticos dentro del protocolo técnico propuesto.

Tabla 5

Cuadro comparativo entre ambas técnicas

Criterio de comparación	PMMA fresado	Resina impresa 3D
Tipo de fabricación	Manufacturas sustractivas mediante fresado a partir de bloques solidos prepolimerizados.	Manufactura aditiva mediante deposición sucesiva de capas de resina fotopolimerizable.
Estructura del material	Estructura homogénea debido a la polimerización industrial controlada.	Estructura formada por capas, dependiente del proceso de impresión y postcurado.
Resistencia mecánica	Mayor resistencia flexural y estabilidad estructural.	Resistencia variable según parámetros de impresión y postprocesado.

Comportamiento tras envejecimiento	Menor degradación mecánica con el tiempo.	Puede presentar cambios en propiedades mecánicas dependiendo del grado de conversión.
Precisión dimensional	Alta precisión, limitada por el diámetro de la fresa y geometrías internas.	Alta capacidad para reproducir geometrías complejas, pero susceptible a contracción de polimerización.
Factores que afectan la exactitud	Estrategia de fresado, desgaste de herramientas y compensación digital.	Orientación de impresión, espesor de capa y parámetros de exposición.
Desperdicio de material	Mayor desperdicio debido al proceso de remoción de material.	Menor desperdicio de material al tratarse de un proceso aditivo.
Biocompatibilidad	Menor presencia de monómero residual debido a prepolimerizacion industrial.	Riesgo de monómeros residual si el postcurado es insuficiente.
Control del proceso	Alto control industrial del material base.	Dependiente de parámetros técnicos del equipo y del operador.

Como se observa en la tabla, el PMMA fresado presenta ventajas asociadas a su estructura homogénea y alto grado de polimerización, lo que se traduce en mayor estabilidad mecánica, menor degradación y mejor control del material base. Por su parte, la resina impresa en 3D ofrece mayor versatilidad geométrica y eficiencia en el uso de material, aunque su desempeño depende en mayor medida de variables técnicas como la orientación de impresión y el protocolo de postcurado. Estas diferencias evidencian que ambos sistemas requieren controles específicos dentro del protocolo técnico, orientados a minimizar errores y garantizar resultados clínicamente aceptables, lo que refuerza la necesidad de establecer lineamientos diferenciados para cada método de fabricación.

En este contexto, el análisis comparativo entre PMMA fresado y la resina impresa en 3D permite identificar las variables técnicas que influyen en el proceso de fabricación y en el desempeño de los provisionales dentales, estos aspectos constituyen la base para el diseño del

protocolo técnico propuesto en la presente investigación, orientado a optimizar y estandarizar la elaboración de provisionales en el laboratorio dental.

Capítulo III

Marco Metodológico

3.1 Tipo de Investigación

La presente investigación se enmarca en un enfoque metodológico estructurado según su propósito, manipulación de variables y tiempo de desarrollo, permitiendo definir con claridad la naturaleza científica del estudio y su orientación práctica dentro del contexto del laboratorio dental.

3.1.1 Según el Propósito

Según su propósito, la investigación es de tipo aplicado, ya que está orientada a resolver un problema práctico y específico mediante la elaboración de una propuesta técnica. Hernández-Sampieri et al. (2014) señala que la investigación aplicada tiene como finalidad utilizar el conocimiento científico para solucionar problemas concretos de la realidad, enfocándose en la implementación de estrategias o procedimientos que generen mejoras en contextos determinados. En este caso, el estudio busca diseñar un protocolo técnico para estandarizar la elaboración de provisionales dentales mediante PMMA fresado y resina impresa en 3D, con el objetivo de optimizar la precisión, reproducibilidad y eficiencia del proceso.

Asimismo, la investigación presenta un carácter descriptivo, debido a que analiza sistemáticamente como se desarrollan actualmente los procedimientos de fabricación de provisionales dentales dentro del laboratorio, considerando recursos, etapas operativas dentales dentro del laboratorio, considerando recursos, etapas operativas, tecnologías empleadas y dificultades técnicas. De acuerdo con Arias (2012), la investigación descriptiva permite caracterizar un fenómeno o situación específica mediante la observación, análisis y

registro de sus componentes principales. Esto permitió comprender la situación actual del flujo de trabajo y detectar áreas susceptibles de mejora.

De igual forma, el estudio posee una orientación propositiva, ya que no se limita únicamente al análisis de la problemática, sino que plantea una solución estructurada mediante el diseño de un protocolo técnico aplicable al entorno estudiado. Este componente propositivo responde a la necesidad de organizar, estandarizar y optimizar procedimientos técnicos en el laboratorio dental, contribuyendo a mejorar la calidad del producto final.

3.1.2 Según la Manipulación de Variables

De acuerdo con la manipulación de variables, la presente investigación corresponde a un estudio no experimental, puesto que no existe intervención directa ni modificación deliberada de las variables analizadas, Hernández-Sampieri et al. (2014) establecen que en los diseños no experimentales el investigador observa los fenómenos tal como ocurren en su contexto natural, sin manipular condiciones o factores externos.

En este estudio, se analizaron los procesos existentes de elaboración de provisionales dentales, incluyendo técnicas, materiales y flujo operativo, tal como se desarrollan en el laboratorio, con el fin de identificar características, errores y necesidades e estandarización. Por tanto, la investigación se basa en la observación, análisis y recopilación de información sin alterar las condiciones reales del proceso técnico.

3.1.3 Según el Tiempo de Desarrollo

Según el tiempo en que se desarrolló la investigación, el estudio es de tipo transversal, debido a que la recolección y análisis de datos se realizaron en un periodo específico y único, sin seguimiento prolongado o evaluación longitudinal. Arias (2012) indica que los estudios transversales permiten analizar una situación determinada en un momento concreto, proporcionando una visión diagnóstica de las condiciones presentes.

En este contexto, la investigación evaluó el estado actual de los procesos de elaboración de provisionales dentales dentro del laboratorio durante un periodo definido, permitiendo identificar necesidades técnicas y establecer bases para la elaboración del protocolo propuesto. Esta característica resulta adecuada para estudios orientados al diagnóstico situacional y diseño de propuestas de mejora en contextos específicos.

3.2 Tipo de Enfoque

La investigación adopta un enfoque mixto, ya que integra métodos cualitativos y cuantitativos para el análisis del proceso de elaboración de provisionales dentales.

El enfoque cualitativo se emplea para analizar la secuencia de trabajo en el laboratorio, identificar puntos críticos en el proceso técnico y evaluar la necesidad de estandarización mediante la observación directa y la aplicación de encuestas al personal del laboratorio.

Por otra parte, el enfoque cuantitativo se aplica en la recopilación de datos relacionados con tiempos de trabajo, frecuencia de errores, reprocesos y uso de materiales, lo que permite obtener información medible que contribuya al diseño del protocolo técnico.

La encuesta fue incorporada como herramienta central porque permitió recopilar información directa del personal técnico, estudiantes y operadores involucrados en la elaboración de provisionales dentales, identificando prácticas actuales, dificultades frecuentes y percepción sobre la necesidad de estandarización. Su aplicación facilita obtener datos comparables sobre errores recurrentes, causas operativas y nivel de cumplimiento de procesos, proporcionando evidencia práctica del contexto real del laboratorio. De esta manera, la encuesta no solo permitió diagnosticar problemáticas existentes, sino también orientar el diseño del protocolo técnico en función de necesidades concretas detectadas en la práctica profesional.

3.3 Herramientas Metodológicas

Para el desarrollo del presente estudio se emplearon diversas herramientas metodológicas que permitieron recopilar, organizar y analizar la información necesaria para la elaboración del protocolo técnico. Estas herramientas fueron seleccionadas en función del enfoque técnico descriptivo de la investigación, integrando tanto el sustento teórico como la evidencia practica del proceso de elaboración de provisionales dentales. Entre las principales herramientas utilizadas se encuentran:

Encuesta estructurada. Se aplicaron dos encuestas en diferentes momentos del estudio. La encuesta inicial estuvo dirigida al personal técnico, estudiantes y participantes del laboratorio dental, con el propósito de valorar el conocimiento previo, identificar practicas actuales, errores frecuentes y necesidades de mejora en la elaboración de provisionales dentales, como se puede observar en el ANEXO A.

Posteriormente, se aplicó una encuesta final, orientada a evaluar y validar el protocolo técnico propuesto, permitiendo verificar su claridad, aplicabilidad, pertinencia y utilidad dentro del entorno de trabajo del laboratorio, como se puede observar en el ANEXO C.

Focus Group. Consistió en una sesión de discusión con personal técnico, y participantes vinculados al laboratorio dental, con el fin de obtener información cualitativa sobre experiencias, dificultades operativas, errores frecuentes y necesidades de estandarización en la elaboración de provisionales dentales, como se observa en el ANEXO B. Esta herramienta permitió complementar la encuesta mediante el análisis de opiniones y experiencias prácticas que fortalecieron el diseño del protocolo técnico.

Estas herramientas permitieron obtener información relevante para la construcción del protocolo técnico propuesto.

3.4 Técnicas

Las técnicas de investigación utilizadas en el presente estudio permitieron recopilar, analizar y sistematizar la información necesaria para el diseño del protocolo técnico. Estas técnicas fueron seleccionadas en función del enfoque mixto de la investigación y del carácter aplicado del estudio.

A continuación, se describen las principales técnicas empleadas:

Revisión bibliográfica. Consistió en el análisis de literatura científica actualizada relacionada con odontología digital, sistema CAD/CAM, materiales provisionales (PMMA fresado y resinas impresas en 3D) y protocolos técnicos de laboratorio, esta herramienta permitió fundamentar teóricamente el estudio e identificar parámetros técnicos críticos considerados en el diseño del protocolo

Observación Directa del Proceso Técnico. La observación directa consistió en el análisis sistemático del flujo de trabajo dentro del laboratorio dental. Con el objetivo de identificar las etapas del proceso de elaboración de provisionales, así como los puntos críticos donde se presentan errores o variabilidad técnica.

Esta técnica permitió registrar de manera objetiva las actividades relacionadas con el escaneo, diseño CAD, manufactura (fresado e impresión 3D) y postprocesado. La información obtenida fue documentada mediante una guía de observación estructurada, lo que facilito la identificación de fallas operativas, tiempos de ejecución y condiciones de trabajo reales.

Su aplicación resulto fundamental para comprender la situación actual del laboratorio y establecer bases reales para la estandarización del protocolo técnico.

Registro fotográfico. Empleado para documentar visualmente las diferentes fases del proceso de elaboración de provisionales dentales, tanto en PMMA fresado como en

impresión 3D. este recurso permitió respaldar la descripción técnica del procedimiento y facilitar la estandarización del protocolo.

Registro técnico del proceso. Mediante fichas de control que permitieron documentar tiempos de ejecución, materiales utilizados y posibles incidencias durante la fabricación.

3.5 Estudios Iniciales

Los estudios iniciales se realizaron con el objetivo de comprender el funcionamiento actual del laboratorio dental y establecer una base para el diseño del protocolo técnico. En esta fase se analizaron los procedimientos existentes, el uso de tecnologías digitales y los materiales empleados en la elaboración de provisionales dentales.

Además, se evaluó la disponibilidad de equipos, software y recursos técnicos dentro del laboratorio, así como el nivel de experiencia del personal involucrado en el proceso de fabricación.

3.5.1 Criterios y Exclusión.

Para el desarrollo del estudio se establecieron criterios que permitieron delimitar la muestra y garantizar la pertinencia de la información recolectada.

Criterios de Inclusión. Con el propósito de garantizar la pertinencia y validez de la información recolectada en el estudio, se establecieron criterios de inclusión orientados a seleccionar participantes directamente relacionados con el proceso de elaboración de provisionales dentales. Presentados en la Tabla 6. Estos criterios permiten asegurar que los datos obtenidos provengan de individuos con conocimiento técnico y experiencia en el área, lo que resulta fundamental para el diseño del protocolo técnico propuesto.

Tabla 6

Criterios de inclusión

Criterio	Descripción
Personal técnico de laboratorio dental	Individuos que desempeñan funciones operativas dentro del laboratorio dental
Profesionales o estudiantes del área	Personas en formación o con título en odontología o áreas afines que participan en la elaboración de provisionales.
Conocimiento en procesos CAD/CAM	Participantes con experiencia o familiaridad en tecnologías digitales aplicadas a la odontología o técnicas convencionales de laboratorio.
Disponibilidad para participar	Sujetos que aceptaron participar voluntariamente y completaron el instrumento de recolección de datos.

La selección de estos criterios permite enfocar la investigación en una población con competencias técnicas relevantes, lo que favorece la obtención de información confiable sobre los procesos de trabajo, errores frecuentes y necesidades de estandarización en el laboratorio dental. Asimismo, asegura que los resultados obtenidos estén directamente relacionados con la práctica real, facilitando la formulación de un protocolo técnico aplicable y coherente con el entorno estudiado.

Criterios de Exclusión. De manera complementaria, se establecieron criterios de exclusión con el fin de evitar la inclusión de participantes cuya información no aporte valor al análisis del proceso técnico o pueda generar sesgos en los resultados. Presentados en la tabla 7. Estos criterios permiten depurar la muestra y garantizar la calidad u consistencia de los datos recopilados.

Tabla 7

Criterios de exclusión

Criterio	Descripción
Personal no vinculado al proceso técnico	Individuos que no participan directamente en la elaboración de prótesis o provisionales dentales.
Encuestas incompletas	Participantes que no finalizaron el instrumento de recolección de datos, impidiendo su análisis.
Falta de experiencia técnica	Personas sin conocimiento o experiencia en procesos de laboratorio dental o tecnologías CAD/CAM.

La aplicación de estos criterios permite excluir información irrelevante o incompleta que podría afectar la validez del estudio. De esta manera, se garantiza que los datos analizados provengan únicamente de participantes con experiencia técnica y que hayan proporcionado información completa, contribuyendo a una interpretación del protocolo técnico propuesto.

3.5.2 Muestreo no Probabilístico por Conveniencia y Deliberado

El muestreo no probabilístico por conveniencia y deliberado corresponde a una técnica de selección en la que los participantes no son elegidos de forma aleatoria, sino en función de su accesibilidad y de criterios específicos definidos por el investigador. Este tipo de muestreo es ampliamente utilizado en estudios aplicados y de carácter técnico, donde se requiere obtener información de sujetos que posean conocimiento o experiencia relevante sobre el fenómeno de estudio, permitiendo un análisis contextualizado más que una generalización estadística (Hernández-Sampieri et al., 2014).

En la presente investigación, el muestreo utilizado corresponde a un muestreo no probabilístico por conveniencia y deliberado, debido a que los participantes fueron

seleccionados considerando su disponibilidad y su relación directa con el proceso de elaboración de provisionales dentales.

La muestra estuvo conformada por personal técnico de laboratorio dental, estudiantes en formación en áreas odontológicas y, en menor medida, profesionales odontólogos vinculados al uso de tecnologías CAD/CAM, todos ellos con participación o conocimientos en procesos de diseño y fabricación de provisionales dentales. Esta selección permitió incluir sujetos con experiencia práctica en el flujo de trabajo digital y convencional, asegurando la pertinencia de la información recopilada.

