

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO**

**Colegio de Postgrados**

**Análisis comparativo de la resistencia a la fractura entre materiales  
CAD/CAM para prótesis fija provisional:**

**Elena Alejandra Carrera Calahorrano**

**Cristian Abad Coronel, Dr., PhD  
Director del Trabajo de Titulación**

Trabajo de titulación de posgrado presentado como requisito para la obtención del título de  
Especialista en Rehabilitación Oral

Quito, diciembre 2021

**Universidad San Francisco de Quito**

**Colegio de Postgrados**

**HOJA DE APROBACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Análisis comparativo de la resistencia a la fractura entre materiales**

**CAD/CAM para prótesis fija provisional:**

**Elena Alejandra Carrera Calahorrano**

Firmas

Cristian Abad, Dr.

Director del Trabajo de Titulación

---

Nancy Mena, Dra.

Directora del Programa de  
Especialización en Prótesis Bucal

---

Paulina Aliaga, Dra.

Decana de la Escuela de Odontología

---

Hugo Burgos, PhD.

Decano del Colegio de Posgrados

---

**Quito, diciembre 2021**

**© DERECHOS DE AUTOR**

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

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

Nombre del estudiante: Elena Alejandra Carrera Calahorrano

Código de estudiante: 00212852

C. I.: 1722125406

Quito, 2021

## **DEDICATORIA**

A mi padre, quien en vida dio cada esfuerzo para que el día de hoy tenga la oportunidad de haberme formado como profesional. Sé que desde el cielo me sigue dando sus bendiciones.

A mi madre, quien sin descanso cada día ha sabido guiar mis pasos para ser mejor persona.

A mi esposo, apoyo incondicional, quien me alienta cada día a crecer y quien me visualiza alcanzando metas aún más grandes.

A mi hijo, bendición más grande, quien vive este gran paso desde mi vientre.

A mis queridos hermanos, quienes celebran mis logros como suyos.

## **AGRADECIMIENTOS**

Principalmente a Dios, mi guía y soporte, mi fortaleza y agarre, sin él no podría cumplir mis objetivos.

Un agradecimiento infinito a cada uno de mis docentes, quienes han sabido impartir desinteresadamente sus conocimientos como proyección de su labor misma.

A mi director de tesis, Dr. Cristian Abad, quien supo guiarme en cada uno de los pasos hacia el éxito y culminación de esta etapa crucial en mi vida profesional.

## RESUMEN

**OBJETIVO:** El objetivo de este estudio fue evaluar y comparar la resistencia a la fractura de las restauraciones provisionales obtenidas mediante técnicas aditivas (impresiones 3D) y técnicas sustractivas (fresado) utilizando el diseño asistido por ordenador de una Prótesis fija (PDF) de tres unidades.

**METODOLOGÍA:** Se fabricaron 40 muestras, divididas en 2 grupos ( $n = 20$ ) en forma de una PDF de tres unidades, utilizando: 1) Resina microhíbrida fotopolimerizable para coronas y puentes provisionales (PriZma 3D Bio Prov MarketechLabs) para el grupo de prototipos de creación rápida (RP). 2) Disco PMMA CAD / CAM (Vipiblock Trilux, VIP) para el grupo de Diseño Asistido por Computadora y Fresado Asistido por Computadora (CC). Se midió la resistencia a la fractura de cada grupo con una máquina de ensayo universal y se compararon los resultados mediante un análisis estadístico.

**RESULTADOS:** La fuerza promedio y la desviación estándar para la impresión 3D fue menor ( $1437,74 \pm 73,41$  N), en comparación con la fuerza promedio y la desviación estándar mediante fresado ( $1663,57 \pm 130,25$  N). También se pudo observar que el valor máximo de fuerza obtenido mediante la impresión 3D está muy cercano al valor mínimo de la restauración mediante la técnica de fresado. Los coeficientes de variación para Impresión 3D y fresado son bajos 5,11% y 7,83% respectivamente, lo que indica baja dispersión en las diferentes replicas con respecto del valor medio.

**PALABRAS CLAVE:** CAD / CAM, prototipado rápido, restauraciones provisionales, resistencia a la fractura.

## ABSTRACT

**AIM:** The aim of this study was to evaluate and compare the fracture resistance of interim restorations obtained using additive techniques (3D impressions) and subtractive techniques (milling) using the computer-aided design of a three-unit PDF, in relation to its clinical importance.

**METHODOLOGY:** 40 specimens, divided into 2 groups (n = 20) in the form of a three-unit PDF, were fabricated using: 1) Light-curing microhybrid resin for temporary crowns and bridges (PriZma 3D Bio Prov MarketechLabs) for the rapid-build prototype group (RP). 2) PMMA CAD / CAM disk (Vipiblock Trilux, VIP) for the Computer Aided Design and Computer Aided Milling (CC) group. The fracture strength of each group was measured with a universal testing machine and the results were compared by statistical analysis.

**RESULTS:** The average force and standard deviation for 3D printing was lower ( $1437.74 \pm 73.41$  N), compared to the average force and standard deviation using the milling technique ( $1663.57 \pm 130.25$  N). It could also be observed that the maximum value of force obtained by 3D printing is very close to the minimum value of the restoration by the milling technique. The coefficients of variation for 3D Printing and milling are low, 5.11% and 7.83% respectively, which indicates low dispersion in the different replicates with respect to the mean value.

**KEY WORDS:** CAD / CAM, rapid prototyping, interim restorations, fracture resistance.

## Índice:

<b>HOJA DE APROBACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN</b> .....	2
<b>© DERECHOS DE AUTOR</b> .....	3
<b>1</b> Introducción .....	12
1.1   Justificación .....	16
1.2   Objetivos .....	17
1.2.1   Objetivo General. ....	17
1.2.2   Objetivos Específicos.....	17
1.3   Hipótesis.....	18
1.3.1   Hipótesis nula .....	18
<b>2</b> Revisión de la literatura .....	19
2.1   Restauraciones provisionales.....	19
2.1.1   Objetivos y requisitos del uso de restauraciones provisionales .....	20
2.1.2   Materiales para fabricación de restauraciones provisionales .....	21
2.1.3   Técnicas de elaboración de restauraciones provisionales: .....	23
2.1.4   Manejo de deficiencias en restauraciones provisionales: .....	25
2.2   CAD/CAM en Odontología: .....	26
2.2.1   Historia y evolución:.....	26
2.2.2   Componentes del sistema CAD/CAM:.....	28
2.2.3   Clasificación de los sistemas CAD/CAM: .....	29
2.2.4   Técnica sustractiva: .....	31
2.2.5   Técnica aditiva / impresión 3D en Odontología:.....	34
2.2.6   Ventajas y desventajas de la tecnología CAD/CAM: .....	39
2.2.7   Materiales de restauración para uso CAD//CAM:.....	43
<b>3</b> Metodología y diseño de la investigación .....	48
3.1   Preparación de las muestras: .....	48
3.2   Proceso de escaneo y diseño de las muestras: .....	50
3.3   Materialización de las muestras:.....	56
3.3.1   Proceso de fresado:.....	56
3.3.2   Proceso de impresión 3D: .....	57

3.3.3	Post producción:.....	58
3.4	Proceso de termociclado:.....	58
3.5	Prueba de resistencia a la fractura:.....	59
3.6	Evaluación de modo de fractura: .....	60
3.7	Resultados: .....	63
3.8	Evaluación y análisis estadístico:.....	64
3.8.1	Análisis Descriptivo .....	64
3.8.2	Análisis Inferencial: .....	68
4	DISCUSIÓN:.....	73
5	CONCLUSIONES: .....	80
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:.....	81

## Índice de ilustraciones:

Ilustración 1 Secuencia de flujo Chairside.....	32
Ilustración 2 Secuencia de flujo labside .....	33
Ilustración 3 Clasificación de materiales CAD / CAM .....	47
Ilustración 4 Materiales empleados: a) Prizma BIO PROV. b) Vipiblock Triux .....	49
Ilustración 5 Tipodonto utilizado para escaneo y diseño de Prótesis fija de 3 unidades .....	49
Ilustración 6 Sección del tipodonto para diseño de Prótesis fija de 3 unidades.....	50
Ilustración 7 Escaneo de tipodonto - digitalización .....	51
Ilustración 8 Visualización de los márgenes de la preparación.....	51
Ilustración 9 Diseño de la Prótesis fija de 3 unidades.....	52
Ilustración 10 Visualización de parámetros de la restauración .....	52
Ilustración 11 Visualización interna de la restauración .....	53
Ilustración 12 Vista oclusal de la restauración.....	53
Ilustración 13 Vista frontal de la restauración .....	54
Ilustración 14 Visualización de la restauración con modelo en modo transparente - vista oclusal.	54
Ilustración 15 Visualización de la restauración con modelo en modo transparente - vista palatina	55
Ilustración 16 Visualización de la restauración con modelo en modo transparente - vista vestibular .....	55
Ilustración 17 Colocación de las restauraciones dentro del disco a ser fresado .....	56
Ilustración 18 Numeración de las restauraciones.....	56
Ilustración 19 Imágenes a, b y c - Anidado de restauraciones para proceso de impresión.....	57
Ilustración 20 a. Restauración provisional impresa. b. Restauración provisional fresada.....	58
Ilustración 21 Prueba de resistencia a la fractura - máquina de ensayo universal.....	60
Ilustración 22 Imágenes de fractura en zona de pónicos. Imágenes de arriba corresponden a muestras impresas e imágenes inferiores corresponden a restauraciones fresadas.....	61
Ilustración 23 Resumen de Metodología .....	62
Ilustración 24 Diagrama de caja para la variable Fuerza, según la técnica utilizada .....	66
Ilustración 25 Diagrama de caja para la variable Desplazamiento, según la técnica utilizada .....	67
Ilustración 26 Gráfico de líneas para la variable Fuerza, según la técnica utilizada .....	70
Ilustración 27 Gráfico de líneas para la variable Desplazamiento, según la técnica utilizada .....	72

## Índice de tablas:

Tabla 1 Resumen de objetivos que cumple una restauración provisional .....	21
Tabla 2 Clasificación general del sistema CAD/CAM.....	30
Tabla 3 Clasificación de materiales CAD / CAM .....	46
Tabla 4 Resumen de materiales utilizados para el análisis .....	48
Tabla 5 Resumen de resultados obtenidos para cada técnica en 20 muestras cada uno .....	63
Tabla 6 Resumen descriptivo de las variables Fuerza y Desplazamiento, según la técnica utilizada	65
Tabla 7 Prueba de Normalidad de las variables, según la técnica utilizada.....	69
Tabla 8 Prueba de Normalidad de las variables, según la técnica utilizada.....	69
Tabla 9 Prueba de U de Mann-Whitney para la variable Desplazamiento según la técnica utilizada .....	71
Tabla 10 Resumen artículos relacionados al tema de estudio.....	73

# 1 INTRODUCCIÓN

Según el Glosario de términos prostodónticos (GPT) del año 2017, una restauración provisional es una “prótesis dental fija o removible que es diseñada con el fin de mejorar la estética, la estabilización y/o la función durante un período de tiempo determinado, después del cual se debe reemplazar por una prótesis dental definitiva” (1). La colocación de restauraciones provisionales, consideradas como tratamientos intermedios se vuelve crítica en casos de rehabilitaciones completas, donde se ven involucradas varias piezas dentarias (2,3). En los casos mencionados, estas restauraciones provisionales pueden ser utilizadas por períodos de tiempo relativamente largos desde 6 a 12 semanas o inclusive más, asegurando el mantenimiento de la salud en los tejidos remanentes, monitorizando su estabilidad y posibilitando realizar los ajustes necesarios (4,5).

El uso de restauraciones provisionales tiene como objetivos: proteger el tejido pulpar y periodontal, promover una cicatrización guiada de tejidos, manejar adecuadamente perfiles de emergencia, evaluar procedimientos de higiene, entre otros. Con este tipo de restauraciones, además, el esquema oclusal adecuado con las determinadas relaciones maxilo-mandibulares, puede ser evaluado (2,4). En cuanto a los criterios de selección del material para las restauraciones provisionales, se deben considerar las propiedades físicas, mecánicas y de manipulación, asegurando que el material escogido cumpla con los requisitos específicos para cada caso clínico (3,5). Otro factor importante para considerar es la

biocompatibilidad del material con los tejidos blandos y su biotolerancia, pues ciertos materiales generan reacciones exotérmicas que podrían ser perjudiciales (4).

Es importante también, reconocer los diferentes requisitos de las restauraciones provisionales, como: estabilizar posicionalmente las piezas dentarias para lo que requieren precisión marginal, suficiente resistencia estructural y al desgaste; y que cumplan con características estéticas preservando su pulido y brillo (3, 4). La provisionalización es un paso relevante para predecir las restauraciones finales, mientras se recupera la salud de los pilares y se va produciendo la cicatrización en la zona de los pósticos y de los tejidos periodontales (2).

Existen tres grandes grupos de técnicas de elaboración de restauraciones provisionales:

1. Provisionalización directa en boca sobre los pilares o sobre los dientes preparados.
2. Provisionales realizados de forma indirecta.
3. Técnica mixta de provisionalización indirecta-directa.

Dentro de las técnicas indirectas está la utilización de un sistema CAD/CAM, donde determinados errores de procesamiento (dosificación, mezcla, estados del material) que se puede tener con una técnica directa se pueden reducir. Mediante un flujo de trabajo con un sistema CAD/CAM, se obtiene una prótesis provisional de alta calidad que satisface las demandas tanto del paciente como del clínico (8,9).

Durante la última década se ha incrementado exponencialmente el uso de sistemas CAD/CAM en odontología; gracias al avance en la adquisición de imágenes intraorales, al desarrollo de tecnologías de diseño y maquinado; y a la presencia de novedosos materiales para restauraciones dentales. Con la ayuda de estos sistemas, las restauraciones incluso se pueden realizar en una sola visita, ganando eficiencia y calidad en los tratamientos (10).

En un flujo de trabajo digital, la obtención del producto final a través del proceso CAM, puede ser sustractiva o aditiva. Dentro del proceso sustractivo está el fresado y tallado, métodos con los que se obtienen restauraciones a partir de un bloque o disco monolítico de un determinado material. Por otro lado, el proceso aditivo es el método de fabricación donde se obtiene el producto final acumulando consecutivamente capas de material, por ejemplo, mediante el método de impresión 3D, donde un haz de luz concentrado se enfoca en la superficie de la plataforma, y a medida que el haz de luz atrae el objeto, el material se va polimerizando (6, 10), técnica denominada como prototipado rápido (RP). Actualmente, la impresión 3D ha evolucionado con una gran variedad de materiales poliméricos para obtener el producto final (11).

Dentro de la gran variedad de materiales de selección para la realización de restauraciones provisionales de forma convencional están: 1. Resinas de polimetilmetacrilato (PMMA). 2. Resinas de polietilmetacrilato (PEMA). 3. Resinas de polivinil metacrilato. 4. Resinas bis acrílicas. 5. Dimetacrilatos de uretano. Cada material utilizado en el CAM tiene diferentes parámetros de procesamiento, por lo que el sistema debe ser ajustado específicamente. Está bien fundamentado, que el éxito de un tratamiento protésico realizado mediante la tecnología digital depende en gran parte de la selección del material. Para las restauraciones provisionales, los materiales a base de polímeros, como el PMMA, está dentro de los materiales CAD/CAM de elección primaria. Los bloques de PMMA para sistemas CAD/CAM tienen estructuras reticuladas, que otorgan mayores ventajas sobre los polímeros convencionales (6). Comprender las propiedades mecánicas de un material es necesario para evaluar sus condiciones de comportamiento en la práctica clínica. Por lo tanto, evaluar varias

propiedades mecánicas como: la resistencia a la flexión, la dureza, la resistencia al impacto y la estabilidad de color se vuelve relevante. (12).

Conocer la resistencia a la fractura y la microdureza de los materiales para restauraciones provisionales es importante, particularmente cuando el paciente debe utilizar la restauración provisional durante un período prolongado, exhibe hábitos parafuncionales o cuando están previstas prótesis de mayor extensión como es el caso de puentes fijos (11). Según Alp y cols, el PMMA CAD/CAM exhibe una resistencia mayor a la flexión que la resina bis acrílica y el PMMA convencional. Ante ello el PMMA CAD/CAM se ha posicionado como un material de prótesis provisional para uso a largo plazo (13).

Existe un aumento abrupto en la utilización de diseño y fabricación de restauraciones provisionales por medio del sistema CAD/CAM por su superioridad a técnicas convencionales directas (11). Sin embargo, los estudios sobre la comparación de resistencia a la fractura de restauraciones provisionales obtenidas entre técnicas sustractivas y aditivas son muy limitados (12). Es por ello por lo que este estudio tuvo como objetivo comparar la resistencia a la fractura de restauraciones provisionales obtenidas mediante técnicas aditivas (impresiones 3D) y técnicas sustractivas (fresado) con sistemas CAD/CAM.

## **1.1 Justificación**

Existe un aumento abrupto para la utilización de diseño y fabricación de restauraciones provisionales por medio del sistema CAD/CAM por su superioridad a técnicas convencionales directas (11). Sin embargo, los estudios sobre la comparación de resistencia a la fractura de restauraciones provisionales obtenidas entre técnicas sustractivas y aditivas son muy limitados (12). Es por ello por lo que, se justifica la realización del presente estudio donde se busca comparar la resistencia a la fractura de restauraciones provisionales obtenidas mediante técnicas aditivas (impresiones 3D) y técnicas sustractivas (fresado) mediante el diseño asistido por computadora de un puente de tres unidades, con relación a su importancia clínica.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General.**

Comparar la resistencia a la fractura de restauraciones provisionales obtenidas mediante técnicas aditivas (impresiones 3D) y técnicas sustractivas (fresado) mediante el diseño asistido por computadora de un puente de tres unidades, con relación a su importancia clínica.

