INSTITUTO SUPERIOR

TECNOLÓGICO SAN ANTONIO

Escuela de Ciencias de la Salud

Instructivo de Fresadoras Híbridas Deprag IDE W54 y Gemstone 3D Pro para el Fresado de Coronas en Bloques y Discos en Santo Domingo en 2025.

Boris Sebastián Rosado Castro

Aparatología Dental

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito para la obtención del título de **Tecnólogo Superior en Aparatología dental**.

Quito, 8 de enero de 2026

INSTITUTO SUPERIOR

TECNOLÓGICO SAN ANTONIO

Escuela de Ciencias de la Salud

HOJA DE CALIFICACIÓN

DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

Instructivo de Fresadoras Híbridas Deprag IDE W54 y Gemstone 3D Pro para el Fresado de Coronas en Bloques y Discos en Santo Domingo en 2025.

Boris Sebastián Rosado Castro

Angélica Torres Cobos, Odontóloga

Quito, 8 de enero 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 dichas 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: Boris Sebastián Rosado Castro

Código de estudiante: 4967

Cédula de estudiante: 0958618100

Lugar y fecha: Quito, 8 de enero 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 http://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UNPUBLISHED DOCUMENT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 theses publishing available on http://bit.ly/COPETheses.

DEDICATORIA

A mis padres, por su apoyo constante y por enseñarme que la disciplina y el esfuerzo son la base de todo logro.

A mis docentes y tutores, quienes compartieron su conocimiento y me guiaron en el camino de la aparatología dental, inspirándome a alcanzar este objetivo.

A mis compañeros de carrera, por las experiencias compartidas y por ser parte de este proceso de aprendizaje. Este triunfo es también suyo, porque cada palabra de aliento y cada enseñanza me impulsaron a culminar este proyecto.

AGRADECIMIENTO

A mi familia, por estar presente en cada etapa de mi formación, brindándome fortaleza en los momentos más difíciles y celebrando conmigo cada avance. A mis profesores del Instituto Superior Tecnológico San Antonio, por su paciencia y dedicación en la transmisión de conocimientos que hoy se reflejan en este trabajo.

A los técnicos dentales de Santo Domingo que colaboraron en la investigación, compartiendo su experiencia y enriqueciendo este proyecto con sus aportes prácticos.

Finalmente, me agradezco a mí mismo por la perseverancia, por no rendirme ante los obstáculos y por confiar en mis capacidades. Este logro es la prueba de que con esfuerzo y pasión se pueden alcanzar grandes metas.

RESUMEN

El objetivo del presente estudio es crear un manual técnico para el uso de las fresadoras híbridas Deprag IDE W54 y Gemstone 3D Pro para el fresado de coronas en bloques y discos en laboratorios dentales en Santo Domingo, año 2025. Para lograr esto, se desarrolla una revisión bibliográfica sobre los sistemas CAD/CAM, que establece cómo se operan las fresadoras híbridas, las propiedades de los materiales restaurativos más utilizados (zirconia, resinas compuestas y disilicato de litio), y destaca la importancia de la calibración, el mantenimiento y la estandarización de procesos de las restauraciones protésicas.

Metodológicamente, la investigación se clasifica como aplicada, con componentes experimentales, no experimentales y transversales, bajo un enfoque mixto. Utiliza revisión documental de manuales de fabricantes y literatura científica, observación directa en laboratorios dentales en Santo Domingo, entrevistas con técnicos experimentados en fresado CAD/CAM, y pruebas de campo con diferentes materiales y modos de fresado (seco y húmedo). Estos estudios permiten detectar errores comunes relacionados con la calibración, el desgaste de herramientas, la selección inadecuada del modo de trabajo y el mal mantenimiento del equipo.

Como producto final, se proporciona un manual técnico estructurado, que incluye procedimientos de calibración y parámetros de fresado por material, pautas de mantenimiento preventivo y secciones de resolución de problemas. Este manual tiene como objetivo estandarizar el uso de las fresadoras híbridas, optimizar tiempos de trabajo, reducir el desperdicio de material, disminuir fallas operativas y fortalecer el conocimiento técnico de estudiantes y técnicos en la carrera de Aparatología Dental en el TESA.

Palabras clave: CAD/CAM, fresado híbrido, manual técnico, restauración dental, mantenimiento, estandarización

ABSTRACT

The objective of this study is to create a technical manual for the use of Deprag IDE W54 and Gemstone 3D Pro hybrid milling machines for crown milling in blocks and discs at dental laboratories in Santo Domingo, 2025. To achieve this, a literature review on CAD/CAM systems was conducted, establishing operational procedures for hybrid milling machines, properties of common restorative materials (zirconia, composite resins, and lithium disilicate), and emphasizing the importance of calibration, maintenance, and process standardization.

Methodologically, the research is classified as applied, with experimental, non-experimental, and cross-sectional components under a mixed approach. It utilizes documentary review of manufacturer manuals and scientific literature, direct observation in dental laboratories, interviews with experienced CAD/CAM technicians, and field tests with different materials and milling modes (dry and wet). These studies identify common errors related to calibration, tool wear, improper mode selection, and poor equipment maintenance.

As a final product, a structured technical manual is provided, including calibration procedures, material-specific milling parameters, preventive maintenance guidelines, and troubleshooting sections. This manual aims to standardize the use of hybrid milling machines, optimize workflows, reduce material waste, minimize operational failures, and strengthen the technical knowledge of students and technicians in the Dental Appliances program at TESA.

Keywords: CAD/CAM, hybrid milling, technical manual, dental restoration, maintenance, standardization.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN 15

1.1. Planteamiento del Problema 15

1.2. Justificación 16

1.3. Alcance 18

1.4. Objetivo General y Objetivos Específicos 19

1.4.1. Objetivo General 19

1.4.2. Objetivos Específicos 19

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO 20

2.1. Sistemas CAD/CAM en Odontología 20

2.2. Fresadoras híbridas 20

2.3. Materiales Restaurativos en la Fabricación Dental 21

2.4. Importancia de la calibración en máquinas de fresado híbridas 22

2.5. Mantenimiento Preventivo y Rendimiento 22

2.6. Factores Clave que Determinan la Precisión del Fresado 23

2.7. Problemas Típicos Relacionados con el Fresado Dental y sus Remedios Correspondientes 23

2.8. Relevancia de la Estandarización en los Laboratorios Dentales 24

2.9. Fresadoras híbridas Deprag IDE W54 y Gemstone 3D Pro en el flujo digital 24

2.9.1. Características técnicas relevantes de la fresadora Deprag IDE W54 25

2.9.2. Sistema Gemstone 3D Pro como material restaurador 25

2.10. Protocolo general de fresado de coronas en bloques y discos 26

2.10.1. Secuencia operativa para el manual técnico 27

2.10.2. Control de calidad posterior al fresado 28

2.11. Protocolo de sinterización y acabado de coronas en zirconia 28

2.12 Implementación del instructivo en Santo Domingo en 2025 29
2.13 Integración del manual en el flujo clínico–laboratorio..... 30
2.14 Formación y competencias del técnico dental en fresado híbrido..... 30
2.15 Indicadores de calidad y monitoreo del proceso 31
2.16 Gestión de riesgos y seguridad en el uso de fresadoras híbridas..... 32
2.17 Impacto económico y organizativo en laboratorios de ciudades intermedias 33
2.18 Perspectivas futuras del fresado digital y su complementariedad con otras tecnologías..... 34
2.19 Ajustes de parámetros de fresado en máquinas híbridas 34
2.19.1. Velocidad del husillo y avance de la herramienta..... 35
2.19.2. Profundidad de pasada y estrategias de trayectoria..... 35
2.19.3. Selección de herramientas y frecuencia de recambio..... 36
2.20. Programación de tiempos de fresado y gestión de la carga de trabajo..... 37
2.20.1. Estimación de tiempos por tipo de restauración..... 37
2.20.2. Optimización por agrupación de trabajos..... 37
2.21. Aspectos mecánicos y su influencia en la precisión del fresado 38
2.21.1. Rigidez estructural y estabilidad de los ejes..... 38
2.21.2. Sistemas de sujeción de discos y bloques..... 39
2.22. Ítems clave para la evaluación del manual y la obtención de buenas conclusiones 40
CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO..... 42
3.1 Tipo de Investigación 42
3.2. Enfoque de la investigación..... 43
3.3. Herramientas metodológicas 43
3.4. Técnicas..... 44

3.5. Estudios iniciales 45

3.5.1. Gráfico de Variables 45

3.5.2 Criterios de Inclusión y Exclusión 45

3.5.3 Muestreo 45

3.5.4 Encuesta Inicial 46

ANEXO A: Encuesta Inicial. 46

3.5.4.2 Análisis de resultados de la encuesta inicial 52

3.6 Desarrollo 52

3.6.1 Matriz de operacionalización de variables 53

3.6.1 Fases del desarrollo del producto 56

3.6.1.1 Fase de investigación y recopilación de información 56

3.6.1.2 Fase de análisis del contexto y necesidades 56

3.6.1.3 Fase de diseño conceptual del proceso 56

3.6.1.4 Fase de diseño digital (CAD) 57

3.6.1.5 Fase de preparación para la fabricación (CAM) 57

3.6.1.6 Fase de fabricación del prototipo 58

3.6.1.7 Fase de evaluación y ajustes 58

3.6.1.8 Fase de elaboración final del manual 58

3.6.1.9 Fase de impresión del manual 59

3.6.2 Desarrollo de producto 60

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSION 62

4.1 Análisis e interpretación de resultados 62

ANEXO B: En cuesta de satisfacción final. 62

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 67

BIBLIOGRAFÍA 71

ANEXO A: Encuesta inicial 75

ANEXO B: Encuesta de satisfacción final 77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Criterios de inclusión y exclusión..... 45

Tabla 2 Matriz operacionalización de variables 53

Tabla 3 Desarrollo de producto 60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Pregunta 1 encuesta Inicial..... 47

Figura 2 Pregunta 2 encuesta Inicial..... 47

Figura 3 Pregunta 3 encuesta Inicial..... 48

Figura 4 Pregunta 4 encuesta Inicial..... 48

Figura 5 Pregunta 5 encuesta Inicial..... 49

Figura 6 Pregunta 6 encuesta Inicial..... 50

Figura 7 Pregunta 7 encuesta Inicial..... 50

Figura 8 Pregunta 8 encuesta Inicial..... 51

Figura 9 Pregunta 1 Encuesta de Satisfacción..... 62

Figura 10 Pregunta 2 Encuesta de Satisfacción..... 62

Figura 11 Pregunta 3 Encuesta de Satisfacción..... 63

Figura 12 Pregunta 4 Encuesta de Satisfacción..... 64

Figura 13 Pregunta 5 Encuesta de Satisfacción..... 64

Figura 14 Pregunta 6 Encuesta de Satisfacción..... 65

Figura 15 Pregunta 7 Encuesta de Satisfacción..... 66

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

La aparición de máquinas fresadoras híbridas en el campo de la odontología ha permitido nuevas formas de fabricación de prótesis dentales, lo que promueve una mayor precisión y optimización del tiempo de producción (Strietzel & Reich, 2021). Sin embargo, en el contexto de Santo Domingo, la implementación de estas tecnologías presenta barreras debido a la ausencia de documentación técnica clara y comprensible en español, limitando su uso en laboratorios dentales.

El mayor problema con estos dispositivos son las dificultades con la calibración y el mantenimiento, lo que lleva a inexactitudes en la producción de coronas, generación significativa de residuos y eventualmente mayores costos operativos. La interacción precisa de estos procesos dependerá en última instancia de la configuración exacta de fresado (Park & Kim, 2020), demostrando la necesidad de guías detalladas.

Otro núcleo del problema es la necesidad de capacitación continua para los técnicos dentales. Muchos de los manuales operativos de estas fresadoras están solo en inglés o utilizan terminología técnica que no todos los usuarios pueden comprender. Dichas barreras de idioma y técnicas pueden desalentar el autoaprendizaje, por lo que se hace necesario desarrollar un manual en español, práctico y didáctico, para usar adecuadamente las fresadoras.

Además, la capacitación de los técnicos dentales en Santo Domingo muestra limitaciones para el funcionamiento adecuado de las fresadoras híbridas. Estas herramientas se aplican en la gran mayoría de los laboratorios que carecen de una comprensión completa de su operación, lo que impacta en la calidad de las restauraciones dentales (Zhang & Lawn, 2021).

Esto llevó a la necesidad de crear un manual operativo detallado para el uso de las fresadoras híbridas Deprag IDE W54 y Gemstone 3D Pro. Este documento no solo guiará el funcionamiento del equipo, sino que también incluirá protocolos de calibración, mantenimiento y resolución de problemas, permitiendo a los técnicos dentales tener un mejor rendimiento con mínimos errores al hacer las coronas.

La solución a este problema nos permitirá estandarizar los procesos en los laboratorios dentales de la provincia de Santo Domingo, mejorando así la calidad de las restauraciones y reduciendo los tiempos de producción. Además, garantizará que los operadores estén informados con información exacta y clara con alta precisión, ayudando a construir conocimiento y proporcionando un trabajo productivo a las máquinas de fresado híbridas en la industria dental.

1.2. Justificación

La realidad que necesitaba esta investigación y reflejada en el objetivo principal, consiste en idear un manual técnico para las fresadoras híbridas Deprag IDE W54 y Gemstone 3D Pro, que constituiría una herramienta fundamental para mejorar la productividad, precisión y calidad en los procesos de laboratorio de fabricación de coronas dentales en Santo Domingo.

El aumento de la digitalización en el sector dental ha llevado a la introducción de tecnologías más avanzadas en los procesos de fresado, pero la falta de documentación adaptada localmente, además de la escasa capacitación especializada, compromete su uso óptimo. Este proyecto busca remediar estas deficiencias ofreciendo un manual rico y digerible que permita a los técnicos dentales aprovechar estas herramientas al máximo potencial.

Sin embargo, una de las principales razones que justifica la realización de este trabajo es la estandarización de los procesos de fresado dentro de los laboratorios

dentales. Ahora, generalmente significa que el técnico aprende a trabajar estas máquinas fresadoras mediante ensayo y error, lo que provoca un aumento del margen de error, pérdidas de material y también costos de producción adicionales. Un manual bien estructurado y detallado ayudará a los operadores a comprender todas las etapas del proceso, desde el ensamblaje del equipo hasta su calibración y mantenimiento, reduciendo la variabilidad de los resultados y aumentando la calidad final de las restauraciones.