El componente por conveniencia se justifica en la accesibilidad de los participantes dentro del entorno institucional, lo que facilitó la aplicación de encuestas y la observación directa del proceso técnico. Por su parte, el carácter deliberado o intencional responde a la necesidad de seleccionar específicamente individuos con competencias técnicas en el área, garantizando que los datos obtenidos sean relevantes para el análisis del proceso y el diseño del protocolo técnico.

Este tipo de muestreo resulta adecuado en investigaciones de enfoque aplicado, como la presente, donde el objetivo principal es analizar un contexto específico y proponer una solución técnica basada en condiciones reales de trabajo. No obstante, se reconoce que, al no tratarse de un muestreo probabilístico, los resultados no pueden generalizarse a toda la población, aunque sí permiten obtener información válida y útil para la mejora del proceso en el entorno estudiado.

3.6 Desarrollo de Provisionales Dentales en PMMA fresado y Resina 3D

El protocolo técnico tiene como objetivo estandarizar el proceso de elaboración de provisionales dentales mediante PMMA fresado y resina impresa en 3D, organizando de

forma secuencial cada etapa del flujo digital para mejorar la precisión, reproducibilidad y eficiencia del trabajo en el laboratorio dental. Su diseño busca reducir errores operativos y optimizar la calidad final de las restauraciones provisionales.

Este protocolo está dirigido al personal técnico, estudiantes y profesionales vinculados a procesos de laboratorio dental que utilicen tecnologías CAD/CAM e impresión 3D para la fabricación de provisionales. Su aplicación comprende desde el diseño digital hasta el control de calidad final.

La importancia del protocolo permite unificar criterios técnicos, disminuir variaciones en el proceso de fabricación y mejorar el control de variables críticas como ajuste marginal, resistencia y estabilidad del provisional. Además, favorece una producción más eficiente y organizada.

El proceso requiere cumplir medidas básicas de bioseguridad, incluyendo el uso de equipos de protección personal, la desinfección de modelos o archivos clínicos y la manipulación segura de materiales, resinas y equipos digitales, garantizando seguridad operativa y control sanitario.

3.6.1 *Escaneo de modelo*

- **Materiales e insumos**
  a) Modelo de trabajo en yeso
  b) Pera de aire
  c) Cepillo
  d) Guantes
- **Equipos**
  a) Escáner de laboratorio

b) Computadora

c) Software de escaneo dental

d) Plataforma de ecaneo

- **Pasos para seguir**

1. **Recepción y análisis del caso:** Recibir el archivo STL o modelo físico del paciente, presentado en la Figura 20, y verificar la preparación dental, márgenes cervicales, espacio protésico y requerimientos funcionales. Esta etapa es crítica, ya que cualquier error inicial compromete el flujo digital.

Figura 20

Modelo con desgaste para inserción de corona



2. **Limpieza y preparación del modelo:** Limpiar el modelo cuidadosamente utilizando un cepillo suave y una pera de aire, como se ve en la figura 21, para eliminar polvo, partículas de yeso o contaminantes superficiales.

Figura 21

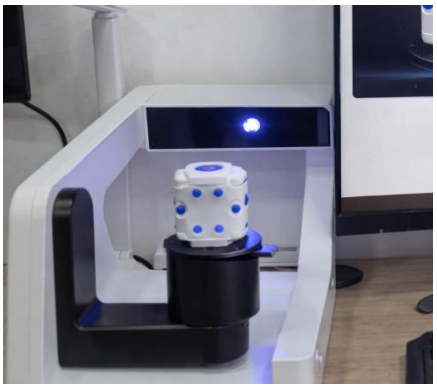
Cepilladlo del modelo



3. **Encendido y calibración del escáner:** Encender el escáner de laboratorio y verificar su correcta calibración mediante el protocolo indicado por el fabricante. Como se ve en la Figura 22. Esa calibración permite asegurar precisión dimensional durante la captura y evitar distorsiones en la imagen obtenida.

Figura 22

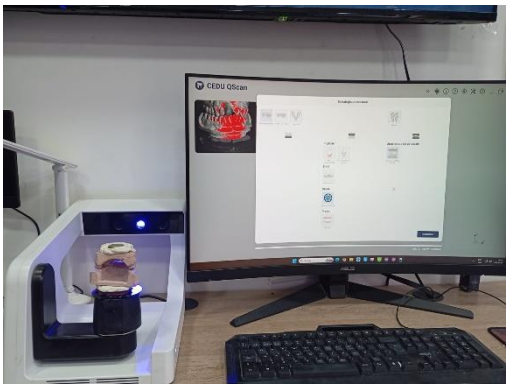
Calibración del escáner



4. **Colocación del modelo en la plataforma de escaneo:** El modelo se posiciona centrado sobre la base del escáner, orientando la preparación dental hacia el área de captura principal, como se ve en la figura 23. Debe asegurarse de la estabilidad completa del modelo para evitar movimientos durante el escaneo.

Figura 23

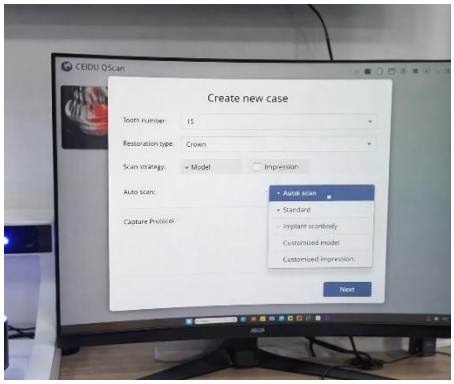
Escaneo del modelo



5. **Configuración del caso en el software de escaneo:** Dentro del software se crea un nuevo caso digital, ingresando datos básicos como número de pieza, tipo de restauración y tipo de escaneo requerido, como se ve en la Figura 24. Posteriormente se selecciona el protocolo de captura correspondiente.

Figura 24

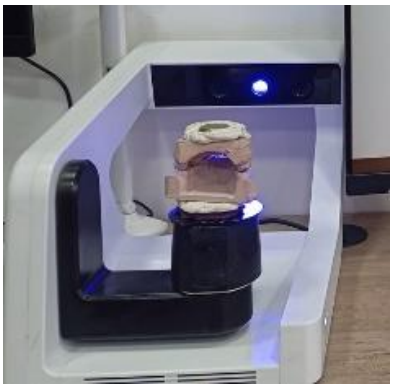
Creación de caso



6. **Escaneo del modelo de trabajo:** Se inicia la captura digital realizando el escaneo completo del modelo, como se ve en la figura 25. El sistema registra automáticamente superficies dentales, márgenes cervicales y anatomía oclusal

Figura 25

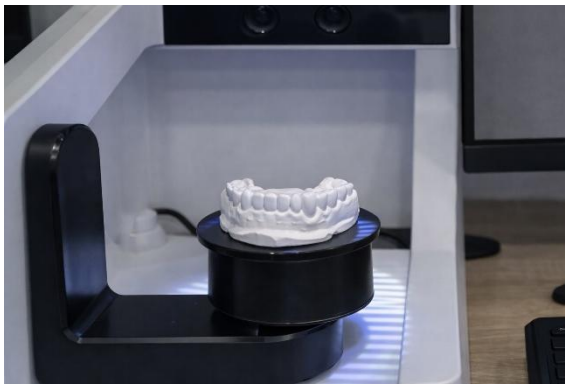
Escaneado del modelo



7. **Escaneo del antagonista:** Posteriormente se escanean el modelo antagonista y registro oclusal, como se ve en la figura 26, para permitir al software reproducir relaciones intermaxilares y futuros análisis funcionales durante el diseño CAD.

Figura 26

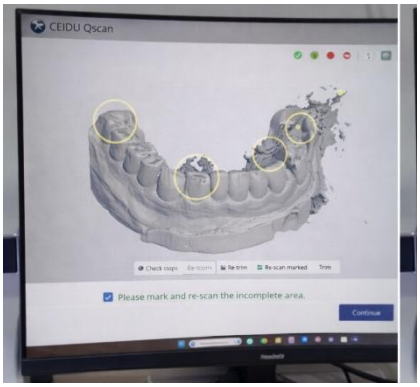
Escaneo del antagonista



8. **Revisión y corrección del escaneo digital:** Finalizada la captura, se inspecciona el modelo digital verificando continuidad de superficies, definición marginal y ausencia de artefactos o vacíos digitales, como se ve en la figura 27. Si existen errores, se realizan escaneos parciales hasta obtener una malla completa y precisa.

Figura 27

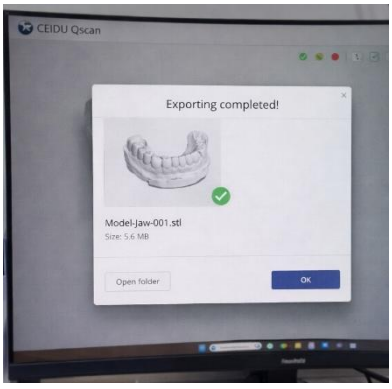
Corrección de escaneo



9. **Generación y exportación del archivo STL:** Una vez validado el escaneo, el software genera el archivo digital en formato STL, como se ve en la figura 28. Este archivo se guarda y exporta hacia el software CAD dental para iniciar el diseño digital del provisional.

Figura 28

Generación de archivo STL



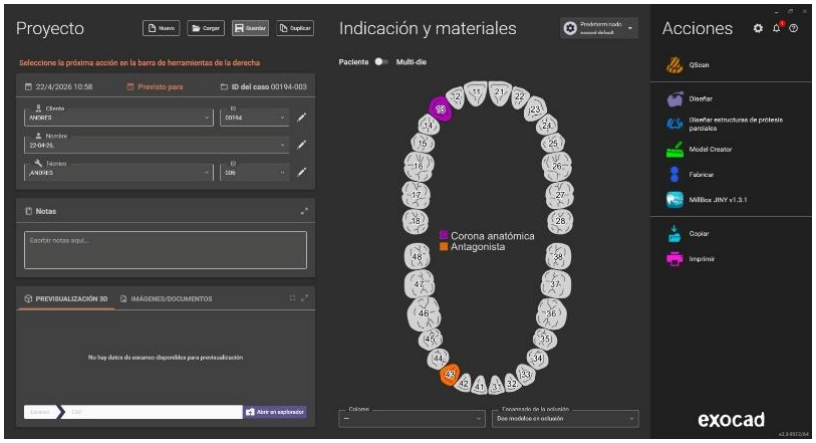
3.6.2 *Diseño digital CAD*

- **Materiales e Insumos:** Software CAD (Exocad)
- **Equipo:** Computador
- **Pasos para seguir**

1. **Orden de trabajo digital:** Iniciar el caso dentro del software CAD registrando los datos técnicos esenciales: paciente, pieza dental a restaurar, tipo de restauración provisional, material de fabricación (PMMA o resina 3D), sistemas de manufactura y parámetros clínicos iniciales; como se ve en la Figura 29. Esta configuración determina bibliotecas anatómicas, espacio cementante y flujo de trabajo digital a seguir.

Figura 29

Preparación del caso



2. **Selección de la pieza a trabajar y configuración de parámetros:** Dentro del odontograma digital se selecciona la unidad o sector a rehabilitar, definiendo si se trata de corona unitaria, puente o múltiple, como se ve en la Figura 30. En esta fase también se configuran parámetros iniciales como grosor mínimo, espacio para cemento, tipo de anatomía y prioridades funcionales según ubicación clínica.

Figura 30

Selección de piezas



3. **Apertura de la interfaz de diseño Dental CAD:** Se accede al módulo de diseño protésico (Exocad u otro software CAD), como se ve en la figura 31, donde se habilitan las herramientas específicas para provisionales dentales. Aquí se verifica que el flujo seleccionado corresponda correctamente al tipo de restauración planificada.

Figura 31

Creator de Exocad

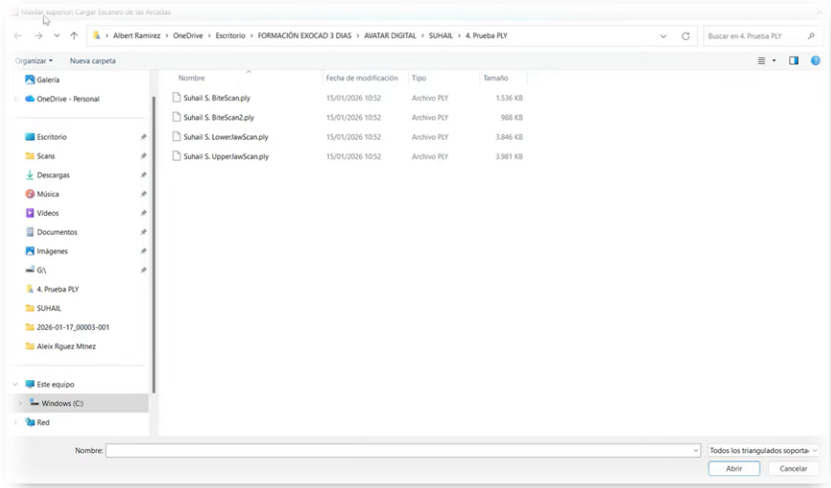


4. **Importación de archivos STL:** Se cargan los archivos provenientes del escaneo (modelo de trabajo, antagonista, mordida o registros adicionales) y se verifica la integridad digital de cada malla, como se ve en la Figura 32. Deben corregirse errores de

superficie, zonas faltantes o distorsiones antes de continuar, ya que cualquier defecto compromete precisión final

Figura 32

Exportación de escaneo

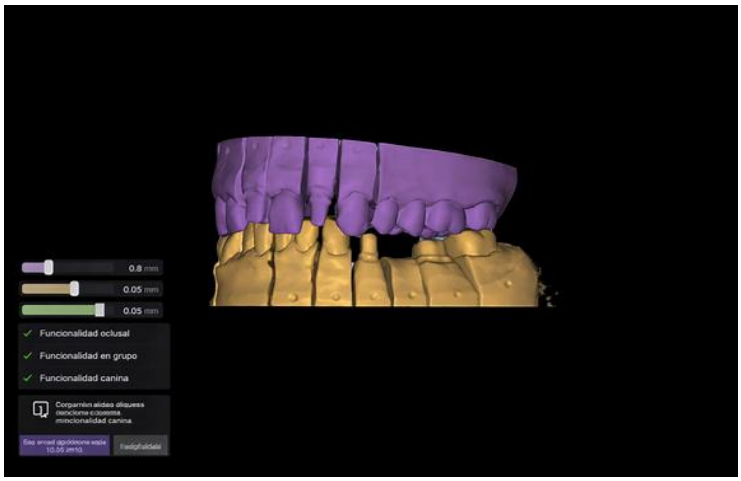


5. **Posicionamiento y alineación del modelo digital:** Una vez cargado el escaneo STL, se orienta el modelo en el espacio virtual para que el software reconozca correctamente, el eje de inserción, plano oclusal, cara vestibular, cara lingual y palatina, y relaciones proximales. Como se ve en la Figura 33.

Se debe rotar el modelo hasta ubicarlo en la posición anatómica requerida. Una vez centrado, el software hará el resto de forma automática, tras lo cual se revisará de manera visual que ajuste correctamente y no existan fallos de reconocimiento.