### **1.2.2 Objetivos Específicos.**

1. Determinar si el uso de provisionales dentales mediante técnicas aditivas demuestran valores mayores de resistencia a la fractura con relación a los valores que pueden arrojar provisionales dentales obtenidos mediante técnicas sustractivas.
2. Determinar si el uso de provisionales dentales mediante técnicas sustractivas demuestran valores mayores de resistencia a la fractura con relación a los valores que pueden arrojar provisionales dentales obtenidos mediante técnicas aditivas.

## **1.3 Hipótesis**

### **1.3.1 Hipótesis nula**

No existen diferencias significativas entre los grupos estudiados de resistencia a la fractura entre una restauración provisional obtenida mediante fresado y una mediante impresión 3D.

## 2 REVISIÓN DE LA LITERATURA

### 2.1 Restauraciones provisionales

El diseño y la fabricación apropiada de una restauración provisional es crucial para el éxito de una prótesis definitiva. Una restauración provisional se define como una prótesis diseñada para cumplir con parámetros como estética, estabilización y/o función por un período determinado de tiempo, después del cual deberá ser reemplazada por una prótesis dental definitiva (22,23,24). Obviamente este tipo de prótesis son utilizadas como un asistente en determinadas terapias para un plan de tratamiento específico y encaminadas a la planeación de la prótesis definitiva. En la práctica clínica, una restauración provisional es importante para el éxito del tratamiento protésico y es reconocido como un paso intermedio entre la preparación dental y la colocación de la prótesis definitiva (22,23,24).

La importancia del uso de una restauración provisional se vuelve crucial en casos de reconstrucciones o rehabilitaciones completas, donde varias piezas dentales son preparadas (22,23,24). En estos casos, estas restauraciones provisionales típicamente están diseñadas para ser utilizadas por un período relativamente largo, tiempo estimado entre 6 meses a un año, para monitorizar al paciente y evaluar la satisfacción, confort y a su vez para ir realizando ajustes necesarios que garanticen la calidad de la restauración definitiva (22,23,24).

### 2.1.1 Objetivos y requisitos del uso de restauraciones provisionales

Cómo se citó en el apartado anterior, las restauraciones provisionales forman un paso crucial por un período de tiempo determinado hasta poder conseguir la colocación de la restauración definitiva, Es por ello por lo que, durante el tiempo en que son empleadas en boca deben cumplir con ciertos objetivos específicos como son:

1. Proteger la pieza preparada y el margen de esta de una posible contaminación externa.
2. Mantener una estabilidad posicional dental mediante la prevención de: rotaciones, inclinaciones y extrusiones dentarias.
3. Generar una variedad mecánica continua durante su tiempo en boca y durante el tratamiento como tal, como, por ejemplo: adaptación marginal, ajustes de contornos axiales de la gíngiva, correcta oclusión con su antagonista y modificaciones oclusales necesarias.
4. Jugar un papel clave en la funcionalidad oclusal.
5. Acondicionar al paciente para la recepción posterior de una rehabilitación definitiva.
6. Proveer de estética.
7. Proveer de salud periodontal, etc.

(22,23,24)

---

Protección pulpar y confort	Proteger el tejido pulpa y generar un efecto de sedación en las preparaciones. Protección dental ante caries.
-----------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

---

Estabilidad posicional y oclusal	Método que proporciona un reemplazo inmediato ante piezas perdidas. Estabilización de movilidad dental durante evaluación y terapias periodontales.
Salud periodontal	Evaluación de hábitos de higiene en casa por parte del paciente. Generar visibilidad y acceso a sitios quirúrgicos cuando son removidos. Brindar una matriz de retención después de tratamientos quirúrgicos periodontales. Proveer de un ambiente saludable periodontal.
Estética	Proveer y mejorar la estética
Diagnóstico	Basado en la evaluación oclusal antes de la colocación de un tratamiento definitivo. Permite la evaluación de dimensión vertical, fonética y función masticatoria.
Otros usos prácticos	Ayuda en determinadas evaluaciones y ajustes durante el tratamiento protésico ayudando a mejorar por ejemplo un aislamiento absoluto durante tratamientos endodónticos. Evaluación del paralelismo de los muñones preparados.

*Tabla 1 Resumen de objetivos que cumple una restauración provisional*

### **2.1.2 Materiales para fabricación de restauraciones provisionales**

La selección del material para la restauración provisional debe ser en base a cómo cumplen sus propiedades mecánicas, físicas y de manejo según el requerimiento clínico de cada caso. otro factor para considerar para la selección del material es su biocompatibilidad y sus posibles complicaciones de uso de forma intraoral, como, por ejemplo: riesgo de injurias químicas debido a la presencia de residuos de monómero, así como injurias térmicas por reacciones exotérmicas de polimerización que pueden presentar ciertos materiales (2,4).

Los materiales más comunes usados para la elaboración de restauraciones provisionales están basados en una serie de tipos de resinas acrílicas como son:

1. Resinas de polimetilmetacrilato (PMMA).

2. Resinas de polietilmetacrilato (PEMA).
3. Resinas de poli vinil metacrilato.
4. Resinas de composite bis-acryl.
5. Dimetacrilatos de uretano de fotocurado.

#### **2.1.2.1 COMPOSITES:**

Los materiales provisionales de composite abarcan una categoría bastante variable en virtud del hecho de que están compuestos químicamente por una combinación de 2 o más tipos de materiales (2). La mayoría de estos materiales utilizan resina bis-acrítica, un material hidrófobo similar al bis-GMA. Los materiales de composite están disponibles como autopolimerizados, polimerizados dual y polimerizados con luz visible. Los materiales provisionales de bis-acrílico son compuestos de resina y representan una mejora con respecto a los acrílicos porque se contraen menos, emiten menos calor durante el fraguado, excelente estética, mínimo olor y se pueden pulir al lado del sillón (2).

#### **2.1.2.2 CORONAS PREFORMADAS:**

Las coronas o matrices provisionales preformadas suelen estar formadas por carcasas de plástico, acetato de celulosa o metal con forma de diente. Por lo general, se recubren con resina acrílica para proporcionar un ajuste más personalizado antes de la cementación, pero las carcasas de coronas de plástico y metal también se pueden cementar directamente sobre los dientes preparados (2). La resina de policarbonato se usa comúnmente para coronas preformadas. La resina de policarbonato es la más utilizada para coronas preformadas. Estas coronas combinan fibras de microvidrio con un material plástico de policarbonato (2).

### **2.1.2.3 ACRÍLICOS:**

Estos materiales se han utilizado para fabricar restauraciones provisionales desde la década de 1930 y generalmente están disponibles en forma de polvo y líquido (2,23). Son los materiales más utilizados en la actualidad tanto para restauraciones unitarias como múltiples. Las ventajas de este material incluyen bajo costo, buena resistencia al desgaste, buena estética, alta capacidad de pulido, buena estabilidad del color, mientras que también tiene ciertos inconvenientes como una cantidad significativa de calor emitida por reacción exotérmica, alto grado de contracción (alrededor del 8%), olor desagradable, tiempo de trabajo corto, difícil de reparar y característica de ser radiotransparentes (2).

### **2.1.3 Técnicas de elaboración de restauraciones provisionales:**

#### **2.1.3.1 TÉCNICA INDIRECTA DE FABRICACIÓN DE PROVISIONALES:**

La técnica implica la fabricación de la restauración provisional fuera de la boca (2). La fabricación de restauraciones provisionales mediante la técnica indirecta elimina los problemas asociados con la técnica directa y también tiene la ventaja de que se puede delegar parcialmente en personal auxiliar. Fisher y col. describen el uso de una técnica indirecta para la fabricación provisional que utiliza una escayola de fraguado rápido (2). La técnica tiene varias ventajas sobre los procedimientos directos. No hay contacto del monómero libre con los dientes preparados o el tejido gingival, lo que podría causar daño tisular y una reacción alérgica o sensibilización (2). La técnica evita someter el diente preparado al calor desprendido de la resina autopolimerizable. En comparación con la técnica directa, tiene

menos deméritos. La principal desventaja de la técnica indirecta incluye un mayor tiempo junto a la silla y un mayor número de pasos intermedios (2,4).

Dentro de esta técnica está nombrar los diferentes procesos mediante los cuales se pueden obtener las restauraciones provisionales fuera de boca, dentro de los cuales está la materialización mediante procesos de diseño y manufactura asistida por computadora, mejor conocido como CAD/CAM, y es aquí donde se centran los estudios hoy en día, en conocer y evidenciar la simplificación de pasos y de errores de manejo que proporciona el manejo de tecnología CAD/CAM. El presente escrito enfatiza este punto por lo que, en los siguientes apartados se ampliará su estudio.

### ***2.1.3.2 TÉCNICA INDIRECTA-DIRECTA DE FABRICACIÓN DE***

#### ***PROVISIONALES:***

La técnica produce una forma de superficie externa preformada hecha a medida de la restauración, pero la forma de la superficie interna del tejido si está formada por moldes de diagnóstico preparados (2). Este procedimiento indirecto-directo tiene varias ventajas. Con la técnica combinada indirecta-directa, se puede reducir el tiempo en silla, ya que la carcasa provisional se fabrica antes de la cita del paciente (2). El control mejorado sobre los contornos de la restauración minimiza el tiempo necesario para los ajustes en clínica. La desventaja de este procedimiento es la posible necesidad de una fase de laboratorio antes de la preparación del diente y los ajustes que se necesitan con frecuencia para asentar completamente el provisional sobre el diente preparado (2,4).

### **2.1.3.1 TÉCNICA DIRECTA DE FABRICACIÓN DE PROVISIONALES:**

En la técnica directa, los dientes preparados del paciente y los tejidos gingivales proporcionan directamente la superficie del tejido eliminado. Esto es conveniente cuando la capacitación del asistente y las instalaciones del laboratorio de la oficina son inadecuadas para producir de manera eficiente una restauración indirecta. Sin embargo, la técnica directa tiene desventajas significativas como un posible trauma tisular por la resina auto polimerizable y un ajuste marginal inherentemente más pobre (2,22).

### **2.1.4 Manejo de deficiencias en restauraciones provisionales:**

1. *Fracturas:* la fractura de las restauraciones provisionales puede ocurrir al retirarlas de la boca, durante el recorte de la restauración o durante el funcionamiento. Esta falla a menudo ocurre como resultado de una grieta que se propaga por una falla en la superficie, resistencia transversal inadecuada, resistencia al impacto o resistencia a la fatiga (2,4). El mejor método para reducir la probabilidad de fractura es seleccionar el material apropiado en base a su comportamiento en el ambiente oral cuando estará sujeto a procesos de envejecimiento, fatiga, absorción de agua y desgaste (2,4). Por lo tanto, es importante conocer la resistencia a la flexión de varios tipos de resinas para restauraciones provisionales, ya que la mayoría de ellas son frágiles. A pesar de los informes contradictorios en la bibliografía, generalmente se acepta que los PMMA exhiben una mayor tenacidad a la fractura que las resinas de metacrilato de bisfenol (bis-GMA) (2,4).

2. *Falta de integridad en el contorno externo:* A menudo es necesario agregar material para lograr la morfología deseada y los contactos adecuados con los dientes opuestos o adyacentes. La forma correcta de los contornos externos proporciona estabilidad proximal y oclusal y mantiene la posición de los dientes mientras se ejecuta el plan de restauración (2,4).
3. *Inexactitud marginal:* Las restauraciones provisionales deben exhibir una adaptación marginal precisa a la línea de acabado del diente preparado para proteger la pulpa de agresiones térmicas, bacterianas y químicas. Pueden ocurrir deficiencias cuando se usa resina acrílica autopolimerizable, debido a la contracción dimensional por la diferencia de densidad entre el polímero y el monómero. En estos casos, los espacios marginales resultantes pueden minimizarse mediante el rebasado de las restauraciones (2,4). La adición de material provisional permite una adaptación más cercana a la línea de meta de los dientes preparados. Se ha recomendado el rebasado en el momento de la fabricación para compensar la contracción de polimerización de la resina, disminuir la reacción exotérmica y mejorar la retención inicial (2,4).

## **2.2 CAD/CAM en Odontología:**

### **2.2.1 Historia y evolución:**

A finales del siglo 20, hubo un gran avance en la Odontología y su tecnología con respecto a un nuevo sistema de diseño asistido por computadora y un sistema de fabricación asistida por computadora, llamada CAD/CAM (25,26,27). En este punto una nueva era para la Odontología moderna comenzó e inició con la introducción de esta reciente tecnología.

Los diversos enfoques históricos que marcan la utilización de esta tecnología especialmente en Odontología restauradora tienen primicias desde la década de los 70, donde se introdujo el sistema Duret, desarrollado por Francois Duret, apoyado por la compañía “Hensson International” (25,26,27). Este primer sistema fue pionero en la impresión óptica desde donde se pudo generar un diseño y un fresado de un diente pilar. Contrario a lo que se pensaría, este sistema implicaba complejidad, alto costo, entre otras dificultades que generaron que el sistema como tal no progresara en el mercado (25,26,27).

Posterior a esta primicia, se lanzó al mercado el siguiente sistema denominado “sistema Sopha”, impulsado por la compañía “Sopha Bioconcept”. Seguido a ello, en la década de 1980 en la Universidad de Zurich en Suiza, el Dr. Werner Mormann y Marco Brandestini introdujeron el primer sistema comercial CAD / CAM en una clínica dental (25,26,27). Esta tecnología hizo cambios importantes en la práctica dental al permitir a los clínicos terminar múltiples trabajos para restauraciones cerámicas como coronas completas, inlays, onlays y carillas en la propia clínica dental (25,26,27).

La primera restauración cerámica de trabajo directamente en el sillón dental con el sistema CEREC1 CAD / CAM se fabricó y utilizó en 1985. Sin embargo, un estudio de los autores Culp y Touchstone mostró que este sistema se introdujo a principios de 1982 (25,26,27).

Después de este período, el Dr. Anderson intentó introducir el Sistema Procera. Este sistema permite el mecanizado de cofias de titanio por electroerosión. Con ello, Anderson intentó llevar a cabo un proceso de restauración con carillas de composite (25,26,27). Con el

tiempo, se convirtió en un sistema popular en todo el mundo para la fabricación de estructuras de cerámica sin metal a través de un proceso de red centralizado con digitalizadores satelitales (25,26,27).

En el pasado, el sistema CAD / CAM se utilizaba tanto para uso dentro del laboratorio como en el denominado uso “en el sillón dental”. Sin embargo, recientemente se ha vuelto factible fusionar los conceptos. Por lo tanto, se han beneficiado tanto los profesionales dentales como los técnicos experimentados (25,26,27). Con el avance tecnológico, hoy en día los sistemas CAD / CAM se han podido introducir y ramificar en otros campos de la Odontología como: la cirugía oral, periodoncia, ortodoncia, implantología y cirugía maxilofacial; ya no se encuentra solo en el campo de la restauración. Estos son signos de un papel importante y la evolución continua de esta tecnología, desde un prototipo de máquina simple hasta una desarrollada recientemente con capacidades mayores (41).

### **2.2.2 Componentes del sistema CAD/CAM:**

Ahora es importante inmiscuirse en conocer a esta tecnología novedosa de la Odontología, los sistemas CAD CAM cuentan y se componen de 3 partes principales:

1. *Unidad de adquisición de datos - CAD:* Como su nombre lo indica ayuda en la recolección de los datos, en este caso del área preparada en boca, así como de estructuras adyacentes y opuestas. Con la ayuda de escáneres que pueden ser intraorales (manejo directo en boca desde el sillón dental) o extraorales (manejo de una adquisición fuera de boca desde un modelo de yeso tomado por medio de una

impresión convencional), esta información se convierte en una impresión virtual o digital (28).

2. *Software de diseño*: Como su nombre indica, se basa en un software que ayuda para el diseño de restauraciones virtuales mediante un modelo de trabajo virtual mismo que va a encaminar al tercer y último componente del sistema (28, 29).
3. *Dispositivo de fresado o sistema CAM*: como su nombre indica, se basa en un dispositivo computarizado utilizado para la fabricación de restauraciones a partir de un material de restauración. Este dispositivo puede ser mediante tecnología sustractiva, es decir, fresado a partir de un bloque duro o disco de material restaurador. Por otro lado, tecnología aditiva mediante el uso de impresoras digitales (30).

### **2.2.3 Clasificación de los sistemas CAD/CAM:**

Los sistemas CAD/CAM se clasifican tanto en sistemas de uso de laboratorio como en sistemas de sillón. Básicamente para comprender la clasificación, se debe comprender el tipo de sistema que cada casa comercial ofrece (34). Si se habla de un sistema de laboratorio, existen casas comerciales que ofrecen el sistema completo desde su propio escáner hasta su propia unidad de fresado. Por otro lado, existen casas comerciales que ofrecen solo el sistema CAD, que debe ser combinado con un sistema CAM de otra casa comercial. Lo mismo sucede con los sistemas de sillón (35).

Los sistemas CAD/CAM también se los pueden clasificar según su sistema de intercambio de datos sea este abierto o cerrado. Por un lado, los sistemas cerrados se

encuentran integrados en un solo sistema en donde no existe un intercambio entre diferentes componentes de otras casas comerciales (41). Por otro lado, los sistemas abiertos permiten la adopción de datos digitales originales de un software CAD y dispositivos CAM de varias empresas. Hoy en día la mayoría de los sistemas son de carácter abierto, debido a la necesidad de comunicación, envío y almacenamiento de archivos STL (39,41).

