

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio de Posgrados

Comparación entre el diseño y la materialización de restauraciones en distintos materiales CAD/CAM.

Mayra Valeria Crespo Peralta

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

Quito, 13 de diciembre 2021

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio de Postgrados

HOJA DE APROBACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Comparación entre el diseño y la materialización de restauraciones en distintos materiales CAD/CAM.

Mayra Valeria Crespo Peralta

Firmas

Nancy Mena, Dra.

Directora del Trabajo de Titulación

Nancy Mena, Dra.

Directora del Programa de
Especialización en Rehabilitación Oral

Paulina Aliaga, Dra.

Decana de la Escuela de Odontología

Hugo Burgos, PhD.

Decano del Colegio de Posgrados

Quito, 13 de 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: Mayra Valeria Crespo Peralta

Código de estudiante: 00213627

C. I.: 1715952501

Quito, 13 de diciembre 2021

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

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

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following graduation project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

DEDICATORIA

A mi familia de tres por toda la paciencia y sobre todo el amor. Esto es por y para ustedes.

AGRADECIMIENTOS

Primero que nada, le agradezco a Dios porque sin Él nada es posible. A los profesores que fueron la mejor guía durante este camino, a mis compañeros porque crecimos juntos durante el posgrado. A los buenos amigos que conocí, gracias, porque sé que estarán siempre a mi lado. A mi familia por querer lo mejor para mí y apoyarme de todas las formas posibles.

RESUMEN

El Diseño Asistido por Computadora y Fabricación Asistida por Computadora, CAD/CAM ha evolucionado rápidamente dentro de la Odontología, principalmente en el área de la prostodoncia. Su popularidad radica en la simplificación de procedimientos al ser comparado con tratamientos convencionales. Está constituido por tres fases, la adquisición de información, el diseño de restauraciones y su materialización. Dentro del último procedimiento, se emplean diversos materiales restauradores como las cerámicas, los materiales poliméricos y los híbridos. Al realizar restauraciones empleando los elementos citados, se pueden dar modificaciones en el resultado final, por alteraciones en alguna de las fases mencionadas o por el tipo de material empleado. De esta manera, aunque se han realizado varios estudios en diversos materiales restauradores, no existen investigaciones enfocadas en la comparación entre el diseño y materialización de restauraciones con diversos materiales CAD/CAM.

Palabras Clave: CAD-CAM, restauración dental, cerámicas, híbridos, poliméricos, archivos STL

ABSTRACT

Computer Aided Design and Computer Aided Manufacturing, CAD / CAM has evolved rapidly within Dentistry, mainly in prosthodontics. Its popularity lies in the simplification of procedures when compared to conventional treatments. It consists of three phases, the acquisition of information, the design of restorations and their materialization. Within the last procedure, various restorative materials such as ceramics, polymeric materials and hybrids are used. When making restorations using the aforementioned elements, there may be modifications in the result, due to alterations in any of the mentioned phases or due to the type of material used. Thus, although several studies have been carried out on various restorative materials, there is no research focused on the comparison between the design and materialization of restorations with various CAD / CAM materials.

Keywords: CAD-CAM, dental restoration, ceramic, hybrid, polymeric, STL files

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|-----------|
| RESUMEN | 7 |
| ABSTRACT | 8 |
| 1 Introducción..... | 14 |
| 1.1 Justificación | 20 |
| 1.2 Objetivos | 21 |
| 1.2.1 Objetivo General. | 21 |
| 1.2.2 Objetivos Específicos..... | 21 |
| 1.3 Hipótesis..... | 21 |
| 1.3.1 Hipótesis nula..... | 21 |
| 2 Revisión de la literatura..... | 22 |
| 2.1 Evolución Sistemas Cad Cam | 22 |
| 2.2 Escáneres Digitales Intraorales: parámetros para un correcto escaneo..... | 22 |
| 2.3 Flujo de trabajo Digital | 25 |
| 2.3.1 Adquisición de información..... | 25 |
| 2.3.2 Diseño o CAD | 27 |
| 2.3.3 Fabricación o CAM | 28 |
| 2.4 Bloques de materiales restauradores | 29 |
| 2.4.1 Materiales bloques CAD CAM base Cerámica | 30 |
| 2.4.2 Materiales bloques CAD CAM base Plástica..... | 34 |
| 2.4.3 Materiales bloques CAD CAM base Híbrida | 36 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3 | Metodología y diseño de la investigación | 39 |
| 3.1 | Tipo de Estudio | 39 |
| 3.2 | Muestra. | 39 |
| 3.2.1 | Criterios de inclusión y de exclusión..... | 39 |
| 3.3 | Materiales y métodos | 40 |
| 3.3.1 | Impresión y Diseño de restauraciones..... | 41 |
| 3.3.2 | Maquinado de restauraciones..... | 42 |
| 3.3.3 | Escaneado | 43 |
| 3.3.4 | Exportación de archivos | 44 |
| 3.3.5 | Comparación entre el diseño y la materialización..... | 45 |
| 4 | Análisis de datos | 47 |
| 4.1 | Análisis de los resultados..... | 47 |
| 5 | Discusión | 53 |
| 6 | Conclusiones | 58 |
| 7 | Recomendaciones | 59 |
| 8 | Referencias..... | 60 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|-----------|
| Tabla 1: materiales cerámicos | 32 |
| Tabla 2: Materiales CAD/CAM analizados | 40 |
| Tabla 3: Denominación de archivos STL de materialización..... | 45 |
| Tabla 4. Resumen descriptivo de las diferentes mallas..... | 50 |
| Tabla 5. Prueba de normalidad Shapiro Wilk para los tres materiales..... | 51 |
| Tabla 6. Análisis de varianza de una vía, para los tres materiales | 52 |
| Tabla 7. ANOVA para los tres materiales..... | 52 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|-----------|
| Figura 1: Materiales empleados: Empress Cad, Vita Enamic, Cerasmart..... | 41 |
| Figura 2: Modelo prefabricado | 42 |
| Figura 3: Impresión Digital | 42 |
| Figura 4: Diseño de restauración indirecta..... | 42 |
| Figura 5: Fresadora MCXL Dentsply Sirona | 43 |
| Figura 6: Restauración fresada sobre modelo | 43 |
| Figura 7: Restauración escaneada | 44 |
| Figura 8: Archivo de diseño de restauración en formato DXD en el programa InLab 20 | 44 |
| Figura 9: Escaneado de la materialización en archivo STL | 44 |
| Figura 10: Comparación de mallas en el software Geomagic Control X 64..... | 45 |
| Figura 11: Flujograma de la metodología | 46 |
| Figura 12: STL de diseño y STL de materialización sobrepuestas con codificación de colores (a) Empress Cad 1 (b) Empress Cad 2 (c) Empress Cad 3 (d) Empress Cad 4 (e) Empress Cad 5..... | 47 |
| Figura 13: STL de diseño y STL de materialización sobrepuesta con codificación de colores (a) Empress Cad 1 (b) Empress Cad 2 (c) Empress Cad 3 (d) Empress Cad 4 (e) Empress Cad 5..... | 48 |
| Figura 14: STL de diseño y STL de materialización sobrepuestas con codificación de colores: (a) Vita Enamic 1 (b) Vita Enamic 2 (c) Vita Enamic 3 (d) Vita Enamic 4 (e) Vita Enamic 5..... | 49 |

Figura 15 Gráfico de caja para las tres mallas 50

1 INTRODUCCIÓN

La tecnología CAD/CAM, fue desarrollada en la década de 1950 y permite el modelado, diseño y fabricación de objetos. En odontología, se ha utilizado desde 1980 para producir inlays, onlays, coronas, laminados, entre otros aditamentos protésicos (Ahlholm, Sipilä, Vallittu, Jakonen, & Kotiranta, 2016).

Duret fue el primero en el desarrollo de sistemas CAD/CAM en el campo odontológico. Fabricó coronas con la forma funcional de la superficie oclusal utilizando una serie de sistemas que comenzaron con una impresión óptica intraoral de la preparación dental, seguido del diseño de una restauración óptima considerando el movimiento funcional y materializando una corona mediante una fresadora controlada numéricamente, además, desarrolló el Sistema Sopa® que tuvo un impacto en el desarrollo posterior de sistemas dentales CAD/CAM en el mundo (Miyazaki, Hotta, Kunii, Kuriyama, & Yukimichi, 2009).

Por otro lado, la marca "CEREC" salió al mercado en 1985, gracias al Dr. Mormann, siendo el primer sistema CAD/CAM utilizado en clínicas dentales, diseñado para la fabricación de restauraciones de cerámica estética (Ahlholm, Sipilä, Vallittu, Jakonen, & Kotiranta, 2016). A través de los años, el sistema ha evolucionado hasta un escáner intraoral de alta gama para la toma de impresiones digitales mediante la recopilación de información (Miyazaki, Hotta, Kunii, Kuriyama, & Yukimichi, 2009). Los tejidos se pueden reproducir en el software y las principales estructuras del diseño protésico en términos de datos son visiones tridimensionales de los dientes preparados, los dientes adyacentes y la oclusión con los dientes antagonistas (Ahlholm, Sipilä, Vallittu, Jakonen, & Kotiranta, 2016). Históricamente, el sistema Procera, desarrollado por Andersson, fue originado en la búsqueda de una solución para tratar alergias en los pacientes causadas por aleaciones metálicas, intentando fabricar cofias de titanio por electroerosión e introduciendo la

tecnología CAD/CAM en el proceso de restauraciones recubiertas de composite (Andersson, Razzoog, Odén, Hegenbarth, & Lang, 1998). Este sistema más tarde fue desarrollado como un centro de procesamiento en red con digitalizadores satelitales de todo el mundo para fabricación de estructuras de cerámica sin metal (Miyazaki, Hotta, Kunii, Kuriyama, & Yukimichi, 2009).