Figura 33

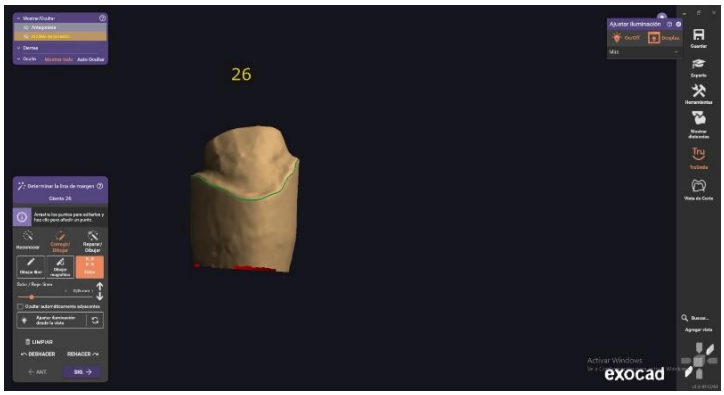
Posicionamiento del escaneo



6. **Definición exacta del margen cervical:** Trazar de forma manual o automática la línea de terminación cervical sobre la preparación dental, como se ve en la Figura 34, asegurando continuidad y precisión en toda la circunferencia. Esta etapa es crítica porque define el sellado periférico del provisional. Verificar en múltiples vistas (oclusal, vestibular y proximal) para evitar sobreextensión o sub-extensión marginal.

Figura 34

Selección de margen cervical

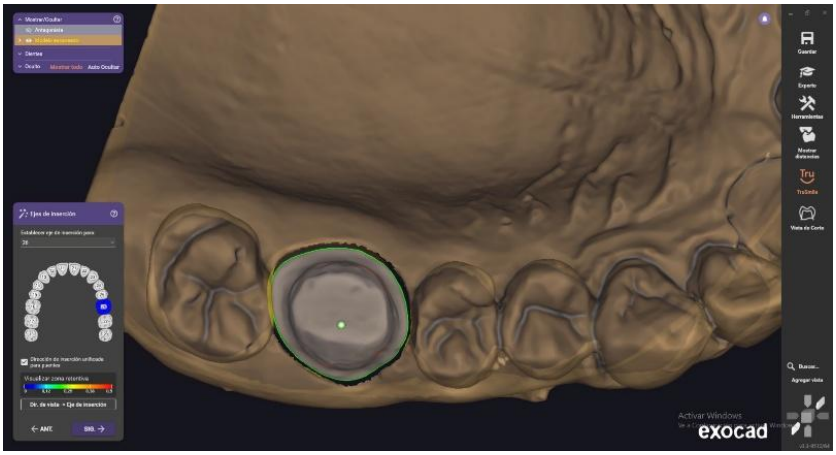


7. **Configuración del eje de inserción:** Se establece el eje de inserción protésico considerando paralelismo, retención y ausencia de interferencias. como se ve en la figura 35.

Una orientación incorrecta puede generar zonas de tensión, dificultad de asentamiento o sobreajustes internos. El objetivo es optimizar áreas de fricción innecesaria.

Figura 35

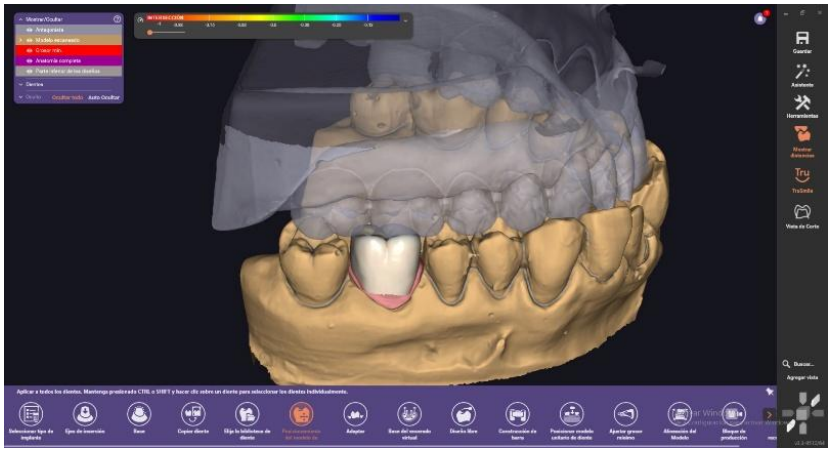
Eje de inserción



8. **Posicionamiento anatómico inicial de la restauración:** Se selecciona la anatomía inicial desde bibliotecas dentales digitales según tipo de diente, tamaño y morfología requerida; como se ve en la figura 36. La restauración se posiciona sobre la preparación respetando proporciones anatómicas, contactos y estética general.

Figura 36

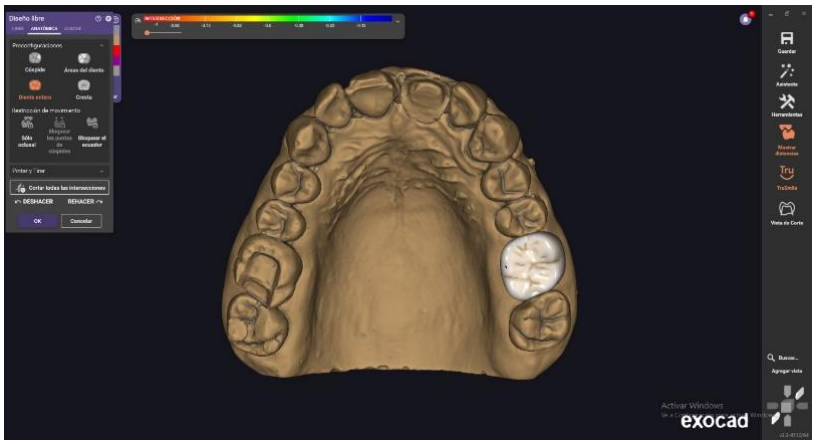
Modelo anatómico



9. **Ajuste de contactos proximales:** Se configuran los puntos de contacto mesial y distal con dientes adyacentes para garantizar estabilidad posicional, evitar impactación alimentaria y preservar salud periodontal, como se ve en la figura 37. Los contactos deben ser firmes, pero clínicamente ajustables, evitando presión excesiva que dificulte inserción.

Figura 37

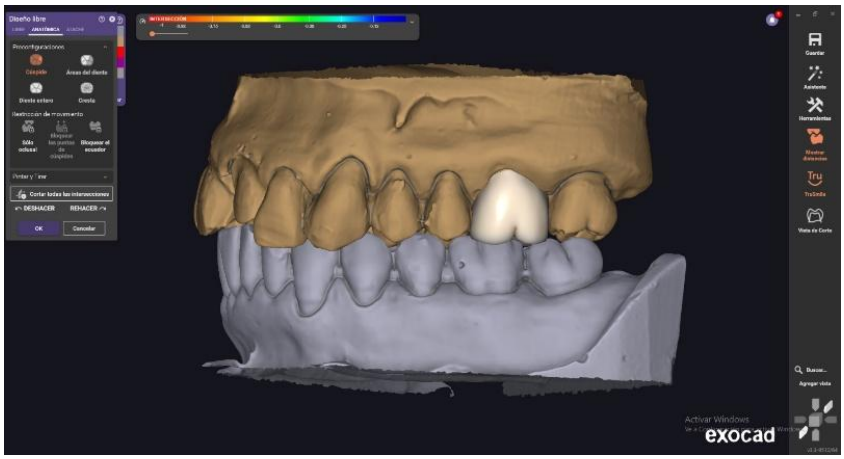
Puntos de Contacto



10. **Análisis y ajuste oclusal:** Se evalúan contactos en máxima intercuspidación y espacio funcional, como se ve en la figura 38. Deben eliminarse prematuridades o sobrecargas, especialmente en provisionales extensos. Esta fase optimiza distribución de fuerzas, reduce riesgo de fractura y mejora comodidad del paciente.

Figura 38

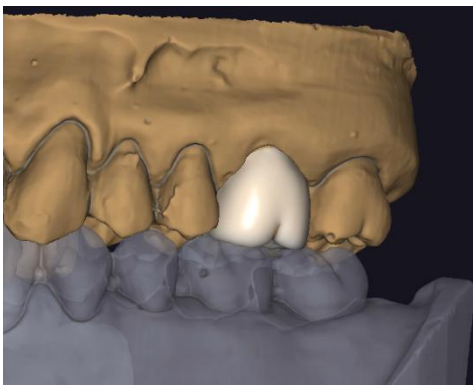
Ajuste oclusal



11. **Corrección de contornos emergentes y perfil cervical:** Se ajusta el perfil de emergencia para respetar tejidos blandos, facilitar la higiene y mejorar la estética, como se ve en la figura 39. Un sobrecontorno puede generar inflamación gingival, mientras que un sub-contorno compromete el soporte tisular. La meta es lograr armonía biológica y estética.

Figura 39

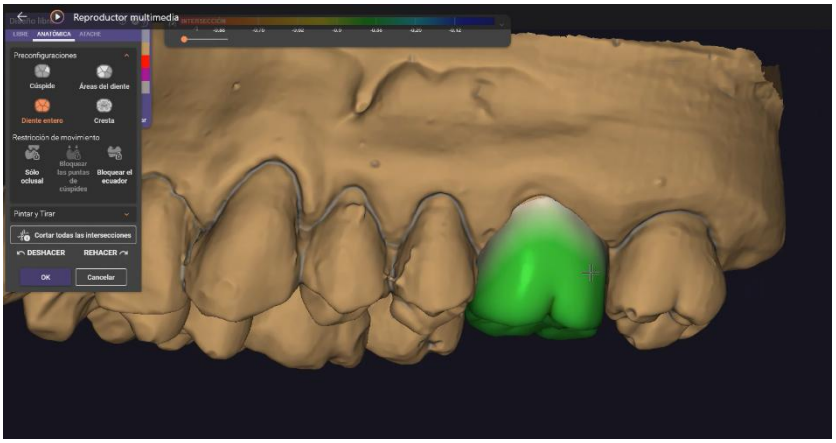
Contorno y márgenes



12. **Suavizado y refinamiento de superficies:** Se realiza alisado digital de superficies externas e internas para reducir irregularidades, mejorar el acabado y facilitar la manufactura, como se ve en la figura 40. En fresado, esto optimiza trayectorias de herramientas; en impresión 3D, disminuye la necesidad de postprocesado excesivo.

Figura 40

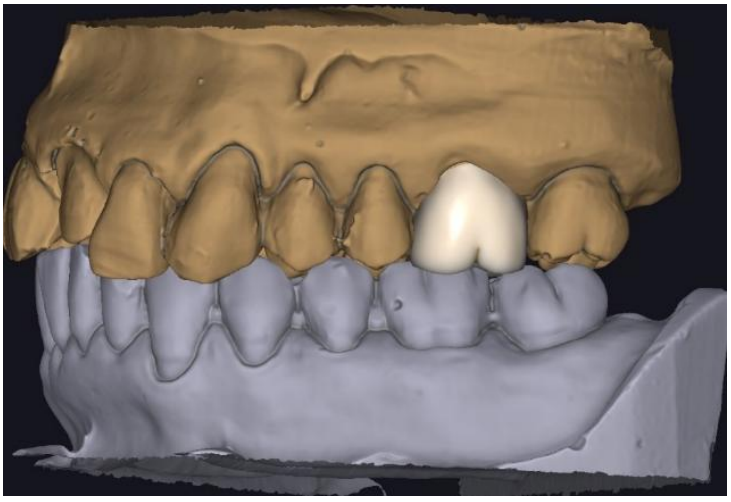
Alisamiento de superficie



13. Simulación funcional y validación digital: Antes de exportar, se realiza revisión integral del diseño mediante herramientas digitales de análisis de ajuste (línea marginal, espacio de cemento, distancia oclusal, color de puntos de contacto.), distancia oclusal, mapa de espesor y detección de interferencias; como se ve en la figura 41. Esta validación permite corregir errores antes de manufactura, reduciendo reprocesos y desperdicio.

Figura 41

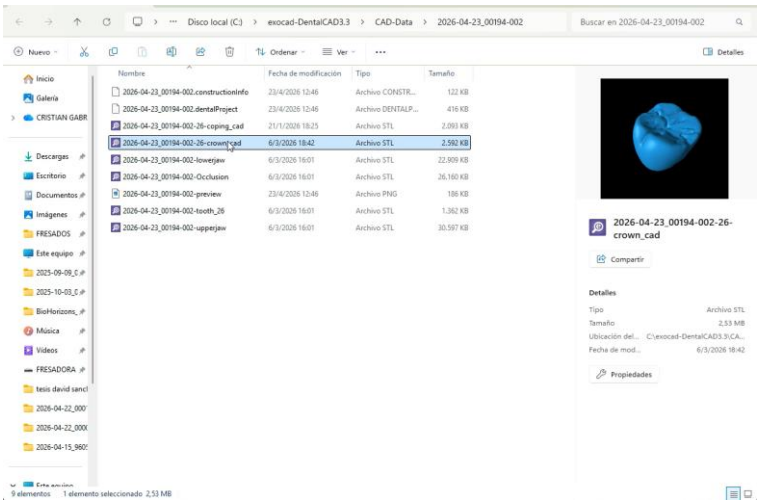
Simulación de posición



14. **Exportación final del diseño:** Una vez validado, el archivo se exporta en formato compatible con CAM o slicer (STL), como se ve en la figura 42, asegurado resolución adecuada para preservar detalles anatómicos, márgenes y parámetros optimizados. Este archivo constituye la base definitiva para una manufactura precisa y reproducible.

Figura 42

Archivo STL del diseño para impresión



3.6.3 *Provisionales en PMMA fresado*

- **Materiales e Insumos**

  a) Modelo de trabajo

  b) Bloques de PMMA prepolimerizado

  c) Fresas de desbaste, detalle y acabado

  d) Soportes para bloque de PMMA

  e) Discos abrasivos

  f) Gomas de pulido

  g) Cepillos de pulido

  h) Pasta para pulido acrilico

  i) Calibrador

j) Lupa

k) Articulador

l) Alcohol para desinfeccion

m) Guantes

n) Mascarilla

o) Gafas de seguridad

- **Equipos e Instrumentos**

a) Escáner de mesa

b) Computadora de diseño

c) Software CAD dental (Exocad)

d) Software CAM para programación de fresado

e) Fresadora CAD/CAM

f) Micromotor

- **Pasos para seguir:**

1. **Selección del bloque de PMMA adecuado:** Elegir el bloque prepolimerizado según color, tamaño y características requeridas para el caso clínico; como se ve en la Figura 43. Esta selección influye en la estabilidad mecánica, la estética y el comportamiento final de la restauración.

Figura 43

Discos de PMMA para fresar

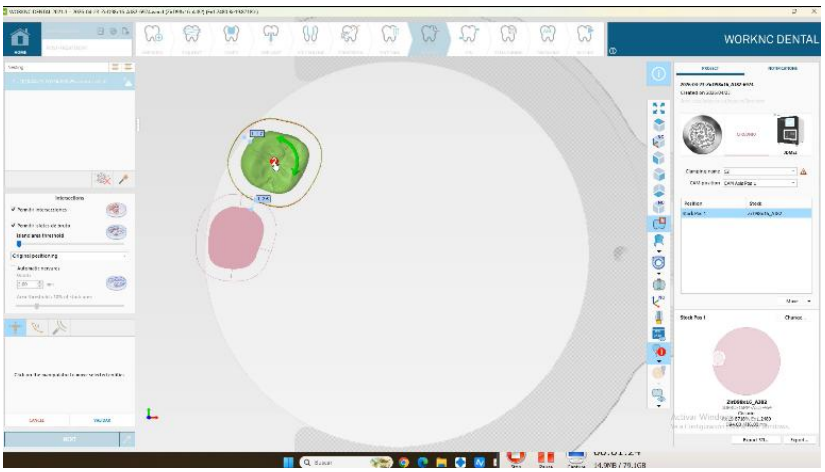


2. **Configuración de parámetros CAM:** Una vez aprobado el diseño CAD, el archivo STL se importa al software CAM de la fresadora (WorkNC Dental). En esta fase, el técnico elige parámetros, configurando paso a paso cómo la máquina ejecutará el mecanismo real del bloque de PMMA.