Tabla 2 Clasificación general del sistema CAD/CAM

Tipos	Descripción general
<i>Producción “chairside” o en silla</i>	<p>Ahorro de tiempo ofreciendo al paciente una restauración fabricada en la misma cita.</p> <p>El sistema CEREC ofrece esta oportunidad.</p> <p>Beneficio de la capacidad de utilizar un programa 3D y obtener una restauración precisa.</p>
<i>Producción de laboratorio</i>	<p>Similar a la secuencia de trabajo entre clínico y técnico dental.</p> <p>Los datos 3D se generan a través de un modelo maestro modelo de yeso.</p> <p>Mayor tiempo de trabajo.</p> <p>Por el tiempo que conlleva, uno de los puntos a favor podría ser que el técnico dental posee el tiempo para la fabricación de un diseño adecuado con mayor precisión y cuidado</p>
<i>Producción centralizada</i>	<p>Los escáneres satelitales se encuentran conectados directamente con un centro de producción a través de la red de internet.</p> <p>Siendo un sistema abierto en comparación con otros sistemas presentes en el mercado.</p>

#### **2.2.4 Técnica sustractiva:**

La tecnología en Odontología requería tradicionalmente de un alto nivel de destreza manual y se basaba en generar múltiples etapas para lograr un éxito a largo plazo reflejado en una prótesis dental. Dentro de estas múltiples etapas también se consideran variables tales como, por ejemplo: el generar una precisión adecuada en cuanto al ajuste entre el pilar y la subestructura, el correcto manejo de materiales de impresión intraoral, así como la técnica clínica utilizada para su uso, una manipulación adecuada del yeso, así como el manejo de materiales en cuanto a conocimiento de su expansión y contracción en procesos de laboratorio donde se podían ver afectados. Estas variables mencionadas se eliminaron con el inicio de nuevas tecnologías de diseño en este caso asistidos por computadora (CAD) así como la fabricación o manufactura asistida por computadora (CAM) (54).

La fabricación asistida por computadora no es una tecnología nueva, De hecho, se encuentra inmersa en la odontología desde la década de los 70. En aplicaciones dentales, la manufactura asistida por computadora comienza con la generación de una estructura diseñada que se va a reflejar en un material de bloque o disco que puede ser conseguido mediante dos técnicas: 1. Fresado o 2. Tallado, básicamente conseguidos por una fresadora controlada por una computadora. Esta fresadora va a ejecutar comandos para generar la eliminación del material que no se desea para el producto final; a esta técnica o método también se le conoce como “fabricación o técnica sustractiva” (54).

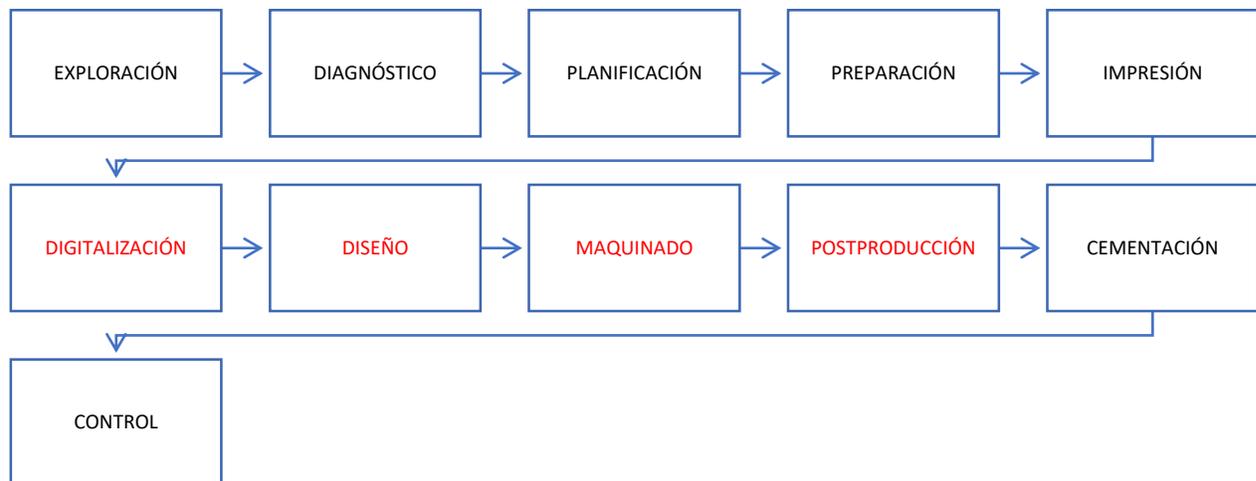
A lo largo de estos 50 años, los procesos CAM han logrado alcanzar un valor bastante alto de sofisticación y de complejidad a la hora de generar productos (54).

Para lograr el fin de la técnica sustractiva existen varios flujos de trabajo que el clínico puede tomar en consideración:

*FLUJO DIGITAL:*

**2.2.4.1 FLUJO CHAIRSIDE:**

- La evidencia de un flujo chairside nació con CEREC en 1985.
- Básicamente el clínico requiere del sistema completo integrado dentro del sitio de trabajo, esto quiere decir tener la herramienta de escaneo, el software de diseño y el hardware para la generación de la restauración final.



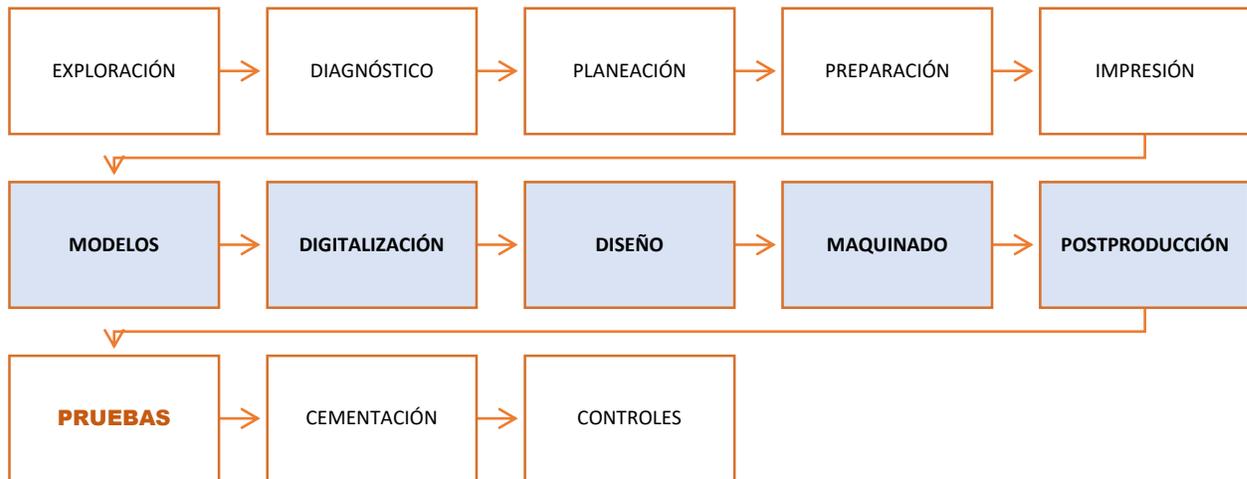
*Ilustración 1 Secuencia de flujo Chairside*

(54)

**2.2.4.2 FLUJO DE LABORATORIO (LABSIDE):**

- Este flujo se basa en la generación de una impresión convencional en silicona de las preparaciones dentales, de la misma se genera un modelo de yeso que se envía al

laboratorio dental para que genere la digitalización con un escáner extraoral, generen el diseño y el maquinado de la restauración final (54).



*Ilustración 2 Secuencia de flujo labside*

(54)

#### **2.2.4.3 FLUJO MIXTO (MIXED):**

- Este flujo resulta ser un flujo donde un laboratorio dental acepta un archivo STL de un escaneo realizado por el clínico mediante un escáner intraoral. El laboratorio genera el diseño y a su vez la manufactura de la restauración final (54).

#### **2.2.4.4 FRESADORAS:**

Al hablar de las fresadoras, existen múltiples opciones disponibles en el mercado para aplicación dentro del área odontológica. básicamente las fresadoras van a clasificarse según su número de ejes. la más simple es la fresadora de 3 ejes, donde el esquema de herramienta de la fresadora controla simultáneamente el movimiento de la fresa en los planos X,Y y Z.

este tipo de fresadoras se menciona que son apropiadas para la mayoría de restauraciones que no se consideran complejas o que no presentan superficies ocultas, si existe un componente en el fresado que requiere de un esquema de curvatura dramática puede que este tipo de fresadoras no generen restauraciones finales totalmente apropiadas lo que limitaría la precisión del producto final (54).

Una segunda opción es una fresadora con cuatro ejes. este tipo de fresadora proporciona un elemento adicional de precisión, debido a que se mueve a lo largo de un cuarto plano, que permite que la trayectoria de la herramienta alcance una mayor curvatura y logre de esta forma un mejor y mayor detalle en el producto final (54).

Finalmente, también están las fresadoras de 5 ejes, que resultan ser más versátiles por qué controlan su trayectoria en 5 movimientos todas de forma continua. para comprender mejor se producen dos movimientos simultáneos dentro de la fresadora: por un lado, el movimiento de los ejes X, Y y, Z. Por otro lado, el movimiento de los ejes A y B. esta versatilidad tiene una ventaja única en que el esquema de trayectoria de las herramientas facilite una precisión mayor en el producto final inclusive de casos complejos como lo son los implantes (54).

### **2.2.5 Técnica aditiva / impresión 3D en Odontología:**

En 1986, se introdujo la primera tecnología de impresión tridimensional, desde allí la industria de esta ha ido desarrollando amplias tecnologías de fabricación de aplicación en varios campos. En el mismo año se patentó la estereolitografía (SLA), y a su vez se

construyeron y desarrollaron varios sistemas de impresión 3D. Desde ese entonces, la impresión tridimensional ha ido progresando con gran amplitud (44).

También conocida como fabricación aditiva, se basa en un diseño asistido por computadora (CAD), y materializado con la estandarización de materiales para crear objetos en tercera dimensión de forma personalizada. Se basa su utilización en la creación rápida de prototipos que en la actualidad se utilizan ampliamente en diferentes campos nombrando al campo de la Medicina, la técnica de impresión tridimensional se ha venido utilizando en las áreas de Traumatología, Cirugía, Neurología, Cardiología, etc. En el campo de la Odontología, su utilización y aplicación va desde el área de la prostodoncia, cirugía maxilofacial, implantología, periodoncia y hasta en ortodoncia (44).

La técnica de impresión 3D tiene consigo varias ventajas, dentro de los cuales se pueden citar:

1. Rápida producción.
2. Alta precisión.
3. Personalización de estructuras, lo que permite que en el área de la prostodoncia las prótesis sean mucho más fáciles de obtener.
4. Por su facilidad de uso en la odontología, proporciona al paciente un servicio más personalizado y de menor costo.
5. Simplificación de un flujo de trabajo tradicional.
6. Varios estudios han demostrado inclusive mejores resultados en restauraciones dentales a comparación de las obtenidas mediante una técnica sustractiva o de fresado.

7. La tecnología de impresión 3D logra aceptar rápidamente datos CAD.
8. Mediante esta técnica se puede fabricar rápidamente piezas individuales y a su vez en lotes.
9. Alto beneficio económico.
10. Producción a escala con una baja demanda.

(44)

#### **2.2.5.1 APLICACIONES CLÍNICAS:**

1. **Obtención de modelos de trabajo:** Tradicionalmente un modelo de trabajo es obtenido mediante un modelo de yeso físico. Dentro de la Odontología digital, mediante el uso de la impresión 3D se pueden obtener modelos impresos que poseen consigo varias ventajas, como, por ejemplo: un peso más ligero, mínima probabilidad de daño, mayor durabilidad, medio resistencia al desgaste, mayor precisión, facilidad de reproductibilidad, etc. (44).
2. **Obtención de coronas y puentes provisionales:** La fase de provisionalización, es una fase de transición hacia restauraciones fijas que debe cumplir con requisitos estéticos, biológicos y mecánicos como se han descrito y enumerado en apartados anteriores (44).
  - a. Mediante un método tradicional de fabricación de restauraciones provisionales, se evidencia la necesidad de una habilidad amplia del operador durante la mezcla del material lo que puede conllevar a varios errores. Para solucionar una técnica tradicional errónea, el uso de tecnología tridimensional

de impresión a base de resina ha llegado a mejorar la transición en el tratamiento rehabilitador (44).

- b. Si se compara como una técnica sustractiva de fresado, la cantidad de material utilizado es menor, validando en una pérdida mínima de material. Mediante la impresión 3D se puede obtener coronas y puentes con una reproducción de detalles bastante favorable. A su vez, obteniendo restauraciones con un ajuste que garantice una estabilidad mecánica y una duración que a su vez se vea reflejada en una salud de los tejidos blandos circundantes, evitando microfiltraciones, decoloraciones, acúmulo de placa, posible presencia de enfermedad periodontal o sensibilidad dental, etc. (44).

3. **Obtención de dentaduras completas:** Como ya se ha venido mencionando, la tecnología que presenta una impresora 3D hace que se logre la recepción de datos CAD y de esta forma poder crear de manera rápida un nuevo modelo digital, pudiendo materializarlo a base de resina sin necesidad de moldes, accesorios o herramientas de corte manual. A su vez, se pueden obtener también bases de prótesis completas (44).

- a. La tecnología de impresión 3D posee varias ventajas, ante ellas, la forma rápida de producción de prótesis, reduciendo el tiempo empleado de trabajo que gana un punto más a favor y es que se pueden reducir errores. A pesar de lo mencionado, aún la aplicación de la impresión 3D para la fabricación de prótesis completas está bajo estudio y exploración (44).

4. **Obtención de estructuras de prótesis parciales removibles:** El acelerado avance que ha tenido la tecnología CAD/CAM ha logrado abrir varias y nuevas vías en

técnicas aditivas y sustractivas con el fin de fabricación y materialización de estructuras o armazones de prótesis parciales removibles (44).

a. Para obtener esta estructura entonces se deben seguir una serie de pasos como son:

i. Como primer paso, el uso de un escáner sea este intraoral o extraoral obteniendo con ello un archivo STL.

ii. Transferencia del archivo STL a un software CAD para generar un diseño de la estructura deseada.

iii. Envío del diseño a un software respectivo de la impresora 3D a utilizar de esta forma se logra materializar la estructura personalizada (44).

b. El flujo mencionado en estos 3 resumidos pasos hace que el flujo digital tenga aún más ventajas sobre un proceso convencional o flujo de trabajo tradicional. Se puede mencionar que, mediante un flujo convencional, el encerado y el revestimiento que se debe realizar manualmente puede provocar distorsiones de modelo provocando un posible mal ajuste en boca; aún más importante esta distorsión puede generar lesiones en la mucosa inducidas por la presión y la reabsorción del reborde. En comparación con ello, una estructura obtenida mediante un flujo digital permite que la base de la prótesis genere una presión de contacto con la mucosa de forma más uniforme y así se reduzca la posibilidad de una reabsorción ósea a largo plazo (44).

5. Obtención de férulas o guardas oclusales: Una férula oclusal es un dispositivo que posee propiedades terapéuticas cuando se tratan del manejo de trastornos de la articulación temporomandibular (44).

- a. Bajo un flujo normal de trabajo la realización de una férula o guarda oclusal se hace un proceso tedioso y largo. Sin embargo, en la impresión 3D, solo se debe retirar la estructura de soporte para la fabricación de la férula. Otra ventaja de esta técnica es que se pueden fabricar varias férulas simultáneamente, mejorando así la eficiencia a la hora de la fabricación, en cuanto a tiempo de trabajo y costos (44).
6. Elaboración de guías quirúrgicas: realizar una cirugía de implantes con ayuda de una guía quirúrgica puede mejorar en gran cantidad la precisión y a la vez la eficacia en el tratamiento clínico, reduciendo errores y generando resultados predecibles del tratamiento final (44).
    - a. Guías dinámicas: este tipo de guías se utilizan con ayuda de un sistema mecánico óptico para generar la transferencia de los planos virtuales al área quirúrgica y de esta manera mostrar el proceso en una pantalla a tiempo real (44).
    - b. Guías estáticas: Este tipo de guías son fabricadas en el laboratorio mediante una impresión en tercera dimensión. En la actualidad inclusive existe una guía quirúrgica que se realiza bajo la combinación con un CBCT, un escaneo integral y una planificación virtual que se crea combinando los diferentes archivos digitales obtenidos (44).

### **2.2.6 Ventajas y desventajas de la tecnología CAD/CAM:**

El uso de la tecnología CAD / CAM para restauraciones dentales tiene numerosas ventajas sobre las técnicas tradicionales. Estas ventajas incluyen:

1. Velocidad, facilidad de uso y calidad. Los escaneos digitales tienen el potencial de ser más rápidos y fáciles que las impresiones convencionales porque se eliminan procesos intermedios como: moldes, encerados, el revestimiento, el vaciado y la cocción (40,41).
2. Tener una fresadora en el lugar significa que los pacientes pueden recibir su restauración permanente el mismo día que ingresan, sin necesidad de una segunda cita (40,41).
3. Los pacientes ya no necesitan tener restauraciones provisionales, que toman tiempo para fabricar y ajustar (40,41).
4. Si se necesitan anestésicos, solo deben administrarse una vez (40,41).
5. La calidad de las restauraciones CAD / CAM es extremadamente alta porque las mediciones y la fabricación son extremadamente precisas. Quizás esta diferencia en el producto terminado no debería sorprender, dada la amplia variación en la calidad de las impresiones tradicionales (40,41).
6. Las impresiones tradicionales incluyen problemas, como burbujas y desgarros en el material de impresión, hilos u otros residuos incrustados en el material de impresión, etc. (40,41).
7. Las restauraciones CAD / CAM tienen un aspecto natural porque los bloques de cerámica tienen una calidad translúcida que emula el esmalte y están disponibles en una amplia gama de tonos (40,41).
8. La cerámica es un material biocompatible en boca, incluso cuando se usa para los dientes posteriores; debido a que no es más abrasivo que las resinas de composite

posteriores convencionales e híbridas, provoca un desgaste mínimo de los dientes antagonistas (40,41).