La rápida evolución de los sistemas CAD/CAM ha causado un gran impacto en todas las disciplinas de la odontología, en especial en la rama de la prostodoncia (Alghazzawi, 2016). Esto se debe principalmente a la eficacia clínica y longevidad de las restauraciones fabricadas mediante este procedimiento (Patel, 2014). Este sistema tiene algunas ventajas al ser comparado con técnicas tradicionales, como la velocidad, facilidad de uso y calidad en las restauraciones finales (Davidowitz & Kotick, 2011). Los escáneres tienen el potencial de ser más rápidos y fáciles de emplear en comparación con las impresiones convencionales debido a que se eliminan ciertos pasos como el vaciado de modelos en yeso (Mormann, Brandestini, & Lutz, 1989) y existen sistemas CAD/CAM que realizan un escaneado de arco completo en menos de dos minutos lo que disminuye notablemente el tiempo de trabajo (Latham, y otros, 2019). En cuanto a la fabricación, se pueden fresar coronas en minutos, lo que implica que los pacientes pueden recibir su restauración en una sola cita, eliminando la necesidad de emplear restauraciones provisionales (Davidowitz & Kotick, 2011). Este tipo de restauraciones presenta una precisión y exactitud notablemente mayor al comparar impresiones mediante escaneo y modelos de yeso de dientes pilares obtenidos a través de un proceso de impresión habitual (Jeon, Seong-Sig, Ji-Hwan, & Kim, 2018).

De forma tradicional, el enfoque estándar de un tratamiento restaurador convencional consiste en la toma de impresiones con siliconas de adición, modelos de estudio para la fabricación de reconstrucciones acrílicas, porcelana fusionadas a metal (Dawood,

Purkayastha, Patel, MacKillop, & Tanner, 2010) (Fasbinder, 2010), materiales restauradores basados en biocerámicas, resinas indirectas, entre otros (Khan & Syed, 2018). En contraste, la tecnología CAD/CAM basada en ingeniería computarizada está relacionada con una precisión constante y la producción reproducible da como resultado un proceso de trabajo simplificado con mano de obra reducida (Joda, Zarone, & Ferrari, 2017). Los sistemas CAD/CAM incluyen un flujo de trabajo digital compuesto de 3 fases: la primera, la adquisición de información, en la cual, las imágenes o dimensiones de los dientes preparados, así como también las estructuras adyacentes y antagonistas son capturadas por medio de un escáner (Galhano, Pellizzer, & J, 2012). Las impresiones digitales intraorales proporcionan ventajas decisivas sobre métodos convencionales con elastómeros en términos de mayor comodidad del procedimiento y mejor comunicación entre el paciente, el odontólogo y el laboratorio dental, eliminando virtualmente problemas relacionados con la deformación del elastómero (contracción / expansión), obteniendo una mayor veracidad en el resultado final (Mormann, Brandestini, & Lutz, 1989).

Estos dispositivos permiten una determinación inmediata de la calidad de la impresión y tienen la capacidad de enviar los modelos al laboratorio mediante correo electrónico, o compartirlo por redes locales reduciendo así gastos y tiempo (Stanley, Paz, Inês, & Coachman, 2018). Los escáneres trabajan con un proceso de triangulación activo en el cual un sensor captura los patrones de luz y sombra proyectados y su receptor interpreta los cambios en profundidad y distancia generando una imagen tridimensional (Samra, Morais, Vieira, & Rached, 2016).

La segunda fase, se realiza después de la adquisición de la información, y los archivos de imágenes tridimensionales se pueden importar a un software de diseño con diferentes herramientas para manipular, editar y diseñar el modelo o las futuras

restauraciones finales (Tamimi & Hirayama, 2019). Es importante destacar que este software cuenta con múltiples morfologías dentarias en sus librerías digitales para diseñar restauraciones en modelos de trabajo virtuales como coronas, carillas, encerados digitales para diagnóstico y proyección de tratamiento, entre otros (Alghazzawi, 2016). El sistema CAD/CAM promueve características sofisticadas para lograr la detección de los márgenes de las preparaciones, posiciones de conectores y pónicos, además de permitir una planeación esencial tanto para la forma como para el soporte considerando la resistencia y estética de las restauraciones (Samra, Morais, Vieira, & Rached, 2016). Una de las ventajas del CAD es que permite que los modelos sean visibles en el monitor de la computadora, pudiendo rotarlo en tres dimensiones, así como también magnificarlo para evaluar áreas críticas del modelo previo a la transmisión del archivo para el proceso de fabricación (Alghazzawi, 2016).

La última fase del proceso CAD/CAM es la fabricación, de esta manera un modelo CAD se convertirá en una restauración física la cual va a ser sometida a un proceso de acabado y pulido antes de ser insertada en la boca del paciente (Van Noort, 2012). Los dos métodos principales empleados para la fabricación de restauraciones son, el método de fabricación sustractiva que incluye tecnologías de mecanizado, fresado y ablación láser mientras que el método de fabricación aditiva incluye impresión 3D y fusión por tecnologías láser (Tamimi & Hirayama, 2019). El fresado de restauraciones es un proceso empleado con frecuencia y se puede realizar tanto en seco como en húmedo, además, puede emplear 3, 4, 5 y hasta 6 ejes de maquinado (Alghazzawi, 2016). El número de ejes es un parámetro de gran importancia debido a que la geometría de la restauración depende del número de posiciones de acceso de las fresas durante el fresado (Samraa, Morais, Mazur, Vieirac, & Rached, 2016). Por ejemplo, una fresadora con 5 ejes generaría restauraciones con mayor exactitud, gracias a que pueden ser maquinadas en distintas direcciones, aunque no por tener

menos ejes de fresado, una restauración perdería calidad (Abduo, Lyons, & Bennamoun, 2014).

Gracias a los avances en la tecnología CAD/CAM, se ha dado un cambio de paradigma en la prostodoncia fija y en los enfoques de tratamiento en los que se evidencia el éxito clínico a largo plazo de restauraciones en diversos materiales restauradores (Spitznagel, Boldt, & Gierthmuehlen, 2018). En la actualidad se emplean diversos tipos de bloques de materiales restauradores; cerámicos, poliméricos e híbridos (Blatz & Conejo, 2019). Es justificable entonces conocer cuál de los 3 materiales, genera menores cambios entre su diseño y fabricación (Reich, Gozdowski, Trentzsch, Frankenberger, & Lohbauer, 2008); considerando que la fuerza necesaria para cortar y realizar restauraciones varía de acuerdo con las condiciones de fresado (fuerza, velocidad, desgaste de herramientas) y la maquinabilidad de los materiales (facilidad con la que puede ser cortado un material) la cual a su vez está afectada por la dureza y microdureza de los materiales (Lawson, 2016). Las restauraciones realizadas con estos materiales pueden verse afectadas por situaciones dadas tanto en el diseño como la materialización (Samraa, Morais, Mazur, Vieirac, & Rached, 2016). Existen algunos aspectos que pueden llegar a comprometer la exactitud dentro del diseño de las restauraciones como la adquisición de información en la primera fase del flujo de trabajo, la determinación del margen en el modelo digital y el diseño específico de las restauraciones (Rekow, y otros, 2011). Por su parte, el proceso de fabricación también presenta sus propios retos como la precisión del ajuste de la restauración sobre todo cuando se deben reproducir superficies complejas, irregularidades de la preparación y el intaglio de la restauración (Reich, Gozdowski, Trentzsch, Frankenberger, & Lohbauer, 2008). Dependiendo del material que se emplee, se pueden realizar diversos estudios como el desgaste, resistencia flexural, dureza y propiedades ópticas (Lawson, 2016) (Sen, 2018). Sin embargo, no existen estudios que se hayan enfocado en una comparación entre el diseño y

la materialización de restauraciones. En la actualidad, debido al incremento de la utilización de sistemas CAD/CAM, es necesario plantearse el problema sobre la existencia de diferencias entre el diseño y materialización de diversos materiales CAD/CAM. Además, preguntarse si un material en particular reúne mejores condiciones para evitar variaciones entre estas dos fases y optimizar las restauraciones. Su justificación radica en que conocer esta información podría ser relevante en la clínica y en el laboratorio.

El proceso de comparación de mallas digitales se puede realizar en un software específico. Para esto, se importan archivos de mallas digitales de diseño y materialización para ser sobrepuestas y comparadas (Artec3D, 2021). El análisis se realiza por medio de algoritmos que determinan la distancia entre objetos para posteriormente generar un mapeo de colores determinando posibles áreas de desajuste entre los archivos generando un informe de comparación.