Este documento, además, complementará y mantendrá una capacitación permanente del personal técnico. La mayoría de los manuales de operación para estas máquinas fresadoras están solo en inglés y están escritos a un nivel técnico muy alto, a menudo tan alto que no se prestan a la comprensión de alguien que no sea avanzado en el idioma inglés o en conocimientos de operación CAD/CAM. El manual, que estará escrito en español, con guías y explicaciones prácticas, ayudará al aprendizaje, así como a la correcta aplicación de los procedimientos y a que muchas más personas puedan acceder a esta tecnología, sin necesidad de asistir a cursos costosos o capacitaciones con poca disponibilidad.

La mejora de la calidad de las restauraciones dentales es otro punto principal de justificación. Operar correctamente las máquinas fresadoras híbridas permite un ajuste más preciso de las coronas con una mayor precisión de los matices anatómicos y evita la remanipulación manual. Esto significa que las restauraciones no solo son más robustas, sino también más visualmente atractivas, beneficiando tanto al técnico por un lado como al paciente por otro con una calidad de tratamiento mejorada.

Económicamente, este proyecto añade valor a los laboratorios dentales también porque, al optimizar los procesos de fresado, minimiza el desperdicio de material y, por consiguiente, mejora la productividad. La producción eficiente permite satisfacer una

mayor demanda de prótesis en un período más corto de tiempo, lo que proporciona una ventaja competitiva a los laboratorios que aplican adecuadamente el uso de estas máquinas fresadoras.

En resumen, un manual técnico para las fresadoras híbridas Deprag IDE W54 y Gemstone 3D Pro debe producirse como una necesidad urgente del sector dental de Santo Domingo de los Tsáchilas en Ecuador (algunos tipos de maquinaria CAD dental) ayudarán no solo con la capacitación y cómo usar correctamente estas máquinas, sino también con la estandarización de procesos, la mejora de la calidad de las restauraciones y la optimización de los recursos de laboratorio. Este proyecto marca un importante paso en la modernización y profesionalización del fresado dental en la región.

1.3. Alcance

Tendrá como objeto principal hacer un manual técnico para los técnicos dentales en Santo Domingo que utilizan las fresadoras híbridas Deprag IDE W54 y Gemstone 3D Pro para la fabricación de coronas dentales. El manual incluirá la configuración del equipo, el procesamiento de bloques y discos, mantenimiento y resolución de problemas.

El manual se estructurará en base a la recopilación de información técnica, la creación de materiales visuales complementarios y la validación del documento con especialistas en el área. Esto no incluirá capacitación presencial de técnicos ni programas formales de capacitación, pero compartirá recursos para el autoaprendizaje y la mejora de procesos en laboratorios dentales. El documento abordará:

Detalle de operación, calibración y mantenimiento en máquinas fresadoras híbridas Disco, Deprag IDE W54 y Gemstone 3D Pro – manual técnico digital e impreso.

Información gráfica y esquemática para comprender mejor los procesos descritos en los manuales.

Guía para detección de fallas operativas para que los técnicos resuelvan problemas operativos sin recurrir a servicios técnicos de terceros. Recomendaciones para prolongar la vida útil de fresas y componentes.

El manual no cubre los programas de formación presencial, los cursos certificados ni el desarrollo de software adicional o herramientas digitales. Tampoco cubre el fresado de piezas que no están relacionadas con coronas dentales o procesos de diseño CAD, ya que ese contenido excede el objetivo principal.

El objetivo es la creación de contenido técnico y educativo que sirva como guía para que los operadores puedan auto aprender y realizar correctamente sus procedimientos en el laboratorio.

1.4. Objetivo General y Objetivos Específicos

1.4.1. *Objetivo General*

Establecer un instructivo de fresadoras híbridas Deprag IDE W54 y Gemstone 3D Pro para el fresado de coronas en bloques y discos en Santo Domingo en 2025.

1.4.2. *Objetivos Específicos*

- Desarrollar un instructivo técnico detallado sobre el uso, calibración y mantenimiento de las fresadoras híbridas Deprag IDE W54 y Gemstone 3D Pro, con el fin de optimizar su funcionamiento en laboratorios dentales de Santo Domingo.
- Investigar y recopilar información técnica relevante de los manuales de usuario y guías de fabricantes para estructurar un documento accesible y adaptado a la realidad de los técnicos dentales.
- Elaborar material didáctico complementario (gráficos, diagramas y guías paso a paso) que facilite la comprensión del uso correcto de las fresadoras.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

La tecnología CAD/CAM ha cambiado significativamente los procesos de los laboratorios dentales, particularmente en la fabricación de restauraciones protésicas. Varias máquinas de fresado híbridas (Deprag IDE W54, Gemstone 3D Pro) han madurado en los últimos años para convertirse en instrumentos integrales utilizados para fabricar coronas dentales de manera precisa y eficiente. En este capítulo se establecerán los fundamentos teóricos, conceptos clave y bases científicas que subyacen al manual propuesto, abordando particularmente aspectos tecnológicos y operativos relacionados con el fresado digital.

2.1. Sistemas CAD/CAM en Odontología

Los sistemas CAD/CAM cambiaron la forma en que los laboratorios dentales podían diseñar restauraciones. Estos sistemas permitieron la digitalización de procesos que anteriormente dependían en gran medida del esfuerzo manual de un técnico dental, desde el primer día. (Mörmann, 2019) observa que el CAD/CAM ha disminuido los errores en los diseños tradicionales y ha facilitado el ajuste marginal en las restauraciones, incluidas las estructuras más complicadas (es decir, coronas de zirconia).

Además, Miyazaki et al. (2022), señalan que la estabilidad mecánica obtenida del fresado digital ha disminuido el requisito de ajuste para el seguimiento, lo que a su vez hace que el técnico, el dentista y los clientes estén más satisfechos.

2.2. Fresadoras híbridas

En este sentido, las máquinas de fresado híbridas sirven como un compromiso entre procesos altamente industrializados que atienden el interés general y especializado de los laboratorios dentales locales.

Las máquinas de fresado híbridas se denominan así porque pueden trabajar en dos métodos diferentes que incluyen fresado en seco y fresado en húmedo, pero de

acuerdo con el material y la recomendación de los fabricantes. Está diseñado para aplicaciones generales y precisión, donde el usuario procesa bloques/discos restaurativos variados.

Características principales:

Método en seco: Sugerido para zirconia pre-sinterizada y resinas compuestas.

Método en húmedo: requerido para disilicato de litio y cerámicas de vidrio para evitar grietas tras el sobrecalentamiento.

Motores de alta precisión: control de ejes preciso, acciones tridimensionales y permiten movimiento para precisión precisa (Park & Kim, 2020).

Integración de varios materiales restaurativos: una ventaja para los laboratorios versátiles.

Paquetes de software: Para leer archivos STL o compatibles. Estas propiedades hacen que las máquinas de fresado híbridas sean equipos indispensables para los métodos de restauración actuales.

2.3. Materiales Restaurativos en la Fabricación Dental

Las principales coronas fresadas están hechas de:

Zirconia

Conocida por su resistencia, biocompatibilidad y durabilidad. Su microestructura soporta altas cargas oclusales (Zhang & Lawn, 2021), por lo que puede usarse en sectores posteriores.

Disilicato de litio

Un material de vidrio altamente estético adecuado para la fabricación de sectores anteriores. Está sujeto al calor, lo que lo hace vulnerable al fresado en húmedo.

Resinas compuestas y polímeros híbridos

Son más suaves que la zirconia, lo que minimiza el desgaste de las herramientas y permite velocidades de proceso más rápidas. Esta comprensión ayudará a establecer un sistema de fresado preciso y evitar averías, procesos rotos.

2.4. Importancia de la calibración en máquinas de fresado híbridas

La calibración es uno de los procesos cruciales e importantes para mantener la fiabilidad en la producción. Park & Kim (2020), mostraron que pequeñas calibraciones pueden resultar en grandes errores dimensionales que cambian el ajuste marginal de la restauración.

Errores comunes debido a la falta de calibración son:

Desgaste irregular de herramientas.

Desalineaciones en las líneas de contacto oclusal.

Pérdida de precisión de los detalles anatómicos.

Aumento de residuos de material.

Por estas razones, el manual técnico debe tener procedimientos de calibración bien definidos diarios, semanales y mensuales.

2.5. Mantenimiento Preventivo y Rendimiento

El mantenimiento previene fallos mecánicos, desgaste prematuro de componentes y paradas inesperadas durante el fresado. técnicos (Roland DG, 2021) recomienda seguir los cronogramas de tareas delineados, incluyendo limpieza de la cámara, lubricación de ejes y revisión de herramientas.

Un mal mantenimiento puede generar:

Ruido excesivo durante el fresado.

Pérdida de estabilidad en los ejes.

Producción de elementos con líneas visibles y mala definición anatómica.

El manual técnico a diseñar debe estandarizar esta operación para asegurar un rendimiento sostenido y confiable.

2.6. Factores Clave que Determinan la Precisión del Fresado

Los siguientes factores determinan la precisión del fresado:

Tipo de material: cada material necesita parámetros específicos de velocidad y enfriamiento.

Condición de la herramienta: Una herramienta desgastada afecta directamente la definición de los bordes.

Configuración del software: La optimización del archivo STL afecta la suavidad del contorno.

Tipo de máquina de fresado: los sistemas híbridos ofrecen mayor precisión, debido a su capacidad para trabajar en diferentes condiciones (Strietzel & Reich, 2021).

Reforzados por estas variables, se pueden lograr restauraciones estables, duraderas y de mejor estética.

2.7. Problemas Típicos Relacionados con el Fresado Dental y sus Remedios Correspondientes

Varios autores han descrito problemas comunes en el pasado en el campo del fresado híbrido relacionados con el operador y la máquina (Abduo & Lyons, 2022).

Los más comunes incluyen:

Fallo del bloque en el proceso de fresado debido a la selección incorrecta del modo (seco/húmedo).

Líneas de fresado no calibradas visibles como resultado.

Bordes fracturados por velocidad inadecuada.

Errores de ajuste causados por la posición incorrecta del bloque o disco.

Las soluciones estandarizadas para todos estos casos específicos y, por lo tanto, la reducción del margen de error en los laboratorios dentales se logra a través de un diseño adecuado del manual.

2.8. Relevancia de la Estandarización en los Laboratorios Dentales

La variedad de resultados es una de las principales dificultades en los laboratorios o laboratorios dentales cuyo trabajo es predominantemente manual. La estandarización asegura:

Replicación de resultados.

Menor dependencia de la experiencia personal del técnico.

Los dentistas obtienen productos finales más consistentes y confiables.

Disminución en el tiempo de fabricación.

Según Strietzel y Reich (2021). Los protocolos estandarizados son esenciales para mantener la calidad en los laboratorios que utilizan tecnologías CAD/CAM.

Este marco teórico señala la necesidad de desarrollar un manual que combine el conocimiento teórico con la práctica, proporcionando procedimientos claros para los técnicos dentales en Santo Domingo.

2.9. Fresadoras híbridas Deprag IDE W54 y Gemstone 3D Pro en el flujo digital

La fresadora Deprag IDE W54 y el sistema de discos Gemstone 3D Pro son dos de esos sistemas híbridos en los que el equipo de fresado y el material restaurador están diseñados para la fabricación de coronas en bloques y discos. El flujo CAD/CAM inserta estos sistemas en el enlace de fabricación, recibiendo el diseño digital de la corona, procesando el bloque o disco seleccionado y produciendo una restauración que sigue los parámetros definidos en el software CAD con espesores y anatomía adecuados.

Se desarrolla un manual técnico particular para esta estrecha relación entre diseño, material y equipo. Desde la perspectiva del autor, esta articulación confirma lo señalado por Rexhepi et al. (2023) y Sulaiman et al (2020), respecto a la influencia fundamental del acoplamiento material-sistema CAD/CAM en la calidad final de la restauración.

2.9.1. Características técnicas relevantes de la fresadora Deprag IDE W54

La fresadora Deprag IDE W54 es una de las máquinas fresadoras de 5 ejes, capaz de trabajar en modos seco y húmedo, y acepta discos de 98 mm y bloques individuales. El manual técnico incluye aspectos específicos que pueden ser altamente relevantes:

Sistema de enfriamiento para un husillo de alta velocidad.

Cambiador automático de herramientas para diferentes fases de fresado (desbaste, acabado, detallado).

Un sistema de sujeción para discos y soportes de bloques; esto ayuda a que los objetos sean estables durante el fresado.

Soporte para archivos STL y los flujos de trabajo estándar de laboratorio.

Estas características tienen un impacto inmediato en la calidad de la superficie, la precisión marginal y la eficiencia en la producción de coronas. En mi opinión, esto es lo que describen Pilecco et al. (2025) y Alghauli et al. (2025), quienes destacan que los centros de fresado de 5 ejes proporcionan un mejor ajuste y mejor estabilidad mecánica.

2.9.2. Sistema Gemstone 3D Pro como material restaurador

Gemstone 3D Pro es un sistema de discos de zirconia multicapa diseñado para máquinas de fresado CAD/CAM. Es adecuado para:

Coronas posteriores sometidas a altas cargas oclusales debido a sus propiedades estéticas y mecánicas.

Coronas anteriores que requieren mejor integración de color y translucidez.

Puentes cortos, según las indicaciones del fabricante.

Las especificaciones establecen que Gemstone 3D Pro debe estar vinculado a ciertos parámetros como (a) espesor mínimo de pared, (b) estrategia de fresado recomendada y (c) ciclo de sinterización posterior para que la zirconia alcance su resistencia final, de acuerdo con las instrucciones.

El autor concluye que, con este vínculo explícito entre diseño, espesor y sinterización, podemos confirmar los hallazgos de Jang et al. (2011) y Attia et al. (2023), en los cuales el espesor y el protocolo térmico condicionan la resistencia a la fractura de las coronas de zirconia.

2.10. Protocolo general de fresado de coronas en bloques y discos

En el contexto de conceptos previos, el fresado de coronas en bloques y discos puede generalizarse en una secuencia generalizada que forma el manual técnico:

Verificación de la máquina (calibración, estado de las fresas, limpieza de la cámara).

Elección del material:

Disco Gemstone 3D Pro u otro disco/bloque compatible.

Definición del modo de fresado (seco para zirconia pre-sinterizada; húmedo para cerámicas vítreas).

Carga del archivo STL para la corona diseñada.

Configuración de la estrategia CAM: desbaste, acabado, fresas de detalle, parámetros de velocidad y avance.

Simulación digital del fresado para identificar las posibles interferencias en el disco/bloque.

Operación de fresado y comprobaciones del proceso. Retiro de la restauración y evaluación inicial de la integridad y ajuste.