- **Posicionamiento de la restauración dentro del disco:** En pantalla, el software muestra el bloque virtual, Aquí se ajustan, inclinación axial, rotación mesiodistal, profundidad de inserción y distancia entre restauraciones y bordes del disco, como se ve en la Figura 44. Se deben mantener márgenes alejados de zonas de vibración, mantener la cara oclusal orientada para el acceso de fresas y minimizar áreas inaccesibles.

Figura 44

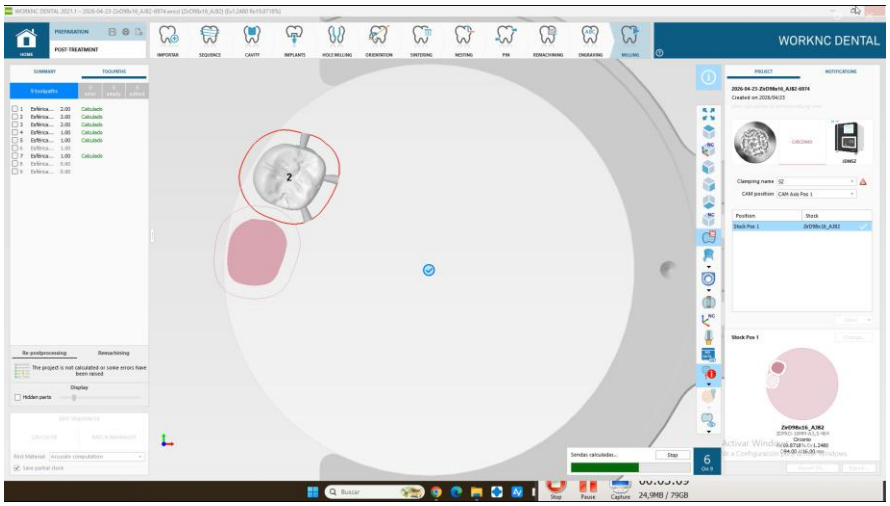
Posicionamiento de la corona en el disco



- **Configuración de posición de retenciones:** Se selecciona la posición de las retenciones hacia la intención de mantener la menor cantidad posible, pero que los puntos gruesos tengan soporte, como se ve en la figura 45, el software los genera automáticamente, pero es necesaria la revisión del técnico.

Figura 45

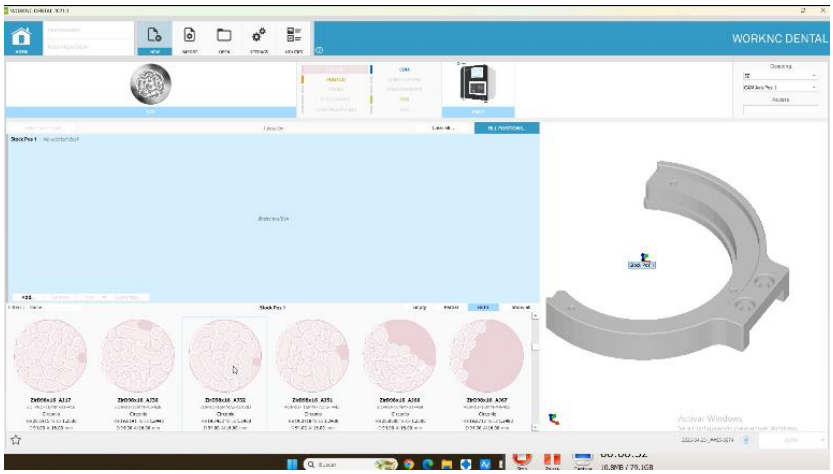
Posicionamiento de retenciones en el disco



- **Selección de la estrategia de fresado:** El software ofrece protocolos predeterminados o manuales, en este trabajo se utilizó uno predeterminado; como se ve en la figura 46. (Roughing + Semi-Finishing + Finishing).

Figura 46

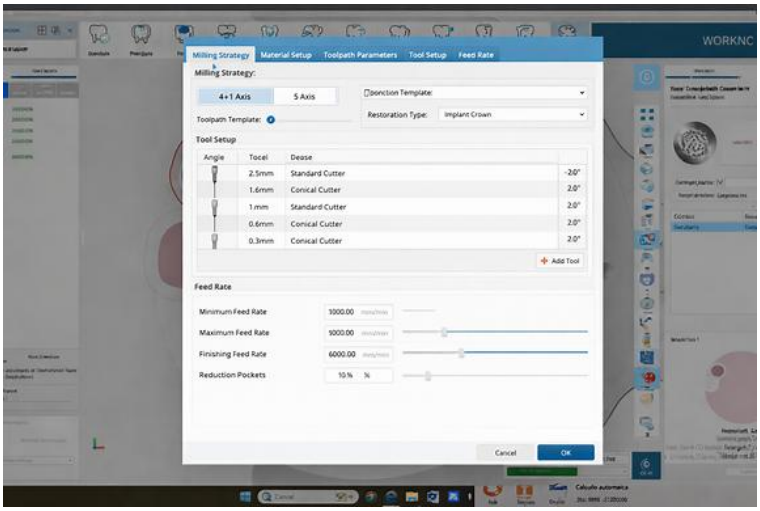
Selección de estrategia de fresado



- **Configuración de fresas:** Se selecciona cada fresa desde la biblioteca de herramientas (2.5 mm, 1.0 mm, 0.6 mm), para desbaste, anatomía general y márgenes y detalle respectivamente; como se ve en la figura 47.

Figura 47

Selección de parámetros finales, (Fresas, velocidad, etc.)

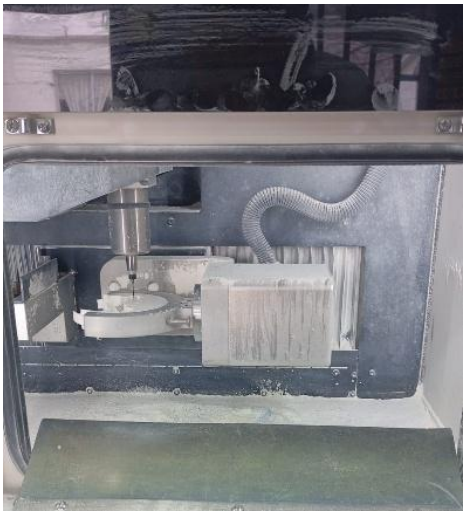


3. **Fresado automatizado del provisional:** La fresadora ejecuta el desgaste progresivo del bloque de PMMA siguiendo el diseño digital programado, como se ve en la

figura 48. Este proceso transforma el bloque solido en una restauración provisional con alta reproducibilidad y control geométrico.

Figura 48

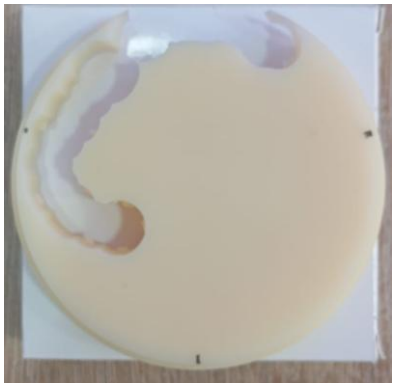
Fresadora lista para producción



4. **Separación de la estructura del bloque:** Una vez finalizado el fresado, el provisional se retira cuidadosamente del bloque base, como se ve en la figura 49, eliminando conexiones o soportes residuales sin comprometer su integridad estructural ni sus márgenes.

Figura 49

Disco con las piezas removidas



5. **Acabado y ajuste anatómico y pulido:** Se corrigen pequeñas irregularidades superficiales, se refinan detalles anatómicos y se realiza el pulido mecánico para mejorar

textura, brillo y estética, como se ve en la figura 50. Esta fase también permite optimizar áreas funcionales antes del control final.

Figura 50

Provisional (corona) ajustada y pulida



6. **Verificación marginal, oclusal y control de calidad final:** Evaluar el ajuste marginal, adaptación interna, contactos oclusales y calidad superficial mediante inspección visual e instrumentos de medición, como se ve en la Figura 51. Este control garantiza que el provisional cumpla criterios técnicos y clínicos aceptables.

Figura 51

Revisión de ajuste en el modelo



3.6.4 *Provisionales en Resina Impresa 3D*

- **Materiales e Insumos**

a) Modelo de trabajo

b) Escáner de laboratorio

c) Resina fotopolimerizable

d) Alcohol isopropílico

e) Cubeta de limpieza

f) Pinzas para retiro de piezas

g) Alicates

h) Discos abrasivos

i) Gomas de pulido

j) Cepillos de pulido

k) Pasta de pulido

l) Lupa

m) Articulador

n) Guantes

o) Mascarilla

p) Gafas de seguridad

- **Equipos e Instrumentos**

a) Computadora de diseño

b) Software CAD dental (Exocad)

c) Software de laminado

d) Impresora 3D dental

e) Plataforma de impresión

f) Unidad de postcurado UV

Pasos para seguir:

1. **Selección de resina indicada:** Seleccionar la resina específica para provisionales dentales, como la mostrada en la Figura 52, considerando resistencia mecánica, biocompatibilidad, estabilidad cromática y compatibilidad con el sistema de impresión.

Figura 52

Selección de resina



2. **Verificación de condiciones del material:** Revisar la fecha de caducidad, homogeneidad, ausencia de sedimentación y correcta agitación del material para asegurar uniformidad en propiedades, como se ve en la Figura 53.

Figura 53

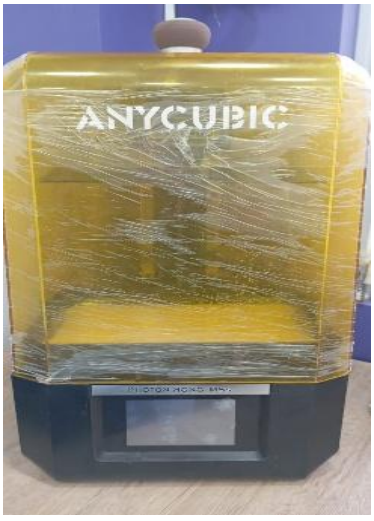
Resina tamizada



3. **Preparación de la impresora 3D:** Antes imprimir, se calibra la impresora 3D para asegurar precisión dimensional y adhesión correctas. Se nivela la plataforma, aflojando los tornillos y bajando la base con una hoja calibradora. Se revisa el tanque de resina que este sin residuos ni cuerpos extraños. Se comprueba el sistema óptico de iluminación UV. Y si es posible se realiza una impresión de calibración inicial, como se ve en la Figura 54.

Figura 54

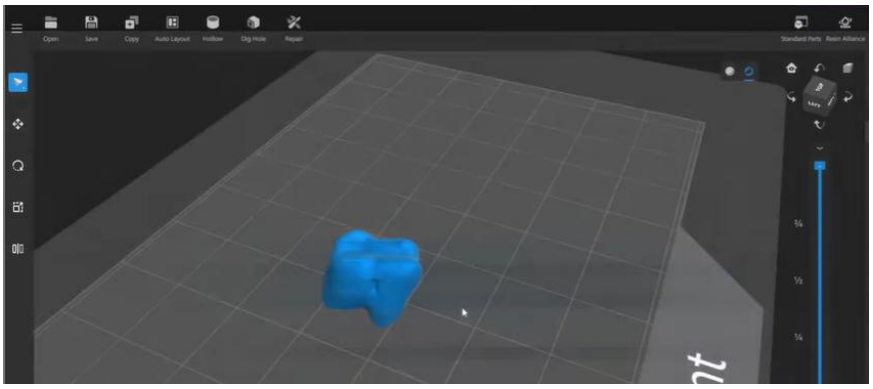
Impresora 3D



4. **Importancia del diseño del software slicer: Cargar el archivo STL y verificar la integridad geométrica antes de configurar la** impresión, como se ve en la Figura 55.

Figura 55

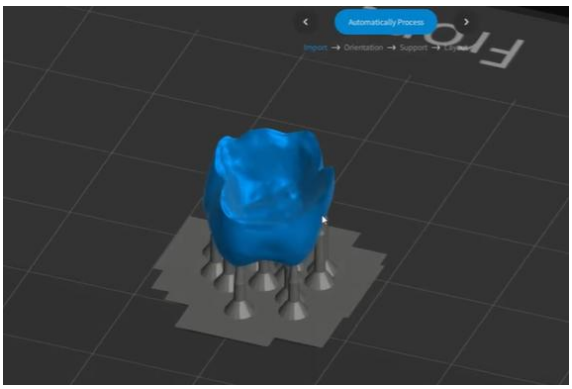
Software Slicer



5. **Generación de soportes:** Se colocan soportes en zonas no críticas, evitando interferir con márgenes o contactos funcionales, como se ve en la Figura 56. Su diseño debe equilibrar estabilidad durante la impresión y facilidad de remoción.

Figura 56

Posicionamiento de soportes



6. **Configuración de espesor de capa:** Se establece el grosor de capa según el nivel de equilibrio entre precisión y tiempo de producción. En este caso fueron 0.05 mm.

Como se observa en la Figura 57. Las capas más finas mejoran el detalle, pero aumentan el tiempo operativo.

Figura 57

Pantalla de selección de capa



7. **Configuración de exposición y parámetros técnicos:** Se ajustan tiempos de curado por capa, potencia lumínica, velocidad de elevación y retracción. Estos parámetros influyen en grado de conversión y estabilidad dimensional.

8. **Simulación de impresión:** Analizar el proceso digitalmente para detectar errores de soporte, zonas de colapso o deformación, como se ve en la Figura 58.

Figura 58

Simulación de impresión



9. **Proceso de impresión capa por capa:** Ejecutar la fabricación aditiva bajo monitoreo de estabilidad, adhesión y consistencia del proceso, con una duración de 20 a 60 min. Como resultado, obtenemos la pieza impresa finalizada, como se ve en la Figura 59.

Figura 59

Impresión de varias piezas



10. **Retiro controlado de la plataforma:** Al finalizar, se retira cuidadosamente la pieza para evitar fracturas o deformaciones, como se ve en la figura 60.

Figura 60

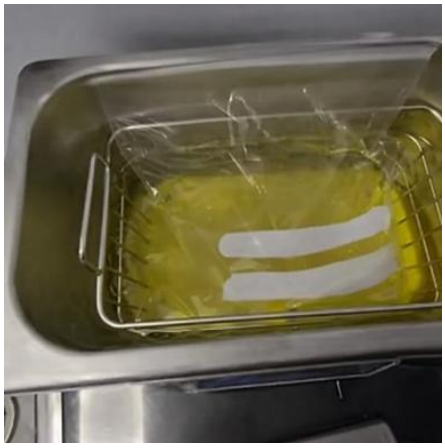
Retiro de la plataforma



11. **Lavado primario:** Se realiza inmersión o agitación en alcohol isopropílico para eliminar resina no polimerizada superficial. Agitar por unos 3 a 5 min. En este caso, se colocó dentro de una bolsa ziploc con alcohol dentro y está en el ultrasónico. Como se ve en la figura 61.