El sistema de Imágenes Asistidas por Computador (CAI), al ser un procedimiento sistematizado, disminuye el error humano que se presenta en técnicas convencionales de rehabilitación oral (Rekow, y otros, 2011). La presente investigación tiene como objetivo analizar la exactitud (veracidad y precisión) entre el diseño digital de las restauraciones y su materialización en distintos materiales CAD/CAM. La hipótesis nula planteada es que los materiales CAD/CAM estudiados no mostrarían diferencias significativas entre su diseño y materialización

Justificación

El sistema de Imágenes Asistidas por Computador (CAI), al ser un procedimiento sistematizado, disminuye el error humano que se presenta en técnicas convencionales de rehabilitación oral (Kelly & Benetti, 2011). Es justificable entonces conocer cuál de los 3 materiales: Cerámica feldespática con leucita Empress CAD, Ivoclar Vivadent; Polimérico, Cerasmart, GC Dental Products e Híbrido, Vita Enamic, Vita Zahnfabrik, genera menores cambios entre su diseño y fabricación (Khan & Syed, 2018); considerando que la fuerza necesaria para cortar y realizar restauraciones varía de acuerdo con las condiciones de fresado (fuerza, velocidad, desgaste herramientas) y la maquinabilidad de los materiales (facilidad con la que puede ser cortado un material) la cual a su vez está afectada por la dureza y fragilidad de los materiales (Koch, Gallucci, & Lee, 2016). Con esto, se busca optimizar las restauraciones, disminuir el tiempo de trabajo y tener menos citas clínicas. La presente investigación busca proporcionar información de gran utilidad para la comunidad odontológica, en especial en el área de la rehabilitación oral para evaluar las restauraciones realizadas mediante tecnología digital y generar información de utilidad para el usuario clínico y de laboratorio.

Objetivos

1.1.1 Objetivo General.

Analizar la exactitud (veracidad y precisión) entre el diseño digital de las restauraciones y su materialización en distintos materiales CAD/CAM.

1.1.2 Objetivos Específicos.

1. Comparar las mallas de diseño y de materialización de las restauraciones fabricadas con Empress CAD
2. Determinar si el material Cerasmart tiene diferencias significativas entre su diseño y materialización
3. Definir si el material Vita Enamic no tiene diferencias significativas entre las mallas de CAD y CAM

Hipótesis

1.1.3 Hipótesis nula.

Los materiales estudiados no muestran diferencias significativas entre su diseño y materialización

2 REVISIÓN DE LA LITERATURA

Evolución Sistemas Cad Cam

Debido a la creciente demanda de materiales dentales seguros y estéticamente agradables, surgen materiales de alta resistencia para ser empleados en dispositivos dentales debido a su falta de compatibilidad con tecnología de procesamiento dental convencional (Miyazaki, Hotta, Kunii, Kuriyama, & Yukimichi, 2009). Por esta razón, se introduce la tecnología CAD/CAM, la cual fue desarrollada en la década de 1950 y permite el modelado, diseño y fabricación de objetos, por ejemplo, en procesos industriales, mientras que, en odontología, la tecnología CAD / CAM se ha utilizado desde la década de 1980 para producir inlays, onlays, coronas, laminados, prótesis fija e implantes (Ahlholm, Sipilä, Vallittu, Jakonen, & Kotiranta, 2016). En relación con el rápido progreso que se está logrando con esta tecnología, ha existido mucha investigación y desarrollo de los sistemas dentales CAD/CAM a nivel mundial (Miyazaki, Hotta, Kunii, Kuriyama, & Yukimichi, 2009).

El Dr. Duret fue el primero en el desarrollo de sistemas CAD/CAM en el campo odontológico (Miyazaki, Hotta, Kunii, Kuriyama, & Yukimichi, 2009). Fabricó coronas con la forma funcional de la superficie oclusal utilizando una serie de procedimientos, empezando con una impresión óptica del diente pilar en boca, seguido del diseño de una restauración óptima considerando el movimiento funcional tanto como la estética y finalmente materializando una corona mediante una fresadora controlada numéricamente, además, desarrolló el Sistema Sopher®, que tuvo un impacto en el desarrollo posterior de sistemas dentales CAD / CAM a nivel mundial (Miyazaki, Hotta, Kunii, Kuriyama, & Yukimichi, 2009).

Por otro lado, la marca "CEREC" salió al mercado en 1987, gracias al Dr. Moermann, fue el primer sistema CAD / CAM utilizado en consultorios dentales, diseñado para la fabricación de restauraciones de cerámica estética (Ahlholm, Sipilä, Vallittu, Jakonen, & Kotiranta, 2016). A través de los años, el sistema ha evolucionado hasta la cuarta versión del hardware y requiere de un escáner intraoral, para la toma de impresiones digitales mediante la recopilación de información sobre la proyección de luz (Miyazaki, Hotta, Kunii, Kuriyama, & Yukimichi, 2009). Los tejidos reproducibles se muestran en el software con aspecto natural y las principales estructuras del diseño protésico en términos de datos son vistas en 3D de los dientes preparados, las piezas adyacentes y la oclusión con los dientes antagonistas (Ahlholm, Sipilä, Vallittu, Jakonen, & Kotiranta, 2016).

El tercer sistema desarrollado fue el Procera por medio del Dr. Andersson, el cual en busca de una solución para tratar alergias en los pacientes causadas por aleaciones metálicas sin emplear oro por su alto costo, intentó fabricar cofias de titanio por electroerosión e introdujo la tecnología CAD / CAM en el proceso de restauraciones recubiertas de composite (Andersson, Razzoog, Odén, Hegenbarth, & Lang, 1998). Este sistema más tarde fue desarrollado como un centro de procesamiento en red con digitalizadores satelitales de todo el mundo para fabricación de estructuras de cerámica sin metal (Miyazaki, Hotta, Kunii, Kuriyama, & Yukimichi, 2009).

Escáneres Digitales Intraorales: parámetros para un correcto escaneo

Los escáneres intraorales para la impresión digital directa de las arcadas dentales se introdujeron por primera vez por Mörmann y Brandestini en la década de 1980 aunque el pionero fue Françoise Duret el cual estaba desarrollando este tipo de tecnología desde 1971 (Mörmann, Brandestini, & Lutz, 1987). Las impresiones digitales intraorales directas proporcionan ventajas decisivas sobre métodos convencionales con elastómeros en términos

de mayor comodidad del procedimiento, y mejor comunicación entre el paciente, el médico y el laboratorio dental, además que elimina virtualmente todos los problemas relacionados con la deformación del elastómero (contracción / expansión), lo que resulta en una mayor exactitud (Tamimi & Hirayama, 2019).

Al hablar de su funcionamiento, los escáneres digitales intraorales construyen modelos 3D capturando y uniendo múltiples imágenes tomadas de la cavidad bucal, este proceso de unión o “stitching” es fundamental y se realiza mediante una alineación de mejor ajuste en la que pueden surgir una serie de errores comprometiendo la exactitud (Güth, Keul, Stimmelmayer, Beuer, & Edelhoff, 2013). Estos errores de stitching pueden corregirse mediante métodos matemáticos, algoritmos dentro del software de control del escáner, aunque este proceso es sensible a otros factores como la experiencia del operador en el manejo del dispositivo (Giménez, Özcan, Martínez-Rus, & Pradíes, 2015).

La resolución de los archivos STL generados por los escáneres depende del número de triángulos utilizados para representar la superficie del objeto, que pueden variar según el software de control de exploración utilizado, factor puede afectar la visibilidad y exactitud de la línea de terminación en las preparaciones de pilares para prótesis fija, comprometiendo así la calidad de la restauración final (Pradíes, Zarauz, Valverde, Ferreiroa, & Martínez-Rus, 2015). La estrategia de escaneo aplicada por el operador es otro factor que podría afectar la exactitud, especialmente en casos de arcada completa, es por esto por lo que, dependiendo de la tecnología de los escáneres, el fabricante suele recomendar un protocolo de exploración específico (Tamimi & Hirayama, 2019). No obstante, la mayoría de los protocolos suelen comenzar escaneando el arco donde se encuentra la restauración, seguido de una exploración para el arco antagonista y otra para los dientes en oclusión, este último automáticamente

alinea la exploración del maxilar superior e inferior en oclusión céntrica (Tamimi & Hirayama, 2019).

Otro factor importante para un escaneo exacto, independientemente del tipo de escáner utilizado, es el control de los tejidos blandos y la saliva, para esto deben retraerse los labios y las mejillas para aislar el campo de tratamiento, al igual que hilos de retracción para exponer las líneas de acabado de las preparaciones cuando sea necesario (Pradés, Zarauz, Valverde, Ferreiroa, & Martínez-Rus, 2015). La acumulación de saliva y sangre se encuentran entre las razones más comunes detrás de las alteraciones en la exactitud del escaneo y, por lo tanto, necesita ser controlado (Tamimi & Hirayama, 2019).

Flujo de trabajo Digital

2.1.1 Adquisición de información.

El requisito previo básico para la producción de restauraciones dentales mediante tecnología CAD/CAM es la adquisición de datos, llamado también digitalización. La digitalización consiste básicamente en convertir cualquier volumen físico de dos o tres dimensiones en un lenguaje de información electrónico codificado en términos de sólo dos dígitos posibles (0 o 1) normalmente contenidos en un archivo informático (Tamimi & Hirayama, 2019). Actualmente, existen dos métodos disponibles para este proceso, el primero, es una adquisición directa de datos de forma intraoral dentro de la boca del paciente y el segundo se refiere a la digitalización extraoral de modelos maestros considerando que lo óptimo es realizar un escaneo inmediato de los modelos de yeso adquiridos a través de impresiones obtenidas del paciente para de esta manera combinar la alta exactitud de los métodos de digitalización al mismo tiempo que se disminuye el tiempo de producción (Quaas, Rudolph, & Luthardt, 2007).