Este proceso se modifica posteriormente con procedimientos específicos para los discos Deprag IDE W54 y Gemstone 3D Pro en Santo Domingo. En opinión del autor, la secuencia de observaciones sigue la propuesta de Abreu et al.. (2024), ya que enfatizan la importancia de la armonización para cada fase del flujo CAD/CAM para minimizar el riesgo de errores acumulativos.

Este protocolo se ajusta después con procedimientos específicos para la Deprag IDE W54 y los discos Gemstone 3D Pro en Santo Domingo. Desde la perspectiva del autor, esta secuencia general se alinea con las propuestas de Abreu et al, quienes subrayan la importancia de protocolizar cada fase del flujo CAD/CAM para reducir errores acumulativos.

2.10.1. Secuencia operativa para el manual técnico

El manual debe traducir este protocolo general en pasos operativos concretos para el usuario:

Encender el Deprag IDE W54 y verificar el sistema.

Comprobar la calibración diaria y las alarmas.

Colocar el disco Gemstone 3D Pro o el bloque indicado según la prescripción.

Seleccionar el programa preestablecido en el software (por ejemplo, "Corona en disco – zirconia" o "Corona en bloque – disilicato de litio").

Iniciar el fresado y verificar visualmente si hay ruidos, vibraciones o errores de trayectoria.

Esta secuencia detallada permite reducir la variabilidad entre técnicos y turnos de trabajo. En opinión del autor, esta estructuración de pasos se alinea con las recomendaciones de las guías de flujo digital publicadas por Planmeca y otros

fabricantes, que enfatizan la estandarización operativa como un pilar de la reproducibilidad clínica (Planmeca, (2014); de Abreu et al., (2024)).

2.10.2. Control de calidad posterior al fresado

Se requiere un control sistemático después del fresado:

• Verificación del ajuste marginal en el modelo o muñón digitalizado.

• Se examinan los espesores mínimos oclusales y axiales.

• Verificación de la continuidad de los bordes y crestas (sin microfracturas).

• Evaluación de la superficie para ver si necesita ser refinada o pulida antes de la sinterización.

Los criterios de aceptación y rechazo forman parte de las instrucciones, ya que determinan si la corona debe proceder a la sinterización y el acabado final. La rutina de implementar dicho control de calidad en el lugar de trabajo, en opinión del autor, es una práctica estándar y se basa en el trabajo de varios laboratorios digitales, como GoDigital Dental (2023), al encontrar esta etapa como un filtro esencial para lograr resultados consistentes.

2.11. Protocolo de sinterización y acabado de coronas en zirconia

El ciclo de sinterización es crítico para un Gemstone 3D Pro, en particular, para alcanzar las propiedades mecánicas y de embellecimiento que el fabricante buscaba. Normalmente, el proceso implica:

Curva de calentamiento gradual hasta la temperatura máxima sugerida.

Tiempo de mantenimiento a la temperatura máxima.

Enfriamiento controlado para prevenir tensiones internas.

Manual: Los programas de sinterización se registran en el horno de laboratorio, donde se anota, para cada programa, el rango de temperatura, la duración total, la carga (número de coronas, tamaño, posición en la bandeja) y las notas del operador. Luego, el

acabado y pulido de la corona sinterizada (o como se indique el glaseado), debe ir acompañado de la siguiente descripción:

Fresas o piedras recomendadas.

La velocidad del micromotor.

Etapa de pulido que produce una superficie lisa con el efecto de reducir el desgaste del antagonista.

Desde el punto de vista del escritor, la corrección de estos protocolos hace que la aplicación de lo mostrado por Attia et al. (2023), Mahmoud et al. (2022), y Kronwitter et al. (2025) con influencia directa en la resistencia y ajuste de la zirconia observada a través de la sinterización.

2.12 Implementación del instructivo en Santo Domingo en 2025

En el caso del año 2025 de Santo Domingo, se implementó un manual para las máquinas de fresado híbridas Deprag IDE W54 y el sistema Gemstone 3D Pro que satisface las necesidades relevantes de los laboratorios locales:

Mejorar la calidad y consistencia de las coronas fabricadas.

Disminuir la tasa de error asociada con el mal uso del modo seco/húmedo, la falta de calibración y el mantenimiento insuficiente.

Optimizar los tiempos de trabajo, reduciendo repeticiones y ajustes excesivos en la boca.

Construir el vínculo clínico-laboratorio, proporcionando opciones más predecibles a los dentistas locales.

Por lo tanto, el manual técnico actúa como un instrumento que conecta la comprensión teórica, descrita en el capítulo anterior, con prácticas de operación claramente elaboradas específicamente ajustadas a las condiciones en los laboratorios dentales en Santo Domingo que emplean tecnologías CAD/CAM y máquinas de fresado

híbridas para fabricar coronas en bloques y discos. Desde el punto de vista del autor, este tipo de implementación local fue descrito por Almanbahi (2025) y Sulaiman et al. (2020) quienes muestran el efecto organizacional de la digitalización en los laboratorios que adoptan CAD/CAM.

2.13 Integración del manual en el flujo clínico–laboratorio

El fresado híbrido con tecnología CAD/CAM no es un proceso separado y único, sino un proceso entrelazado que vincula la clínica con el laboratorio. El dentista establece el plan de tratamiento, realiza la preparación dental y recopila registros (ya sea mediante escaneo intraoral o modelos físicos), y el diseño CAD y la fabricación CAM para coronas se realizan en el laboratorio.

Un manual técnico efectivo debe reflejar todo este proceso y asegurar que en cada punto haya suficiente información para evitar fallos de comunicación. Esto consiste en:

Requisitos mínimos para la preparación dental (alturas, ángulos de convergencia, líneas de acabado).

Requisitos de envío para archivos: formato STL, nomenclatura de archivos, indicaciones de color y tipo de material.

Tiempos de respuesta estimados para cada tipo de restauración según el material y la carga de trabajo.

Al documentar estos puntos, el manual actúa como un enlace entre la práctica clínica y el trabajo técnico, minimizando repeticiones, largos ajustes en la boca y discrepancias en las expectativas de resultados. En opinión del autor, este enfoque es consistente con los modelos de “flujo digital 360°” que buscan una comunicación clínica-laboratorio más fluida y eficiente (CADDENT, (2025); TTT Dental, (2025)).

2.14 Formación y competencias del técnico dental en fresado híbrido

La aceptación de la fresadora híbrida como la Deprag IDE W54 implicará un desafío para los tecnólogos dentales, quienes necesitarán adquirir nuevas habilidades además de las tradicionales. Además de los conocimientos sobre materiales y anatomía dental, las habilidades requeridas incluyen, pero no se limitan a:

Trabajar con software CAD/CAM (interpretar archivos STL, editar parámetros, seleccionar trayectorias).

Conocimientos básicos tanto de maquinaria mecánica como electrónica en la fresadora (ejes, husillo, sensores).

Leer los errores y ser capaz de responder a fallos durante el fresado.

Un manual técnico debe incluir secciones de capacitación que incluyan glosarios de términos, capturas de pantalla de los menús principales, descripciones de las funciones clave del software y listas de verificación previas al fresado. Así, no solo sirve como un manual operativo, sino también como una herramienta de capacitación para los nuevos técnicos que ingresan al laboratorio. Esta parte del componente de capacitación apoyará lo que Almanbahi (2025) y Pilecco et al. (2025) enfatizan sobre la importancia de proporcionar a la fuerza laboral técnica habilidades actualizadas con el desarrollo de CAD/CAM.

2.15 Indicadores de calidad y monitoreo del proceso

Para asegurar una calidad consistente entre la máquina de fresada híbrida y los materiales restaurativos, es necesario establecer factores medibles definidos en el laboratorio. Los indicadores que pueden incluirse en el manual son:

Tasa de reprocesamiento: porcentaje de coronas que necesitan rehacerse debido a fracturas, mal ajuste o defectos de fresado.

Tiempo promedio de producción: desde la recepción del archivo STL hasta que la corona esté lista para sinterizar o entregar.

Porcentaje de ajustes extensos en la boca: reportados por dentistas colaboradores.

El manual podría sugerir mantener dichos indicadores como datos mensuales o trimestrales para tendencias, problemas recurrentes (por ejemplo, errores de posicionamiento en ciertos tipos de casos) y para ser utilizados en cambios de parámetros de fresado, mantenimiento y capacitación. Bajo la situación de Santo Domingo, tener estos datos permite justificar futuras inversiones en tecnología, así como demostrar una mejora continua del servicio.

En términos de la perspectiva del autor, tal cultura de monitoreo cumple con las recomendaciones de gestión de calidad para laboratorios digitales modernos propuestas por Kuraray Noritake (2023–2025), GoDigital Dental Laboratory (2023).

2.16 Gestión de riesgos y seguridad en el uso de fresadoras híbridas

El equipo de fresado híbrido puede estar expuesto a riesgos tanto mecánicos como eléctricos y a la exposición al polvo fino de zirconia u otros materiales en el caso de fresado en seco. Por lo tanto, el manual debe tener una disposición de seguridad, incluyendo:

Debe usar equipo de protección personal (gafas, mascarilla, protección auditiva cuando sea necesario).

Limpiar el sistema de extracción de polvo y el funcionamiento del filtro cuando se trabaje en modo seco.

Manejo correcto del refrigerante en modo húmedo (cambiándolo regularmente, limpiando los tanques).

Métodos de parada de emergencia e instrucciones para emergencias eléctricas o fallos técnicos.

La gestión de riesgos no solo salva a los trabajadores del laboratorio, sino que aumenta la vida útil de la máquina de fresado y establece un entorno de trabajo más estable para la fabricación de coronas. Las medidas mencionadas desde el punto de vista del autor se refieren a las de Lee et al. (2023) y Alqutaibi et al. (2025), que advierten sobre los peligros del polvo de zirconia y la necesidad de control de procesos para prevenir fallos en la prótesis y el equipo.

2.17 Impacto económico y organizativo en laboratorios de ciudades intermedias

En ciudades intermedias como Santo Domingo, la incorporación de la tecnología CAD/CAM y las máquinas de fresado híbridas tiene un impacto económico y organizativo significativo. La inversión inicial en equipos y materiales se compensa con:

Reducción en los tiempos de fabricación y entrega.

Disminución de la dependencia de centros de fresados externos.

La capacidad de ofrecer nuevos servicios, como restauraciones de entrega más rápida ("fast-track") o líneas de trabajo diferenciadas por material y estética.

El manual técnico contribuye a hacer sostenible esta inversión, ya que ayuda a reducir la reprocesamiento, optimizar el uso de discos y bloques, y organizar eficientemente los turnos de trabajo de la fresadora. En un entorno competitivo, tener procesos estandarizados y documentados puede convertirse en un factor diferenciador en comparación con otros laboratorios que aún dependen de procesos manuales o parcialmente digitalizados.

Desde la perspectiva del autor, este impacto se alinea con los análisis económicos y de gestión reportados en laboratorios que han migrado a flujos de trabajo CAD/CAM en los últimos años (Almanbahi., (2025); Kuraray Noritake, (2023–2025)).

2.18 Perspectivas futuras del fresado digital y su complementariedad con otras tecnologías

Por último, pero no menos importante, el fresado híbrido debe considerarse como parte de un ecosistema tecnológico en desarrollo. Se espera que los laboratorios mezclen cada vez más, a mediano y largo plazo:

Fresado sustractivo (por ejemplo, realizado utilizando los discos Deprag IDE W54 y Gemstone 3D Pro) para zirconia y materiales de alta resistencia.

Impresión 3D para fabricar provisionales, modelos, guías quirúrgicas y algunas de las restauraciones definitivas utilizando resinas especializadas.

Software sofisticado para la planificación, incorporando datos de escáneres, tomografías y registros funcionales.

En este contexto, el manual técnico que se desarrollará para Santo Domingo en 2025 no es un documento independiente, sino el vehículo para futuras revisiones para incorporar nuevas funcionalidades de software, nuevos materiales restaurativos y cualquier mejora futura de hardware.

De esta manera, el laboratorio se mantiene conectado con los desarrollos mundiales y sigue enfocado en sus propias realidades, instalaciones y pacientes de odontología en la vecindad. Una visión de convergencia tecnológica que emerge es consistente con revisiones recientes sobre materiales y flujos mixtos sustractivos/aditivos en odontología digital desde la perspectiva del autor (Duarte Jr. et al., (2025); Alanazi et al., (2024)).

2.19 Ajustes de parámetros de fresado en máquinas híbridas

Los resultados clínicos y de laboratorio no están determinados solo por el tipo de material o el diseño CAD, sino también por parámetros específicos de fresado de la máquina híbrida. Una velocidad, tasa de avance o profundidad de corte inadecuadas

pueden llevar a bordes agrietados, superficies rugosas, tiempos de trabajo más largos o incluso fallos en el bloque o disco.

En un manual técnico, debe explicarse de manera clara y reproducible cuáles son estos parámetros para que el técnico elija el programa adecuado dependiendo del material, formato (bloque/disco) y tipo de corona a fabricar. Desde el punto de vista del autor, esta definición de parámetros se ajusta a Pilecco et al. (2025) y Lee et al. (2023) al afirmar que la integridad final de la zirconia es resultado tanto del fresado como del sinterizado.

2.19.1. Velocidad del husillo y avance de la herramienta

La velocidad del husillo (rpm) y la tasa de avance (mm/min) son los factores en términos de la interacción entre la fresa y el material:

Velocidades excesivas con poco enfriamiento llevarán al sobrecalentamiento, microgrietas y desgaste acelerado de la herramienta.

Cuando las tasas de avance son demasiado bajas, el tiempo de fresado aumentará; si las tasas de avance se vuelven muy altas, puede haber vibraciones, líneas visibles, así como pérdida de precisión anatómica.

El manual podría sugerir rangos mínimos y máximos para cada material, por ejemplo, zirconia, disilicato de litio o resinas compuestas, y delinear períodos de desbaste y acabado. Desde el punto de vista del autor, son indicativos de estas condiciones de alta maquinabilidad para algunos bloques cerámicos e híbridos descritos, donde el compromiso entre velocidad y tasa de avance se vuelve crítico para asegurar superficies adaptadas y un material sin destruir las propiedades deseadas (Jorquera & Bernasconi, (2018); Prause et al., (2024).

2.19.2. Profundidad de pasada y estrategias de trayectoria

La profundidad de corte (cantidad de material removido en cada capa) y el tipo de trayectoria de fresado (espiral, raster, contorneado, etc.) influyen en:

El tiempo total de fresado.

La calidad de la superficie.

El riesgo de fractura en áreas delgadas (como cúspides o márgenes cervicales).