9. La calidad es constante debido a los bloques cerámicos /prefabricados que están libres de defectos internos, y el programa de computadora está diseñado para producir formas resistentes al desgaste (40,41).
10. Los ahorros en tiempo y mano de obra tienen el potencial de reducir los costos, y la promesa de generar restauraciones más rápidas y de alta calidad atrae a los pacientes (40,41).
11. Los pacientes están satisfechos con la tecnología digital, debido a que se elimina la producción de impresiones convencionales que resultan engorrosas para el paciente, inclusive provocando náuseas (40,41).
12. Otro beneficio es que todos los escaneos se pueden almacenar en la computadora, mientras que los modelos de piedra estándar ocupan espacio y pueden astillarse o romperse si se almacenan incorrectamente (40,41).

Los sistemas digitales no están exentos de inconvenientes, aquí se pueden citar ciertas desventajas:

1. El costo inicial del equipo y el software es alto y el profesional necesita invertir tiempo y dinero en capacitación (40,41).
2. Los dentistas sin un volumen suficientemente grande de restauraciones tendrán dificultades para hacer que su inversión valga la pena (40,41).

3. Al igual que con las impresiones convencionales, al tomar un escaneo óptico, el dentista requiere lograr un registro preciso del diente para obtener una restauración precisa (40,41).
4. El escaneo debe enfatizar la línea de terminación y duplicar los dientes circundantes y en oclusión (40,41).
5. El escaneo digital requiere un tipo similar de manejo de tejidos blandos, retracción, control de humedad y hemostasia que es extremadamente importante para las impresiones convencionales (40,41).
6. Es posible que los sistemas de impresión digital no ahorren tiempo, ya que se utilizan actualmente debido a la necesidad de varios pasos. Por ejemplo, los dentistas que utilizan ciertos escáneres deben enviar primero las imágenes para un proceso de limpieza, que es seguido por un técnico dental que fija los márgenes. Las imágenes luego se envían de regreso para su revisión. Luego, los modelos y matrices completos se envían al laboratorio dental nuevamente para el proceso de fabricación (40,41).
7. La ausencia de vitrocerámica en forma de disco es una deficiencia. Una vez que esté disponible en forma de disco, la técnica de prensado probablemente desaparecerá. Además, la tecnología de aditivos se limita a materiales poliméricos y metálicos y, hasta ahora, no incluye la cerámica. Una limitación más es el arco completo limitado (40,41).
8. Se ha observado que las estructuras de zirconia en los dientes que requieren estructuras curvas más largas están sujetas a una mayor distorsión de sinterización que las estructuras rectas más cortas, lo que puede afectar potencialmente al ajuste y

la adaptación. Las estructuras de zirconia presentan un ajuste preciso solo para prótesis de arco parcial (40,41).

### **2.2.7 Materiales de restauración para uso CAD//CAM:**

El amplio campo de materiales utilizados en la fabricación asistida por computadora es de gran interés y estudio. Dentro de los mismos se incluyen no solo polímeros acrílicos, sino también múltiples materiales cerámicos y compuestos de resina (56).

Cada material tiene diferentes parámetros de procesamiento y, por lo tanto, todo el sistema debe ajustarse para el uso de un material específico. El éxito del tratamiento protésico con tecnología CAD / CAM depende, hasta cierto punto de la selección del material, pero también de todos los pasos de un tratamiento: desde la planificación del caso, hasta la preparación correcta, escaneo preciso y diseño, dando como resultado la fabricación y cementación de una restauración que cumpla con las características deseables, recordando que, la eficiencia radica en la posibilidad de un fresado a alta velocidad sin daños y un breve tiempo de preparación de la restauración después del fresado (56).

Las cerámicas que se utilizan actualmente son predominantemente alúmina, incluidas las posteriormente infiltradas con cerámica vítrea, zirconia y porcelana (37, 38). Los sistemas CAD / CAM basados en el mecanizado de bloques de alúmina o zirconia presinterizados en combinación con cerámicas de recubrimiento especialmente diseñadas para satisfacer la demanda de coronas posteriores de cerámica sin metal y restauraciones parciales fijas. Aunque muchos materiales se presentan como monocromáticos, estos materiales cerámicos ofrecen una excelente estética, biocompatibilidad, excelente estabilidad del color, baja

conductividad térmica y excelente resistencia al desgaste. Se han utilizado con éxito como inlays, onlays, carillas y coronas (37, 38).

La zirconia es lo suficientemente fuerte y tiene una alta biocompatibilidad. Los materiales de zirconia completamente sinterizados pueden ser difíciles de fresar, lo que requiere 3 horas para una sola unidad. En comparación con el óxido de circonio totalmente sinterizado, el fresado de restauraciones a partir de bloques sólidos presinterizados o parcialmente sinterizados es más fácil y requiere menos tiempo, genera menos carga y desgaste de la herramienta y proporciona una mayor precisión (37, 38).

Ahora bien, si analizamos a los materiales a base de polímero, debido a sus propiedades mecánicas y biocompatibilidad, el poli (metacrilato de metilo) (PMMA) se introdujo como material de elección CAD / CAM para la fabricación de prótesis (56). Además, la resina de PMMA se encuentra entre los materiales acrílicos más antiguos utilizados en odontología. El PMMA en bloques CAD / CAM se presenta en forma reticulada, a diferencia de la aplicación dental convencional donde se somete a fotocurado. La naturaleza altamente reticulada de esos materiales los coloca antes que las resinas provisionales polimerizadas convencionalmente en términos de durabilidad y facilidad de procesamiento (56).

Como lo indica el autor Alp et al. (2019), los polímeros CAD / CAM basados en PMMA llegan a exhibir una mayor resistencia a la flexión que los derivados de bis-acril, así como de los materiales de resina provisional de PMMA convencional (56).

Entre los otros polímeros de alto rendimiento utilizados en los sistemas CAD / CAM para la fabricación, tenemos poli (éter éter cetona), comúnmente conocido como PEEK. Como muchos otros materiales poliméricos utilizados en odontología, tiene características termoplásticas y una mayor biocompatibilidad. Vale la pena mencionar que PEEK tiene un módulo de elasticidad en el nivel de 3-4 Gpa, que está muy cerca del módulo del hueso esponjoso tipo 3. Se conoce que este polímero es aplicable para prótesis removibles debido a sus propiedades mecánicas, baja decoloración y contenido mínimo de monómero cuando se produce mediante CAD / CAM (56).

A su vez, es importante mencionar que se han sugerido materiales a base de PMMA para uso en prótesis provisionales a largo plazo (56).

Es importante en este punto recalcar que con el desarrollo de materiales CAD / CAM, y el aumento de las expectativas tanto del clínico como del paciente, se han introducido en el mercado estructuras híbridas, como resinas compuestas, cerámicas híbridas o materiales convencionales con aditivos que alteran sus propiedades físicas. Se sabe que estos materiales híbridos se encuentran compuestos de al menos dos sustancias, que exhiben propiedades de cada una de ellas (56). No es de extrañar que en dentro de los materiales CAD / CAM se utilice un aditivo para materiales poliméricos o cerámicos con el fin de potenciar las propiedades tribológicas, mecánicas o simplemente la estética de las prótesis (56). La división de dichos compuestos se basa en su estructura y proceso de fabricación. Podemos delinear redes cerámicas infiltradas con polímero (PICN) y bloques de resina compuesta (RCB). La primera consta de dos fases: un andamio cerámico y una red polimérica

interpenetrante. Mientras que los segundos se forman transfiriendo la carga a una mezcla de monómeros (56).

Tabla 3 Clasificación de materiales CAD / CAM

<b>TIPO DE MATERIAL</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<i>Materiales de base cerámica:</i>	<p>Materiales con un alto contenido de partículas cerámicas.</p> <p><b>1. Cerámicas con matriz vítrea:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cerámicas feldespáticas</li> <li>• Cerámicas sintéticas (de alta resistencia como: leucita, silicato de litio y disilicato de litio.</li> <li>• Cerámicas de óxido para ser infiltradas con vidrio (alúmina, alúmina y magnesio y zirconia.</li> </ul> <p><b>2. Cerámicas policristalinas no metálicas sin fase vítrea:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alúmina</li> <li>• Zirconia estabilizada</li> <li>• Alúmina reforzada con zirconia</li> <li>• Zirconia reforzada con alúmina.</li> </ul>
<i>Materiales de base polimérica</i>	<p>Con composición inorgánica que influye sobre su comportamiento inorgánico. Pasan por un proceso de polimerización de forma industrial lo que les vuelve homogéneos.</p>
<i>Materiales híbridos</i>	<p>Presentan una matriz de cerámica y una especie de red donde se le infiltra material polimérico.</p>

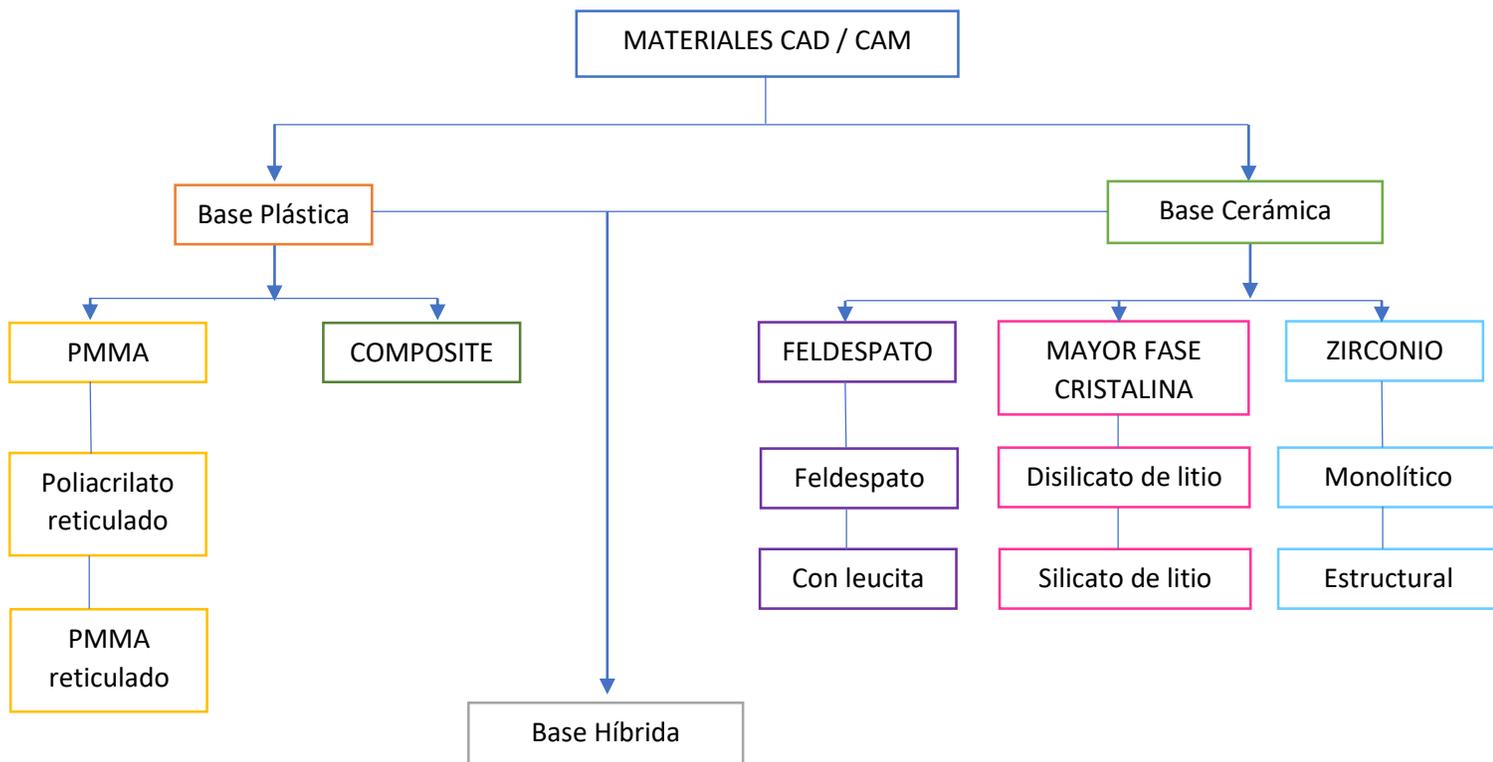


Ilustración 3 Clasificación de materiales CAD / CAM

## 3 METODOLOGÍA Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

### 3.1 Preparación de las muestras:

Dos materiales para provisionalización se seleccionaron: 1) Disco PMMA CAD/CAM (Vipiblock Trilux, VIP, lot: 0000054908) en color A2, y 2) Resina microhíbrida de curado con luz para coronas y puentes provisionales (PriZma 3D Bio Prov, MarkertechLabs, lot: E1488) en color A2.

Dos grupos de veinte muestras cada uno fueron obtenidos (n:40): 1 grupo de tallado asistido por computadora, (CC) y otro grupo de impresión 3D de prototipado rápido (RP).

Se utilizó un tipodonto maxilar prefabricado con preparaciones para una FDP de tres unidades con pilares en 16 y 14 y pónico en 15, con el siguiente protocolo: 2mm de reducción oclusal, 1.5mm de reducción axial, línea de terminación con chamfer liviano, paralelismo entre paredes axiales de 6 grados y bordes redondeados.

*Tabla 4 Resumen de materiales utilizados para el análisis*

<b>Nombre comercial</b>	<b>Fabricante</b>	<b>Número de lote</b>	<b>Material base</b>
<i>Vipiblock Trilux</i>	VIPI	0000054908	Disco PMMA
<i>PriZma 3D Bio Prov</i>	MarkertechLabs	E1488	Resina microhíbrida de curado con luz



*Ilustración 4 Materiales empleados: a) Prizma BIO PROV. b) Vipiblock Triux*



*Ilustración 5 Tipodonto utilizado para escaneo y diseño de Prótesis fija de 3 unidades*



*Ilustración 6 Sección del tipodonto para diseño de Prótesis fija de 3 unidades*

### **3.2 Proceso de escaneo y diseño de las muestras:**

Mediante un escáner (PrimeScan 2.0 Dentsply-Sirona) se obtuvo una impresión digital del modelo prefabricado ya preparado. El modelo fue digitalizado con un software de diseño (InLAB 20.0 – Dentsply-Sirona). Una restauración indirecta de tres unidades utilizando la modalidad biogénica fue diseñada.