Independientemente del modo de digitalización aplicado, los parámetros clínicos como por ejemplo la saliva, sangre, movimientos del paciente y espacio restringido en la cavidad oral, pueden afectar a la reproducción de las estructuras dentarias (Rudolph, Salmen, Moldan, & Khun, 2016). Considerando la restricción de espacio en la cavidad oral, es importante mencionar que esta es la razón por la que los dispositivos de digitalización intraoral tienen un área de medición más pequeña que los digitalizadores extraorales. Como resultado, se deben obtener varios conjuntos de datos digitales los cuales deben ser combinados para capturar de dos a tres dientes vecinos cuando se utilizan escáneres intraorales (Rudolph, Salmen, Moldan, & Khun, 2016). En cuanto a este proceso, denominado emparejamiento, se puede presentar un pequeño error sistemático en los datos de cualquier sistema de medición considerando que esto sucede en mayor proporción en impresiones digitales de arco completo. Por su parte, la digitalización extraoral incluye errores introducidos por la impresión y la elaboración de modelos en yeso además del error resultante de digitalización (Loos, Rudolph, Luthardt, & Quaas, 2015).

Más allá de la tecnología de digitalización aplicada, la calidad de la digitalización afecta la exactitud en el proceso CAD / CAM (Quaas, Rudolph, & Luthardt, 2007). En un flujo de trabajo digital para la fabricación exacta de restauraciones dentales, discrepancias en precisión y veracidad se han observado (International Organization for Standardization, 2021). La precisión describe cuán cerca las mediciones repetidas son entre sí mientras que la veracidad se refiere a la desviación entre las dimensiones medidas y las dimensiones reales del objeto (Ziegler, 2009). Las discrepancias se pueden incorporar en cada paso de un flujo de trabajo digital, es por esto por lo que las fuentes de inexactitud pueden provenir de la adquisición de datos tridimensionales (3D) mediante escáneres digitales (Koch, Gallucci, & Lee, 2016).

2.1.2 Diseño o CAD.

El Diseño Asistido por Computadora o CAD es un paso fundamental en cualquier intervención dental que implique tecnologías digitales. Las imágenes registradas a través de sistemas de adquisición como escáneres se gestionan en archivos informáticos especializados capaces de almacenar dos dimensiones, tres dimensiones e incluso información de color. Posteriormente, estos archivos se pueden procesar con un software para planificar virtualmente tratamientos y diseñar restauraciones protésicas (Tamimi & Hirayama, 2019).

Para esto, partiendo de la información adquirida, las imágenes son transferidas por medio de un software a un centro de procesamiento de información donde las imágenes de las preparaciones dentales forman una malla tridimensional cuya exactitud se relaciona al dispositivo utilizado para la adquisición de información, estas imágenes van a ser empleadas en el diseño de las futuras restauraciones (Samra, Morais, Vieira, & Rached, 2016). Los diferentes softwares de diseño ofrecen varias herramientas para la manipulación de imágenes al igual que características sofisticadas para detectar márgenes de preparaciones, posición de conectores, pónicos y en general permite la planeación esencial tanto de la forma como soporte de restauraciones para una correcta función y alta estética considerando que los ajustes finales van a ser determinados por el odontólogo o por el técnico dental (Koutayas, Kreulen, & Creugers, 2009). El grado de interacción, por parte del operador del sistema CAD / CAM para diseñar una restauración varía, desde operaciones de usuario sustanciales o no requeridas, incluso en los sistemas más automatizados, el usuario generalmente tiene la opción de modificar automáticamente la restauración diseñada para adaptarse a sus preferencias (Strub, Rekow, & Witkowski, 2006).

Cuando el diseño de la restauración esté completo, el software CAD transforma el modelo virtual en un conjunto específico de comandos, estos, a su vez, accionan la unidad CAM, que fabrica la restauración diseñada (Strub, Rekow, & Witkowski, 2006).

2.1.3 Fabricación o CAM.

La tecnología CAD / CAM en odontología se puede clasificar como "sustractiva" o métodos de fabricación "aditivos". En el caso de la fabricación sustractiva, el método incluye tecnologías de mecanizado, fresado y ablación láser, mientras que el método de fabricación aditiva incluye impresión 3D y tecnologías de fusión por láser (Tamimi & Hirayama, 2019). Diferentes materiales y equipos están disponibles comercialmente para diversas aplicaciones dentales, como guías quirúrgicas, prótesis dentales temporales o definitivas fijas o removibles y aparatos de ortodoncia o maxilofaciales (Tamimi & Hirayama, 2019). Los métodos sustractivos son actualmente más precisos y exactos, mientras que los métodos aditivos son más versátiles (Braian & al, 2018). Cada tecnología presenta algunas diferencias en el proceso, los materiales utilizados, y tienen diferentes ventajas, limitaciones y aplicaciones (Barazanchi & al., 2017).

En la fabricación sustractiva mediante fresado, se realiza inmediatamente después del diseño de la restauración, el sistema procesa la información, selecciona el tamaño y la posición del bloque del material restaurador para obtener los mejores resultados con la menor cantidad de desperdicio de material y eficiencia de tiempo. El fresado como tal puede realizarse con fresas de carburo o de diamante en un medio seco o húmedo de ser necesario. Por otro lado, el número de ejes es un parámetro de gran importancia debido a que la geometría de la restauración depende de la posición de acceso de las fresas durante el maquinado, de esta manera, a mayor número de ejes se obtiene una morfología más detallada (Samraa, Morais, Mazur, Vieirac, & Rached, 2016)

La precisión CAM también depende de la calidad de los componentes de mecanizado, cada paso del flujo de trabajo CAD/CAM puede sumarse al error de fabricación resultante, también son posibles efectos combinados de cada fase del proceso. Mediante la realización de análisis tridimensionales, se puede evaluar cada paso de la cadena del proceso CAD/CAM, desde la digitalización intraoral o la toma de impresiones, el diseño, hasta la restauración dental resultante (Loos, Rudolph, Luthardt, & Quaas, 2015).

2.4 Bloques de materiales restauradores.

Los avances en la tecnología de diseño asistido por computadora (CAD) y fabricación asistida por computadora (CAM) y su facilidad de aplicación permitieron el desarrollo de conceptos de tratamientos novedosos para la prostodoncia moderna (Spitznagel, Boldt, & Gierthmuehlen, 2018). Este reciente cambio de paradigma en la prostodoncia fija de los enfoques de tratamientos tradicionales a mínimamente invasivos se evidencia en el éxito clínico a largo plazo de restauraciones en diversos materiales restauradores para sistemas CAD/CAM (Spitznagel, Boldt, & Gierthmuehlen, 2018).

Uno de los beneficios clave de las tecnologías CAD/CAM es la capacidad de fabricar restauraciones indirectas en el consultorio dental en un corto período de tiempo sin la participación de un laboratorio externo (Blatz & Conejo, 2019). Se debe realizar una selección adecuada de los materiales para dichas restauraciones basados en sus indicaciones, así como las necesidades estéticas y funcionales específicas es esencial para la longevidad clínica considerando que varios estudios clínicos indican tasas de éxito a largo plazo muy altas de restauraciones CAD/CAM (Blatz & Conejo, 2019). En la actualidad, los materiales restauradores pueden dividirse en tres grupos: materiales de base cerámica, materiales de base plástica y materiales híbridos (Blatz & Conejo, 2019).

2.2.1 Materiales bloques CAD CAM base Cerámica.

La variedad de sistemas restauradores de base cerámica CAD / CAM está en constante evolución para satisfacer el aumento de demanda de restauraciones altamente estéticas, biocompatibles y duraderas (Spitznagel, Boldt, & Gierthmuehlen, 2018). Es importante determinar aspectos prácticos sobre la elección y uso de cerámicas dentales para maximizar la estética y la durabilidad (Kelly & Benetti, 2011). Es muy útil conocer cómo y por qué surgió la cerámica para ser utilizada en odontología CAD / CAM, es así que se tienen tres propósitos: (1) alertar a los profesionales sobre el hecho de que el uso de la cerámica, desde el principio, siempre representó la adopción de "alta tecnología" versus "arte artesanal"; (2) reforzar el concepto de la cerámica introduciendo cerámicas mejoradas para resolver problemas específicos o para aumentar la versatilidad restauradora; y (3) para proporcionar un antecedente sutil a la naturaleza y ciencia de la cerámica (Kelly & Benetti, 2011).

Las cerámicas utilizadas en odontología se basan principalmente en silicio, (Si) y generalmente en forma de sílice (dióxido de silicio), SiO₂ o varios silicatos (Li, Chow, & Matinlinna, 2014). Los tratamientos se han vuelto populares y muchas de estas restauraciones se pueden fabricar con los dos métodos tradicionales de laboratorio y mecanizado CAD / CAM (Li, Chow, & Matinlinna, 2014). Los métodos tradicionales se han descrito indicando que la fabricación de cerámica requiere mucho tiempo, es sensible a la técnica e impredecible debido a la gran cantidad de variables, los sistemas CAD / CAM pueden ser una buena alternativa tanto para odontólogos como para laboratorios ya que ayudan a reducir el tiempo de fabricación de cerámicas de alta resistencia hasta en un 90% (Li, Chow, & Matinlinna, 2014).