Las estrategias de desbaste con cortes más profundos pueden combinarse con pasadas de acabado fino en áreas críticas (margen, fosas y fisuras oclusales), que deben especificarse claramente en los programas predefinidos del software CAM. Desde la perspectiva del autor, este equilibrio entre desbaste y acabado se alinea con estudios que relacionan el grosor, la integridad marginal y el comportamiento de fractura en coronas de zirconia (Jang et al., (2011); Mahmoud et al., (2022).

2.19.3. Selección de herramientas y frecuencia de recambio

La selección del diámetro, la geometría y el estado de desgaste de la fresa determina la capacidad de reproducir detalles finos y mantener una adaptación adecuada. El manual debe incluir:

Qué tipo de fresas usar en cada etapa (desbaste, preacabado, acabado).

Número máximo de coronas recomendadas por herramienta antes del reemplazo.

Signos de desgaste (ruido anómalo, líneas de fresado marcadas, aumento del tiempo de corte).

Esto se correlaciona directamente con el estado de la herramienta (un factor que hemos descrito en la parte 2 anteriormente), ya que proporciona instrucciones específicas de operación. Desde el punto de vista del autor, este enfoque racional para la gestión de herramientas está alineado con la investigación sobre el rendimiento mecánico de restauraciones híbridas y cerámicas según el tipo de fabricación y el desgaste instrumental (Alanazi et al., (2024); Sulaiman et al., (2020)).

2.20. Programación de tiempos de fresado y gestión de la carga de trabajo

Además de los parámetros técnicos, el tiempo para las operaciones de fresado también juega un papel crucial en la organización de un laboratorio, cumpliendo con los plazos y la eficiencia económica.

Los tiempos dados pueden ser estimados, lo que no solo permite una correcta programación de los turnos, sino también la programación para el uso de la máquina de fresada híbrida, así como la coordinación del sinterizado, acabado y entrega con la clínica. En opinión del autor, dicha planificación se refiere a las propuestas de flujos de trabajo escalables para centros de producción que buscan un compromiso entre volumen, calidad y costos (Imes-Icore, (2025).

2.20.1. Estimación de tiempos por tipo de restauración

Se encuentran tiempos de referencia manual para:

• Coronas individuales de zirconia en forma de disco.

• Coronas anteriores de disilicato de litio en forma de bloque.

• Puentes cortos de zirconia.

Estos tiempos de referencia, derivados de la experiencia de laboratorio, son utilizados por los clínicos para negociar fechas de entrega y detectar desviaciones significativas en la calibración, mantenimiento o programación. Esta práctica es consistente con los modelos de flujo CAD/CAM promovidos por el autor, que fomentan el uso del tiempo clínico, así como del tiempo de laboratorio para optimizar la experiencia del paciente (TTT Dental, (2025).

2.20.2. Optimización por agrupación de trabajos

Agrupar casos con características comunes para minimizar el tiempo de inactividad y evitar alteraciones innecesarias:

Agrupar el trabajo por material con sesiones dedicadas a zirconia, luego a cerámicas de vidrio.

Aprovechar al máximo el espacio disponible en un disco Gemstone 3D Pro sin comprometer la estabilidad de las estructuras.

Programar lotes de fresado que puedan sinterizarse juntos en el mismo ciclo, optimizando así también el uso del horno.

El manual puede incluir recomendaciones para “buenas prácticas de programación”, basadas en el escenario de laboratorios en Santo Domingo. Según el autor, este método está relacionado con el control de stock y las recomendaciones de gestión de materiales basadas en el objetivo de equilibrar costos y estética mediante una planificación efectiva de los discos y herramientas (2023–2025); Alqutaibi et al., (2025)).

2.21. Aspectos mecánicos y su influencia en la precisión del fresado

La precisión dimensional de las coronas fresadas no depende solo del software y los parámetros numéricos, sino que también depende de la mecánica interna de la máquina de fresado híbrido. La rigidez estructural, el juego en los ejes, la calidad del sistema de sujeción, etc., todo afectará el ajuste final. Desde el punto de vista del autor, esta perspectiva era consistente con estudios que han demostrado que el ajuste y la resistencia pueden variar según el tipo de máquina y la estabilidad del sistema de fresado (Pilecco et al., (2025); Kronwitter et al., (2025).

2.21.1. Rigidez estructural y estabilidad de los ejes

Los sistemas de guías lineales, los husillos de bolas y los soportes estructurales deben mantener suficiente rigidez para prevenir:

Vibraciones durante el fresado (que dejan superficies desiguales).

Micro desplazamientos entre ejes que generan errores acumulados en la forma final.

Como se mencionó anteriormente, para que las rutinas de calibración puedan implementarse, tales mecánicas son necesarias: probar el recorrido, el juego de los ejes y las correcciones antes de las producciones diarias.

En nombre del autor, esta correlación entre la estabilidad mecánica y el resultado protésico es consistente con estudios previos que analizan cómo el sinterizado y el diseño estructural afectaron la carga de fractura de las prótesis de zirconia (Attia et al., (2023); Kronwitter et al., (2025).

2.21.2. Sistemas de sujeción de discos y bloques

El método de fijación del disco o bloque a la máquina resulta en estabilidad durante el corte:

Una falta de sujeción adecuada puede causar desplazamientos mínimos, suficientes para alterar el ajuste marginal oclusal.

Un montaje incorrecto del disco (inclinación o mala posición) puede causar errores de grosor o incluso hacer que la fresa invada áreas inesperadas.

Como resultado, el manual debería proporcionar una explicación más específica:

La secuencia correcta para montar discos y bloques.

Los puntos de control visuales y manuales antes de cerrar la cámara.

Los efectos adversos más comunes del montaje incorrecto y su relación con los problemas comunes discutidos hasta ahora (fracturas, fallos de ajuste, etc.).

Sin embargo, dadas las observaciones del autor, destacar estas áreas corresponde con muchos laboratorios digitales que proponen que la fijación del material debe hacerse con calidad adecuada para que los errores de fresado y reprocesamiento ocurran a una tasa menor (GoDigital Dental Laboratory, (2023); Imes-Icore, (2025).

2.22. Ítems clave para la evaluación del manual y la obtención de buenas conclusiones

Para llegar a una conclusión adecuada sobre la efectividad del manual y la aplicación de las máquinas de fresado híbridas en Santo Domingo, es importante establecer una lista de elementos o variables basadas en el marco teórico que también deben medirse para asegurar que este modelo sea válido en la práctica. Entre ellos se encuentran los siguientes:

Precisión dimensional y adaptación marginal de coronas: evaluable mediante controles en modelos o por escaneos de control.

Tasa de reprocesamiento: cantidad de coronas que deben repetirse debido a errores de fresado, fracturas, mala adaptación o defectos anatómicos.

Tiempo total de producción por caso: desde la recepción del archivo STL hasta que la corona esté lista para sinterizar o entregar.

Incidencia de fallos relacionados con la calibración o el mantenimiento: el número de ocasiones en que la falta de calibración o mantenimiento se identifica como la causa del problema.

Satisfacción de dentistas y técnicos: obtenida a partir de encuestas internas sobre el ajuste, la estética y la necesidad de modificaciones en la boca.

En el marco teórico, de esta manera, se pueden establecer definiciones donde, al resultado del estudio o con la implementación del manual, las conclusiones se basan en indicadores objetivos y comparables, vinculando la teoría sobre CAD/CAM, fresado híbrido, calibración y estandarización con los resultados reales de las pruebas en los laboratorios de Santo Domingo en 2025. Este enfoque, según la opinión del autor, es consistente con cómo los estudios recientes sobre materiales CAD/CAM y

restauraciones híbridas abordan la adaptación, la resistencia y la evaluación del rendimiento clínico a medio plazo (Rexhepi et al., (2023); Favoreto et al., (2024)

CAPÍTULO III
MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de Investigación

- **Según su propósito:**

Aplicada. Ya que pretende producir un producto concreto (un manual técnico) que conduzca a la mejora de los procesos de fresado de coronas en los laboratorios dentales de Santo Domingo. Al mismo tiempo, incluye elementos tanto experimentales como no experimentales: experimental, porque las pruebas de fresado se realizan con diferentes parámetros, materiales y modos de trabajo (seco/húmedo), y no experimental, porque se observa y describe el funcionamiento actual de las máquinas de fresado híbridas en los laboratorios sin manipular todas las variables ambientales. Es un diseño transversal, ya que la información se recopila durante un período definido en el año 2025.

- **Según la manipulación de las variables:**

Mixta (Experimental y No Experimental) El diseño de la investigación integra dos enfoques:

Componente Experimental: De acuerdo con Prause et al. (2024), los diseños experimentales implican la manipulación intencional de variables para analizar sus consecuencias. Aquí se realizan pruebas controladas variando parámetros de fresado, materiales y modos (seco/húmedo).

Componente No Experimental: Se basa en la observación de fenómenos en su contexto natural Strietzel y Reich (2021). Se analiza el funcionamiento real de las máquinas Deprag y Gemstone en los laboratorios sin alterar sus condiciones operativas habituales.

- **Según su duración:**

Transversal: La investigación es de tipo transversal o transeccional. Según Arias (2012), estos estudios consisten en la recolección de datos en un solo momento y tiempo

único. La toma de datos y pruebas de campo se limitan al periodo correspondiente al año 2025 en el Instituto Superior Tecnológico San Antonio.

3.2. Enfoque de la investigación

El método de investigación del estudio es mixto, lo que incluye tanto cuantitativo como cualitativo.

En la parte cuantitativa, se documentan los tiempos de fresado, las tasas de reprocesamiento, la frecuencia de errores causados por una calibración inadecuada, el desgaste de herramientas y el número de fallos relacionados con el mantenimiento para analizar cuantitativamente los efectos de la estandarización en los procesos.

Basado en el enfoque cualitativo, se documentan las percepciones, dificultades y necesidades de los técnicos dentales a través de la observación y entrevistas estructuradas, y el manual puede adaptarse al idioma y la realidad operativa de los laboratorios en Santo Domingo.

Ambos métodos se han empleado para asegurar que el manual no solo presente un marco teórico, sino que también aborde problemas específicos planteados a diario.

3.3. Herramientas metodológicas

La metodología de preparación de la guía de instrucciones utilizó las siguientes herramientas metodológicas:

Revisión de documentos: una revisión de manuales de fabricantes de máquinas de fresado híbrido, fichas técnicas de materiales (zirconia, disilicato de litio, resinas compuestas) y literatura científica sobre CAD/CAM, fresado híbrido, calibración y mantenimiento.

Guía de observación: formato organizado para registrar el uso real de las máquinas de fresado Deprag IDE W54 y Gemstone 3D Pro en el laboratorio, por ejemplo, configuración de la máquina, elección de modo seco/húmedo, verificación de calidad post-fresado y resolución de problemas.

Facilitadores de entrevistas: cuestionarios específicos para técnicos con experiencia en fresado digital para determinar errores frecuentes, requisitos de capacitación y recomendaciones sobre el contenido del manual.

Encuesta inicial (Diagnóstico): Instrumento aplicado a los estudiantes o técnicos antes de la implementación del manual para medir el nivel de conocimiento previo sobre el manejo de fresadoras híbridas y detectar las dudas más frecuentes.

Encuesta final (Validación): Herramienta diseñada para evaluar la utilidad, claridad y eficacia del manual técnico una vez diseñado. Permite validar si el producto final cumple con su objetivo de facilitar el aprendizaje y reducir errores operativos.

Matriz de sistematización: tablas donde se estructuran los hallazgos de la literatura, observación y entrevistas para convertirlos en secciones operativas en la guía de instrucciones (procedimientos, listas de verificación, recomendaciones).

3.4. Técnicas

El estudio aplicó estas técnicas de la siguiente manera:

Técnica de análisis bibliográfico: lectura crítica y extracción de información clave de artículos científicos, manuales de fabricantes y guías clínicas relacionadas con el fresado CAD/CAM, protocolos de sinterización y mantenimiento de máquinas de fresado híbridas.

Observación directa no participante: registro sistemático de la operación de máquinas de fresado en laboratorios, sin intervenir en la rutina de los técnicos, con especial atención a errores de configuración, problemas de calibración y fallos debidos a un mantenimiento deficiente.

Entrevista estructurada: aplicación de un conjunto de preguntas predefinidas a técnicos dentales que usan o han usado equipos de fresados híbridos, para conocer su experiencia, las dificultades más comunes y sus expectativas respecto a un manual técnico.

Análisis comparativo: contraste entre el "modo actual" de trabajo (sin instrucciones estandarizadas) y el "modo propuesto" basado en protocolos claros, con el objetivo de identificar posibles mejoras en calidad, tiempo y reducción de errores.

Focus Group (Grupo Focal): Sesión de discusión grupal con técnicos y docentes del área de Aparatología Dental. Esta técnica se utilizó para validar de forma colectiva la estructura del manual, asegurar que el lenguaje técnico sea comprensible y que las soluciones a problemas propuestas sean aplicables en el taller del ISTSA.

3.5. Estudios iniciales

3.5.1. Operacionalización de variables

Variable independiente: Fresado, fabricación de coronas y carillas.

Variable dependiente: Manejo de fresadoras

3.5.2 Criterios de Inclusión y Exclusión

En la Tabla 1 se puede evidenciar los criterios de inclusión del estudio, los cuales, evidencian que sujetos participarían en el estudio.

Tabla 1.

Criterios de inclusión y exclusión

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Profesionales/ estudiantes de aparatología dental	Personas ajenas como los del campo que no poseen experiencia ni conocimientos complejos en la aparatología dental
Personas mayores a 18 años	Menores de 18 años
Poder leer y tener la capacidad comprender el manual y los protocolos de las técnicas de fresado y mantenimiento.	No dominan el idioma en el que está escrito el manual.

3.5.3 Muestreo

Muestreo por conveniencia y deliberado: Para el desarrollo de este manual, se aplicó un muestreo de tipo no probabilístico por conveniencia y deliberado. Este procedimiento se basa en la accesibilidad y disponibilidad de los participantes, permitiendo al investigador

utilizar los recursos y sujetos que se encuentran en su entorno inmediato sin recurrir a una selección aleatoria.

Este tipo de muestreo es el más adecuado para esta investigación de carácter aplicado, permite obtener datos de manera ágil sobre procedimientos o tecnologías específicas implementadas en entornos controlados como laboratorios dentales.

Criterios de selección de la muestra: En este estudio, la muestra se seleccionó de manera deliberada bajo los siguientes criterios:

1. Disponibilidad tecnológica: Laboratorios dentales en la ciudad de Santo Domingo que cuentan con las fresadoras híbridas Deprag IDE W54 y/o Gemstone 3D Pro.
2. Accesibilidad académica: Estudiantes y técnicos de la carrera de Aparatología Dental del Instituto Superior Tecnológico San Antonio (ISTSA), quienes son los usuarios directos del instructivo.
3. Experiencia técnica: Profesionales con conocimiento previo en sistemas CAD/CAM que participaron en el focus group y las entrevistas para validar el contenido técnico del manual.