Figura 61

Lavado primario



12. **Curado de la pieza:** Una vez finalizado el lavado y secado del provisional, se realiza el postcurado en una cámara de luz UV específica para resinas, como se ve en la figura 62, con el objetivo de completar la polimerización del material y mejorar sus propiedades mecánicas y estabilidad dimensional. En este caso fueron 15 min ya que ingresó con otras piezas en la plataforma giratoria, así asegurándose que quede un buen acabado

Figura 62

Postcurado



13. **Pulido y acabado:** Finalizado el curado, se procede a retirar soportes remanentes utilizando fresas finas, discos y pimpollos, a baja velocidad, Posteriormente, con piedras de pulir, se da un acabado progresivo hasta quedar conforme con la superficie final. Como se observa en la Figura 63.

Figura 63

Pieza pulida final



Capítulo IV

Resultados y Discusión

4.1 Análisis e interpretación de resultados de la encuesta inicial

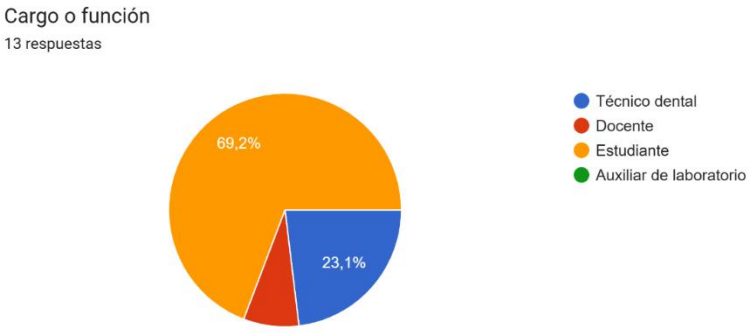
La encuesta inicial fue dirigida al personal técnico de laboratorio dental, estudiantes en formación y profesionales vinculados a la elaboración de provisionales dentales. Su aplicación se enfocó en participantes con experiencia o conocimiento en procesos de laboratorio dental, técnicas convencionales y tecnologías digitales como CAD/CAM, con el fin de obtener información directamente relacionada con el entorno técnico estudiado.

El propósito de esta encuesta fue identificar las prácticas actuales de fabricación de provisionales, el nivel de estandarización de los procedimientos, la frecuencia de errores técnicos y las principales dificultades operativas presentes en el laboratorio. La información obtenida permitió establecer un diagnóstico inicial del proceso, fundamentando el diseño de un protocolo técnico orientado a mejorar la organización, precisión y eficiencia en la elaboración de provisionales dentales.

En la pregunta 1, presentada en la figura 64, se define qué cargo u ocupación tienen los encuestados en relación con su experiencia sobre el tema. Ocupando un 69.2% los estudiantes, el 23.1% los técnicos dentales y el 7.7% los docentes que respondieron a la encuesta.

Figura 64

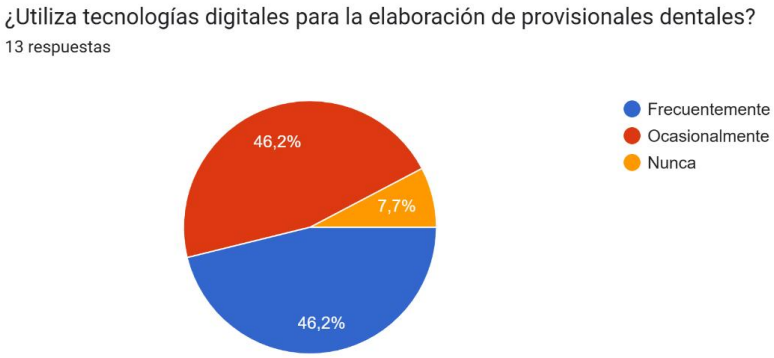
Resultados previos pregunta 1



En la pregunta 2, presentada en la figura 65, se evalúa si los encuestados tienen experiencia en alguna de las técnicas digitales y la frecuencia con la que la utilizan. Ocupando un 46.2% usándolas frecuentemente, igualando otro 46.2% en un uso ocasional y 7.7% que nunca las ha usado.

Figura 65

Resultados previos pregunta 2



Nota. Elaboración propia a partir de la investigación

En la pregunta 3, presentada en la figura 66, se verifica si se ha utilizado alguna de las técnicas de elaboración estudiadas en el protocolo a realizar. Ocupando un 61.5% en el uso de ambas técnicas, con un 15.4% el uso de resinas impresas, igualando otro 15.4% que nunca han usado las técnicas y un 7.7% en el uso de PMMA fresado.

Figura 66

Resultados previos pregunta 3

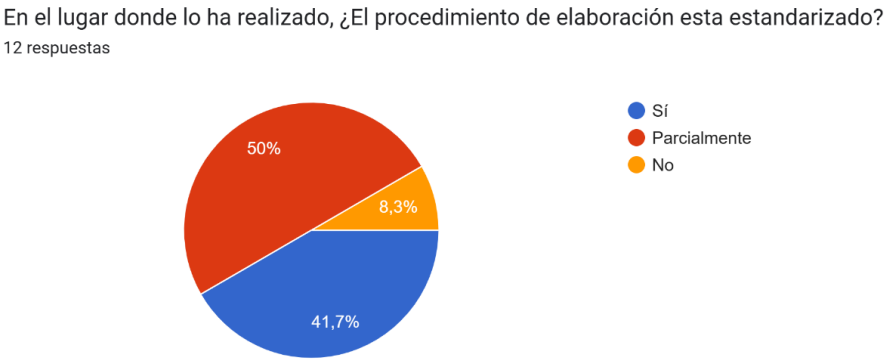


Nota. Elaboración propia a partir de la investigación

En la pregunta 4, presentada en la figura 67, se analiza si los lugares donde los encuestados realizaron el uso de las técnicas, tienen algún procedimiento estandarizado. Ocupando el 50% la existencia de un procedimiento parcialmente estándar, con un 41.7% la existencia de un procedimiento estandarizado en el lugar de fabricación y un 8.3% que no existe ningún procedimiento estándar.

Figura 67

Resultados previos pregunta 4

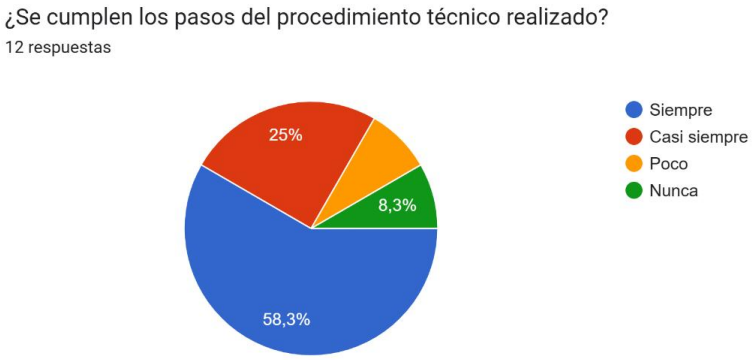


Nota. Elaboración propia a partir de la investigación

En la pregunta 5, presentada en la figura 68, se analiza la frecuencia con la que se cumplen los pasos estandarizados en los respectivos procesos. Ocupando el 58.3% el cumplimiento de estos procedimientos, un 25% casi siempre se utilizan, un 8.3% que los procedimientos nunca se cumplen y un 8.3% que se cumplen en pocas ocasiones.

Figura 68

Resultados previos pregunta 5

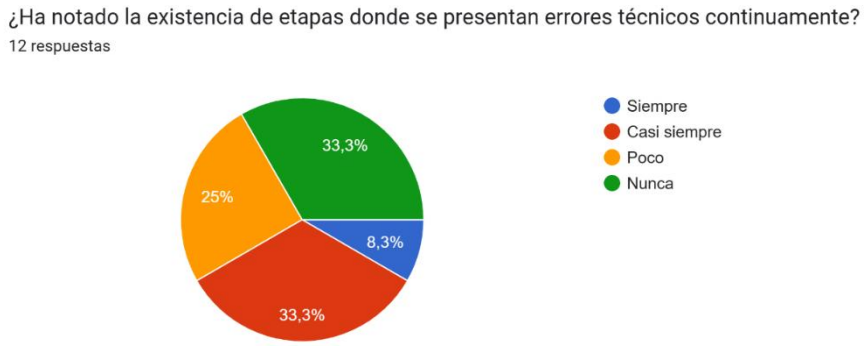


Nota. Elaboración propia a partir de la investigación

En la pregunta 6, presentada en la figura 69, se busca verificar si los procesos de dichos laboratorios tienen fallas y la frecuencia de estas. Ocupando un 33.3% en etapas donde no se cometen errores técnicos en los procesos, igualando el 33.3% en las que los errores son frecuentes, un 25% corresponde a las pocas ocasiones en que ocurren errores y un 8.3% en las que ocurren siempre.

Figura 69

Resultados previos pregunta 6

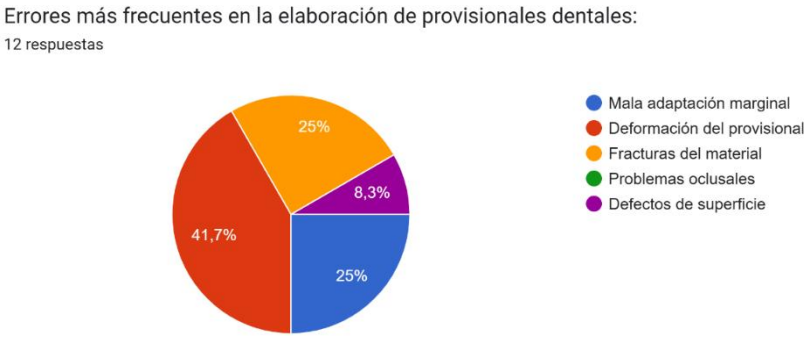


Nota. Elaboración propia a partir de la investigación

En la pregunta 7, presentada en la figura 70, se busca el tipo de error más frecuente ocurrido en el procedimiento de alguno de los procesos. Ocupando 41.7% la deformación del provisional, un 25% la mala adaptación marginal, un 25% las fracturas del material y un 8.3% los defectos de superficie, siendo los problemas oclusales los menos frecuentes con un 0% de respuestas.

Figura 70

Resultados previos pregunta 7

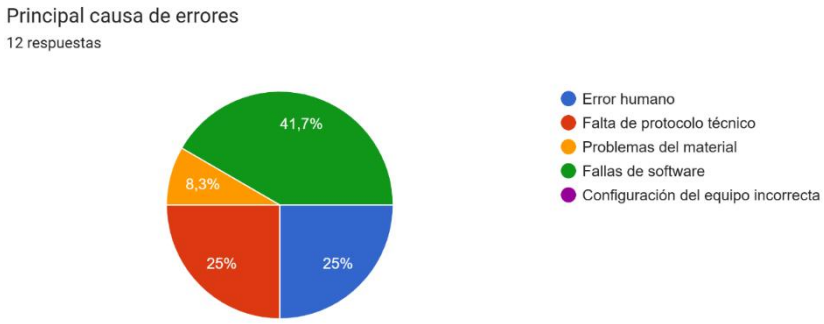


Nota. Elaboración propia a partir de la investigación

En la pregunta 8, presentada en la figura 71, se busca la principal razón de los errores cometidos con mayor frecuencia. Ocupando un 41.7% las fallas de software, un 25% el error humano, igualando un 25% la falta de un protocolo técnico y un 8.3% problemas en el material, siendo el motivo frecuente la configuración incorrecta del equipo con un 0% de respuestas.

Figura 71

Resultados previos pregunta 8



Nota. Elaboración propia a partir de la investigación

En la pregunta 9, presentada en la figura 72, se verifica si los encuestados consideran necesaria la existencia de un protocolo técnico como guía para evitar estos errores. Ocupando un 100% de respuestas la consideración necesaria de la existencia de un protocolo técnico para evitar los errores.

Figura 72

Resultados previos pregunta 9



Nota. Elaboración propia a partir de la investigación

4.2 Análisis e Interpretación de Resultados de la encuesta final

Con el propósito de evaluar la pertinencia, aplicabilidad y funcionalidad del protocolo técnico diseñado para la elaboración de provisionales dentales mediante PMMA fresado y resina 3D, se llevó a cabo un Focus Group conformado por personal técnico y académico vinculado al área de laboratorio dental, como se evidencia en el ANEXO B. Esta actividad permitió obtener una valoración especializada del protocolo desde la experiencia práctica y formativa de los participantes, considerando su utilidad como herramienta de estandarización dentro del entorno técnico.

Para la validación, se aplicó una encuesta de satisfacción en escala de Likert orientada a medir aspectos como organización, secuencia lógica, claridad de instrucciones, precisión técnica, suficiencia de materiales y equipos, facilidad e implementación y capacidad del

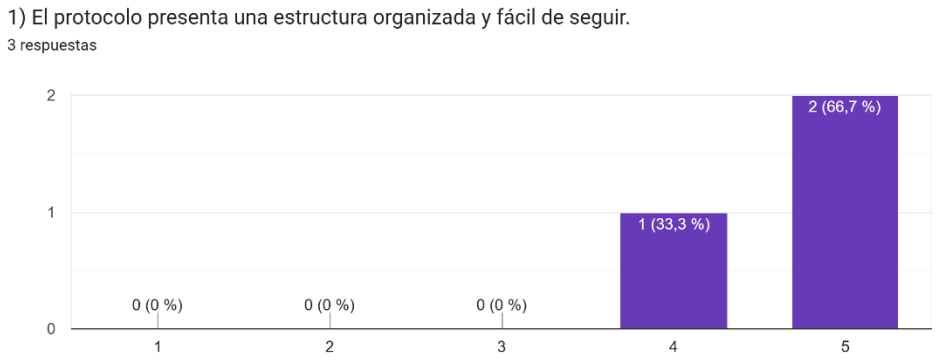
protocolo para mejorar la estandarización del proceso. Los resultados reflejaron una valoración mayoritariamente positiva, destacando altos niveles de aceptación en estructura, comprensión y aplicabilidad, así como satisfacción general con la calidad manual.

Asimismo, el Focus Group permitió identificar oportunidades de mejora relacionadas con la incorporación de mayor especificidad en marcas, tiempos estimados, recursos visuales y soluciones a errores comunes. En conjunto, estos resultados confirmaron que el protocolo presenta pertinencia técnica y aplicabilidad práctica, constituyéndose como una guía funcional para optimizar procesos de elaboración de provisionales dentales en laboratorio.

En la pregunta 1, presentada en la Figura 73. El 66,7% de los participantes seleccionó “muy de acuerdo” y el 33,3% “de acuerdo”. Estos resultados indican que la mayoría percibió que el protocolo posee una organización adecuada, con una disposición estructural clara que facilita su comprensión. Esto evidencia que la distribución de apartados, secuencia temática y presentación metodológica cumplen con el objetivo de servir como guía técnica funcional.