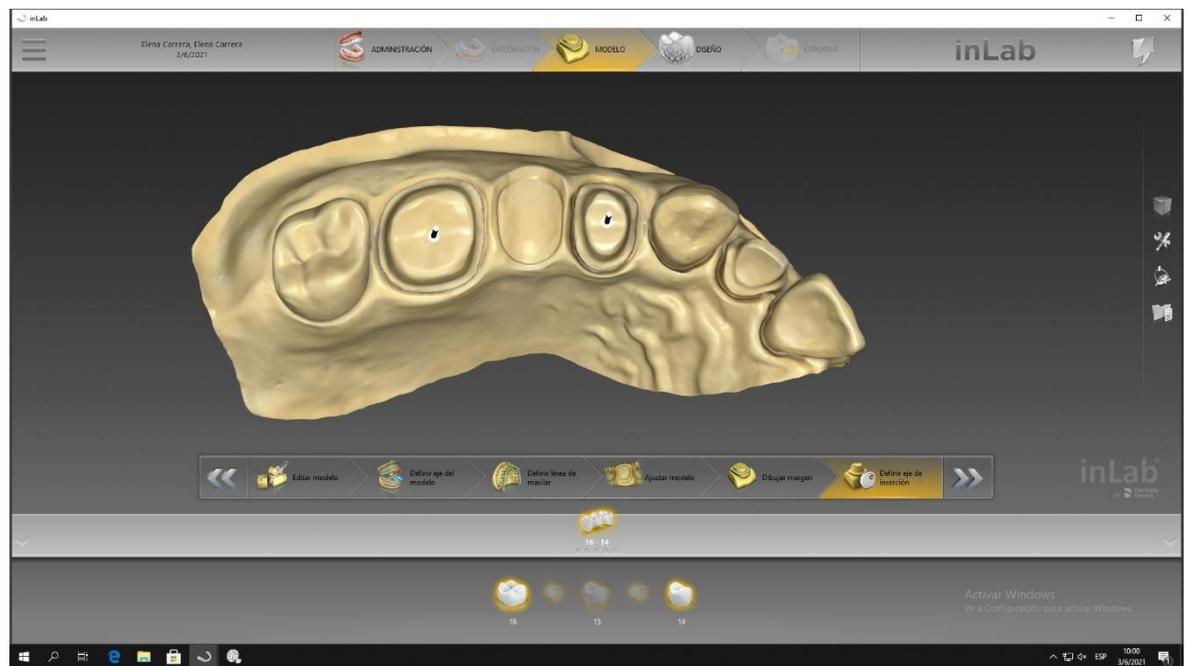


Ilustración 7 Escaneo de tipodonto - digitalización

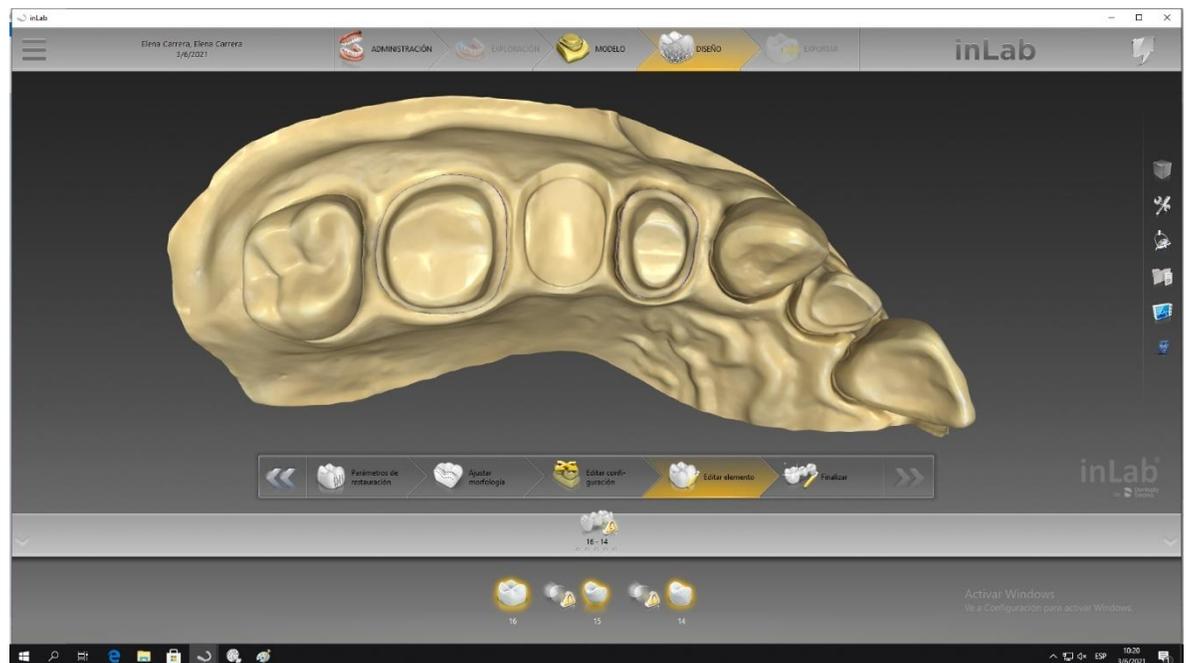


Ilustración 8 Visualización de los márgenes de la preparación

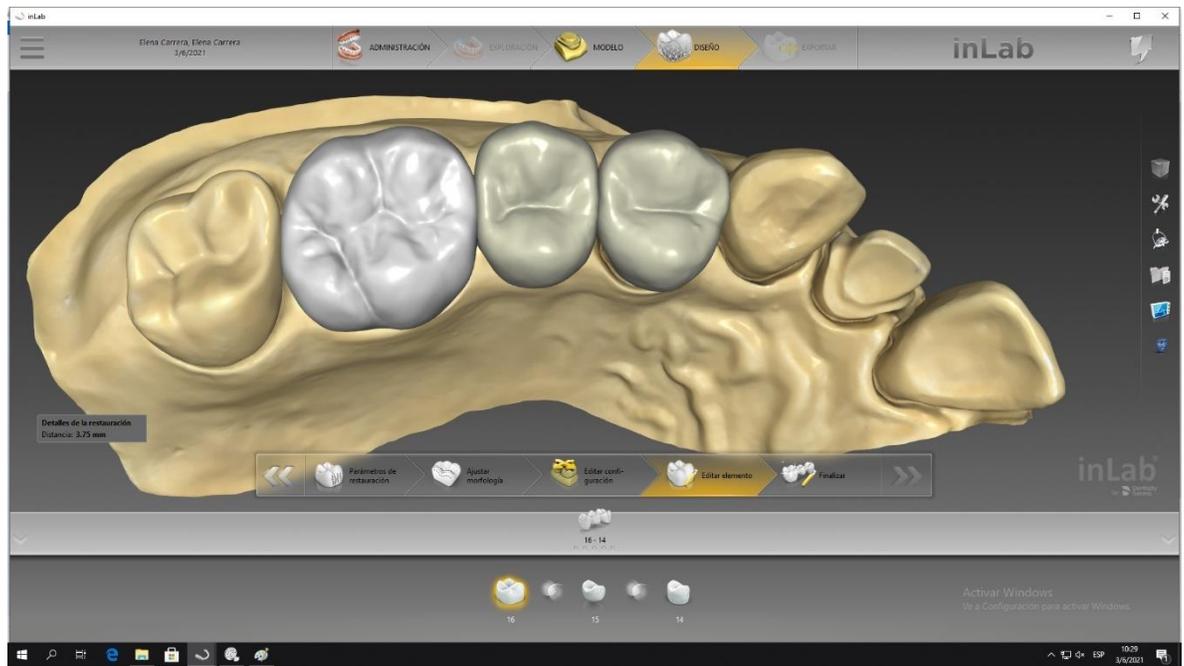


Ilustración 9 Diseño de la Prótesis fija de 3 unidades

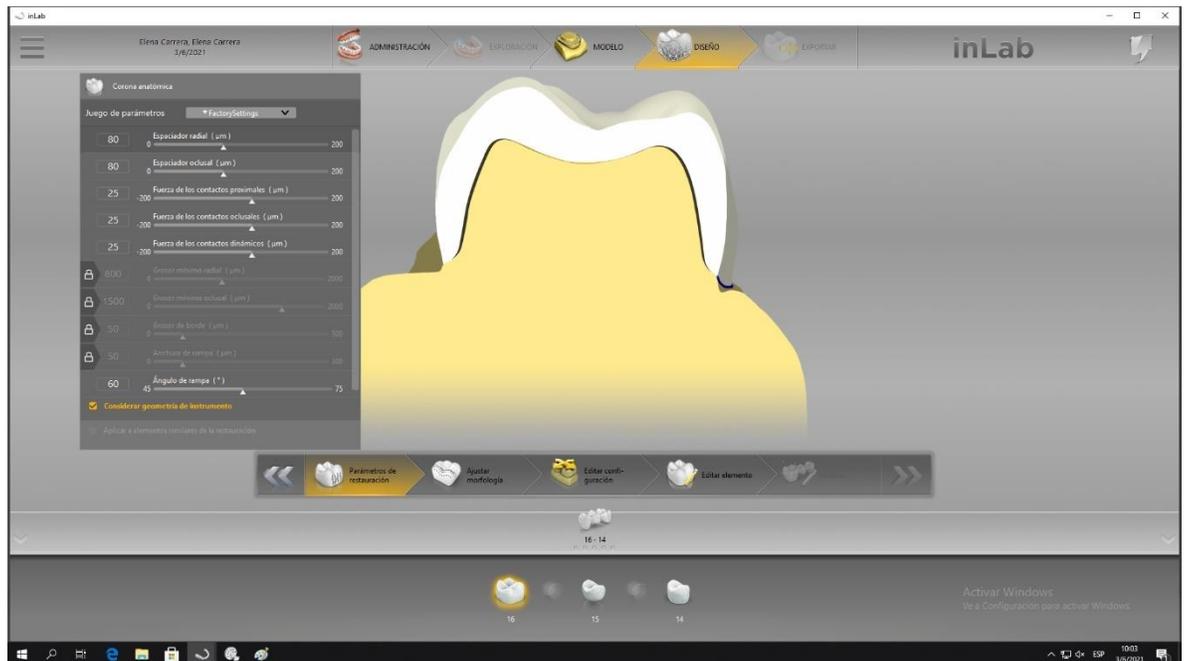


Ilustración 10 Visualización de parámetros de la restauración

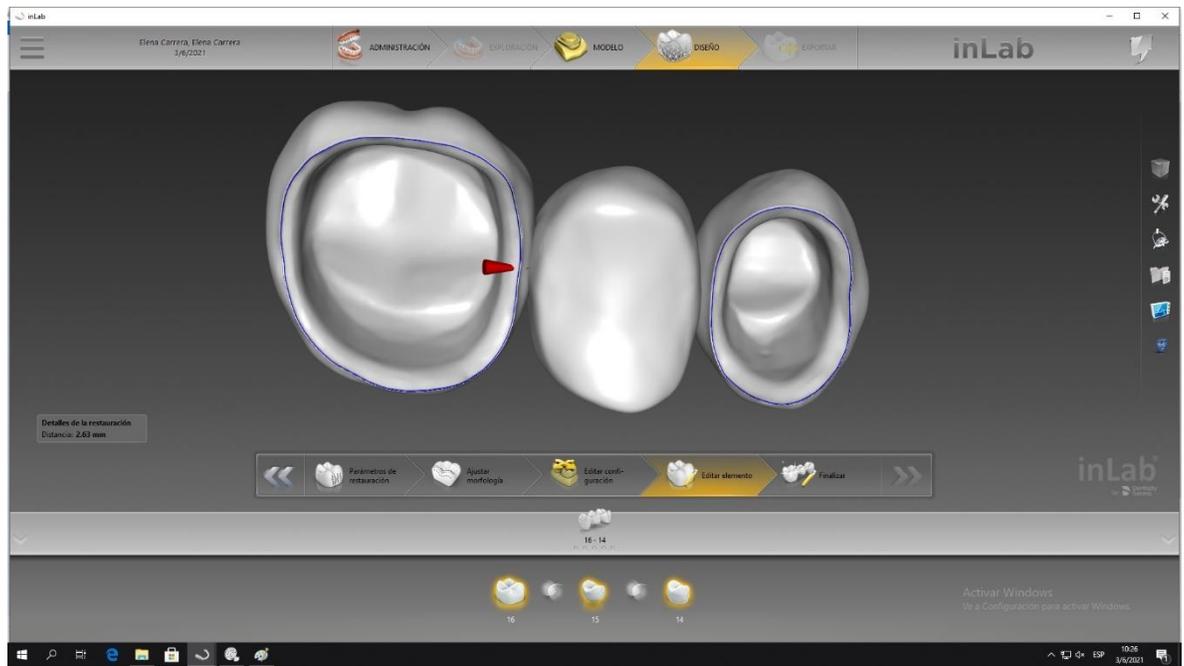


Ilustración 11 Visualización interna de la restauración

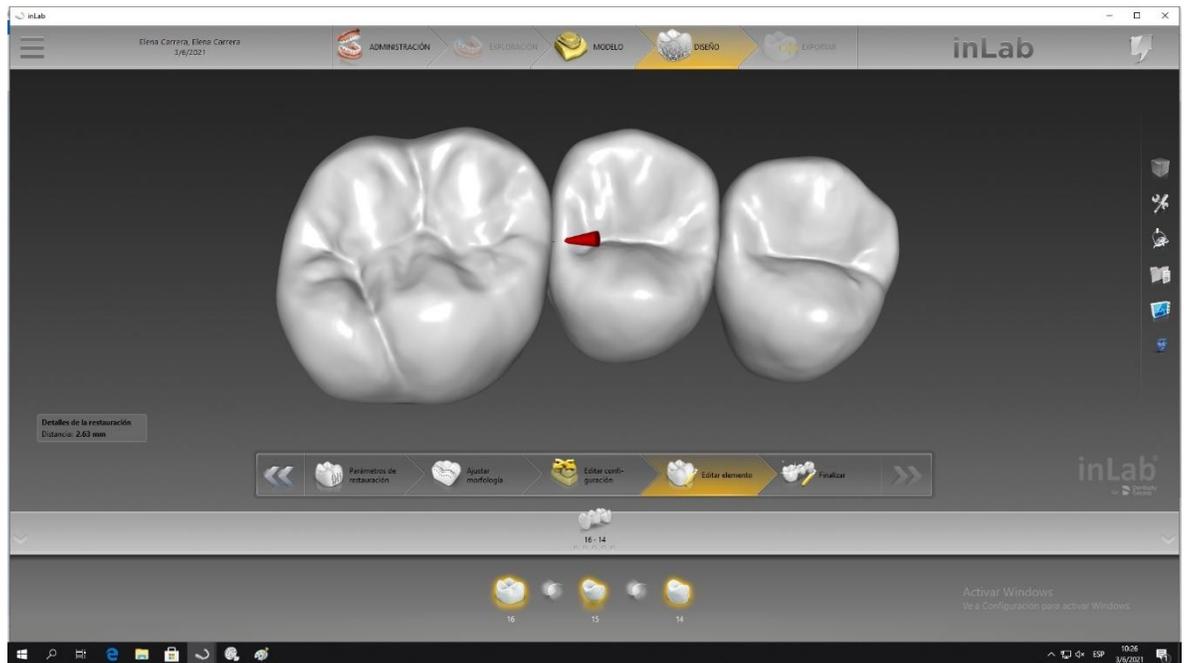


Ilustración 12 Vista oclusal de la restauración

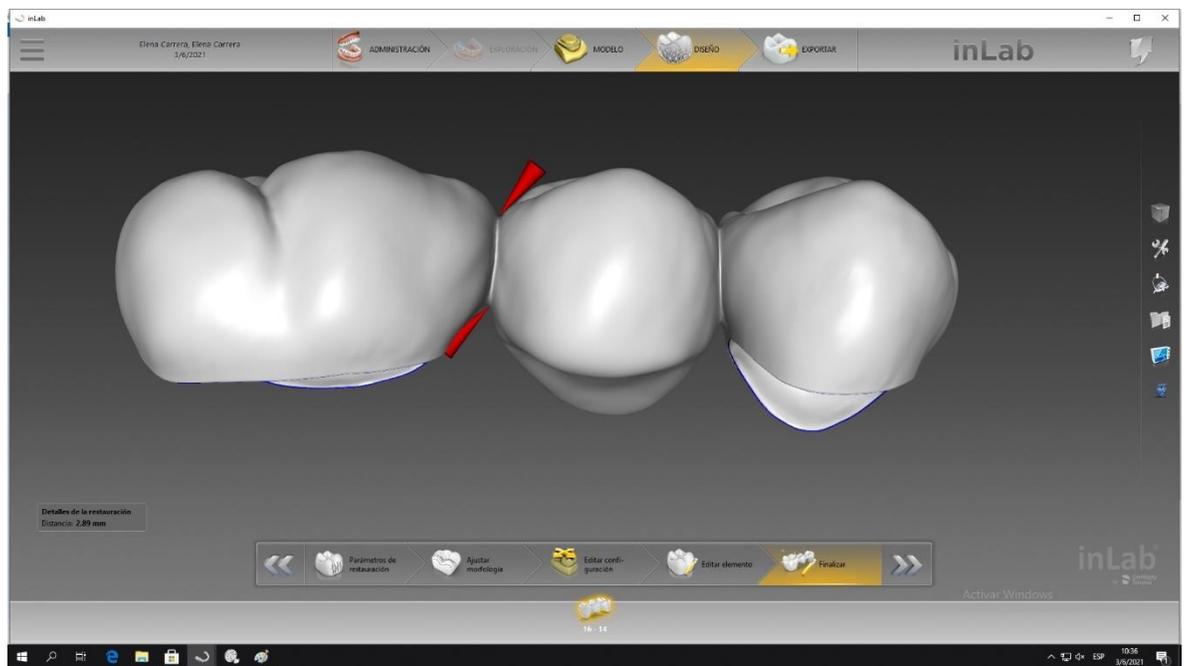


Ilustración 13 Vista frontal de la restauración



Ilustración 14 Visualización de la restauración con modelo en modo transparente - vista oclusal



Ilustración 15 Visualización de la restauración con modelo en modo transparente - vista palatina



Ilustración 16 Visualización de la restauración con modelo en modo transparente - vista vestibular

### 3.3 Materialización de las muestras:

#### 3.3.1 Proceso de fresado:

El diseño se transfirió a la unidad de fresado integrada (MCX5, Dentsply Sirona) para la obtención de las muestras fresadas (n=20).



Ilustración 17 Colocación de las restauraciones dentro del disco a ser fresado

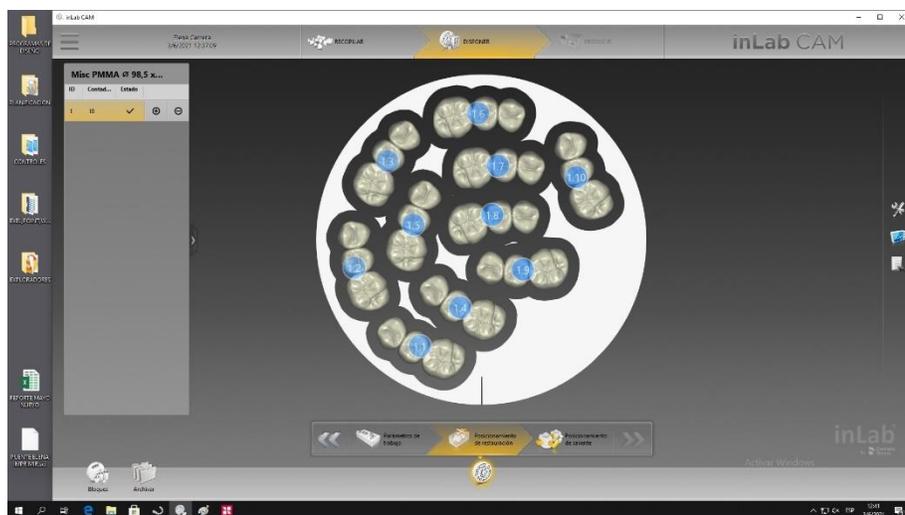


Ilustración 18 Numeración de las restauraciones

### 3.3.2 Proceso de impresión 3D:

Las muestras de prototipado rápido (impresión tridimensional) se obtuvieron transfiriendo el mismo diseño CAD al software CAM de la impresora 3D (MoonRay S) como un archivo en formato STL.