3.5.4 Encuesta Inicial

La encuesta inicial se realizó a 10 encuestados, quienes son estudiantes del TESA de 4to año de la carrera Aparatología Dental. Respondieron las preguntas relacionadas con su experiencia el uso de fresadoras híbridas, mantenimiento y protocolos de fabricación de prótesis en carillas y coronas. (ANEXO A: Encuesta Inicial.)

3.5.4.1 Resultados Encuesta Inicial. Los resultados correspondientes a las preguntas de la 1 a la 15 de la encuesta.

Figura 1

Pregunta 1 encuesta Inicial



Figura 2

Pregunta 2 encuesta Inicial



En esta pregunta, el 50% (5 de 10) de los estudiantes indicó no haber trabajado con fresadoras híbridas, mientras que el 50% (5 de 10) sí reportó experiencia: 20% (2 de 10) con híbrida, 20% (2 de 10) solo en seco y 10% (1 de 10) solo en húmedo. Estos resultados evidencian una brecha práctica y una formación no estandarizada en el manejo integral del

fresado, lo que refuerza la necesidad de implementar el manual técnico propuesto para nivelar competencias, unificar criterios operativos y reducir errores durante los procedimientos.

Figura 3

Pregunta 3 encuesta Inicial



En esta pregunta, el 50% (5 de 10) de los estudiantes indicó dominar muy poco los pasos para fresar coronas y carillas, mientras que el 10% (1 de 10) señaló un dominio “más o menos”. Por otro lado, el 30% (3 de 10) afirmó que sí domina, pero no al 100%, y solo el 10% (1 de 10) manifestó dominarlo de maravilla. Estos resultados evidencian un dominio mayoritariamente insuficiente o incompleto (60%), lo que refuerza la necesidad del manual técnico propuesto para estandarizar el procedimiento, mejorar la seguridad operativa y reducir errores en el fresado.

Figura 4

Pregunta 4 encuesta Inicial



En esta pregunta, respondieron 9 de 10 estudiantes (1 no contestó). Del total que respondió, el 33,3% (3 de 9) indicó que el paso más complicado es posicionar en el software de fresado, seguido del 22,2% (2 de 9) que señaló ubicar los discos y bloques. El 44,4% restante (4 de 9) se distribuye en dificultades puntuales: exportar el archivo (11,1%; 1 de 9), casi la mayoría de pasos (11,1%; 1 de 9), y perfiles más orientados al diseño (soy diseñador (11,1%; 1 de 9) / más en CAD (11,1%; 1 de 9)). Estos resultados evidencian que el principal problema está en la configuración operativa del fresado, reforzando la necesidad del manual técnico propuesto para estandarizar el proceso y reducir errores.

Figura 5

Pregunta 5 encuesta Inicial



En esta pregunta, el 60% (6 de 10) reportó problemas directamente relacionados con fracturas durante el fresado: 30% (3 de 10) indicó que se quiebran las prótesis y 30% (3 de 10) que se quiebran las fresas. Además, el 20% (2 de 10) mencionó que la fresadora deja de funcionar, y el 10% (1 de 10) señaló que salen conectores muy anchos; finalmente, el 10% (1 de 10) indicó que no está en esa área. Estos resultados evidencian fallas críticas en parámetros de fresado, selección/uso de fresas y control del diseño (conectores), reforzando

la necesidad del manual técnico propuesto para estandarizar ajustes, mantenimiento preventivo y criterios de calidad, reduciendo retrabajos y pérdidas de material.

Figura 6

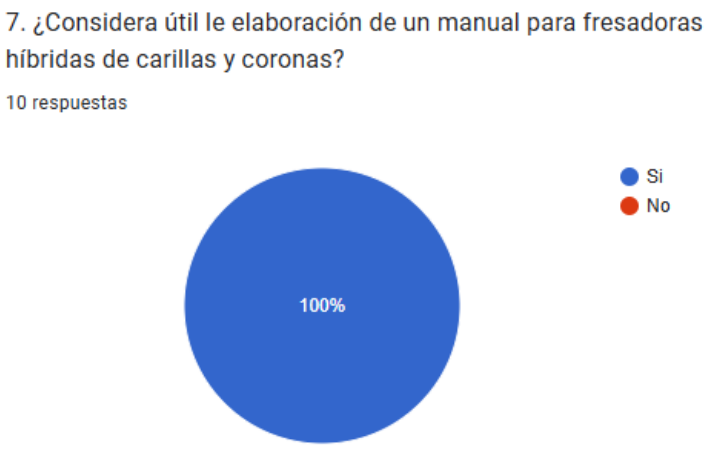
Pregunta 6 encuesta Inicial



En esta pregunta, el 70% (7 de 10) de los estudiantes indicó no haber recibido una capacitación profunda para el uso y mantenimiento de las fresadoras, mientras que el 20% (2 de 10) señaló que sí recibió capacitación, pero no logró entenderla bien. Solo el 10% (1 de 10) afirmó haber recibido una capacitación adecuada. Estos resultados evidencian una brecha formativa crítica (90% sin dominio sólido), lo que refuerza la necesidad del manual técnico propuesto para estandarizar procedimientos, mejorar la comprensión operativa y reducir fallas por mal uso o mantenimiento deficiente.

Figura 7

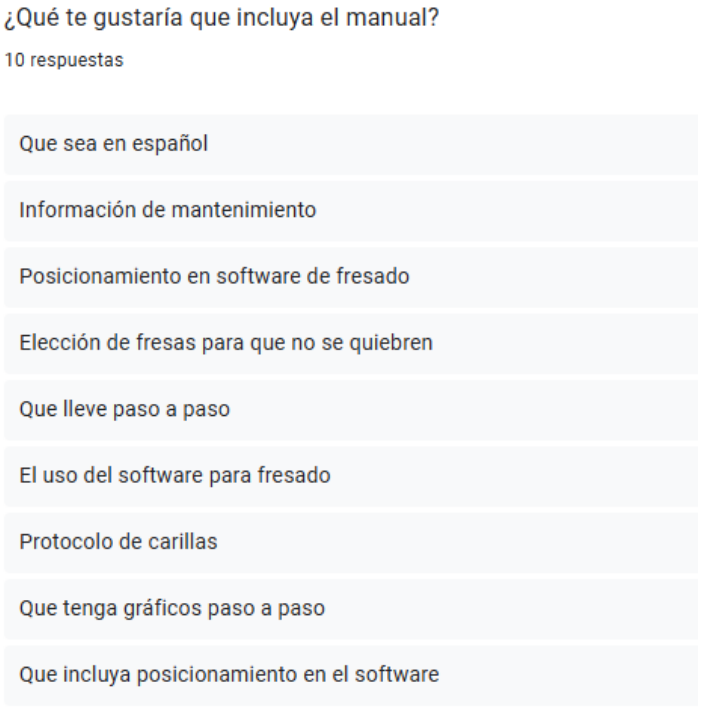
Pregunta 7 encuesta Inicial



En esta pregunta la totalidad de los 10 estudiantes respondieron ante la necesidad de un manual de fresadoras hibridas para carillas y coronas

Figura 8

Pregunta 8 encuesta Inicial



En esta pregunta abierta (10 respuestas), los estudiantes priorizan un manual práctico y aplicable, principalmente en español, con explicación paso a paso y apoyo visual (gráficos). El tema más repetido es el posicionamiento y uso del software de fresado (mencionado varias

veces), seguido de mantenimiento de la fresadora y criterios para elegir fresas para evitar quiebres. También se solicita un protocolo específico para carillas, lo que confirma la necesidad de un manual que estandarice el flujo completo (software–fresado–mantenimiento) para reducir errores y fallas.

3.5.4.2 Análisis de resultados de la encuesta inicial. Los resultados evidencian una brecha práctica y formativa en el fresado de coronas y carillas. El 50% (5 de 10) no ha trabajado con fresadoras híbridas y el 60% (6 de 10) reporta dominar muy poco o de forma regular los pasos del fresado. A nivel operativo, el principal cuello de botella es el posicionamiento en el software de fresado, y en ejecución se reportan fallas críticas como fracturas de prótesis/fresas y detenciones del equipo.

Además, el 90% (9 de 10) no cuenta con capacitación sólida (no recibió o no comprendió adecuadamente), mientras que el grupo manifiesta una necesidad total del manual y solicita que sea en español, paso a paso, con gráficos, priorizando software, mantenimiento y elección de fresas. En conjunto, estos hallazgos justifican la implementación del manual técnico propuesto para estandarizar el flujo de trabajo, reducir errores y mejorar la competencia operativa.

3.6 Desarrollo

El desarrollo del presente proyecto se organizó mediante fases de desarrollo de producto aplicadas a la fabricación digital, permitiendo avanzar de forma ordenada desde la investigación inicial hasta la elaboración final del manual.

3.6.1 Matriz de operacionalización de variables

La Tabla 2 refleja la operacionalización de variables que se siguió para la elaboración del marco metodológico. En la tabla se evidencian: dimensiones, indicadores e instrumentos basados en las variables dependientes e independientes.

Tabla 2

Matriz operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Dimensión	Indicadores (qué se medirá)	Técnica / Instrumento	Escala / tipo de dato
Variable independiente: Manual técnico de fresado (fresadora híbrida)	Documento instructivo que estandariza el proceso de fresado de coronas y carillas para reducir errores y mejorar el desempeño operativo.	Estructura y claridad	Lenguaje en español; secuencia lógica; pasos claros; glosario; checklist incluido	Revisión documental + lista de verificación	Cualitativa (cumple/no cumple)
		Contenido técnico CAM/Software	Incluye: importación STL, posicionamiento, conectores, parámetros, simulación, exportación	Lista de verificación de contenidos	Cualitativa (cumple/no cumple)
		Protocolos operativos (seco/húmedo)	Describe cuándo usar seco/húmedo según material;	Lista de verificación +	Cualitativa (suficiente/insuficiente)

			recomendaciones de estrategia	validación por expertos	
		Selección y manejo de fresas	Criterios de elección; vida útil; causas de quiebre; recomendaciones de uso	Lista de verificación + observación técnica	Cualitativa (cumple/no cumple)
		Mantenimiento y calibración	Rutinas diarias/semanales; limpieza; calibración; prevención de fallos	Checklist de mantenimiento	Cualitativa (cumple/no cumple)
Variable dependiente: Desempeño del proceso de fresado (calidad y eficiencia)	Nivel de precisión, estabilidad operativa y eficiencia en el fresado de coronas y carillas, reflejado en resultados sin fallas y con menor retrabajo.	Precisión/Calidad del resultado	Ajuste/adaptación aceptable; reducción de discrepancias; menor necesidad de correcciones	Registro de control de calidad + ficha técnica	Cuantitativa (número/porcentaje) y cualitativa (aprobado/rechazado)
		Fallas y reprocesos	% de fracturas de prótesis; % de fresas quebradas; % de detención del equipo; % retrabajo	Registro de incidencias + bitácora de producción	Cuantitativa (frecuencia/%)
		Dominio del procedimiento	Nivel de dominio declarado y observado (pasos, software, montaje)	Encuesta + lista de cotejo práctica	Ordinal (Muy poco / Regular / Parcial / Alto)

	Eficiencia (tiempo)	Tiempo total por caso (min); tiempo en CAM; tiempo de preparación/montaje	Cronometraje + ficha de proceso	Cuantitativa (minutos)
	Cumplimiento de protocolo	% de pasos ejecutados correctamente (según checklist)	Observación directa + checklist	Cuantitativa (%)
	Satisfacción del usuario	Percepción de facilidad, claridad y utilidad del manual	Encuesta de satisfacción	Likert (1–5)

El desarrollo del presente proyecto se organizó siguiendo las fases del proceso de desarrollo de producto aplicado al ámbito odontológico y a la fabricación digital mediante tecnología CAD/CAM. Estas fases permitieron avanzar de manera ordenada desde la investigación inicial y el diagnóstico de necesidades, pasando por el diseño del flujo de trabajo y la validación operativa, hasta la elaboración final del manual técnico impreso para fresadoras híbridas en la fabricación de coronas y carillas.

3.6.1 Fases del desarrollo del producto

3.6.1.1 Fase de investigación y recopilación de información. En esta fase se seleccionó información técnica y científica relacionada con el fresado CAD/CAM aplicado a restauraciones indirectas (coronas y carillas), materiales de uso frecuente (discos/bloques) y el funcionamiento de fresadoras híbridas (seco y húmedo). Además, se revisaron flujos de trabajo digitales, parámetros de fresado, criterios de selección de herramientas (fresas) y rutinas de mantenimiento preventivo necesarias para garantizar un proceso estandarizado y seguro.

3.6.1.2 Fase de análisis del contexto y necesidades. Se identificaron las necesidades específicas del laboratorio/institución, considerando disponibilidad de equipos (fresadora híbrida), software CAD/CAM utilizado, tipos de materiales (discos y bloques), nivel de conocimiento de los operadores y fallas recurrentes detectadas (fracturas, detención del equipo, conectores inadecuados, entre otros). Esta fase permitió definir los puntos críticos del proceso y establecer los contenidos que debía incluir el manual técnico propuesto.

3.6.1.3 Fase de diseño conceptual del proceso. Se planificó el flujo general del trabajo digital, desde la recepción del archivo o diseño CAD hasta la obtención de la restauración fresada. Se definieron etapas principales: preparación del caso,

configuración CAM, selección del material, posicionamiento, fresado, control de calidad, acabado y mantenimiento. Este diseño conceptual fue la base para estructurar el manual, asegurando un orden lógico y repetible para minimizar errores.

3.6.1.4 Fase de diseño digital (CAD). Se consideró la etapa de diseño digital de la restauración mediante software CAD, enfocada en garantizar precisión y estabilidad antes de la fabricación. Durante esta fase se:

Importaron archivos STL o se trabajó sobre el modelo digital.

Delimitaron márgenes y zonas de terminación.

Definieron espesor mínimo, contactos y anatomía.

Ajustaron oclusión y puntos de contacto.

Preparó el diseño final apto para fresado.

Esta fase es clave para asegurar adaptación, estética y evitar fallas posteriores durante el fresado.

3.6.1.5 Fase de preparación para la fabricación (CAM). Para la etapa CAM se definieron procedimientos operativos orientados al uso de fresadora híbrida:

Para fresado (CAM):

Selección del material (discos o bloques según el caso).