De esta manera, los materiales restauradores cerámicos se clasifican como se observa en la tabla a continuación (Blatz & Conejo, 2019):

Tabla 1: Materiales Cerámicos

| <i>Tipo de cerámica</i> | <i>Cerámicas de matriz resinosa</i> | <i>Cerámicas a base de Sílice</i> | <i>Cerámicas a base de óxido</i> |
|-------------------------|---|---|---|
| <i>Descripción</i> | <p>Contenido predominante de compuestos refractarios inorgánicos que pueden incluir porcelanas, vidrios, cerámicas, y vitrocerámicas.</p> <p>Entre sus ventajas en comparación con el sílice las cerámicas tienen mayor capacidad de carga, mejor módulo de elasticidad y propiedades de fresado favorables</p> | <p>Materiales cerámicos inorgánicos no metálicos que contienen una fase vítrea</p> <p>El vidrio ofrece una alta translucidez, una estética óptima y un aspecto natural.</p> <p>Sin embargo, debido a su fragilidad y baja resistencia a la fractura, deben ser adhesivas.</p> | <p>Cerámicas basadas en óxido de metal policristalino de alta resistencia como el zirconio, se caracterizan por excelentes propiedades mecánicas, que son significativamente mayores que las de las cerámicas a base de sílice.</p> <p>En general, estas restauraciones tienen una alta resistencia a la flexión inherente, que excede a las fuerzas de masticación naturales</p> |
| <i>Clasificación</i> | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Cerámicas basadas en resina ✓ Cerámicas híbridas | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Cerámicas feldespáticas (Feldespatos, reforzadas con Leucita) ✓ Cerámicas de silicato de Litio (Disilicato de Litio, Silicato reforzado con Zirconio) | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Óxido de Aluminio ✓ Óxido de Zirconio (Y-TZP, Zr cúbico) |

2.2.1.1 *Empress Cad, Ivoclar Vivadent*

Es una cerámica feldespática con leucita compuesta por dos fases, una vítrea y una cristalina. La formación de los cristales de leucita se debe a un controlado proceso de etapas que parte desde un vidrio amorfo. Posteriormente, el polvo cerámico es prensado en bloques mediante un proceso automatizado. Surgen ciertas diferencias entre los coeficientes de expansión térmica tanto de la fase vítrea como de la cristalina generando tensiones compresivas al momento de enfriamiento del material (Abad, 2017).

Composición:

- Dióxido de sílice: 60 al 65%
- Óxido de alúmina: 16 al 20%
- Óxido potásico: 10 al 14%
- Óxido de sodio: 3.5 al 6.5%
- Otros óxidos: 0.5 a 0.7%
- Pigmentos: 0.2 y un 1%.

Los cristales de leucita tienen una disposición homogénea, con un diámetro de 1 a 5 micrones y ocupan un 35 a 45% del volumen. En cuanto a su tenacidad de fractura es de 1.3 MPa.m^{1/2}, su dureza de 6,2 GPa, una resistencia a la flexión biaxial de 160 MPa y un módulo elástico de 62 (Abad, 2017).

Indicaciones:

- ✓ Restauraciones coronarias parciales
- ✓ Restauraciones coronarias de cobertura completa

Este tipo de restauraciones pueden ser maquilladas, glaseadas, pulidas y se suministran en LT, HT, en bloques multicolor y en tamaño 8, 10, 12, 14

2.2.2 Materiales bloques CAD CAM base Plástica

Las resinas composites tradicionales, debido a sus características mecánicas insuficientes, se usan generalmente en piezas dentales anteriores o en restauraciones posteriores de tamaño pequeño (Jovanovic, Zivic, & Milosavljevic, 2021). En aquellos casos de grandes restauraciones posteriores, cuando se busca reemplazar cúspides o en situaciones de parafunciones, es necesario mejorar las propiedades mecánicas de este material y reducir su contracción de polimerización (Jovanovic, Zivic, & Milosavljevic, 2021). Una forma de incrementar el rendimiento es mediante un procesamiento industrial de las resinas composites o de base plástica empleando tecnología CAD/CAM (Jovanovic, Zivic, & Milosavljevic, 2021).

Este tipo de materiales varían en cuanto a características de resistencia y en general en su comportamiento biomecánico de acuerdo con su composición y microestructura (Lim, Adrian, Agarwalla, Tan, & Rosa, 2016). Es importante mencionar también que son más homogéneos que aquellos composites fotopolimerizables convencionales ya que su proceso es diferente e incluye polimerización industrial con temperaturas y presiones muy elevadas generando de igual manera fases continuas interpenetradas (Lim, Adrian, Agarwalla, Tan, & Rosa, 2016).

Actualmente, los composites dentales representan una variedad amplia y compleja de materiales con una gama cada vez mayor de propiedades e indicaciones (Mainjot, Dupont, Oudkerk, Dewael, & Sadoun, 2016). Los últimos desarrollos del diseño asistido por computadora y fabricación asistida por ordenador (CAD-CAM) son especialmente asociados con nuevos modos de polimerización, microestructuras innovadoras y diferentes composiciones (Mainjot, Dupont, Oudkerk, Dewael, & Sadoun, 2016). Todos estos cambios han introducido importantes lagunas entre las diferentes clases de compuestos indirectos en términos de propiedades mecánicas, estabilidad química, propiedades biológicas, propiedades de unión y probabilidad de rendimiento a largo plazo, especialmente en comparación con materiales cerámicos (Mainjot, Dupont, Oudkerk, Dewael, & Sadoun, 2016).

En cuanto a su clasificación, los materiales de base plástica pueden dividirse en los siguientes:

- Composites CAD/CAM reforzados con fibra de vidrio
- Otras resinas CAD/CAM reforzadas

Los materiales CAD/CAM de resina composite reforzados con fibra de vidrio y cerámicas son materiales innovadores que atraen el interés para su uso en odontología protésica debido a sus varias ventajas sobre materiales metal cerámicos tradicionales como mejores propiedades estéticas, biocompatibilidad y menor fragilidad además de tener menores propiedades mecánicas relacionadas a cerámicas vítreas de disilicato de litio pero superiores a cerámicas feldespáticas (Jovanovic, Zivic, & Milosavljevic, 2021).

2.2.2.1 Cerasmart, GC Products

Material polimérico nanocerámico con partículas de relleno dispuestas muy densamente manteniendo un pequeño espacio intermolecular en una matriz de UDMA (uretanodiglicilmetacrilato) (Abad, 2017).

Composición:

- Relleno: 71%
- Partículas de sílice de 20 nanómetros
- Partículas de Bario vítreo de 300 nanómetros

Presenta valores de resistencia a la flexión de 219 MPa, un módulo elástico de 7.9 GPa y una dureza de 0.7 GPa. Tiene una presentación en bloques de tamaño 12, 14 y 14L en LT y HT (Abad, 2017).

Indicaciones:

- ✓ Inlays y onlays
- ✓ Carillas
- ✓ Coronas de dientes anteriores y posteriores
- ✓ Coronas implantosoportadas.

2.2.3 Materiales bloques CAD CAM base Híbrida.

Las tendencias recientes en odontología estética incluyen la reducción o eliminación de metales y el uso cada vez mayor de la tecnología CAD / CAM empleando cerámicas y

materiales compuestos (He & Swain, 2011). Sin embargo, aunque las cerámicas más duras como el zirconio y la alúmina se han utilizado en odontología, los sistemas totalmente cerámicos, todavía experimentan una tasa de fallas relativamente alta debido a la fragilidad de la capa de revestimiento (He & Swain, 2011). Otro peligro potencial de las restauraciones de cerámica actual es un desgaste excesivo de los dientes opuestos debido a la alta dureza de los materiales de revestimiento, en consecuencia, el desarrollo de nuevos materiales de estética dental ha cambiado a más compuestos de resina a base de polímeros (Jovanovic, Zivic, & Milosavljevic, 2021). Sin embargo, los composites dentales tradicionales se ven comprometidos por su contracción de curado, propiedades mecánicas bajas y resistencia al desgaste deficiente, por tanto, existe una necesidad urgente de desarrollar un nuevo sistema compuesto para respaldar el mercado emergente de materiales de restauración indirectos (He & Swain, 2011). Ha habido algunos avances en esta área con el lanzamiento de un nuevo material de red interpenetrante (IPN, Interpenetrating Network Ceramic-Resin Materials) (Swain, Coldea, Bilkhair, & Guess, 2015) en el que una matriz de cerámica porosa infiltrada actúa como una red conformada por un polímero infiltrado en la cerámica (He & Swain, 2011). Como resultado, las propiedades de los materiales híbridos combinan tanto las características como las ventajas de los dos materiales que los componen (He & Swain, 2011).

2.2.3.1 Vita Enamic, Vita Zahnfabrik.

Es un material híbrido con matriz dual ya que está compuesto por una matriz sólida en forma de andamiaje de cerámica vítrea de feldespatos, enriquecida con óxido de aluminio e infiltrada con polímero (Abad, 2017).

Composición:

- Cerámica feldespática: 86 % del peso y 75 % del volumen
 - Dióxido de silicio: 58 al 63 %
 - Óxido de aluminio: 20 al 23 %
 - Óxido de sodio: 9 al 11 %
 - Óxido de potasio: 4 al 6 %
 - Trióxido de boro: 0,5 al 2 %
 - Dióxido de circonio y óxido de calcio: menor al 1 %.

- Material polimérico infiltrado en los poros de la matriz: 14 % del peso y 25 % del volumen
 - UDMA (dimetacrilato de uretano)
 - TEGDMA (dimetacrilato de trietilenglicol).