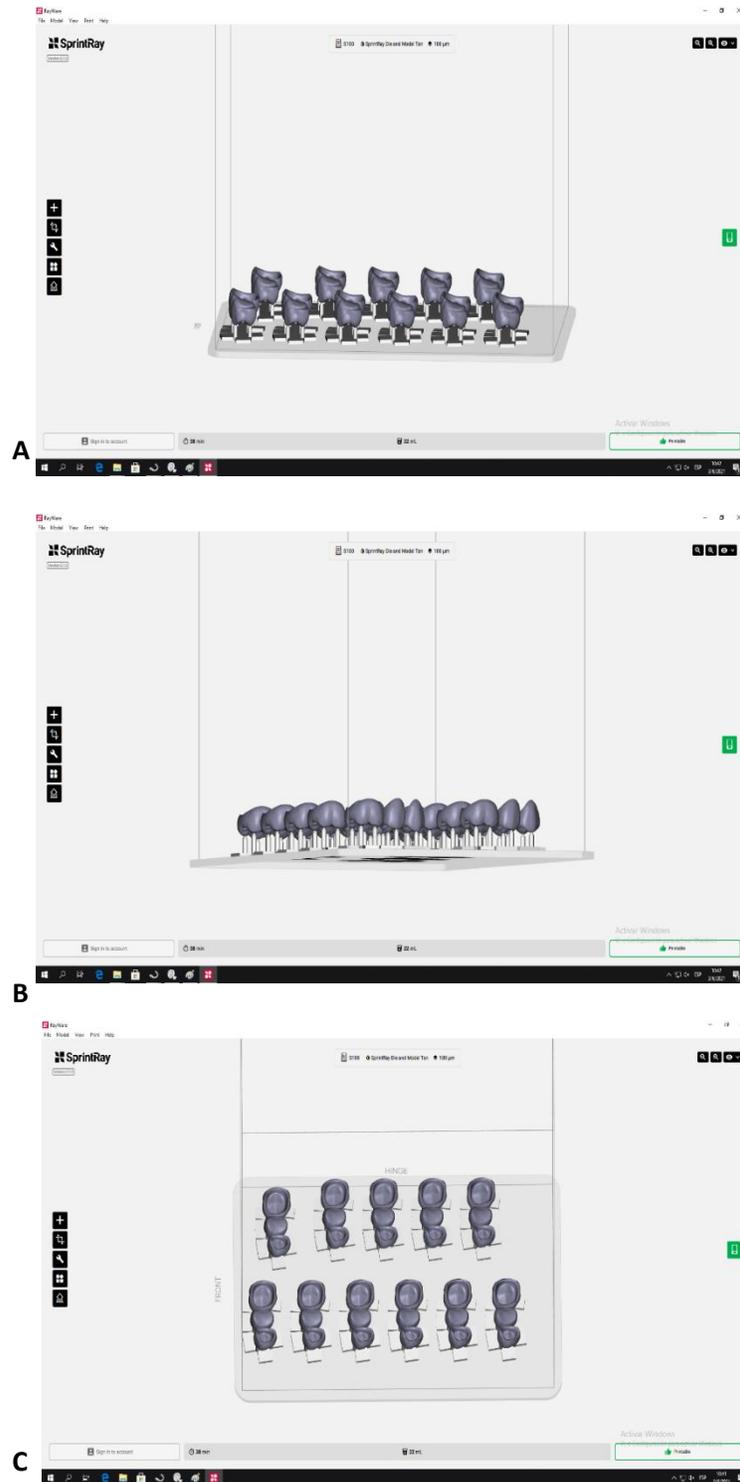


Ilustración 19 Imágenes a, b y c - Anidado de restauraciones para proceso de impresión

### 3.3.3 Post producción:

Las muestras impresas pasaron por un proceso de post producción, donde se sumergieron y se cepillaron con alcohol isopropílico al 90% para eliminación de residuos de resina. Posteriormente pasaron por un proceso de fotopolimerización bajo luz UV por 30 minutos, además glicerina fue aplicada en toda la restauración, para asegurar que el material obtenga una polimerización completa.



*Ilustración 20 a. Restauración provisional impresa. b. Restauración provisional fresada*

### 3.4 Proceso de termociclado:

Las muestras se sometieron a un proceso de termociclado; los ciclos utilizados fueron 5000 ciclos. Se realizaron ciclos térmicos con temperaturas extremas de 5 ° C y 55 ° C en agua destilada (tiempo de permanencia: 25 segundos, tiempo de pausa: 10 segundos) en la unidad de termociclado computarizada (Thermocycler™, SD Mechatronik, Feldkirchen-

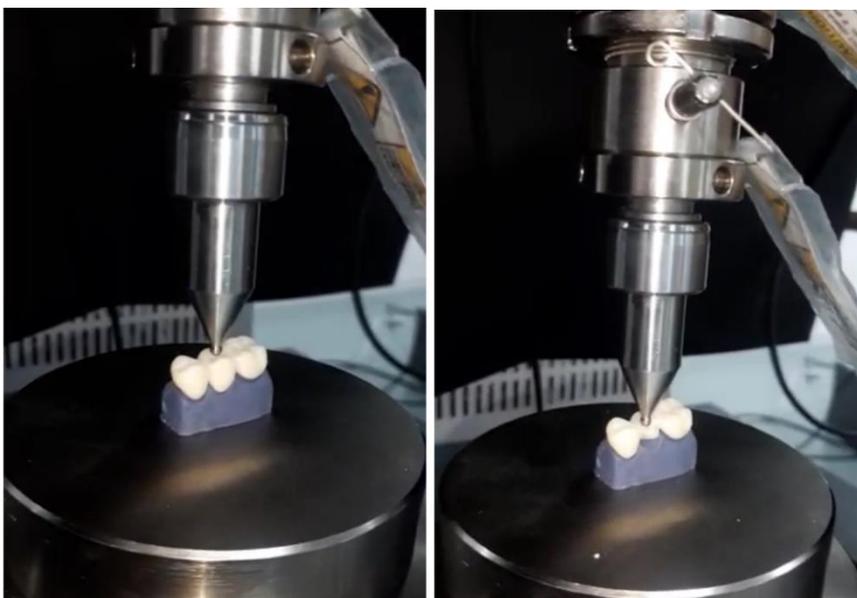
Westerham, Germany). Las muestras se colocaron en un recipiente para termociclador, luego se secaron y se inspeccionaron para detectar grietas, astillas o fracturas después de cada fase de carga.

### **3.5 Prueba de resistencia a la fractura:**

Se imprimió un tipodonto maestro en resina para modelos (Model, Gray, SprintRay,) con resolución de 50 micrones para la consecuente prueba mediante una impresión 3D del archivo STL obtenido del escaneo inicial del tipodonto original preparado.

La resistencia a la fractura de los FDP provisionales se probó utilizando un diseño experimental semiclínico en condiciones ambientales de laboratorio. El tipodonto maestro de resina impresa 3D se fijó en la plataforma de la máquina de prueba universal (Shimadzu AGS-X series Universal Testing Machine; Shimadzu, Tokio, Japan). No se utilizó ningún agente de fijación para unir el FDP a los pilares del tipodonto de resina maestro.

Se inspeccionaron visualmente las dimensiones de las probetas siguiendo un diseño uniforme. El ajuste y el asiento de todos los especímenes se verificaron con un explorador y un verificador de ajuste. Posterior a ello se procedió a la prueba a la fractura, mediante el modo de compresión de carga aplicada oclusalmente en la superficie del pónico utilizando una esfera metálica de 3mm de diámetro, a una velocidad de 0.5mm/min (*ilustración 21*) hasta que se produjo el fallo. El máximo de la fuerza de fractura se registró en Newtons (N).



*Ilustración 21 Prueba de resistencia a la fractura - máquina de ensayo universal*

### **3.6 Evaluación de modo de fractura:**

La superficie de fractura de las muestras una vez realizada la carga fue llevada a observación en un estereomicroscopio (Olympus; SZX7, USA) (*ilustración 22*).



*Ilustración 22 Imágenes de fractura en zona de pónicos. Imágenes de arriba corresponden a muestras impresas e imágenes inferiores corresponden a restauraciones fresadas*

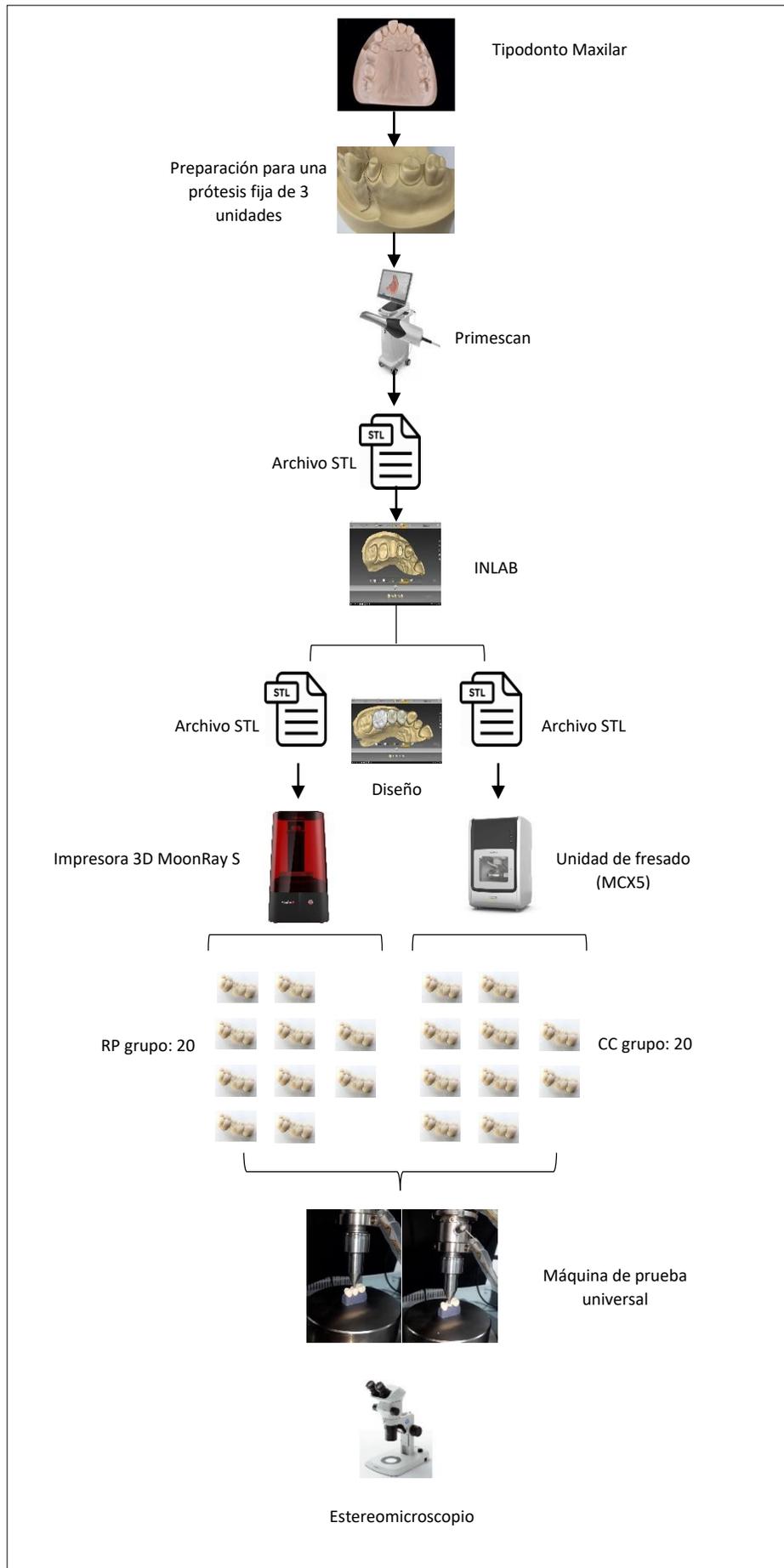


Ilustración 23 Resumen de Metodología

### 3.7 Resultados:

En la tabla 5 se presentan los valores obtenidos como resultados después de realizar las respectivas pruebas en las muestras de restauraciones provisionales tanto impresas como fresadas respectivamente.

*Tabla 5 Resumen de resultados obtenidos para cada técnica en 20 muestras cada uno*

SPECIMEN	Fuerza (N)	Desplazamiento (mm)
Impresa 1	1483,37	1,92
Impresa 2	1397,90	1,77
Impresa 3	1360,04	2,14
Impresa 4	1550,47	1,89
Impresa 5	1307,49	2,22
Impresa 6	1438,42	2,22
Impresa 7	1428,33	2,01
Impresa 8	1399,01	1,95
Impresa 9	1510,87	2,12
Impresa 10	1456,45	1,89
Impresa 11	1493,37	2,02
Impresa 12	1387,90	1,67
Impresa 13	1370,04	2,23
Impresa 14	1540,47	1,79
Impresa 15	1317,49	2,32
Impresa 16	1428,42	2,12
Impresa 17	1438,33	2,11
Impresa 18	1389,01	2,05
Impresa 19	1500,87	2,02
Impresa 20	1556,45	1,99

SPECIMEN	Fuerza (N)	Desplazamiento (mm)
Fresada 1	1579,28	1,98
Fresada 2	1567,57	1,99
Fresada 3	1635,18	1,95
Fresada 4	1602,70	2,18
Fresada 5	1629,00	1,91
Fresada 6	1842,08	1,76
Fresada 7	1567,02	1,50
Fresada 8	1527,98	1,46
Fresada 9	1928,09	2,02
Fresada 10	1756,81	1,91
Fresada 11	1589,28	2,08
Fresada 12	1557,57	1,89
Fresada 13	1645,18	2,05
Fresada 14	1592,70	2,08
Fresada 15	1639,00	2,09
Fresada 16	1832,08	1,65
Fresada 17	1577,02	1,60
Fresada 18	1517,98	1,35
Fresada 19	1938,09	2,12
Fresada 20	1746,81	2,00

### **3.8 Evaluación y análisis estadístico:**

Se elaboró un resumen descriptivo de las variables Fuerza y Desplazamiento para cada técnica (Fresada, Impresa) mediante medidas de tendencia central (media y mediana) y medidas de dispersión (desviación estándar, coeficiente de variación, mínimo y máximo). Así como gráficos de cajas adecuados para el tipo de variable. Previo al contraste de las hipótesis se llevó a cabo una prueba de normalidad para conocer la distribución de los datos y determinar el estadístico adecuado. El nivel de significancia utilizado en todas las pruebas fue del 5%. El estadístico utilizado fue U de Mann Whitney.

El análisis estadístico se realizó utilizando el programa estadístico SPSS v.25 (español)

#### **3.8.1 Análisis Descriptivo**

Mediante la tabla 6, se observa el análisis descriptivo de las variables para estudiar la resistencia a la fractura entre una restauración provisional obtenida mediante fresado y mediante impresión 3D. La fuerza promedio y la desviación estándar para la impresión 3D fue menor ( $1437,74 \pm 73,41$  N), en comparación con la fuerza promedio y la desviación estándar mediante fresado ( $1663,57 \pm 130,25$  N). También se pudo observar que el valor máximo de fuerza obtenido mediante la impresión 3D está muy cercano al valor mínimo de la restauración mediante la técnica de fresado. Los coeficientes de variación para impresión 3D y fresado son bajos 5,11% y 7,83% respectivamente, lo que indica baja dispersión en las diferentes réplicas con respecto del valor medio (precisión).

En cuanto al desplazamiento, la media y la desviación estándar de la restauración mediante la técnica de impresión 3D fue de  $2,02 \pm 0,17$  mm, con menor coeficiente de variación (8,37%) y el rango de réplicas estuvo entre (1,67 y 2,32) mm. Para la restauración utilizando la técnica de fresado se obtuvo un promedio y desviación estándar de  $1,88 \pm 1,88$  mm, el coeficiente de variación fue más alto (12,87%) indicando más variabilidad entre las réplicas en relación con el valor medio. El rango de mediciones estuvo entre (1,35 y 2,18).

*Tabla 6 Resumen descriptivo de las variables Fuerza y Desplazamiento, según la técnica utilizada*

Técnica	Estadísticos	Fuerza	Desplazamiento
Impresa	Media	1437,74	2,02
	Desviación Estándar	73,41	0,17
	CV	5,11%	8,37%
	Mínimo	1307,49	1,67
	Máximo	1556,45	2,32
Fresada	Media	1663,57	1,88
	Desviación Estándar	130,25	0,24
	CV	7,83%	12,87%
	Mínimo	1517,98	1,35
	Máximo	1938,09	2,18

Nota: Coeficiente de variación (CV)

Con las ilustraciones 23 y 24, se pueden apreciar los diagramas de caja (box-plot) para ambas variables. Este permite visualizar, a través de los cuartiles (25%,50%, 75%) cómo es la distribución, los valores extremos, la posición de la mediana y la media. En ese sentido,

con la figura 1, se puede observar mediante la línea central (mediana) que el 50% de las observaciones se encuentran por debajo de una fuerza de 1433,4 N, además se encuentra muy cercano al valor promedio (1437,7) por lo tanto, esta variable presenta poca asimetría, que al ser una técnica mediante impresión 3D los valores están menos dispersos (son más precisos). Sin embargo, los valores obtenidos se encuentran muy por debajo de las mediciones obtenidas con la técnica de fresado, donde la línea central (mediana) indica que el 50% de los valores se encuentran por debajo de 1615,9 N, pero esta técnica muestra un poco más de asimetría dado la mediana (1615,9 N) es mayor a el valor medio (1569,9 N), observándose mayor concentración en los valores más altos.