Configuración de estrategia de desbaste y acabado.

Definición de herramientas (fresas), velocidades y parámetros de corte.

Posicionamiento correcto de la restauración en el material.

Configuración de conectores (ancho/ubicación) cuando aplique.

Simulación del proceso para prevenir colisiones, fracturas o errores de trayectoria.

Definición del modo de trabajo (seco o húmedo) según el material.

3.6.1.6 Fase de fabricación del prototipo. Se ejecutó la fabricación de pruebas (prototipos o casos piloto) para observar el comportamiento del flujo definido en condiciones reales. Se evaluaron:

Precisión y calidad del fresado.

Integridad estructural (fracturas o microfracturas).

Desgaste o quiebre de fresas.

Funcionamiento continuo del equipo (paradas/errores).

Calidad de conectores, terminaciones y superficies.

Esta fase permitió identificar fallas típicas y puntos de mejora antes de consolidar el manual definitivo.

3.6.1.7 Fase de evaluación y ajustes. Con base en los resultados del prototipo y el diagnóstico del proceso, se realizaron ajustes en:

Posicionamiento y configuración dentro del software de fresado.

Parámetros de fresado (estrategia, velocidad, herramientas).

Criterios de selección de fresas según material.

Recomendaciones para evitar fracturas y fallos del equipo.

Rutinas de limpieza, calibración y mantenimiento preventivo.

Una vez optimizado el flujo, se consolidó la versión validada para documentarse en el manual.

3.6.1.8 Fase de elaboración final del manual. Se redactó, estructuró y organizó el contenido del manual técnico, integrando:

Equipos, materiales e instrumentos necesarios.

Procedimiento estandarizado paso a paso (CAD → CAM → fresado → control de calidad).

Parámetros técnicos y recomendaciones operativas.

Checklist de control del proceso.

Solución de problemas frecuentes (troubleshooting).

Rutinas de mantenimiento y calibración.

Imágenes/diagramas ilustrativos para facilitar el aprendizaje.

3.6.1.9 Fase de impresión del manual. Finalmente, el manual fue preparado para su impresión física, considerando diagramación, orden de capítulos, presentación visual de tablas, checklists e imágenes, además de revisión ortográfica y coherencia técnica. Posteriormente, se imprimió y encuadernó para su uso institucional como guía operativa de estandarización del fresado en fresadoras híbridas.

3.6.2 Desarrollo de producto

La Tabla 3 evidencia el proceso completo de fresado integradas al manual, indicando cada etapa del procedimiento.

Tabla 3

Desarrollo de producto

Fecha	Fase	Descripción
01-12-2025	Recepción del caso y verificación inicial	Se recibe el archivo STL del caso (corona) y se confirma el tipo de material a utilizar (disco o bloque) y el modo de fresado requerido (seco/húmedo) según el material.
01-12-2025	Verificación del equipo	Se revisa el estado del equipo: calibración básica, limpieza de cámara, conectores y mangueras (aire/refrigerante si aplica) y verificación general antes de iniciar producción.
02-12-2025	Configuración CAM (estrategia y parámetros)	Se selecciona la estrategia CAM de acuerdo con el material (desbaste/acabado/detalles) y se ajustan parámetros básicos (rpm, avance, profundidad, trayectoria). Se confirma el modo seco/húmedo.
02-12-2025	Simulación digital	Se ejecuta la simulación de fresado para identificar colisiones, interferencias o subfresado. Se corrige posición/herramientas/trayectorias y se aprueba el programa final.
03-12-2025	Preparación del material	Se monta el disco o bloque seleccionado en el sistema de sujeción correspondiente y se verifica estabilidad, correcta orientación y seguridad del montaje.

03-12-2025	Ejecución del fresado	En el panel del equipo se selecciona el trabajo programado y se confirma: material correcto, fresas cargadas, modo seco/húmedo conforme. Se inicia el fresado y se supervisa el arranque.
03-12-2025	Monitoreo y control durante el fresado	Se revisa periódicamente el avance del fresado y se controlan alertas del sistema (colisión, error de eje, falta de herramienta). En modo húmedo se verifica flujo correcto de refrigerante.
03-12-2025	Retiro de la restauración	Finalizado el fresado, se abre la cámara en modo seguro, se inspecciona la corona aún en disco/bloque y se retira con herramientas adecuadas evitando fuerzas bruscas. Se identifica el caso para evitar confusiones.
04-12-2025	Control de calidad del caso	Se registra: adaptación marginal, ajuste oclusal, necesidad de reproceso y observaciones (fracturas, errores de fresado, etc.).
05-12-2025	Sinterización / postproceso (si aplica)	En coronas de zirconia se ejecuta el ciclo de sinterización según protocolo, registrando programa (temperatura, duración, carga y notas). Luego se realiza el acabado/pulido según requerimientos.
05-12-2025	Registro de indicadores y cierre	Se consolida el registro del caso para control periódico: tasa de reprocesos, tiempo promedio por caso y retroalimentación clínica, para evaluar el impacto del manual y mejorar procesos.

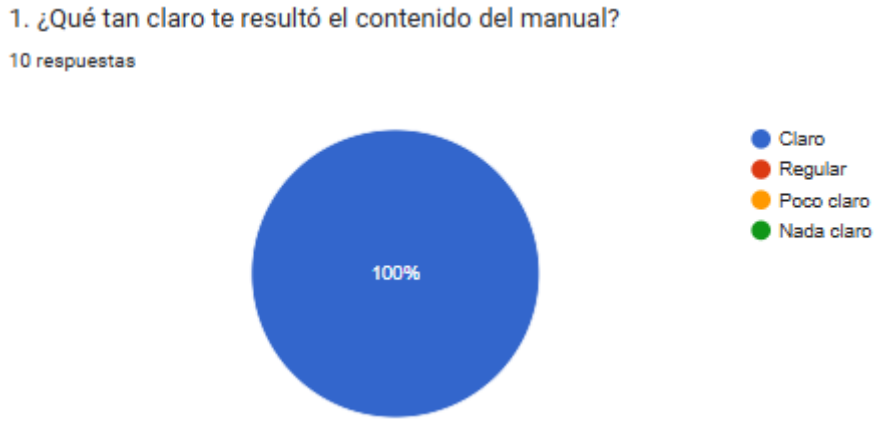
CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Análisis e interpretación de resultados

La encuesta de satisfacción final fue enviada a 10 estudiantes, con el objetivo de evaluar la claridad, utilidad y aplicabilidad del manual comparativo sobre técnicas de fresado para carillas y coronas. (ANEXO B: En cuesta de satisfacción final.)

Figura 9

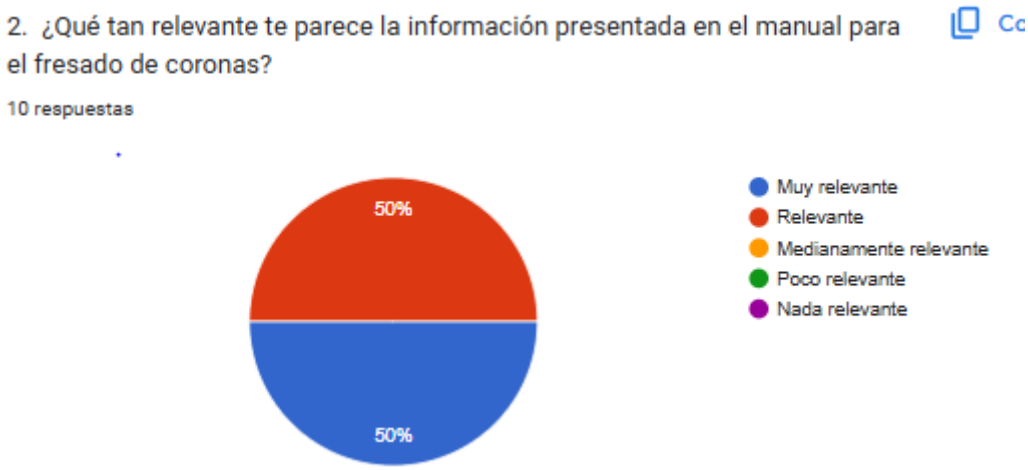
Pregunta 1 Encuesta de Satisfacción



En la pregunta 1, el 100% (10 de 10) de los estudiantes indicó que el contenido del manual es claro, sin registrarse respuestas en las categorías regular, poco claro o nada claro. Este resultado evidencia que la información está bien estructurada y redactada, facilitando su comprensión para estudiantes, y respalda que el manual puede utilizarse como guía base para estandarizar el procedimiento sin generar confusión en la interpretación de los pasos.

Figura 10

Pregunta 2 Encuesta de Satisfacción



En la pregunta 2, el 50% (5 de 10) de los estudiantes calificó la información del manual como muy relevante, y el 50% (5 de 10) la consideró relevante. No se registraron respuestas en medianamente relevante, poco relevante o nada relevante. Estos resultados evidencian que el contenido del manual se percibe como pertinente y directamente aplicable al fresado de coronas, reforzando su valor como herramienta de apoyo académico y guía operativa para el proceso.

Figura 11

Pregunta 3 Encuesta de Satisfacción



En la pregunta 3, el 60% (6 de 10) de los estudiantes indicó que el manual les ayudó a comprender el flujo de trabajo CAD/CAM totalmente, mientras que el 40% (4 de 10) señaló que lo comprendió en gran parte. No se registraron respuestas en más o

menos, poco o no. Estos resultados evidencian que el manual logra explicar de forma efectiva y progresiva el proceso STL → CAM → simulación → fresado, fortaleciendo la comprensión del flujo digital y reduciendo la confusión en etapas críticas como la configuración y la simulación previa.

Figura 12

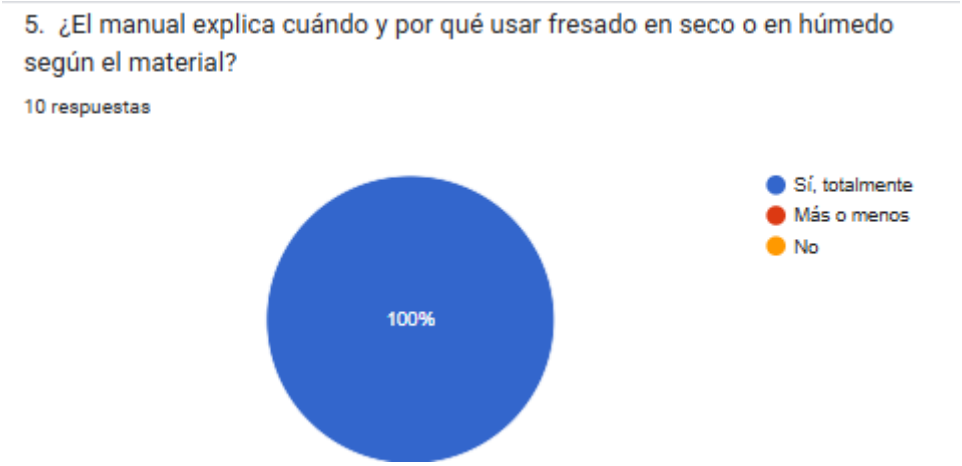
Pregunta 4 Encuesta de Satisfacción



En la pregunta 4, el 70% (7 de 10) de los estudiantes indicó que el manual explica totalmente las diferencias operativas entre fresar en bloque y fresar en disco, mientras que el 30% (3 de 10) señaló que lo explica en gran parte. No se registraron respuestas en más o menos, poco o no. Estos resultados evidencian que el manual logra diferenciar con claridad aspectos clave como el montaje del material, el posicionamiento, la sujeción y el flujo de trabajo, fortaleciendo la toma de decisiones y reduciendo errores por confusión entre ambos métodos.

Figura 13

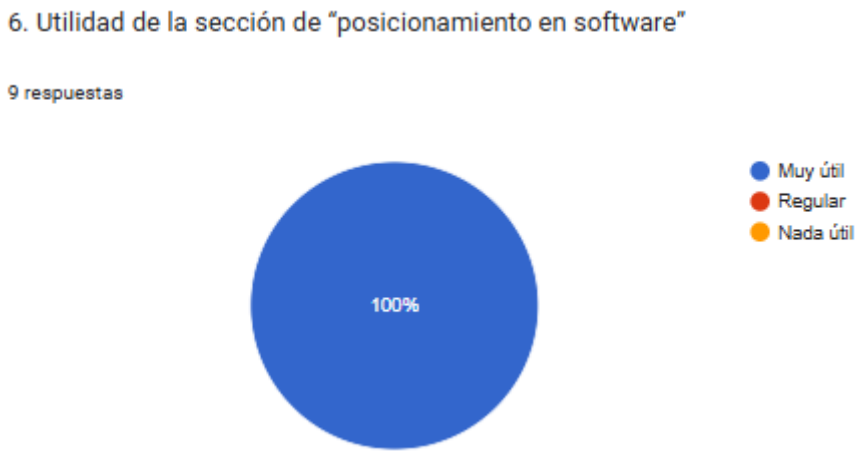
Pregunta 5 Encuesta de Satisfacción



En la pregunta 5, el 100% (10 de 10) de los estudiantes respondió “sí, totalmente” respecto a que el manual explica cuándo y por qué usar fresado en seco o en húmedo según el material. No se registraron respuestas en “más o menos” ni “no”. Este resultado evidencia que el manual entrega criterios claros y aplicables para la selección del modo de fresado, lo cual es clave para evitar errores, proteger el material y mejorar la calidad final de las coronas.

Figura 14

Pregunta 6 Encuesta de Satisfacción

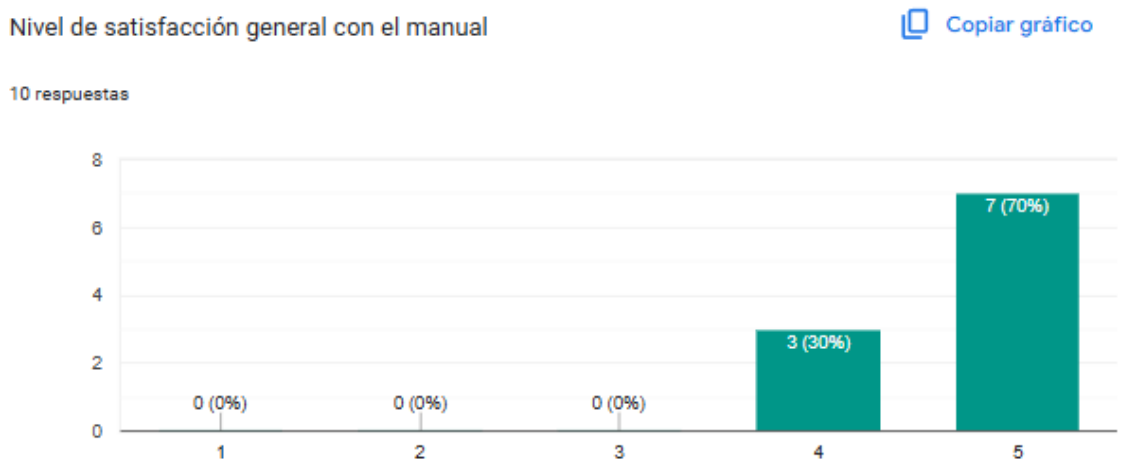


En la pregunta 6, respondieron 9 estudiantes (1 no contestó). Del total que respondió, el 100% (9 de 9) calificó la sección de “posicionamiento en software” como muy útil, sin registrarse respuestas en regular ni nada útil. Este resultado evidencia que esta sección aborda uno de los puntos más críticos del proceso CAM y aporta una guía

práctica que ayuda a reducir errores por mal posicionamiento, mejorando la seguridad y eficiencia del fresado.