Figura 73

Resultados previos pregunta 1



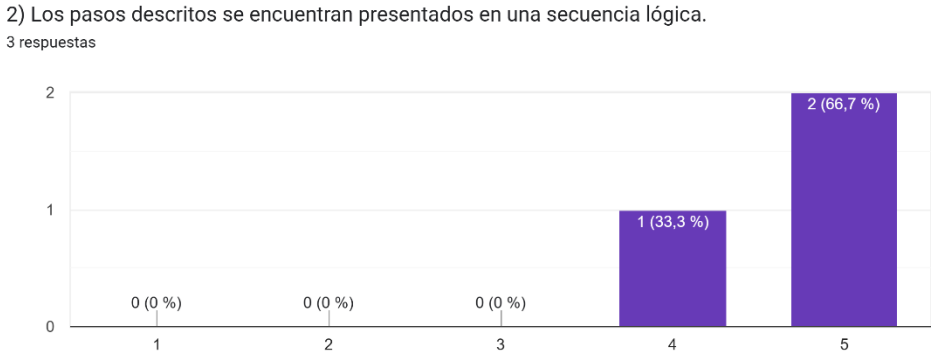
Nota. Elaboración propia a partir de la investigación

En la pregunta 2, presentada en la Figura 74. El 66,7% respondió “muy de acuerdo” y el 33,3% “de acuerdo”, lo que demuestra que la progresión de etapas dentro del protocolo fue

considerada coherente. Este aspecto resulta esencial, ya que una secuencia lógica favorece la reproductibilidad técnica y reduce errores durante la ejecución de procedimientos.

Figura 74

Resultados previos pregunta 2

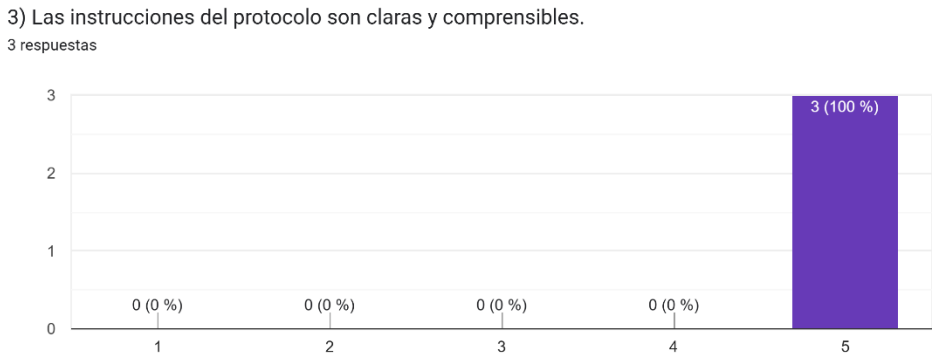


Nota. Elaboración propia a partir de la investigación

En la pregunta 3, presentada en la figura 75. El 100% de los participantes selecciono “muy de acuerdo”, constituyendo uno de los resultados más sólidos del estudio. Esto conforma que el lenguaje utilizado fue preciso, técnico pero entendible, permitiendo una interpretación uniforme por parte del personal evaluador.

Figura 75

Resultados previos pregunta 3

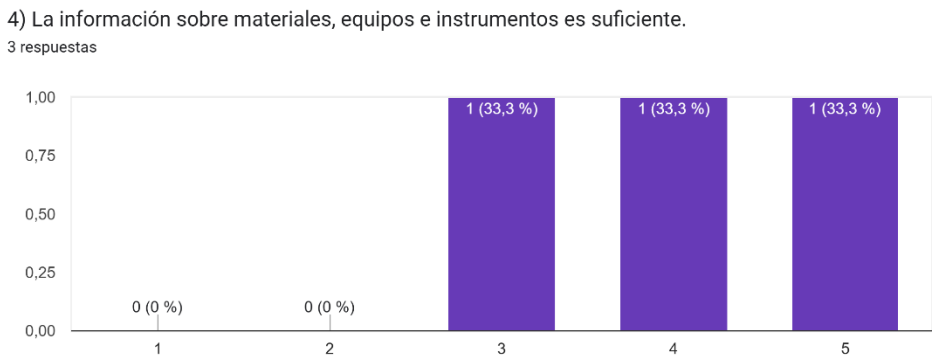


Nota. Elaboración propia a partir de la investigación

En la pregunta 4, presentada en la figura 76. Las respuestas se distribuyeron equitativamente: 33,3% nivel 3, 33,3% nivel 4 y 33,3% nivel 5. Esta variabilidad sugiere que, aunque el contenido fue considerado aceptable, algunos participantes percibieron necesidad de mayor especificidad, especialmente en relación con marcas, modelos o detalles técnicos complementarios.

Figura 76

Resultados previos pregunta 4

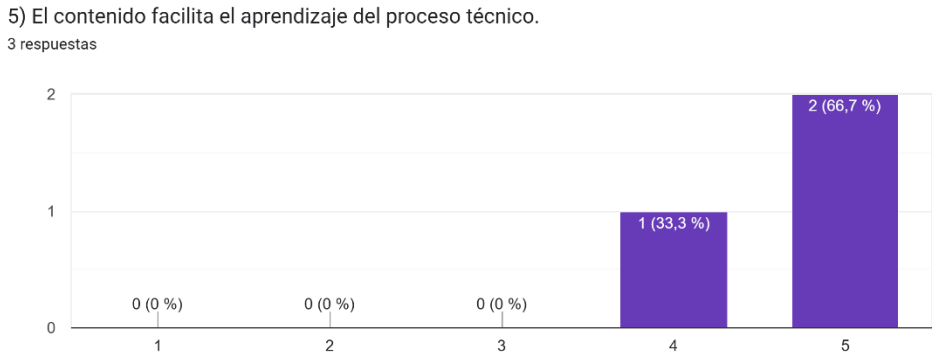


Nota. Elaboración propia a partir de la investigación

En la pregunta 5, presentada en la figura 77. El 66,7% respondió “muy de acuerdo” y el 33,3% “de acuerdo”. Esto demuestra que el protocolo no solo cumple una función operativa, sino también educativa, facilitando la comprensión del flujo de trabajo para personal técnico o estudiantes en formación.

Figura 77

Resultados previos pregunta 5

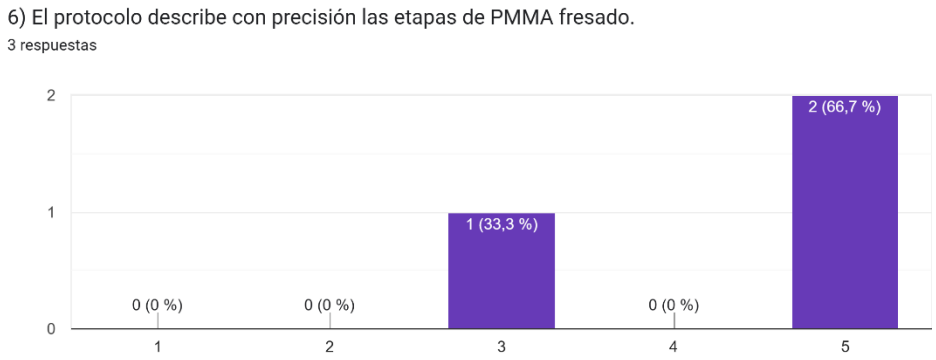


Nota. Elaboración propia a partir de la investigación

En la pregunta 6, presentada en la figura 78. El 66,7% selecciono “muy de acuerdo”, mientras que el 33,3% eligió nivel 3. Estos resultados reflejan una valoración positiva general, aunque también indican que algunos participantes consideran posible ampliar o detallar ciertos pasos relacionados con parámetros específicos del fresado.

Figura 78

Resultados previos pregunta 6

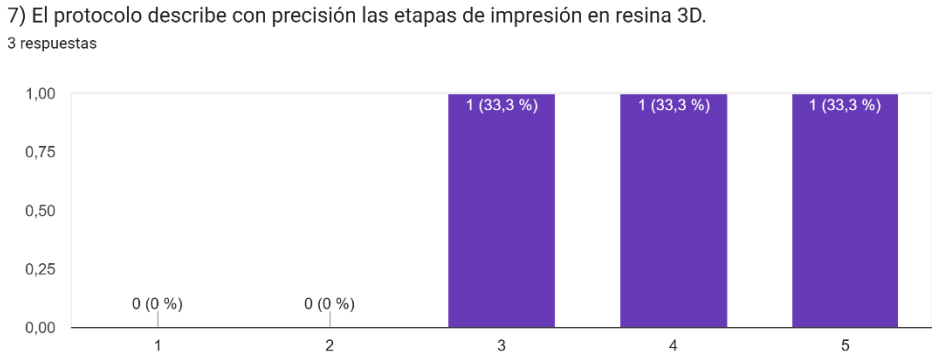


Nota. Elaboración propia a partir de la investigación

En la pregunta 7, presentada en la figura 79. Las respuestas fueron distribuidas entre nivel 3,4 y 5 (33,3% cada uno), lo que evidencia una percepción más heterogénea. Esto puede relacionarse con la complejidad técnica del proceso de impresión 3D, donde variables como orientación, soportes y postcurado requieren mayor nivel de detalle.

Figura 79

Resultados previos pregunta 7

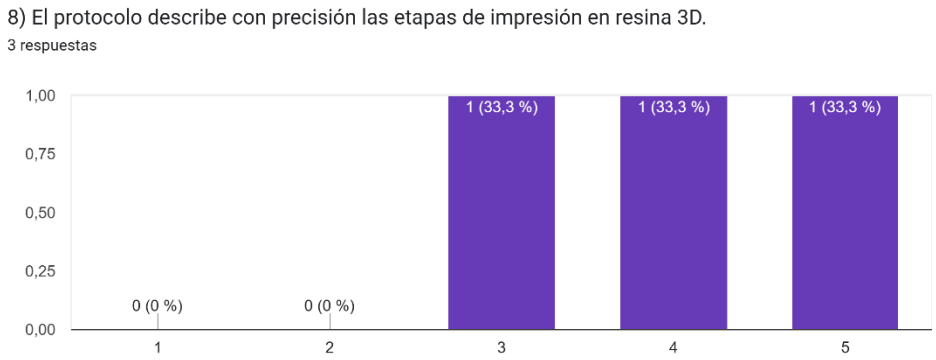


Nota. Elaboración propia a partir de la investigación

En la pregunta 8, presentada en la figura 80. Al repetirse exactamente la misma tendencia de la pregunta anterior (33,3% en niveles 3,4 y 5), se conforma que el área de impresión 3D representa el componente con mayor necesidad de optimización dentro del protocolo, especialmente para mejorar precisión descriptiva y estandarización.

Figura 80

Resultados previos pregunta 8

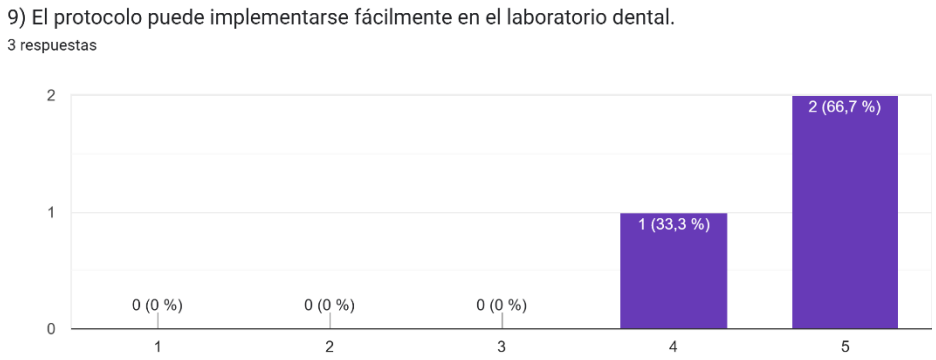


Nota. Elaboración propia a partir de la investigación

En la pregunta 9, presentada en la figura 81. El 66,7% indico “muy de acuerdo” y el 33,3% “de acuerdo”, lo que demuestra una percepción favorable sobre su variabilidad práctica. Esto confirma que el protocolo fue diseñado considerando condiciones reales de laboratorio.

Figura 81

Resultados previos pregunta 9

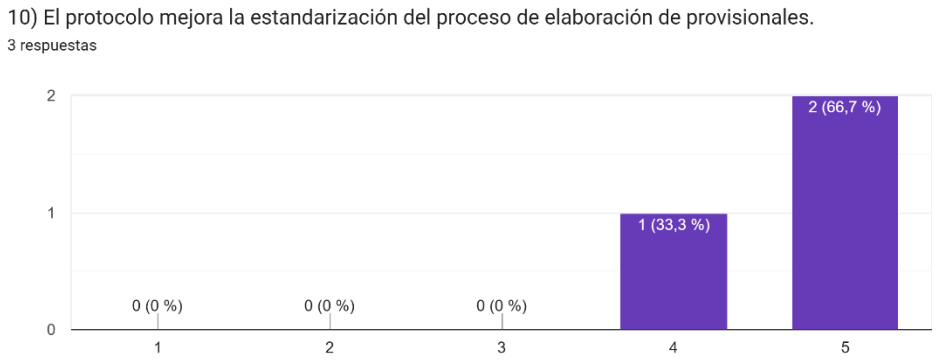


Nota. Elaboración propia a partir de la investigación

En la pregunta 10, presentada en la figura 82. El 66,7% respondió “muy de acuerde” y el 33,3% “de acuerdo”. Este resultado es particularmente relevante, ya que valida el propósito central de la investigación: desarrollar una herramienta que contribuya a uniformar procedimientos técnicos.

Figura 82

Resultados previos pregunta 10

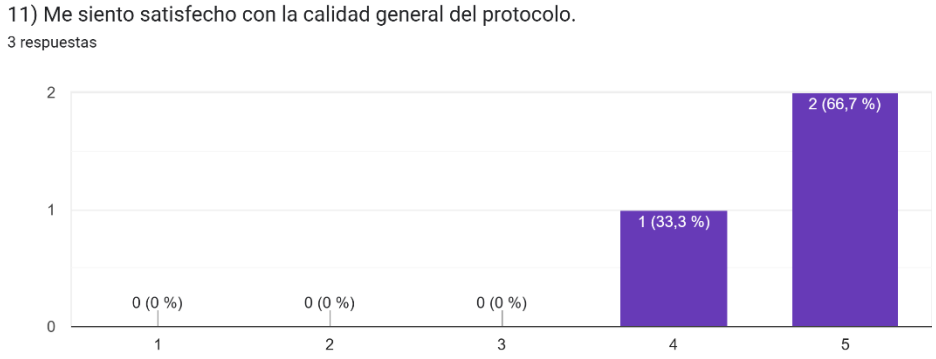


Nota. Elaboración propia a partir de la investigación

En la pregunta 11, presentada en la figura 83. El 66,7% seleccionó “muy de acuerdo” y el 33,3% “de acuerdo”, evidenciando una aceptación global positiva. Esto indica que el protocolo fue percibido como una propuesta sólida, útil y profesionalmente pertinente.