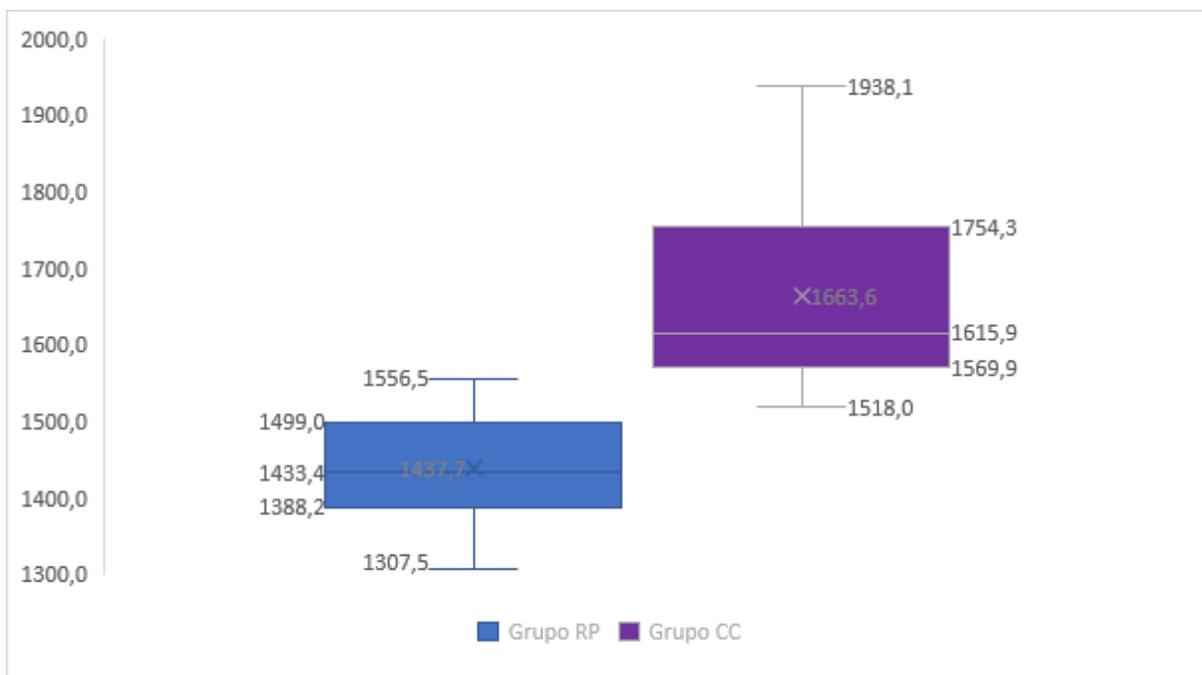


Ilustración 24 Diagrama de caja para la variable Fuerza, según la técnica utilizada

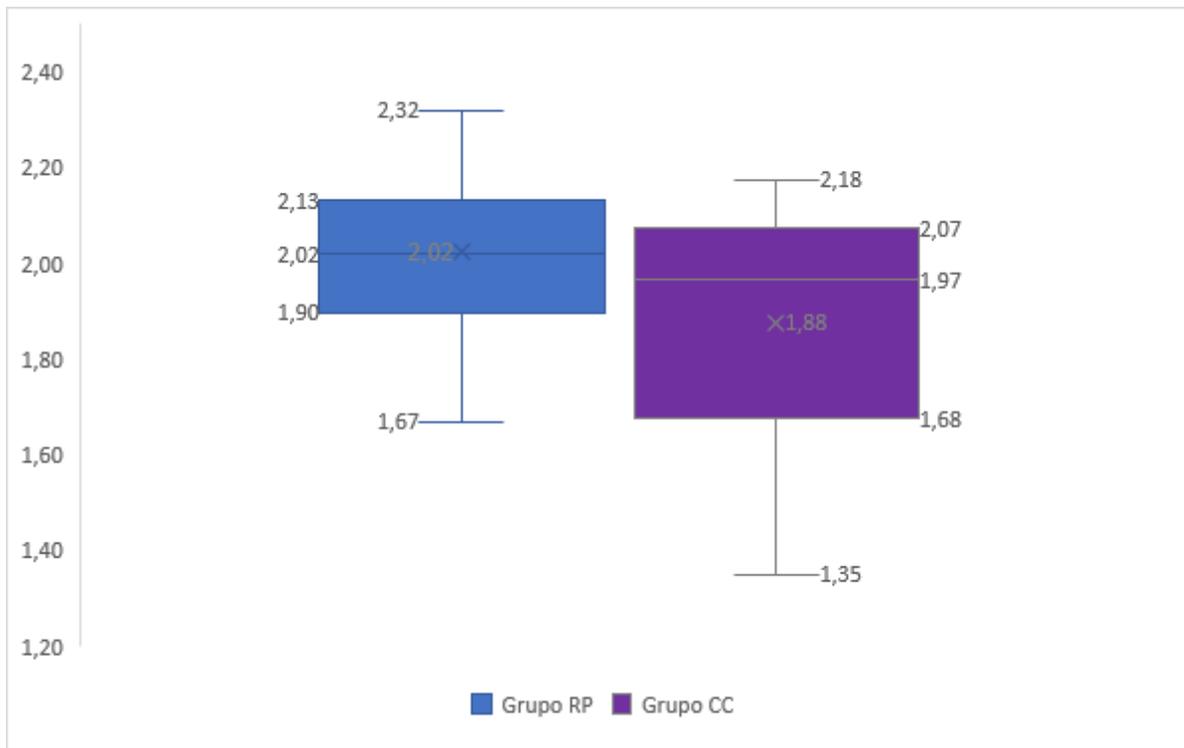


Ilustración 25 Diagrama de caja para la variable Desplazamiento, según la técnica utilizada

De la ilustración 25, se observa mayor dispersión en los valores obtenidos para el desplazamiento con la técnica de fresado, la línea central (mediana) muestra que el 50% de los valores se encuentran por debajo de 1,97. Es asimétrica dado que el valor medio (1,88) es menor que la mediana (1,97). Para la técnica 3D nuevamente se observa menor dispersión en las réplicas (mayor precisión), es una distribución simétrica dado que el valor medio (2,02) es igual a el valor de la mediana (2,02). Sin embargo, se puede observar que en cuanto al desplazamiento no se visualizan diferencias entre los valores promedio.

### 3.8.2 Análisis Inferencial:

En la tabla 7, se muestra la prueba de normalidad utilizando el estadístico Shapiro-Wilk, apropiado cuando el tamaño de la muestra es pequeño ( $n < 50$ ). La regla de decisión para determinar la significancia estadística es si el p. valor  $< 5\%$ . La hipótesis de normalidad es la siguiente:

Ho: Las mediciones obtenidas mediante las dos técnicas (Impresión y Fresado) y ambas variables (Fuerza y Desplazamiento) provienen de una población que se distribuye de forma normal.

Ha: Las mediciones obtenidas mediante las dos técnicas (Impresión y Fresado) y ambas variables (Fuerza y Desplazamiento) provienen de una población que se no distribuye de forma normal.

De acuerdo con este resultado (Tabla 5), los datos obtenidos para las restauraciones provisionales mediante la técnica 3D han resultado con distribución normal, para la variable fuerza (p. valor =  $0,684 > 0,05$ ) y la variable desplazamiento (p.valor =  $0,932 > 0,05$ ). No obstante, las mediciones obtenidas mediante la técnica de fresado han resultado significativas, es decir no se distribuyen normal para ninguna de las variables (fuerza p. valor =  $0,005 < 0,05$ ; desplazamiento p.valor =  $0,021 < 0,05$ ).

Este resultado indica que el contraste de las hipótesis de la investigación se debe hacer con el estadístico U de Mann-Whitney, que es una prueba no paramétrica aplicada a dos muestras independientes (es la versión no paramétrica de la habitual prueba t de Student).

Tabla 7 Prueba de Normalidad de las variables, según la técnica utilizada

Variable	Técnica	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	p.valor
Fuerza	Impresa	0,967	20	0,684
	Fresada	0,847	20	0,005
Desplazamiento	Impresa	0,980	20	0,932
	Fresada	0,884	20	0,021

Nota: significativo al 5%. gl: grados de libertad

Hipótesis nula:

No existen diferencias significativas entre los grupos estudiados de resistencia a la fractura entre una restauración provisional obtenida mediante fresado y mediante impresión 3D.

En la tabla 8, se muestran los resultados de la prueba de hipótesis considerando la variable Fuerza. El resultado ha sido significativo ( $p.\text{valor} < 0,05$ ), es decir se rechaza la hipótesis nula concluyendo que si existen diferencias en la fuerza obtenida entre una restauración provisional obtenida mediante fresado y mediante impresión 3D. Siendo además mayor la fuerza obtenida mediante fresado.

Tabla 8 Prueba de Normalidad de las variables, según la técnica utilizada

Estadísticos de prueba <sup>a</sup>	Fuerza
U de Mann-Whitney	6,000
Z	-5,248

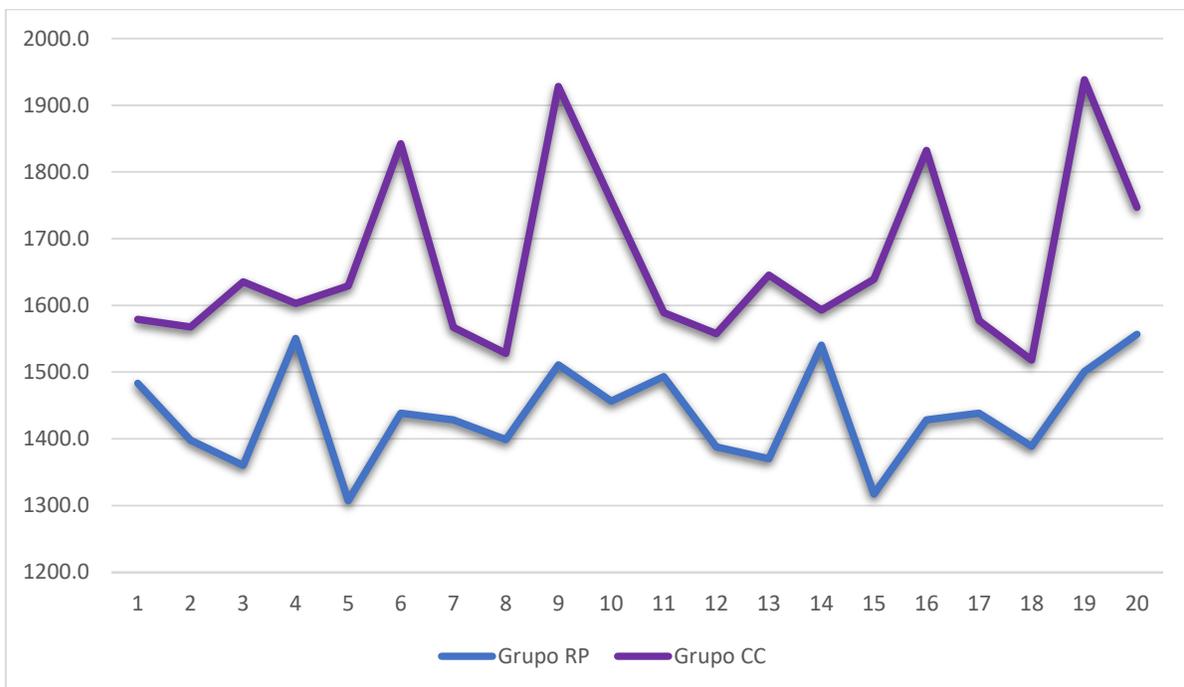
p.valor (bilateral)

0,000

---

*Nota:* a. Variable de agrupación: técnica, No corregido para empates, Significancia al 5%

La ilustración 26, permite visualizar las diferencias entre las mediciones que se obtuvieron de cada técnica (fresado e impresión 3D). Donde la técnica con fresado obtuvo valores más altos en comparación con la técnica 3D, en cuanto a Fuerza.



*Ilustración 26 Gráfico de líneas para la variable Fuerza, según la técnica utilizada*

*Nota:* las líneas muestran la distribución de las diferentes réplicas en cada técnica

En la tabla 9, se muestran los resultados de la prueba de hipótesis considerando la variable desplazamiento. El resultado no ha sido significativo ( $p.\text{valor} > 0,05$ ), es decir se no

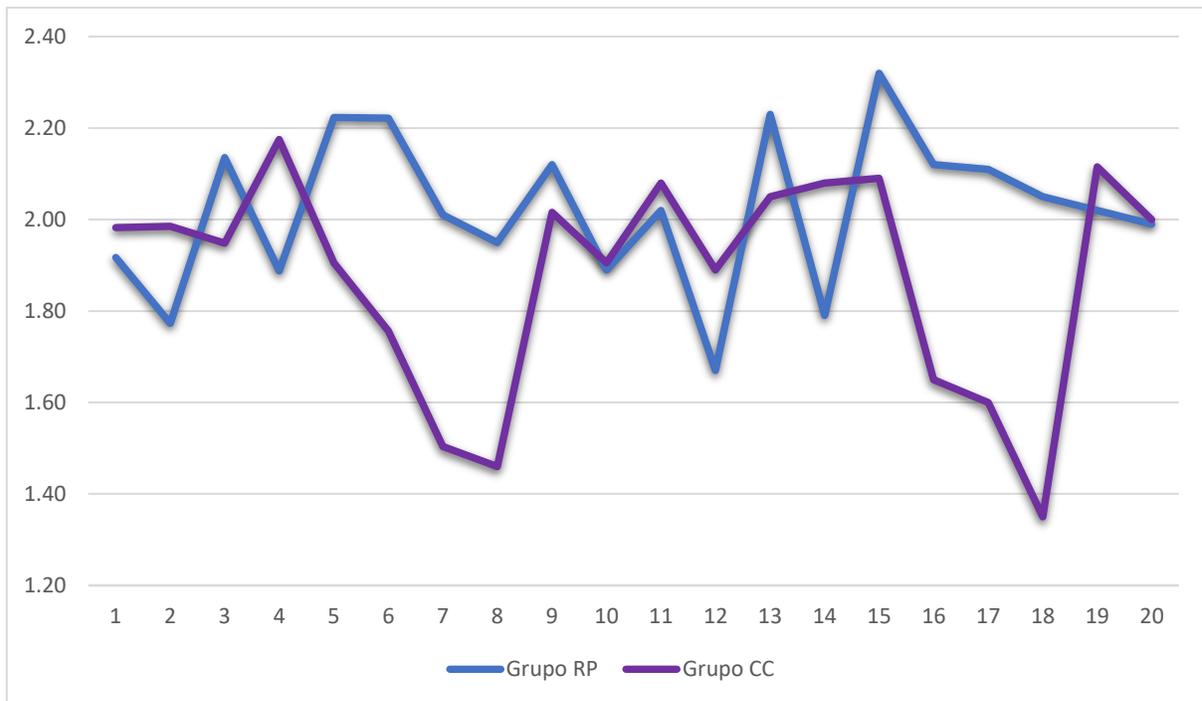
rechaza la hipótesis nula concluyendo que no existen diferencias en el desplazamiento obtenido entre una restauración provisional mediante fresado y mediante impresión 3D.

*Tabla 9 Prueba de U de Mann-Whitney para la variable Desplazamiento según la técnica utilizada*

Estadísticos de prueba <sup>a</sup>	Desplazamiento
U de Mann-Whitney	131,500
Z	-1,854
p.valor (bilateral)	0,064

*Nota:* a. Variable de agrupación: técnica, No corregido para empates, Significancia al 5%

La ilustración 27, permite visualizar las diferencias entre las mediciones que se obtuvieron de cada técnica (fresado e impresión 3D) para la variable desplazamiento. Donde la técnica con fresado obtuvo valores similares a la técnica 3D.



*Ilustración 27 Gráfico de líneas para la variable Desplazamiento, según la técnica utilizada*

**Nota:** las líneas muestran la distribución de las diferentes réplicas en cada técnica.

## 4 DISCUSIÓN:

Tabla 10 Resumen artículos relacionados al tema de estudio

Autor	Objetivo	Resistencia a la fractura fresada	Resistencia a la fractura impresa
<i>Ibrahim et al. (2020)</i>	Resistencia a la fractura entre restauraciones fresadas e impresas	933 N	1226.48 N
<i>Suralik et al. (2020)</i>	Investigar el impacto de la técnica de fabricación en la resistencia a la fractura de las prótesis dentales fijas de resina provisional de 3 unidades	412.03 N	603.33 N
<i>Digholkar et al. (2016)</i>	Valores de resistencia a la flexión en coronas provisionales fabricadas a través de 3 técnicas diferentes	104.20 MPa	79.54 MPa

<i>Merve et .al. (2021)</i>	Medición de la resistencia a la fractura y los modos de fractura	752.00 N	681.00 N
-----------------------------	------------------------------------------------------------------	----------	----------

Existe información limitada que compare la resistencia a la fractura de restauraciones provisionales impresas 3D con las obtenidas mediante técnicas CAD/CAM sustractivas. Algunos estudios se han basado en estudiar el ajuste interno de las restauraciones provisionales (44). El presente estudio se llevó a cabo con la finalidad de evaluar la resistencia a la fractura de las restauraciones provisionales obtenidas mediante técnicas sustractiva y aditivas. El estudio planteó una hipótesis nula en donde no habría diferencia significativa entre la resistencia a la fractura de las restauraciones provisionales fabricadas mediante impresión 3D y fresadas.