Figura 15

Pregunta 7 Encuesta de Satisfacción



En el nivel de satisfacción general con el manual (escala 1–5), el 70% (7 de 10) calificó con 5 (muy satisfecho) y el 30% (3 de 10) con 4 (satisfecho). No se registraron valoraciones en 1, 2 o 3. Estos resultados evidencian un alto nivel de aceptación del manual, indicando que el material cumple con las expectativas académicas y resulta funcional como guía práctica para el proceso de fresado.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

El trabajo de desarrollo del manual técnico sobre las máquinas de fresado híbridas Deprag IDE W54 y Gemstone 3D Pro fue una oportunidad para analizar los principales factores que afectan la calidad del fresado de coronas dentales en los laboratorios de Santo Domingo, los principales problemas en las pruebas que afectan el diseño mecánico de las coronas dentales en los laboratorios y los desafíos reales en la práctica diaria de los técnicos. A partir del análisis metodológico, experimentos y revisión de documentación, derivamos las siguientes conclusiones de nuestras observaciones:

A partir del diagnóstico inicial, se evidenció que existía una brecha técnica-operativa en el manejo del fresado, especialmente en aspectos como el posicionamiento en software (CAM), el control del proceso y el mantenimiento, lo cual justificó la elaboración de un manual que unifique criterios y reduzca fallos durante la ejecución.

En la evaluación final, se confirmó un alto nivel de aceptación del manual, ya que el 100% (10 de 10) calificó el contenido como claro, y el 100% consideró la información relevante o muy relevante. Esto demuestra que el manual presenta una estructura comprensible y acorde al nivel académico de los estudiantes, facilitando su uso como material de apoyo.

Se concluye que el manual fortalece la comprensión del flujo CAD/CAM (STL → CAM → simulación → fresado), dado que el 100% indicó que esta explicación fue totalmente o en gran parte comprendida. Esto es fundamental porque el dominio del flujo digital es el punto base para evitar errores de configuración y reprocesos.

Respecto a las diferencias operativas, los resultados muestran que el manual explica adecuadamente las particularidades entre fresar en bloque y en disco, ya que la totalidad de los estudiantes indicó comprensión total o en gran parte. Esto aporta a la toma de decisiones correctas en montaje, fijación, orientación y estrategias de fresado.

Se determinó que el manual establece de manera clara los criterios para elegir entre fresado en seco o en húmedo según el material, ya que el 100% afirmó que el manual lo explica totalmente. Esta claridad es clave para prevenir problemas comunes como fracturas, desgaste prematuro de fresas, sobrecalentamiento o fallas de acabado.

La sección de “posicionamiento en software” se consolidó como una de las más críticas y valiosas: el 100% de quienes respondieron (9 de 9) la calificó como muy útil, confirmando que esta etapa representa un punto de mayor riesgo operativo y que su estandarización contribuye directamente a reducir errores.

Finalmente, el nivel de satisfacción general refleja una aceptación sólida del manual como herramienta formativa: el 70% se declaró muy satisfecho y el 30% satisfecho, sin valoraciones bajas. Esto confirma que el manual cumple con su propósito y aporta positivamente al proceso de enseñanza-aprendizaje al orientar el procedimiento con pasos claros, criterios técnicos y enfoque práctico.

Recomendaciones

Considerando los resultados y las conclusiones alcanzadas, se derivan las siguientes recomendaciones para mejorar las máquinas de fresado híbridas y el proceso de fresado:

Implementación institucional: Establecer el uso del manual de forma continua en el laboratorio académico, asegurando que estudiantes y personal técnico reciban una inducción inicial y sesiones de actualización periódicas para reforzar el uso correcto del software CAM, la simulación y la operación segura de la fresadora.

Estandarización con checklist: Incorporar un checklist obligatorio basado en el manual para cada caso, que incluya verificación de material (bloque/disco), modo (seco/húmedo), herramientas (fresas), simulación previa, y control de calidad final, con el fin de disminuir reprocesos y errores por omisión de pasos.

Refuerzo práctico por módulos: Complementar el manual con prácticas guiadas enfocadas en los puntos críticos detectados: posicionamiento en software, simulación, selección de estrategias (desbaste/acabado), montaje del material y evaluación del resultado (adaptación y terminaciones).

Mantenimiento preventivo y control de herramientas: Realizar seguimiento constante al estado del equipo y consumibles (fresas, discos/bloques, refrigeración), aplicando un plan de mantenimiento preventivo y calibración (diario/semanal/mensual). Esto permitirá reducir fallas por detención del equipo y desgaste, y mantener la precisión del fresado.

Registro de incidencias e indicadores: Implementar una bitácora de control que registre errores y fallas recurrentes (fracturas, conectores inadecuados, paradas del equipo, reprocesos), además de indicadores como tiempo por caso y porcentaje de piezas aprobadas, para retroalimentar y actualizar el manual con datos reales del laboratorio.

Actualización del manual: Recomendar que el manual sea revisado y actualizado cada vez que se cambie de software, parámetros, materiales o herramientas, incorporando un apartado de solución de problemas (troubleshooting) y recomendaciones de optimización según el tipo de material.

Divulgación académica: Difundir el manual entre estudiantes y docentes como recurso didáctico para cursos, talleres y pasantías, promoviendo la formación en flujos

CAD/CAM y el fortalecimiento de competencias operativas en fabricación digital odontológica.

Fomentar el uso de literatura técnica creíble. Mörmann (2019) y Strietzel & Reich (2021), sugieren que se anime a los técnicos a revisar manuales, artículos publicados y manuales de fabricantes, para adherirse a un método basado en evidencia para asegurar que haya una base empírica.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍA

Abduo, J., & Lyons, K. (2022). Clinical considerations for CAD/CAM-fabricated dental restorations: A systematic review. *The International Journal of Prosthodontics, 35*(1), 17-28. doi:https://doi.org/10.11607/ijp.2022-003

Abreu, A. C. (2024). Use of the computer-aided design/computer-aided manufacturing (CAD/CAM) technology in dentistry. *Research, Society and Development, 13*(2).

Alanazi, K. K., Alzaid, A. A., Elkaffas, A. A., Bukhari, S. A., Althubaitiy, R. O., Alfaifi, K. A., . . . Alqahtani, H. A. (2024). Mechanical assessment of CAD/CAM fabricated hybrid ceramics: An in vitro study. *Applied Sciences, 14*(17), 7939. doi:10.3390/app14177939

Alghauli, M. A., Almutairi, S., Aljohani, R., Aljohani, W., & Alqutaibi, A. Y. (2025). Advanced subtractive manufacturing, micromilling, and laser micromachinery in dentistry: Current applications, limitations, and future perspectives. *Biomaterials Connect, 2*, 0013. doi:10.69709/BIOMATC.2025.138037

Almanbahi, M. M., Khubrani, A. A., Asiri, M. A., Al-Faqih, M. Y., Alalyani, A. A., Alkhathami, A. R., . . . Asiri, A. A. (2025). The CAD / CAM technology in the contemporary dental laboratory practices. *Vascular and Endovascular Review, 8*(3S), 174-182.

Attia, M. A. (2023). Effect of different sintering protocols on the fracture strength of 3-unit monolithic gradient zirconia fixed partial dentures: An in vitro study. *Journal of Prosthetic Dentistry*.

CADdent GmbH. (2025). *CADdent Wiki*. Obtenido de Dental digital – the digital 360° workflow in the dental laboratory: https://www.caddent.de/en/wiki/dental-digital-digital-360-workflow

Duarte Jr, S., & Phark, J.-H. (2025). Advances in dental restorations: A comprehensive review of machinable and 3D-printed ceramic-reinforced composites. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry, 37*(1), 257-276. doi:10.1111/jerd.13371

Favoreto, M. W. (2024). A 48-month clinical performance of hybrid ceramic fragment restorations manufactured in CAD/CAM in non-carious cervical lesions: Case report. *Restorative Dentistry & Endodontics, 49*(3). doi:10.5395/rde.2024.49.e32

GoDigital Dental. (2023). *CAD CAM Dental Laboratory Services – Step 2: CAD CAM Dental Laboratory.* Página web corporativa / artículo de blog. Obtenido de página CAD/CAM Dental Laboratory de GoDigital.

imes-icore GmbH. (2025). *imes-icore: Your partner for dental CAD/CAM solutions*. Obtenido de imes-icore: ttps://www.imes-icore.com/

Jang, G. W., Kim, H. S., & Kim, J. H. (2011). Evaluation of fracture strength of yttria-stabilized zirconia crowns with different occlusal thicknesses. *Journal of Advanced Prosthodontics, 3*(4), 177-184.

Jorquera, G., Mahn, E., Sanchez, J. P., Berrera, S. P., & Bernasconi, V. (2018). Hybrid ceramics in dentistry: A literature review. *Journal of Clinical Research in Dentistry, 1*(2), 1-5. doi:10.33309/2639-8281.010204

Kronwitter, F., Berger, S., Hämmerle, C., & Lang, L. (2025). Influence of modified sintering protocols on the flexural strength and translucency of multilayer zirconia used in CAD-CAM crowns. *Clinical Oral Investigations, 29*(1), 95-104.

Kuraray Noritake Dental Inc. (2023–2025). *KATANA™ Zirconia Family brochure.* Brochure técnico (PDF).

Lee, E.-H., Lim, Y.-J., Kwon, H.-B., & Kim, M.-J. (2023). Improving wear resistance of acrylic resin denture teeth by using zirconia complete crowns fabricated with a

CAD-CAM double-scanning method: A clinical report. 273-277. doi:10.1016/j.prosdent.2022.01.013

Mahmoud, A., Abd El-Fattah, A., & El-Mahallawy, O. (2022). Effect of zirconia core thickness on fracture resistance of bilayer all-ceramic crowns fabricated with CAD-CAM. *Journal of Prosthodontic Research, 66*(3), 310-318.

Miyazaki, T., Hotta, Y., Kunii, J., Kuriyama, S., & Tamaki, Y. (3 de 128 de 2022). A review of dental CAD/CAM: Current status and future perspectives. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, págs. 425-432. doi:https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2022.02.001

Mörmann, W. H. (2019). *The evolution of the CEREC system* (1 ed.). The International Journal of Computerized Dentistry.

Park, C., & Kim, J. H. (2020). Comparative accuracy of hybrid milling techniques in zirconia restorations. *Journal of Prosthodontics, 29*(5), 421-428. doi:https://doi.org/10.1111/jopr.13172

Pilecco, R. O., Packaeser, M. G., Tribst, J. P., Serrano, C. M., Valandro, L. F., Kleverlaan, C. J., & Pereira, G. K. (2025). The influence of milling protocols on the fatigue behavior of different CAD-CAM materials. *Dental Materials, 41*(9), 1179-1187. doi:10.1016/j.dental.2025.07.001

Planmeca Oy. (2014). *Planmeca CAD/CAM solutions – integrated workflow for dental laboratories.* Folleto técnico / magazine. Obtenido de folleto PDF en planmeca.com o en el distribuidor (Goetze Dental).

Prause, E., Hey, J., Beuer, F., Yassine, J., Hesse, B., Weitkamp, T., . . . Schmidt, F. (2024). Microstructural investigation of hybrid CAD/CAM restorative dental materials by micro-CT and SEM. *Dental Materials, 40*(6), 930-940. doi:10.1016/j.dental.2024.04.006

Rexhepi, I. S. (2023). Clinical Applications and Mechanical Properties of CAD-CAM Materials in Restorative and Prosthetic Dentistry: A Systematic Review. *Journal of Functional Biomaterials, 14*(8), 431. doi:https://doi.org/10.3390/jfb14080431

Roland DG. (2021). *User Manual DWX-52DC.* Roland DG Corporation. Obtenido de https://downloadcenter.rolanddg.com/contents/manuals/DWX-52DC_USE_EN_R2.pdf

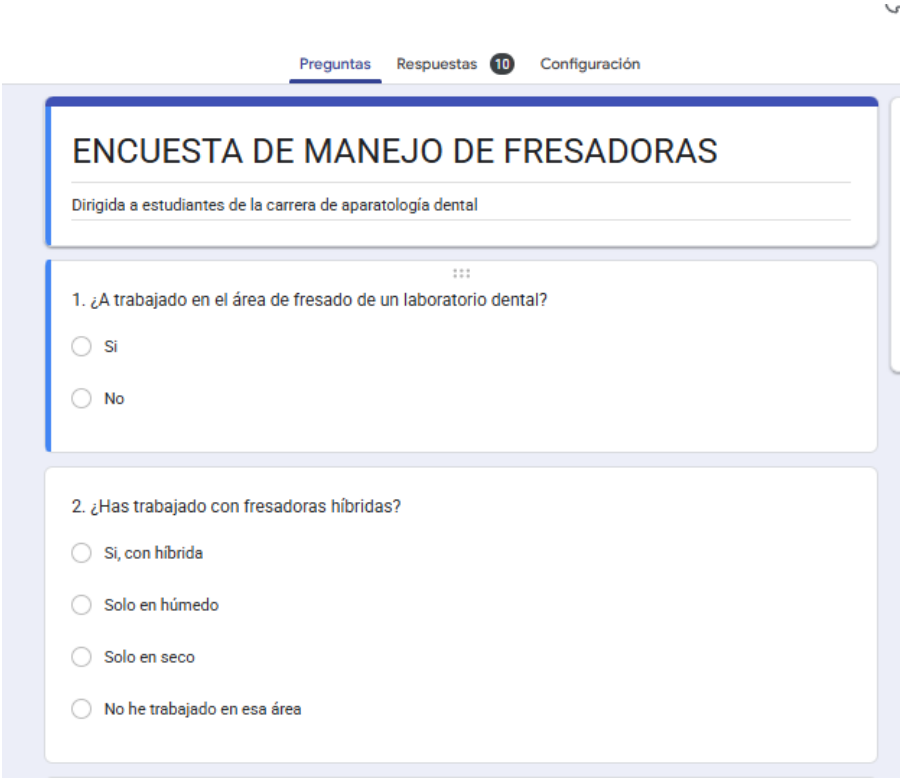
Strietzel, F. P., & Reich, S. (2021). CAD/CAM in dentistry: Applications and benefits. *Dental Materials Journal, 40*(2), 213-225. doi:https://doi.org/10.4012/dmj.2021-003