En cuanto a la resistencia a la flexión presenta valores de 170 MPa, una dureza de 2.59 GPa y un módulo elástico de 30.14 GPa. Se presenta en varios colores tanto en LT como en HT (Abad, 2017).

Indicaciones:

- ✓ Inlays, onlays, overlays
- ✓ Restauraciones totales coronarias sobre dientes y sobre implantes dentales

3 METODOLOGÍA Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Tipo de Estudio.

El presente estudio es de tipo comparativo

3.2 Muestra.

Estudio in vitro por lo que no se va a necesitar una población, las muestras serán 15 bloques para fresado en sistema CAD-CAM distribuidos de la siguiente manera: 5 bloques de Cerámica feldespática con leucita Empress CAD, Ivoclar Vivadent; 5 bloques Poliméricos, Cerasmart, GC Dental Products y 5 bloques Híbridos, Vita Enamic, Vita Zahnfabrik

3.2.1 Criterios de inclusión y de exclusión.

Dentro de los criterios de inclusión, estarán sistemas CAD-CAM chairside CEREC, Dentsply Sirona, bloques para el mencionado sistema de Empress CAD, Cerasmart, y Vita Enamic, computadoras compatibles con el sistema CAD-CAM y el escáner PrimeScan para la impresión digital, que forma parte del sistema del cual nos hemos referido. Por otro lado, en los criterios de exclusión estarán sistemas de CAD-CAM de otras marcas, que no sean chairside, escáneres intraorales y bloques de otras marcas diferentes a las mencionadas.

3. 3 Materiales y métodos.

Tabla 2: Materiales CAD/CAM analizados

| <i>Material</i> | <i>Fabricante</i> | <i>Número de Lote</i> | <i>Material Base</i> |
|--------------------|--|-----------------------|---|
| <i>Empress CAD</i> | LT A2, C14 Ivoclar Vivadent Schaan Liechtenstein | Y50184 | Cerámica feldespática con cristales de leucita |
| <i>Cerasmart</i> | CEREC A2 HT, 14 GC Dental Products, Europe | 2010121 | Polimérico con partículas de relleno |
| <i>Enamic</i> | EM 14, 2M2-T Vita Zahnfabrik, Alemania | 79720 | Híbrido: cerámica vítrea de feldespato infiltrada con polímero |



Figura 1: Materiales empleados: Empress Cad, Vita Enamic, Cerasmart

3.3.1 Impresión y Diseño de restauraciones.

Se realizó un diseño de restauración indirecta (corona) en un modelo prefabricado, desde una impresión digital (PrimeScan, Dentsply Sirona), mediante el software del sistema chairside CEREC SW 5.1.3 (Dentsply Sirona) sobre un modelo de preparación de un primer molar superior izquierdo.



Figura 2: Modelo prefabricado



Figura 3: Impresión Digital



Figura 4: Diseño de restauración indirecta

3.3.2 Maquinado de restauraciones.

El maquinado se ejecutó en la fresadora integrada MCXL Dentsply Sirona con los tres materiales (Empress Cad, Cerasmart, Vita Enamic) utilizando la propuesta CAM del software integrado (CEREC SW 5.1.3 (Dentsply Sirona)).



Figura 5: Fresadora MCXL Dentsply Sirona

3.3.3 Escaneado.

Una vez obtenidas las restauraciones, se procedió al escaneado de las mismas mediante un escáner (PrimeScan, 2.0 Dentsply-Sirona).

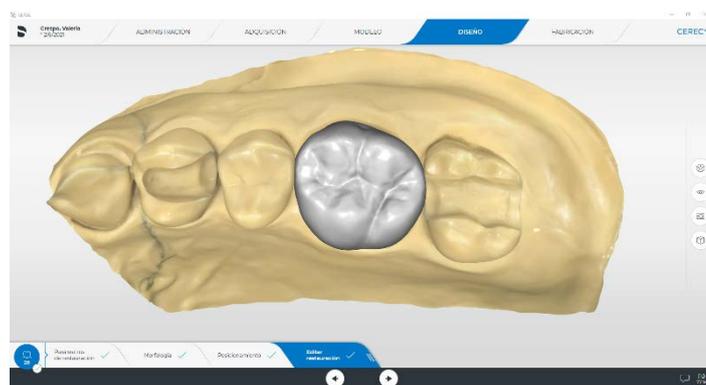


Figura 6: Restauración fresada sobre modelo

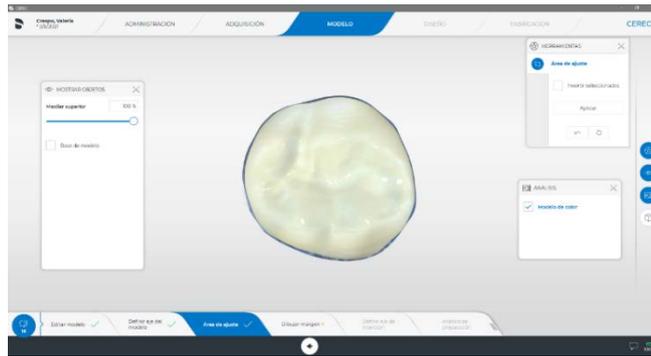


Figura 7: Restauración escaneada

3.3.4 Exportación de archivos.

Los archivos diseñados se exportaron en formato DXD al programa InLab 20 y se transformaron en archivos STL. Los archivos provenientes del escaneo de la materialización también se convirtieron a STL.

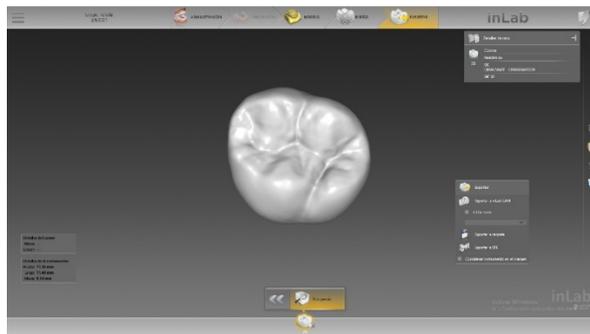


Figura 8: Archivo de diseño de restauración en formato DXD en el programa InLab 20

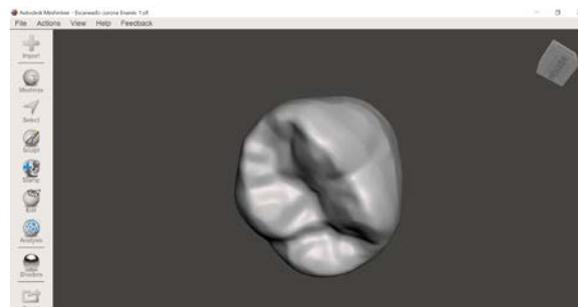


Figura 9: Escaneo de la materialización en archivo STL

3.3.5 Comparación entre el diseño y la materialización.

Una vez que se obtuvieron los dos archivos en el formato correspondiente, estos se compararon en un software específico de comparación de mallas (Geomagic Control X 64 3Dsystems, 333 Three D Systems Circle, Rock Hill, USA



Figura 10: Comparación de mallas en el software Geomagic Control X 64

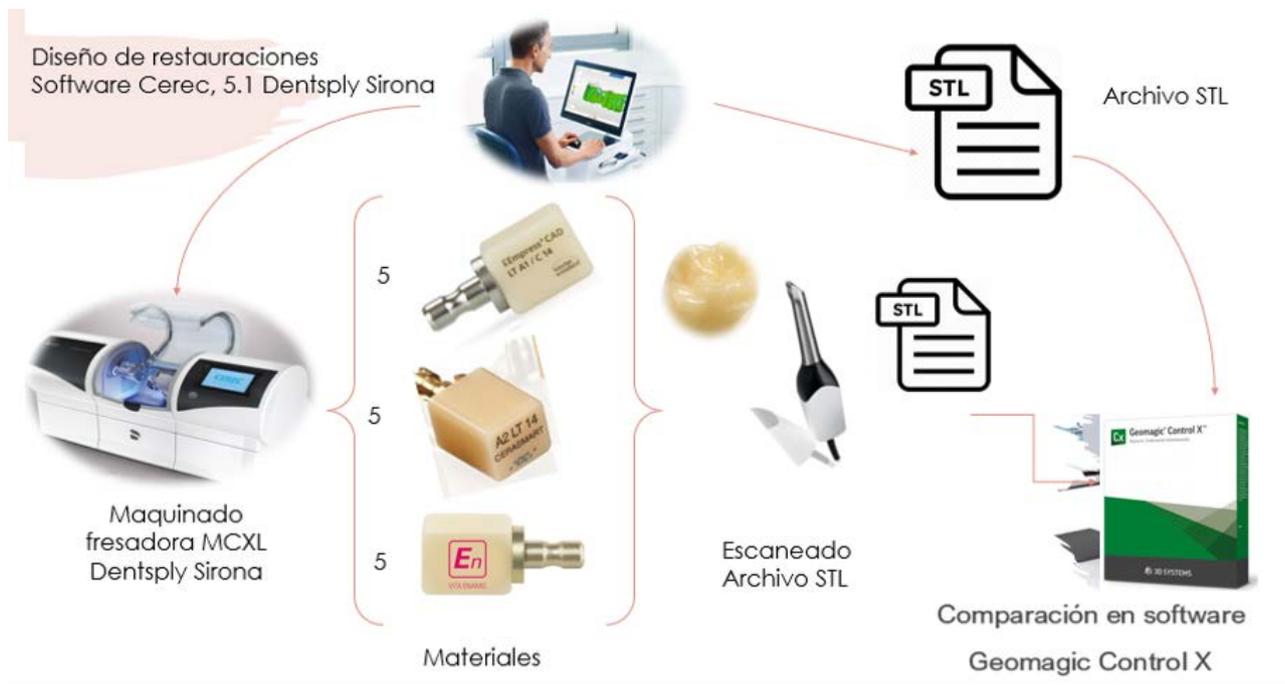
Tabla 3: Denominación de archivos STL de materialización

| <i>Grupo Control</i> | <i>Grupo Experimental (malla de materialización)</i> |
|------------------------------------|--|
| <i>Malla de Diseño Empress Cad</i> | Empress Cad 1 |
| | Empress Cad 2 |
| | Empress Cad 3 |
| | Empress Cad 4 |
| | Empress Cad 5 |
| <i>Malla de Diseño Cerasmart</i> | Cerasmart 1 |
| | Cerasmart 2 |
| | Cerasmart 3 |
| | Cerasmart 4 |
| | Cerasmart 5 |