Figura 83

Resultados previos pregunta 11

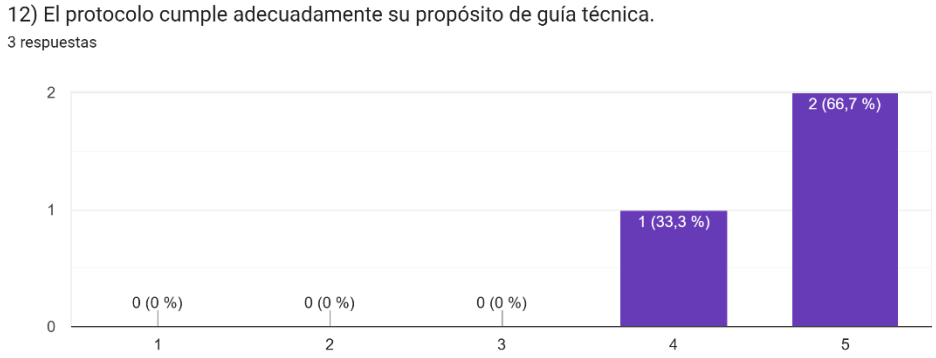


Nota. Elaboración propia a partir de la investigación

En la pregunta 12, presentada en la figura 84. Nuevamente, el 66,7% manifestó “muy de acuerdo” y el 33,3% “de acuerdo”, consolidando la validación general del documento como instrumento técnico aplicable y funcional.

Figura 84

Resultados previos pregunta 12



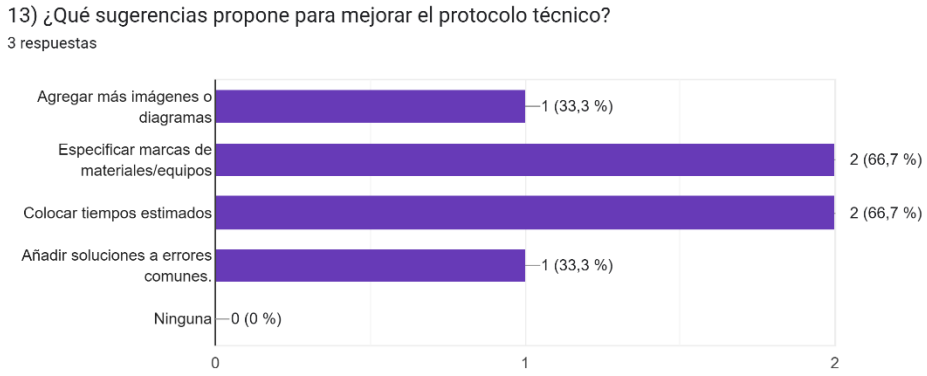
Nota. Elaboración propia a partir de la investigación

En la pregunta 13, presentada en la figura 85. De las recomendaciones obtenidas, fueron:

- Especificar marcas de materiales / equipos 66,7%
- Colocar tiempos estimados 66,7%
- Agregar mas imágenes o diagramas 33,3%
- Añadir soluciones a errores comunes 33,3%

Figura 85

Resultados previos pregunta 13



Nota. Elaboración propia a partir de la investigación

Estas sugerencias muestran que, aunque el protocolo fue ampliamente aceptado, existe interés en fortalecerlo mediante recursos más prácticos, visuales y específicos. Esto permitiría convertirlo en una herramienta aún más completa para implementación y capacitación.

3.6.5 *4.2.1 Matriz de Validación del producto*

La matriz de validación, presentada en la tabla 8, fue diseñada para evaluar de forma objetiva la calidad técnica de coronas provisionales elaboradas mediante PMMA fresado y resina 3D, considerando parámetros clínicos, funcionales, estéticos y de manufactura. Su propósito es verificar si el provisional cumple con criterios mínimos de precisión, adaptación y calidad final dentro del protocolo técnico.

Escala de valoración:

1= Deficiente, 2= Regular, 3= Aceptable, 4= Bueno, 5= Excelente

Tabla 8

Matriz de Validación

Parámetro de evaluación	PMMA Fresado	Resina 3D	Resultados / Observaciones
Precisión marginal	5	4	El ajuste de detalle de resina parece ser un poco menor.
Adaptación interna	5	5	
Anatomía oclusal	5	4	La pieza fresada tiene mayor detalle en cuanto a los surcos anatómicos.
Contactos proximales	5	5	
Oclusión	5	5	
Acabado superficial	4	4	
Porosidades / defectos	4	4	
Estabilidad estructural	4	4	
Estética general	4	4	
Fidelidad al diseño CAD	5	4	Hay ciertas partes que no se asemejan en la impresión 3D, presumiblemente por la generación en capas.

Puntaje total: Fresado 43/50; Impresión 42/50.

El PMMA posee mejor desempeño en estabilidad; mientras que la impresión 3D posee mejor desempeño en estética general.

Esta matriz permite documentar de forma comparativa el rendimiento técnico real de cada sistema de fabricación, facilitando análisis objetivo de precisión, calidad y reproducibilidad, además de servir como instrumento de control de calidad dentro del protocolo técnico propuesto.

4.3 Discusión de Resultados

Los resultados obtenidos tanto en el Focus Group como en la matriz de validación técnica evidenciaron que el protocolo diseñado cumple adecuadamente con el objetivo de estandarizar el proceso de elaboración de provisionales dentales mediante PMMA fresado y resina 3D, permitiendo organizar de manear secuencial y controlada cada etapa del flujo digital. La valoración positiva obtenida en la encuesta de satisfacción demuestra que los participantes percibieron el protocolo como una herramienta clara, organizada y aplicable dentro del entorno de laboratorio dental, destacado especialmente la comprensión de los procedimientos y la lógica de las etapas descritas.

En relación con la matriz de validación del producto, ambos sistemas de manufactura digital presentaron resultados favorables en parámetros clínicos y funcionales, obteniendo puntajes altos en adaptación interna, contactos proximales y oclusión. El PMMA fresado alcanzo una puntuación toral de 43/50, mientras que la resina 3D obtuvo 42/50, mostrando diferencias mínimas entre ambos métodos. No obstante, el PMMA fresado presento mejor desempeño en precisión marginal, anatomía oclusal y fidelidad al diseño CAD, probablemente debido a la estabilidad dimensional del material y a la precisión mecánica del mecanizado sustractivo. Estos resultados coinciden con estudios de Sidhom et al. Y Jain et al., quienes reportaron que los materiales fresados industrialmente presentan menor

variabilidad estructural y mejor estabilidad dimensional en comparación con materiales fotopolimerizables impresos en capas.

Por otra parte, la resina 3D mostró resultados ligeramente inferiores en precisión marginal y fidelidad anatómica, observándose pequeñas diferencias en detalles anatómicos y adaptación de superficies, posiblemente relacionadas con la técnica aditiva de impresión por capas, la contracción de polimerización y el postcurado. Sin embargo, su desempeño general fue clínicamente aceptable y comparable al PMMA fresado, lo que demuestra la viabilidad de la impresión 3D como alternativa eficiente para provisionales dentales. Estos hallazgos guardan relación con lo descrito por Zarate-Maquera et al. y Saini et al., quienes señalan que las resinas impresas pueden presentar variaciones dimensionales y propiedades mecánicas dependientes del protocolo de impresión y postprocesado.

Desde el punto de vista práctico, los resultados demuestran que el protocolo posee aplicabilidad real dentro del entorno técnico dental, ya que integra procedimientos organizados, control de calidad y validación funcional de las restauraciones provisionales. Además, la utilización de la matriz de validación permitió fortalecer la confiabilidad técnica del estudio.

Como limitación de la investigación, debe considerarse que la validación fue realizada en un entorno académico y con un número reducido de participantes, por lo que futuras investigaciones podrían ampliar la muestra, incorporar pruebas clínicas en pacientes y desarrollar análisis instrumentales más específicos relacionados con resistencia mecánica, desgaste, estabilidad cromática y adaptación marginal mediante métodos digitales de medición. A pesar de ello, los resultados obtenidos permiten ocluir que tanto el PMMA fresado como la resina 3D constituyen alternativas viables para la elaboración de provisionales dentales, siendo el PMMA ligeramente superior en precisión y estabilidad,

mientras que la impresión 3D destaca por su versatilidad y potencial de optimización tecnológica.

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Los resultados obtenidos evidencian que el protocolo técnico diseñado constituye una herramienta útil para estandarizar la elaboración de provisionales dentales mediante PMMA fresado y resina 3D, al presentar una estructura organizada, lógica y comprensible para el personal técnico evaluador.

La validación realizada permitió identificar que el protocolo mejora la organización del flujo de trabajo, facilita el aprendizaje técnico y contribuye a disminuir la variabilidad en los procedimientos, fortaleciendo la reproducibilidad y el control de calidad dentro del laboratorio dental.

Se observó mayor precisión percibida en el apartado de PMMA fresado, mientras que el proceso de impresión en resina 3D requiere mayor detalle en parámetros específicos, especialmente en etapas como orientación, soportes y postcurado.

Finalmente, el estudio demuestra que la integración de sustento bibliográfico, análisis técnico y validación mediante Focus Group permitió desarrollar una propuesta funcional, con potencial de mejora continua para optimizar su aplicación práctica.

Recomendaciones

Se recomienda implementar el protocolo técnico diseñado en laboratorios dentales educativos como una herramienta de estandarización para optimizar la elaboración de provisionales mediante PMMA fresado y resina 3D, fortaleciendo la calidad, reproducibilidad y eficiencia del proceso.

Es conveniente complementar futuras investigaciones con evaluaciones clínicas y pruebas instrumentales más amplias, incluyendo mediciones precisas de ajuste marginal, resistencia mecánica, estabilidad cromática y comportamiento funcional, con el fin de validar de manera integral el desempeño de ambos sistemas de manufactura digital.

Se sugiere ampliar la muestra de estudio incorporando técnicos dentales, odontólogos rehabilitadores y especialistas en odontología más robusta y representativa del protocolo.

Asimismo, resulta pertinente desarrollar actualizaciones periódicas del protocolo conforme evolucionen las tecnologías CAD/CAM, los sistemas de impresión 3D y los biomateriales dentales, garantizando su vigencia científica, aplicabilidad técnica y adaptación a nuevas exigencias del laboratorio dental contemporáneo.

Referencias Bibliográficas

Abdulmohsen, A. A., et al. (2022). Marginal adaptation and internal fit of 3D-printed provisional crowns and fixed dental prosthesis resins compared to CAD/CAM-milled and conventional provisional resins: A systematic review and meta-analysis. Coatings, 12(11), 1777. https://doi.org/10.3390/coatings12111777

Alharbi, N., Osman, R., & Wismeijer, D. (2016). Effects of build direction on the mechanical propertirs of 3D-printed complete coverage interim dental restoration. *Journal of Prosthodontics*, 25(3), 181-188. https://doi.org/10.1111/jopr.12427

Alsubaiy, E. F. (2023). Micro-CT analysis of 3D printed provisional crowns fitting. *Technology and Health Care*, 31(1), 1-12. https://doi.org/10.3233/THC-220304

Al-Wahadni, A., Abu Rashed, B. O., Al-Fodeh, R., Tabanjah, A., & Hatamleh, M. (2023). Marginal and internal gaps, surface roughness and fracture resistance of provisional crowns fabricated with 3D printing and milling systems. *Operative Dentistry*, 48(4), 464-471. https://doi.org/10.2341/22-095-L

Anusavice, K. J., Shen, C., & Rawls, H. R. (2013). Phillips´science of dental materials (12th ed.). *Elsevier.*

Boitelle, P., Mawussi, B., Tapie, L., & Fromentin, O. (2014). A systematic review of CAD/CAM fit restoration evaluations. *Journal of Oral Rehabilitation*, 41(11), 853-874.

Hasanzade, M., Zabandan, D., Mosaddad, S. A., & Habinzadeh, S. (2023). Comparison of marginal ans internal adaptation of provisional polymethyl methacrylate restorations fabricated by two three-dimansional printers: An in vitro study. *Dental Research Journal*, 20(87), 1-9. https://doi.org/10.4103/1735-3327.384358

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. *McGraw-Hill.*

Igret, A., Rotar, R. N., Ille, C., Topala, F., & Jivanescu, A. (2023). Marginal fit of milled versus different 3D-printed materials for provisional fixed dental protheses: An in vitro comparative study. *Medicine and Pharmacy Reports*, 96(3), 298-304. https://doi.org/10.15386/mpr-2588

International Organization for Standardization. (2018). ISO 10477:2018 Dentistry-Polymer-based crown and veneering materials. https://www.iso.org/standard/68466.html

Jain, R., Taneja, A., Kumar, M., & Gupta, R. (2022). Additive manufacturing of interim dental restorations: Effect of manufacturing process and material type on mechanical properties. *Polymers*, 14(13), 2691. https://doi.org/10.3390/polym14132691

Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227–232. https://doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037

Puppala, P., Mistry, G. S., Parab, S. B., Chitnis, A. V., & Pokharkar, A. (2025). Comparison of marginal fit and fracture strength between conventional and CAD/CAM-milled provisional crowns: A systematic review. *Journal of Neonatal Surgery*, 14(1), 1–12.

Revilla-León, M., & Özcan, M. (2019). Additive and subtractive technologies used for processing polymers in dental applications. *Journal of Prosthodontic Research*, 63(3), 250–263. https://doi.org/10.1016/j.jpor.2019.01.002

Saini, R., et al. (2024). The flexural strength of 3D-printed provisional restorations fabricated with different resins: An in vitro comparative study. *BMC Oral Health*, 24, 1–12.

Sidhom, M., Zaghloul, H., Mosleh, I. E., & Eldwakhly, E. (2022). Effect of different CAD/CAM milling and 3D printing digital fabrication techniques on the accuracy of PMMA working models and vertical marginal fit of PMMA provisional dental prosthesis: An in vitro study. *Polymers*, 14(7), 1285. https://doi.org/10.3390/polym14071285

Tamayo y Tamayo, M. (2004). El proceso de la investigación científica (4.ª ed.). Limusa.

Wu, J., Xie, H., Sadr, A., & Chung, K. H. (2021). Evaluation of internal fit and marginal adaptation of provisional crowns fabricated with three different techniques. *Sensors,* 21(3), 740. https://doi.org/10.3390/s21030740

Zárate-Maquera, M., et al. (2025). Mechanical performance of 3D-printed resins versus CAD/CAM PMMA for provisional crowns. J*ournal of Clinical and Experimental Dentistry*, 17, e1–e10.

ANEXO A: ENCUESTA INICIAL

Protocolo Técnico para la Elaboración de Provisionales Dentales Mediante el Uso de PMMA Fresado y Resina Dental Impresa

Cargo o función

- ◯ Técnico dental
- ◯ Docente
- ◯ Estudiante
- ◯ Auxiliar de laboratorio

¿Utiliza tecnologías digitales para la elaboración de provisionales dentales?

- ◯ Frecuentemente
- ◯ Ocasionalmente
- ◯ Nunca

¿Ha utilizado alguna de estas técnicas para la elaboración de provisionales dentales?

- ◯ PMMA fresado
- ◯ Resina dental impresa en 3D
- ◯ Ambas
- ◯ Ninguna

En el lugar donde lo ha realizado, ¿El procedimiento de elaboración esta estandarizado?

- ◯ Sí
- ◯ Parcialmente
- ◯ No

¿Se cumplen los pasos del procedimiento técnico realizado?

- ◯ Siempre
- ◯ Casi siempre
- ◯ Poco
- ◯ Nunca

¿Ha notado la existencia de etapas donde se presentan errores técnicos continuamente?