Sulaiman, T. A. (2020). Materials in digital dentistry. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry, 32*(2), 171–181. doi:10.1111/jerd.12566

Triple T International Dental Laboratory. (11 de 08 de 2025). *CAD/CAM Dentistry Workflow: A Complete Guide for Dental Labs and Clinics*. Obtenido de TTT Dental: https://tttdental.com.hk/cad-cam-dentistrycad-cam-workflowdigital-dentistry-workflow/

Zhang, Y., & Lawn, B. R. (2021). Mechanics and design of ceramic dental restorations. *Annual Review of Materials Research, 51*, 125-147. doi:https://doi.org/10.1146/annurev-matsci-081619-120417

ANEXO A: Encuesta inicial



Preguntas Respuestas 10 Configuración

ENCUESTA DE MANEJO DE FRESADORAS

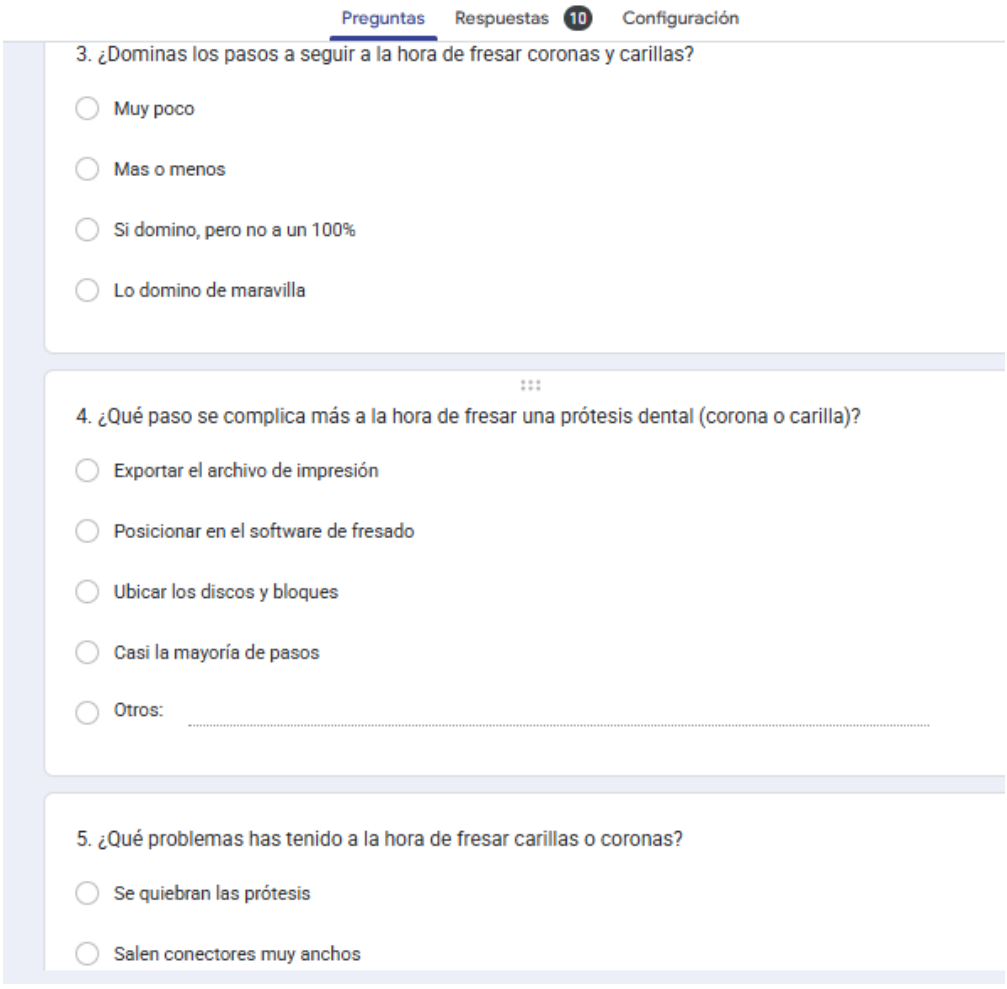
Dirigida a estudiantes de la carrera de aparatología dental

1. ¿A trabajado en el área de fresado de un laboratorio dental?

- Si
- No

2. ¿Has trabajado con fresadoras híbridas?

- Si, con híbrida
- Solo en húmedo
- Solo en seco
- No he trabajado en esa área



Preguntas Respuestas 10 Configuración

3. ¿Dominas los pasos a seguir a la hora de fresar coronas y carillas?

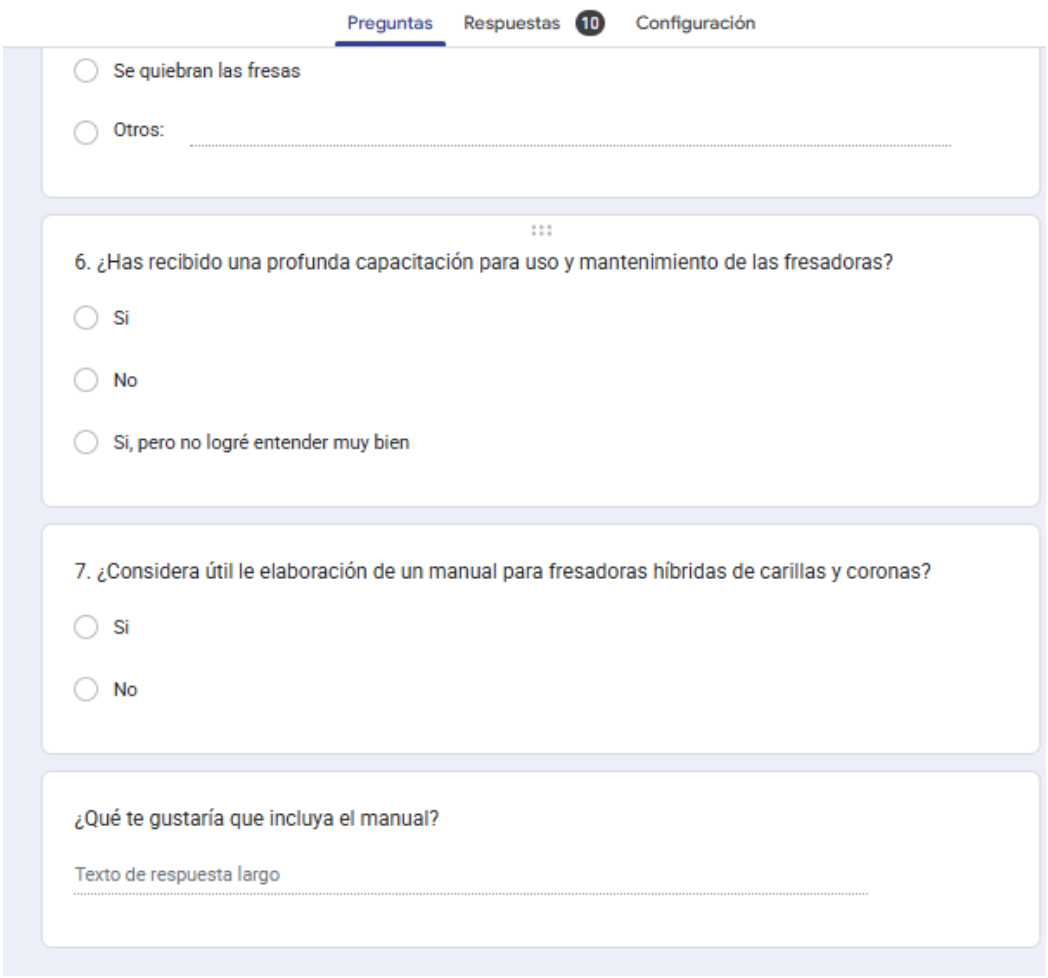
- Muy poco
- Mas o menos
- Si domino, pero no a un 100%
- Lo domino de maravilla

4. ¿Qué paso se complica más a la hora de fresar una prótesis dental (corona o carilla)?

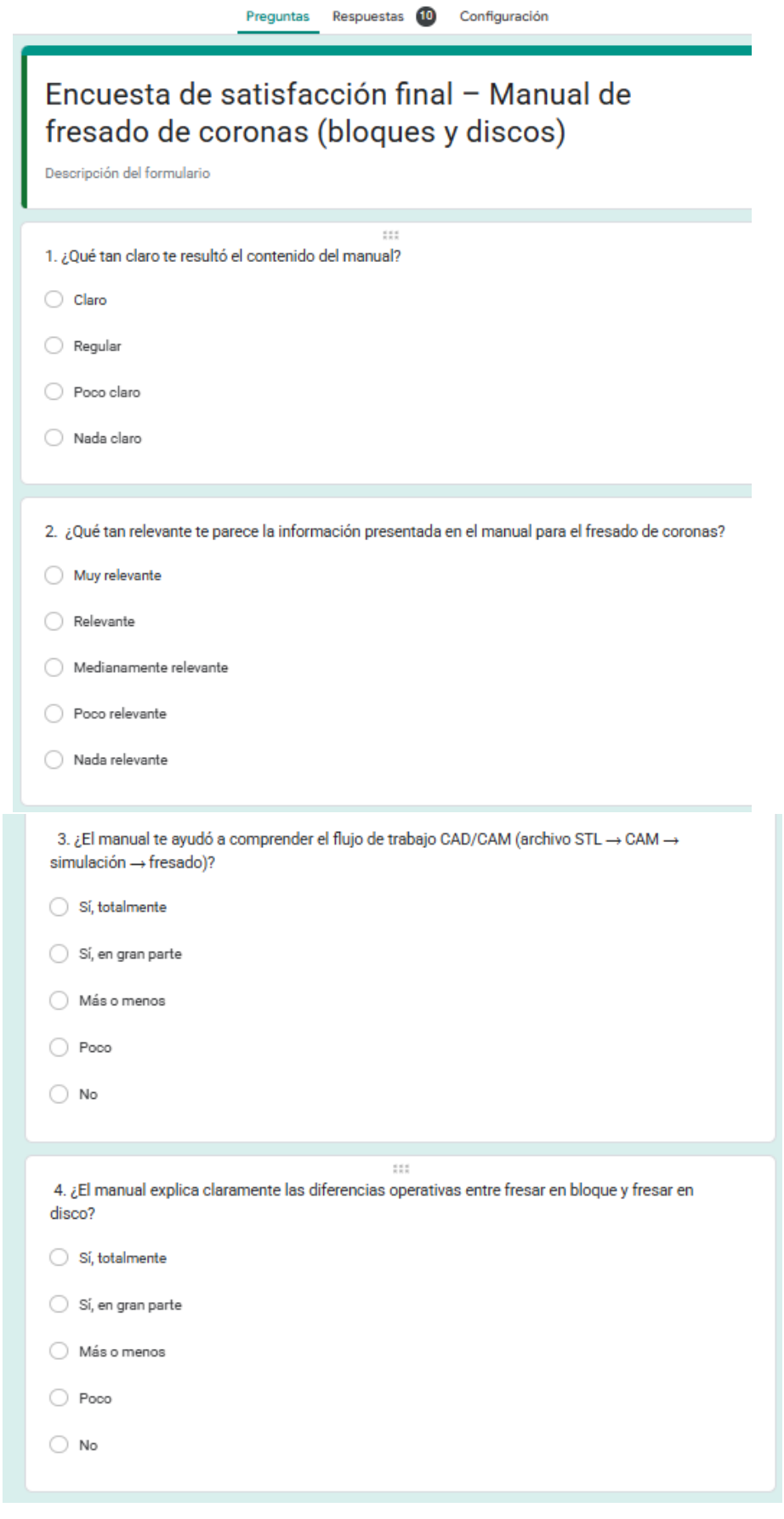
- Exportar el archivo de impresión
- Posicionar en el software de fresado
- Ubicar los discos y bloques
- Casi la mayoría de pasos
- Otros: .....

5. ¿Qué problemas has tenido a la hora de fresar carillas o coronas?

- Se quiebran las prótesis
- Salen conectores muy anchos


Preguntas
Respuestas 10
Configuración
Se quiebran las fresas
Otros:
6. ¿Has recibido una profunda capacitación para uso y mantenimiento de las fresadoras?
Si
No
Si, pero no logré entender muy bien
7. ¿Considera útil le elaboración de un manual para fresadoras híbridas de carillas y coronas?
Si
No
¿Qué te gustaría que incluya el manual?
Texto de respuesta largo

ANEXO B: Encuesta de satisfacción final



Preguntas Respuestas 10 Configuración

Encuesta de satisfacción final – Manual de fresado de coronas (bloques y discos)

Descripción del formulario

1. ¿Qué tan claro te resultó el contenido del manual?

- Claro
- Regular
- Poco claro
- Nada claro

2. ¿Qué tan relevante te parece la información presentada en el manual para el fresado de coronas?

- Muy relevante
- Relevante
- Medianamente relevante
- Poco relevante
- Nada relevante

3. ¿El manual te ayudó a comprender el flujo de trabajo CAD/CAM (archivo STL → CAM → simulación → fresado)?

- Sí, totalmente
- Sí, en gran parte
- Más o menos
- Poco
- No

4. ¿El manual explica claramente las diferencias operativas entre fresar en bloque y fresar en disco?

- Sí, totalmente
- Sí, en gran parte
- Más o menos
- Poco
- No

5. ¿El manual explica cuándo y por qué usar fresado en seco o en húmedo según el material?

- ○ Sí, totalmente
- ○ Más o menos
- ○ No

6. Utilidad de la sección de "posicionamiento en software"

- ○ Muy útil
- ○ Regular
- ○ Nada útil

Nivel de satisfacción general con el manual

Escala lineal

1 a 5

1 = Muy insatisfecho

5 = Muy satisfecho

TECNOLÓGICO SAN ANTONIO Tesa

CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD
TESA

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

El resultado obtenido refleja un **12%** 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, 12 de enero del 2026

TECNOLÓGICO SAN ANTONIO Tesa

COORDINACIÓN TITULACIÓN

Ana Paucar