Malla de Diseño Vita Enamic

| |
|---------------|
| Vita Enamic 1 |
| Vita Enamic 2 |
| Vita Enamic 3 |
| Vita Enamic 4 |
| Vita Enamic 5 |

Figura 11: Flujograma de la metodología



4 ANÁLISIS DE DATOS

4.1 Análisis de los resultados.

A continuación, se muestran los resultados descriptivos obtenidos para cada tipo de material. En general, el estudio exhibió variabilidad entre las mediciones, donde el rango estuvo entre (-0.05 y 0.05) μm para los tres materiales.

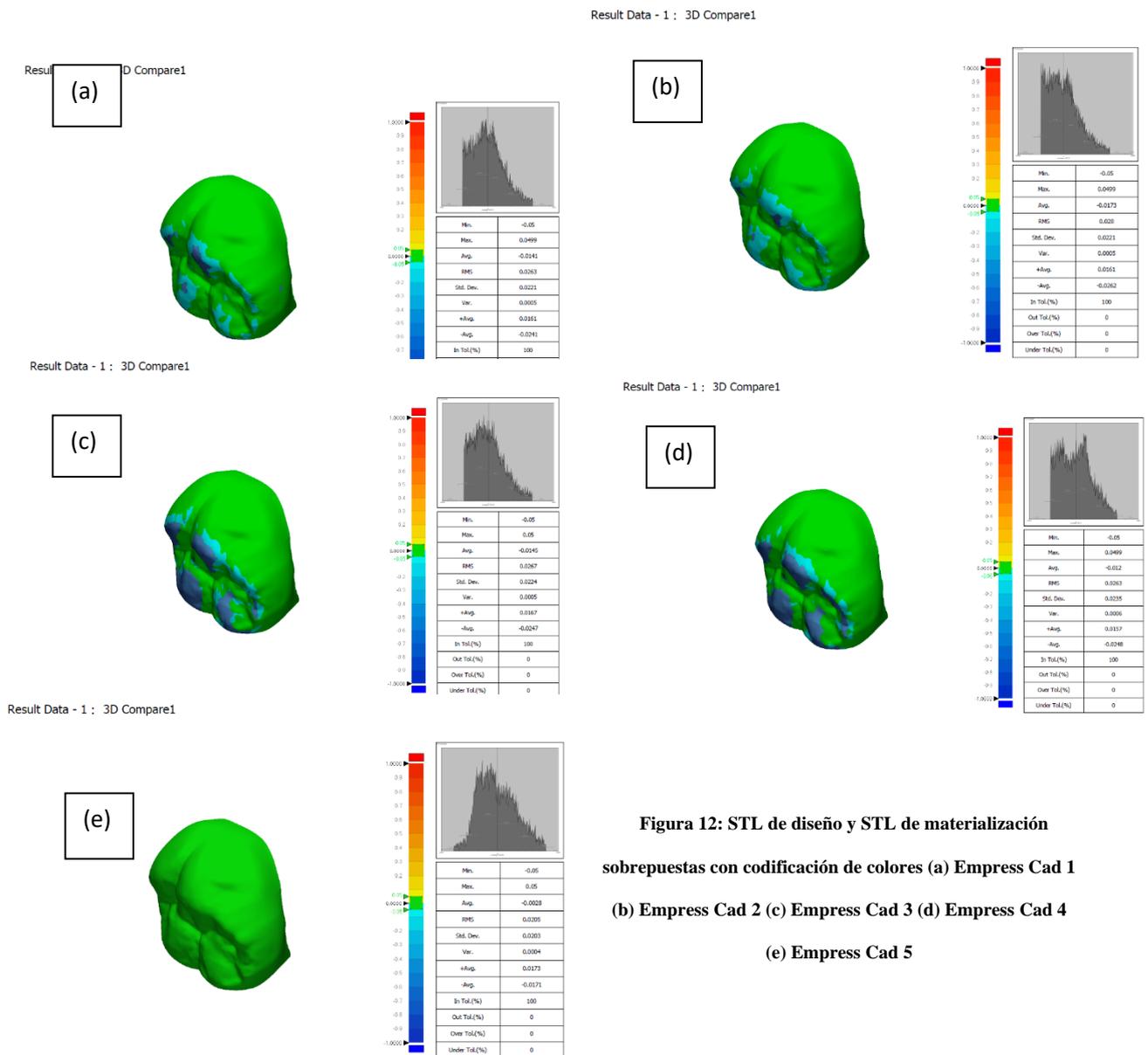
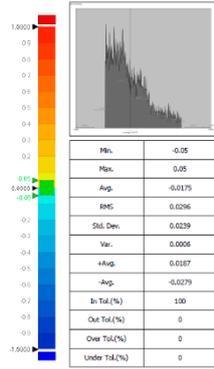
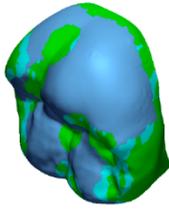


Figura 12: STL de diseño y STL de materialización
sobrepuestas con codificación de colores (a) Empress Cad 1
(b) Empress Cad 2 (c) Empress Cad 3 (d) Empress Cad 4
(e) Empress Cad 5

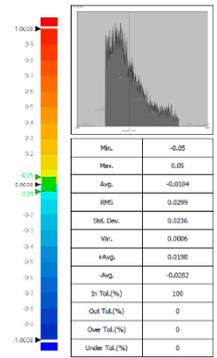
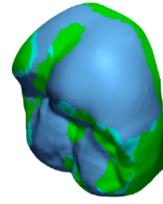
Result Data - 1 : 3D Compare1

(a)



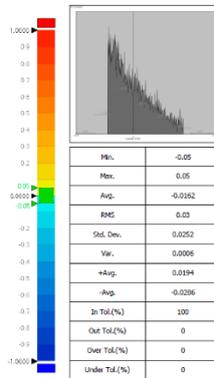
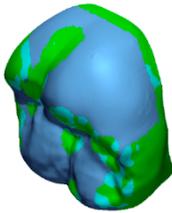
Result Data - 1 : 3D Compare1

(b)



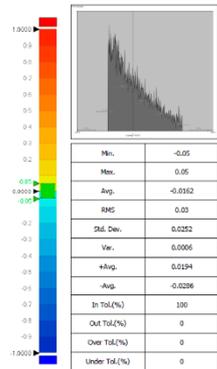
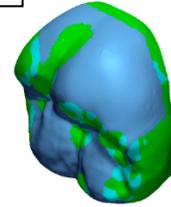
Result Data - 1 : 3D Compare1

(c)



Result Data - 1 : 3D Compare1

(d)



Result Data - 1 : 3D Compare1

(e)

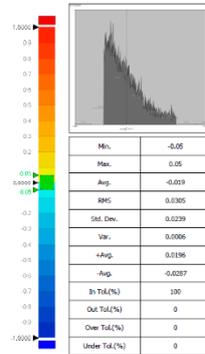
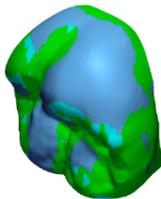


Figura 13: STL de diseño y STL de materialización

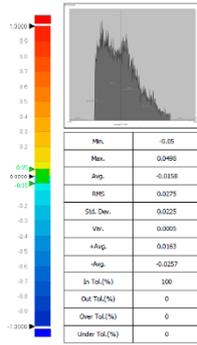
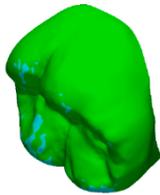
sobrepuestas con codificación de colores:

(a) Cerasmart 1 (b) Cerasmart 2

(c) Cerasmart 3 (d) Cerasmart 4 (e) Cerasmart 5

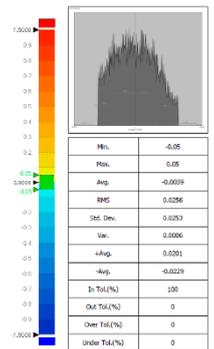
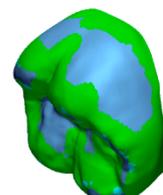
Result Data - 1 : 3D Compare1

(a)



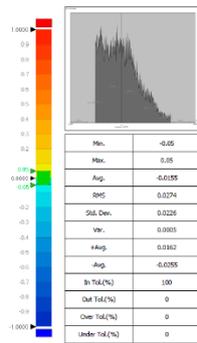
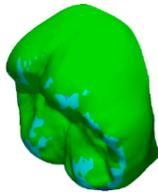
Result Data - 1 : 3D Compare1