- ◯ Siempre
- ◯ Casi siempre
- ◯ Poco
- ◯ Nunca

Errores más frecuentes en la elaboración de provisionales dentales:

- ◯ Mala adaptación marginal
- ◯ Deformación del provisional
- ◯ Fracturas del material
- ◯ Problemas oclusales
- ◯ Defectos de superficie

Principal causa de errores

- ◯ Error humano
- ◯ Falta de protocolo técnico
- ◯ Problemas del material
- ◯ Fallas de software
- ◯ Configuración del equipo incorrecta

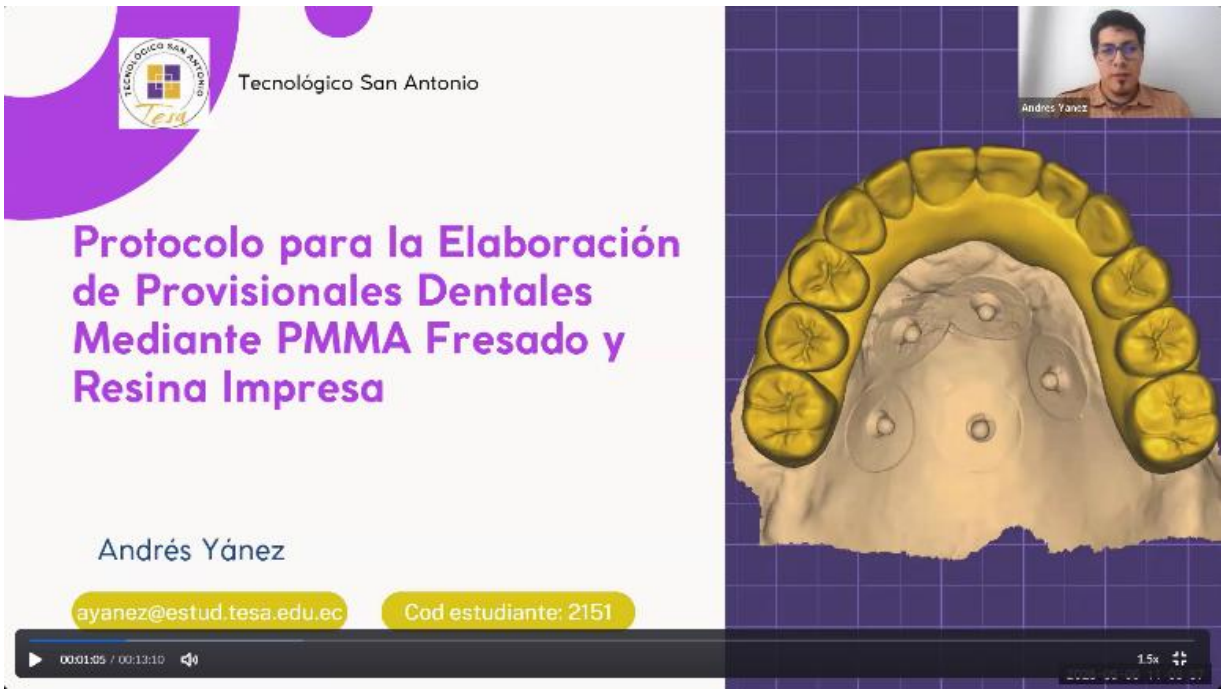
¿Considera necesario la existencia de un protocolo técnico para evitar la mayor cantidad de errores en el proceso?

- ◯ Sí
- ◯ No

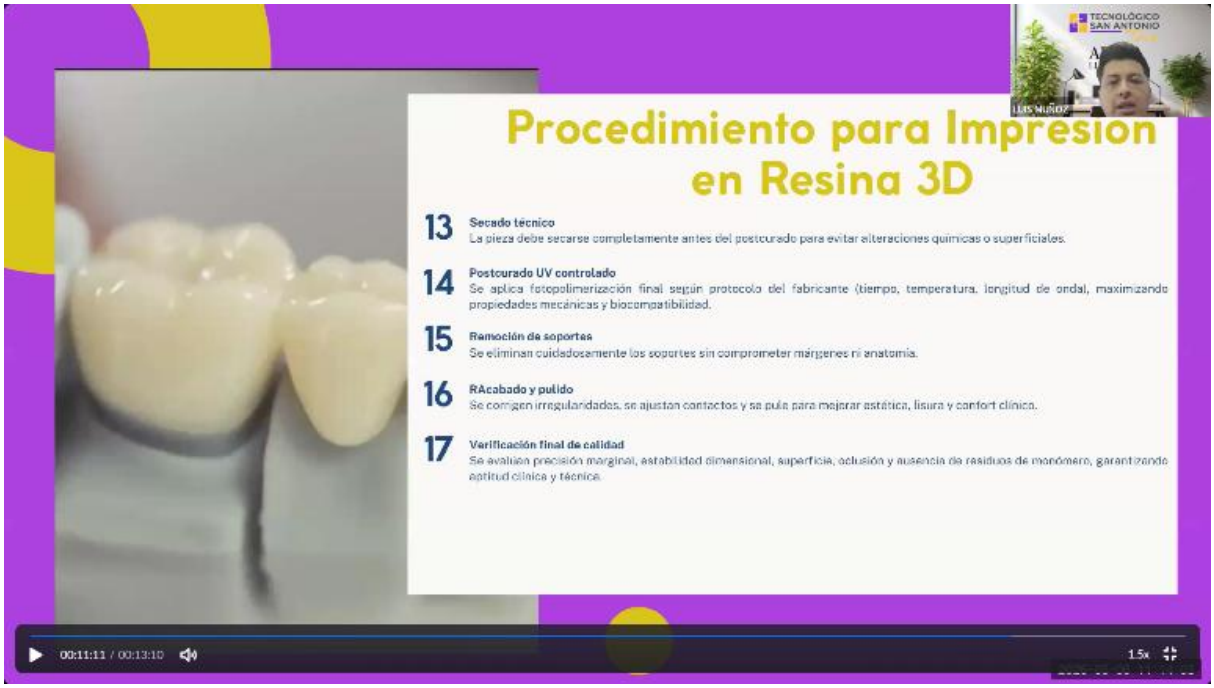
Enviar

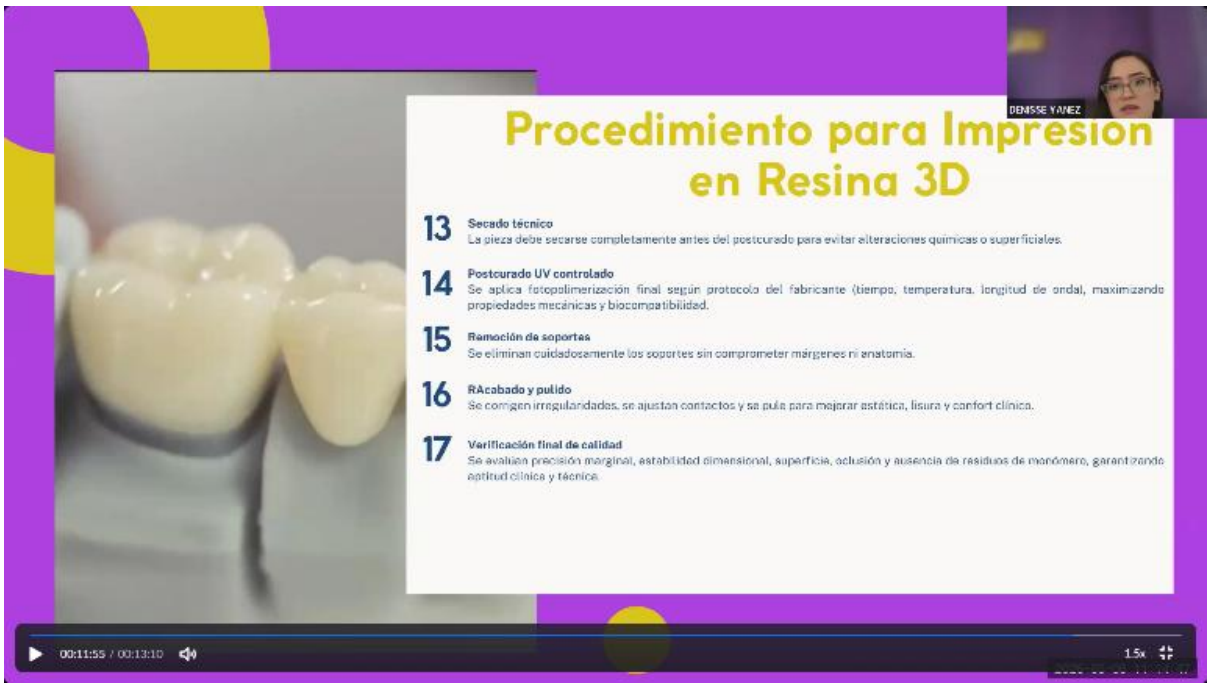
Borrar formulario

ANEXO B: FOCUS GROUP




Procedimiento técnico paso a pa
Andres Yanez
Configuración del eje de inserción
Se establece el eje de inserción protésico considerando paralelismo, retención y ausencia de interferencias. Una orientación incorrecta puede generar zonas de tensión, dificultad de asentamiento o sobreajustes internos. El objetivo es optimizar la colocación clínica y minimizar áreas de fricción innecesaria.
Diseño anatómico inicial de la restauración
Se selecciona una anatomía dental acorde al diente a restaurar utilizando bibliotecas digitales o diseño personalizado. Debe respetarse morfología funcional, contorno cervical, altura cuspídea y relaciones interproximales. En esta etapa se prioriza equilibrio entre estética y funcionalidad.
Ajuste de contactos proximales y Análisis y ajuste oclusal
Se configuran los puntos de contacto mesial y distal con dientes adyacentes para garantizar estabilidad posicional, evitar impactación alimentaria y preservar salud periodontal. Los contactos deben ser firmes pero clínicamente ajustables, evitando presión excesiva que dificulte inserción.
Análisis y ajuste oclusal
Se evalúan contactos en máxima intercuspidación, movimientos excursivos y espacio funcional. Deben eliminarse prematuridades o sobrecargas, especialmente en provisionales extensos. Esta fase optimiza distribución de fuerzas, reduce riesgo de fractura y mejora comodidad del paciente.
00:02:56 / 00:13:10
1.5x


TECNOLÓGICO SAN ANTONIO
LUIS NUÑEZ
Procedimiento para Impresion en Resina 3D
13 Secado técnico
La pieza debe secarse completamente antes del postcurado para evitar alteraciones químicas o superficiales.
14 Postcurado UV controlado
Se aplica fotopolimerización final según protocolo del fabricante (tiempo, temperatura, longitud de onda), maximizando propiedades mecánicas y biocompatibilidad.
15 Remoción de soportes
Se eliminan cuidadosamente los soportes sin comprometer márgenes ni anatomía.
16 RAcabado y pulido
Se corrigen irregularidades, se ajustan contactos y se pule para mejorar estética, lisura y confort clínico.
17 Verificación final de calidad
Se evalúan precisión marginal, estabilidad dimensional, superficie, oclusión y ausencia de residuos de monómero, garantizando aptitud clínica y técnica.
00:11:11 / 00:13:10
1.5x


DENISSE YAÑEZ
Procedimiento para Impresión en Resina 3D
13 Secado técnico
La pieza debe secarse completamente antes del postcurado para evitar alteraciones químicas o superficiales.
14 Postcurado UV controlado
Se aplica fotopolimerización final según protocolo del fabricante (tiempo, temperatura, longitud de onda), maximizando propiedades mecánicas y biocompatibilidad.
15 Remoción de soportes
Se eliminan cuidadosamente los soportes sin comprometer márgenes ni anatomía.
16 RAcabado y pulido
Se corrigen irregularidades, se ajustan contactos y se pule para mejorar estética, lisura y confort clínico.
17 Verificación final de calidad
Se evalúan precisión marginal, estabilidad dimensional, superficie, oclusión y ausencia de residuos de monómero, garantizando aptitud clínica y técnica.
00:11:55 / 00:13:10
1.5x

ANEXO C: ENCUESTA FINAL

Protocolo para la Elaboración de Provisionales Dentales Mediante PMMA Fresado y Resina Impresa

Escala de Valoración

1. Muy en desacuerdo
2. En desacuerdo
3. Ni de acuerdo ni en desacuerdo
4. De acuerdo
5. Muy de acuerdo

1) El protocolo presenta una estructura organizada y fácil de seguir. *

	1	2	3	4	5	
Muy en desacuerdo	○	○	○	○	○	Muy de acuerdo

2) Los pasos descritos se encuentran presentados en una secuencia lógica. *

	1	2	3	4	5	
Muy en desacuerdo	○	○	○	○	○	Muy de acuerdo

3) Las instrucciones del protocolo son claras y comprensibles. *

	1	2	3	4	5	
Muy en desacuerdo	○	○	○	○	○	Muy de acuerdo

4) La información sobre materiales, equipos e instrumentos es suficiente. *

	1	2	3	4	5	
Muy en desacuerdo	○	○	○	○	○	Muy de acuerdo

5) El contenido facilita el aprendizaje del proceso técnico. *

	1	2	3	4	5	
Muy en desacuerdo	○	○	○	○	○	Muy de acuerdo

6) El protocolo describe con precisión las etapas de PMMA fresado. *

	1	2	3	4	5	
Muy en desacuerdo	○	○	○	○	○	Muy de acuerdo

7) El protocolo describe con precisión las etapas de impresión en resina 3D. *

	1	2	3	4	5	
Muy en desacuerdo	○	○	○	○	○	Muy de acuerdo

8) El protocolo describe con precisión las etapas de impresión en resina 3D. *

	1	2	3	4	5	
Muy en desacuerdo	○	○	○	○	○	Muy de acuerdo

9) El protocolo puede implementarse fácilmente en el laboratorio dental. *

	1	2	3	4	5	
Muy en desacuerdo	○	○	○	○	○	Muy de acuerdo

10) El protocolo mejora la estandarización del proceso de elaboración de provisionales. *

	1	2	3	4	5	
Muy en desacuerdo	○	○	○	○	○	Muy de acuerdo

11) Me siento satisfecho con la calidad general del protocolo. *

	1	2	3	4	5	
Muy en desacuerdo	○	○	○	○	○	Muy de acuerdo

12) El protocolo cumple adecuadamente su propósito de guía técnica. *

	1	2	3	4	5	
Muy en desacuerdo	○	○	○	○	○	Muy de acuerdo

13) ¿Qué sugerencias propone para mejorar el protocolo técnico?

- [ ] Agregar más imágenes o diagramas
- [ ] Especificar marcas de materiales/equipos
- [ ] Colocar tiempos estimados
- [ ] Añadir soluciones a errores comunes.
- [ ] Ninguna

TECNOLÓGICO SAN ANTONIO Tesa

CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD
TESA

La Dirección de Titulación, certifica que el trabajo final presentado por **YANEZ CARRERA ANDRES SEBASTIAN**, ha sido sometido a un análisis de similitud mediante la herramienta Turnitin.

El resultado obtenido refleja un **13%** de similitud, porcentaje que se encuentra dentro de los parámetros establecidos por el Instituto Superior Tecnológico San Antonio – TESA, cumpliendo con los criterios de originalidad y autenticidad académica exigidos.

Quito, 03 de junio del 2026

TECNOLÓGICO SAN ANTONIO Tesa

COORDINACIÓN TITULACIÓN