Las restauraciones provisionales llegan a ser uno de los componentes esenciales dentro del tratamiento rehabilitador con prostodoncia fija, debiendo satisfacer requisitos tanto biológicos como mecánicos y estéticos. Dentro de los requisitos mecánicos está la resistencia a las cargas funcionales, la resistencia a las fuerzas de tracción, entre otras (2).

La tecnología CAD/CAM ha sido uno de los pilares fundamentales dentro de la odontología actual para la fabricación de restauraciones provisionales, demostrando un gran éxito clínico atribuido a los avances tecnológicos y a la serie de materiales de innovación utilizados actualmente (7). Para resolver ciertos inconvenientes de esta tecnología como lo es el desperdicio del material, recientemente se ha desarrollado la tecnología en cuanto a impresión 3D en la fabricación de restauraciones provisionales intentando ser una alternativa

a la técnica sustractiva debido a la capacidad de fabricación de objetos sin límite de tamaño, denominándose prototipado rápido por el tiempo de fabricación (7).

En el proceso de impresión el material se va depositando capa por capa hasta producir la forma en tercera dimensión, necesitando menos material y disminuyendo los gastos que podría conllevar su fabricación (20). Varios autores han mencionado que la técnica de impresión tridimensional mejora las propiedades mecánicas de la restauración final debido a que no presenta grietas, se genera un alto nivel de construcción en cuanto a resolución y una alta resistencia atribuida a la unión química entre capas. A diferencia de una restauración obtenida mediante técnicas sustractiva donde la resistencia a la fractura se ve directamente afectada por el mecanizado de los bloques para poder conseguir restauraciones fresadas (20).

En el caso de este estudio la hipótesis nula fue rechazada debido a que, si se evidenció una diferencia significativa entre la resistencia a la fractura de las restauraciones provisionales tanto fresadas como impresas, mostrando que las restauraciones obtenidas mediante el fresado tenían una mayor resistencia a la fractura que las prótesis impresas.

Al evaluar los resultados obtenidos para la resistencia a la fractura, los valores promedios de la resistencia a la fractura se registraron para el grupo de restauraciones fresadas fueron de  $1663,57 \pm 130,25$  N, mientras que el valor promedio registrado para el grupo de restauraciones impresas fue de  $1437,74 \pm 73,41$  N. El grupo de restauraciones fresadas presentó una diferencia estadísticamente significativa a comparación del grupo de restauraciones impresas ( $P \leq 0.05$ ).

Los valores obtenidos en este estudio difieren con los hallazgos del autor Ibrahim et al. (2020), quien mostró que el grupo de restauraciones provisionales impresas registraba un valor medio de resistencia a la fractura mucho más alto que el grupo de restauraciones provisionales fresadas, mostrando valores de hasta 1226.48 N. Se debe destacar que dicho estudio se realizó no con puentes, sino con una corona unitaria de la pieza 26, lo cual puede afectar los resultados al poseer zonas de conectores y un pónico (21). El autor estableció que la resistencia a la fractura mayor en el grupo de restauraciones impresas podría atribuirse a la naturaleza con la que las estructuras en 3D son creadas. Los valores mayores para resistencia a la fractura del grupo de restauraciones impresas también podrían deberse a la orientación vertical con la que se empleó el estudio (21). Además, también se sugiere que la mayor resistencia a la fractura del grupo de restauraciones impresa podría atribuirse al espesor bastante delgado de la capa de impresión utilizada en el estudio. Este hallazgo sobre el grosor de capa coincide con Tahayeri et al. (2018), donde se demostró que el grosor de la capa de resina puede contribuir directamente a las propiedades mecánicas finales de las restauraciones, encontrando que cuanto menor es el grosor de la capa, se generan una mayor cantidad de interfaces y un mejor grado de polimerización afectando directamente al rendimiento mecánico (41). Tomando en cuenta este factor, se imprimieron las probetas para nuestro estudio en un grosor de 50 micrones. Otro factor que según Tahayeri et al. (2018), influye en la calidad de las restauraciones es el proceso de post producción, donde se sugiere que las restauraciones impresas tienen un mayor grado de conversión y en una disminución de monómeros residuales mejorando la tenacidad y resistencia a la fractura del material (41). Sin embargo, los procesos de fabricación industrial de discos monolíticos aseguran altos

grados de conversión de monómeros y mejor compactación reticular de la estructura de PMMA que permite una mayor resistencia (12).

Por otro lado, los resultados obtenidos en este estudio se asemejan a los hallazgos de Hazeveld et al. (2014), donde se encontró que las restauraciones impresas presentaban una menor resistencia a la fractura a comparación de las restauraciones provisionales fresadas (42). Los autores sugirieron y atribuyeron este resultado a la contracción que sufre el material durante la construcción y la postproducción. A su vez, también atribuyeron a la manipulación de datos en el archivo STL donde se generó una conversión y formateo que pudo resultar en cambios (42).

Así también, los resultados del presente estudio pueden asemejarse con los de Digholkar et al. (2016), estudio donde se analizó y a su vez se compararon valores de resistencia a la flexión en coronas provisionales fabricadas a través de 3 técnicas diferentes. El grupo de restauraciones provisionales fresadas presentó un valor mayor (104.20 MPa) a diferencia con el valor obtenido en el grupo de restauraciones mediante técnicas de fabricación convencional (95.58 MPa), y finalmente registrando los menores valores de resistencia a la flexión para el grupo de restauraciones obtenidas mediante impresión 3 D (79.54 MPa) (43).

A su vez, si se analiza el estudio realizado por Merve et.al. (2021), donde estudiaron 2 grupos diferentes de materiales para uso en restauraciones provisionales (PMMA fresado, y ácido poliláctico para restauraciones impresas), los valores de resistencia a la fractura que obtuvieron para el grupo de restauraciones provisionales fresadas PMMA se sitúan en 752.00N, mientras que el valor para las restauraciones provisionales impresas fue de

681.00N. Estos valores emiten resultados de resistencia a la fractura mayor para las restauraciones provisionales obtenidas mediante la técnica fresada, similares a los resultados obtenidos en el presente estudio. Estos valores presentados por Merve sin embargo son menores, ello se puede deber a varios factores, entre ellos, evidenciar que el trabajo realizado por el autor Merve fue con coronas individuales, mientras que el estudio presente fue realizado en un puente de 3 unidades (52).

El presente estudio reveló que las restauraciones provisionales mediante técnica de fresado presentan una mayor resistencia que las restauraciones provisionales elaboradas mediante impresión 3D, y bajo parámetros comparativos con otros estudios se puede decir que también en relación con restauraciones provisionales fabricadas mediante métodos convencionales. Aumentar la resistencia a la fractura de restauraciones provisionales mediante la técnica innovadora CAD/CAM en el flujo de trabajo tiene definitivamente el potencial de generar una mayor productividad al clínico.

Este estudio tuvo varias limitaciones. las condiciones bajo las cuales se realizó la parte experimental fueron in vitro y no se generó una simulación al ambiente oral. La prueba de resistencia a la fractura se realizó mediante la prueba en 3 puntos, pudiendo diferir de una carga cíclica que hubiera simulado de mejor manera la carga masticatoria. También es importante mencionar que el material para cada categoría de fabricación fue diferente y habría que analizar más a fondo y químicamente los componentes de cada uno de los materiales que pudieron hacer que difieran es su resultado final. Más materiales podrían ser incluidos para establecer diferencias entre las distintas casas fabricantes.

Definitivamente, se evidencia una escasez de literatura con respecto al tema, por lo que se requieren mayor cantidad de estudios para analizar las propiedades mecánicas de las restauraciones provisionales tanto fresadas como impresas. A su vez, es importante que futuros trabajos investiguen además la resistencia al desgaste, la fatiga, dureza, micro y nanodureza, que en conjunto abarcarían una mejor caracterización del material. Finalmente, analizar propiedades cromáticas y su estabilidad del color sería también un aporte para establecer diferencias entre materiales para provisionales fresados e impresos.

## **5 CONCLUSIONES:**

1. Las restauraciones provisionales materializadas mediante la técnica de fresado mostraron una mayor resistencia a la fractura en comparación con las restauraciones provisionales obtenidas mediante impresión 3D.
2. La fabricación de restauraciones provisionales mediante una técnica sustractiva o técnica de fresado podría considerarse un método confiable y conservador para la producción de restauraciones provisionales más resistentes.
3. Si bien los valores de la resistencia de las restauraciones impresas fueron menores, el material de prototipado rápido podría considerarse en determinados escenarios con cargas masticatorias reducidas y superficies expuestas a un menor esfuerzo.

## 6 REFERENCIAS BLIBLIOGRÁFICAS:

1. Ferro KJ. The Glossary of Prosthodontic Terms. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2017; 117(55).
2. Misha Singla KPJAAS. Provisional Restorations in Fixed Prosthodontics. *Int J Dent Med Res*. 2014; 1.
3. Patras M NOSPA. Management of Provisional Restorations' Deficiencies: A Literature Review. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2011;(1-13).
4. Shoko Miura MFFKTM. Importance of interim restorations in the molar region. *Journal of Oral Science*. 2019; 61(2).
5. Ruse ND. Resin-composite Blocks for Dental CAD/CAM Applications. *Journal of Dental Research*. 2014;; p. 1232-1234.
6. Skorulska A, al. e. Review on Polymer, Ceramic and Composite Materials for CAD/CAM Indirect Restorations in Dentistry—Application, Mechanical Characteristics and Comparison. *Materials*. 2021; 14.
7. Lambert H, Durand J. Dental biomaterials for chairside CAD/CAM: State of the art. *The Korean Academy of Prosthodontics*. 2017; 6(486-495).
8. Al Jabbari YS ARASJIA. An indirect technique for assuring simplicity and marginal integrity of provisional restorations during full mouth rehabilitation. *Saudi Dental Journal*. 2013; 25(39-42).
9. Regish KM SDPD. Techniques of Fabrication of Provisional Restoration: An Overview. *International Journal of Dentistry*. 2011.
10. Ruse ND SM. Resin-composite blocks for dental CAD/CAM applications. *J Dent Res*. 2014; 12.
11. Digholkar S. Evaluation of the flexural strength and microhardness of provisional crown and bridge materials fabricated by different methods. *The Journal of Indian Prosthodontic Society*. 2016.
12. Alp G, Murat S. Comparison of Flexural Stregth of Different CADCAM PMMA-Based Polymers. *Journal of Prosthodontics*. 2018; 28.
13. Beuer F SJED. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Br Dent J*. 2008; 9.
14. Alt V HMWBBM. Fracture strength of temporary fixed partial dentures: CAD/CAM versus directly fabricated restorations. *Dental Materials*. 2011; 27(4).
15. J.F. G, J.S. A. Enhancing the predictability of complex rehabilitation with a removable CAD/CAM-fabricated long-term provisional prosthesis: A clinical report. *The Journal of Prosthodontic Dentistry*. 2021; 107.
16. Simon Taufall MEPRS&BS. Fracture load and failure types of different veneered polyetheretherketone fixed dental prostheses. *Clinical Oral Investigations*. 2016; 20.
17. Adi O. SP. Comparison between direct chairside and digitally fabricated temporary crowns. *Dental Materials Journal*. 2018.
18. Mohammad Zakaria Nassani SIESMDAF. A Survey of Dentists' Perception of Chair-Side CAD/CAM Technology. *Healthcare*. 2021; 9(6).

19. Wan-Sun Lee DHLKBL. Evaluation of internal fit of interim crown fabricated with CAD/CAM milling and 3D printing system. *J Adv Prosthodont*. 2017; 9(265-270).
20. Aya Ibrahim DESEN. Fracture resistance of interim restoration constructed by 3D printing versus CAD/CAM technique (In vitro study ). *AIN SHAMS DENTAL JOURNAL*. 2020; 23.
21. Autudillo-Rubio D DGABACMCJPMAAS. Mechanical properties of provisional dental materials: a systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2018; 13.
22. Kang SY PJKJKW. Accuracy of provisional crowns made using stereolithography apparatus and subtractive technique. *J Adv Prosthodont*. 2018; 10(354-360).
23. DR F. The provisional fixed partial denture. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2000; 34(520-525).
24. Mantri S BS. CAD/CAM in dental restorations: an overview. *Ann Essences Dent*. 2010; 3(123 - 128).
25. Poticny DJ KJ. CAD/CAM in-office technology Innovations after 25 years for predictable, esthetic outcomes. *Am Dent Assoc*. 2010; 141.
26. Beuer F SJED. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Br Dent J*. 2008; 204(505-511).
27. Mehl A HR. Current State of Development and Perspectives of Machine-based Production Methods for Dental Restorations. *Int J Comput Dent*. 2009; 2(9-35).
28. P-R. L. A panorama of dental CAD/CAM restorative systems. *Compend Contin Educ Dent*. 2005; 26(507-512).
29. Mehl A HR. Current state of development and perspectives of machine-based production methods for dental restorations. *nt J Comput Dent*. 2000; 2(9-35).
30. future. *RECIdahpavot. Can Dent Assoc. ; 58(287-280)*.
31. DJ. F. Clinical performance of chairside CAD/CAM restorations. *J Am Dent Assoc*. 2006;(137).
32. Culp L TA. CAD/CAM Dentistry: A New Forum for Dentist-Technician Teamwork. *Inside Dent*. 2006; 2.
33. Freedman M QFOM. Single unit CAD/CAM restorations: a literature review. *J Irish Dent Assoc*. 2007; 53(38-45).
34. Galhano GA PEMJ. Optical impression systems for CAD-CAM restorations. *Craniofac Surg*. 2012; 23.
35. Zimmermann M MAMWRS. Intraoral scanning systems - a current overview. *Int J Comput Dent*. 2015; 18(101-129).
36. Pollington S VNR. An Update of ceramics in dentistry. *Int J Clin Dent*. 2009; 2(283-307).
37. Li RWK CTMJ. Ceramic dental biomaterials and CAD/CAM technology State of the art. *Prosthodont Res*. 2014; 58(208-216).
38. Miyazaki T HY. CAD/CAM systems available for the fabrication of crown and bridge restorations. *Aust Dent J*. 2011; 56(97-106).
39. Silva LHD LEMRFSLUCP. Dental ceramics: a review of new materials and processing methods. *Braz Oral Res*. 2017; 31.
40. Adil O. Abdullah FKMBZYL. An Overview of Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing (CAD/CAM) in Restorative Dentistry. *JDMT*. 2018; 7.
41. Tahayeri AMMFA. 3D printed versus conventionally cured provisional crown and bridge dental materials. *Dental Materials*. 2018; 34(1-9).
42. Hazeveld A,SJJHaRY. Accuracy and reproducibility of dental replica models reconstructed by different rapid prototyping techniques. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2014; 145(108-115).

43. Digholkar S, MVNVaPJ. Evaluation of the flexural strength and microhardness of provisional crown and bridge materials fabricated by different methods. *The Journal of the Indian Prosthodontic Society*. 2016; 16(328).
44. Tian Y. A Review of 3D Printing in Dentistry: Technologies, Affecting Factors, and Applications. *Review Article*. 2021; Volumen 2021(19).
45. Saurabh Chaturvedi NMAMKAMAA. Marginal and internal fit of provisional crowns fabricated using 3D printing technology. *Technol Health Care*. 2020; 28(6).
46. Camila S Sampaio KDNDDSRHPJA. Microcomputed tomography evaluation of cement film thickness of veneers and crowns made with conventional and 3D printed provisional materials. *J Esthet Restor Dent*. 2021; 33(3).
47. Pedro Molinero-Mourelle SCMGPMFSRJDRHACV. Polylactic Acid as a Material for Three-Dimensional Printing of Provisional Restorations. *Int J Prosthodont*. 2018; 31(4).
48. Ki-Won Jeong SHK. Influence of surface treatments and repair materials on the shear bond strength of CAD/CAM provisional restorations. *J Adv Prosthodont*. 2019; 11(2).
49. Lorenz Holmer AOAKLCvS. Comparison of the shear bond strength of 3D printed temporary bridges materials, on different types of resin cements and surface treatment. *J Clin Exp Dent*. 2019; 11(4).
50. Lorenz Holmer AOAKLCvS. Comparison of the shear bond strength of 3D printed temporary bridges materials, on different types of resin cements and surface treatment. *J Clin Exp Dent*. 2019; 11(4).
51. Johannes Mayer BSKVRHDEM. Influence of cleaning methods after 3D printing on two-body wear and fracture load of resin-based temporary crown and bridge material. *Clin Oral Investig*. 2021; 25(10).
52. Merve Benlí. Can polylactic acid be a CAD/CAM material for provisional crown restorations in terms of fit and fracture strength? *Dental Materials Journal*. 2021; 40(3).
53. Skorulska A. Review on Polymer, Ceramic and Composite Materials for CAD/CAM Indirect Restorations in Dentistry—Application, Mechanical Characteristics and Comparison. *Materials*. 2021; 14(7).
54. Alter D. Subtractive Computer-Aided Manufacturing in Dental Milling. *Inside Dental Technology*. 2014; 5(2).
55. K Lim AYSA. Reliability, failure probability, and strength of resin-based materials for CAD/CAM restorations. *J Appl Oral Sci*. 2016; 24(5).
56. Skorulska A. Review on Polymer, Ceramic and Composite Materials for CAD/CAM Indirect Restorations in Dentistry—Application, Mechanical Characteristics and Comparison. *Materials*. 2021; 14(7).