(b)



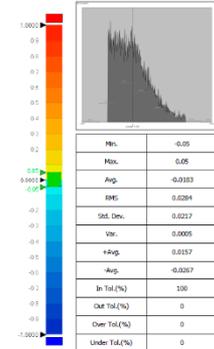
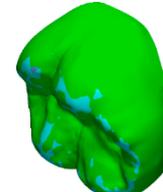
Result Data - 1 : 3D Compare1

(c)



Result Data - 1 : 3D Compare1

(d)



Result Data - 1 : 3D Compare1

(e)

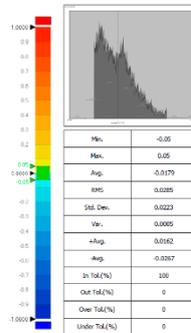
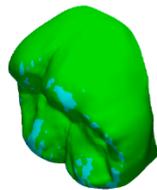
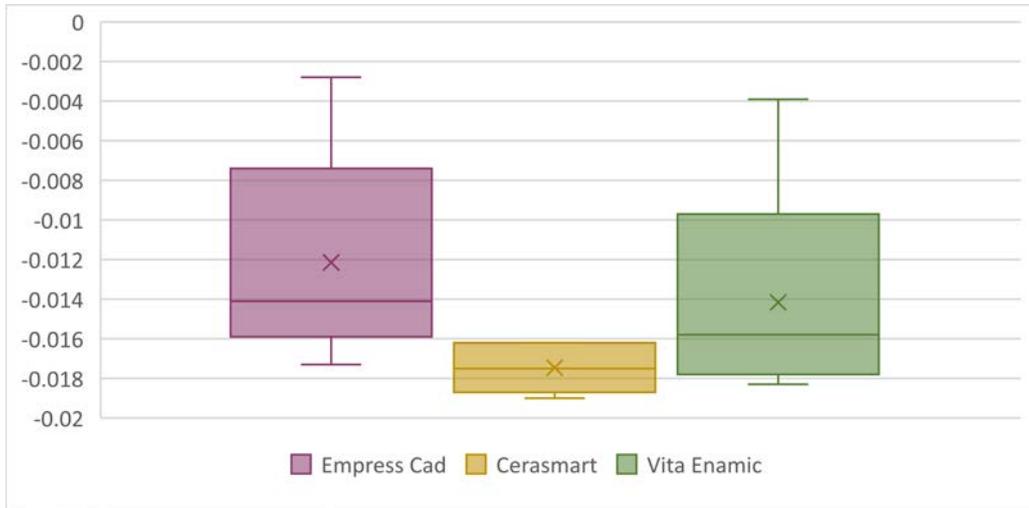


Figura 14: STL de diseño y STL de materialización sobrepuestas con codificación de colores: (a) Vita Enamic 1 (b) Vita Enamic 2 (c) Vita Enamic 3 (d) Vita Enamic 4 (e) Vita Enamic 5

Figura 15 Gráfico de caja para las tres mallas



En la tabla 4, se muestra el análisis descriptivo de los tres tipos de materiales.

Los tres materiales presentaron poca dispersión entre las mediciones con relación al promedio, es decir las 5 muestras tomadas en cada material se comportaron de forma similar, sin significativa variación entre ellas.

Tabla 4. Resumen descriptivo de las diferentes mallas

| Malla | N | Media | Desviación Estándar | 95% del intervalo de confianza para la media | | Mínimo | Máximo |
|-------------|---|---------|------------------------|--|--------------------|---------|---------|
| | | | | Límite inferior | Límite superior | | |
| Empress Cad | 5 | -0,0121 | 0,0056 | -0,0190 | -0,0052 | -0,0173 | -0,0028 |
| Cerasmart | 5 | -0,0175 | 0,0013 | -0,0190 | -0,0159 | -0,0190 | -0,0162 |
| Vita Enamic | 5 | -0,0143 | 0,0059 | -0,0216 | -0,0069 | -0,0183 | -0,0039 |

| | | | | | | | |
|-------|----|---------|--------|---------|---------|---------|---------|
| Total | 15 | -0,0146 | 0,0049 | -0,0174 | -0,0119 | -0,0190 | -0,0028 |
|-------|----|---------|--------|---------|---------|---------|---------|

Fuente: Elaboración propia, el gráfico muestra el promedio de las mediciones para cada tipo de material utilizado.

Para contrastar la hipótesis de investigación, se utilizó un análisis de varianza (ANOVA), que previamente requirió del análisis de la normalidad y de la homogeneidad. En la tabla 4, se muestra que los promedios observados en los tres materiales cumplen con normalidad (p-valor >0.05) y con homogeneidad de varianza (p-valor =0,232).

Tabla 5. Prueba de normalidad Shapiro Wilk para los tres materiales

| Malla | Estadístico | gl | P-valor |
|-------------|-------------|----|---------|
| Empress Cad | 0,85 | 5 | 0,19 |
| Cerasmart | 0,89 | 5 | 0,35 |
| Vita Enamic | 0,73 | 5 | 0,20 |

El nivel de significancia utilizado para llevar a cabo el contraste fue de 0.05. Los resultados del ANOVA que se muestran en la tabla 5, indican que no existen diferencias significativas entre el diseño y la materialización de los tres materiales (Empress Cad, Cerasmart y Vita Enamic), ($F = 1.589$; p-valor = 0.244).

Tabla 6. Análisis de varianza de una vía, para los tres materiales

| Fuente de variación | Suma de | Media | | F | p-valor |
|---------------------|-----------|-------|------------|-------|---------|
| | cuadrados | gl | cuadrática | | |
| Entre grupos | 0,000072 | 2 | 0,000036 | 1,589 | 0,244 |
| Dentro de grupos | 0,000271 | 12 | 0,000023 | | |
| Total | 0,000342 | 14 | | | |

Se realizó una prueba a posteriori, mostrando que efectivamente ninguna combinación entre los tres materiales Empress Cad, Cerasmart y Vita Enamic ha resultado significativa (p-valor > 0.05). No existen diferencias en la precisión y exactitud de las restauraciones de diferentes materiales mediante la comparación de las mallas de CAD y las restauraciones finales producidas a través del CAM.

Tabla 7. ANOVA para los tres materiales

| (I) Malla | | Diferencia de | | |
|-------------|-------------|---------------|------------|---------|
| | | medias (I-J) | Desviación | p-valor |
| Empress Cad | Cerasmart | 0,00532 | 0,00300 | 0,220 |
| | Vita Enamic | 0,00214 | 0,00300 | 0,761 |
| Cerasmart | Empress Cad | -0,00532 | 0,00300 | 0,220 |
| | Vita Enamic | -0,00318 | 0,00300 | 0,556 |
| Vita Enamic | Empress Cad | -0,00214 | 0,00300 | 0,761 |
| | Cerasmart | 0,00318 | 0,00300 | 0,556 |

5 DISCUSIÓN

En este estudio, archivos exportados desde el software de diseño de un sistema chairside fueron comparados con mallas de materialización provenientes de un escaneado de restauraciones fabricadas en 3 distintos materiales representativos de grupos cerámicos, poliméricos e híbrido (Empress CAD, Cerasmart y Vita Enamic) para conocer si presentan cambios entre su diseño y fabricación (Reich, Gozdowski, Trentzsch, Frankenberger, & Lohbauer, 2008). Según los resultados obtenidos la hipótesis nula fue aceptada, pues no existieron diferencias significativas relevantes entre los archivos comparados.

Los resultados obtenidos a través de este estudio permitieron comparar la exactitud de mallas de diseño con mallas de materialización. A través de un software específico, se analizaron las mallas mediante la sobreposición de estas. Por medio de la alineación de mejor ajuste se sobrepuso la malla de diseño o referencia sobre la malla de materialización o de prueba, y los archivos fueron alineados empleando un algoritmo iterativo de punto más cercano. Este enfoque se basa en datos que utilizan una nube de puntos para alinear objetos en tres dimensiones; el mencionado algoritmo utiliza correspondencias en estas dimensiones entre dos nubes de puntos y determina la distancia mínima que se da entre los objetos. A continuación, el software evalúa el archivo de prueba y los puntos más cercanos son calculados en el archivo sobrepuesto, es decir, el de referencia (Sen, 2018). Es así como los dos archivos pueden ser comparados ya que se encuentran alineados uno sobre otro y de esta manera se puede determinar si existen diferencias entre ambos, determinando la exactitud de la comparación. Por ello, este método es muy fiable para comparar los resultados (O'Toole, Osnes, Bartlett, & Keeling, 2019). Posteriormente, se emplea la comparación 3D, la cual permite la personalización de medidas y mapeo de colores, con los cuales se correlacionan las áreas potenciales de desajuste entre el modelo de prueba y el modelo de

referencia. De esta manera, las áreas resaltadas en azul oscuro indican una desviación negativa o interna, mientras que, por su parte, las zonas resaltadas en rojo se refieren a una desviación positiva o hacia el exterior del modelo de prueba. Finalmente, el software genera un informe de la comparación realizada. Es así, que la superposición de mallas digitales permite determinar si existen diferencias en la precisión y exactitud de restauraciones de diferentes materiales mediante la comparación de las mallas de CAD y las restauraciones finales producidas a través del CAM, siendo un método muy viable (O'Toole, Osnes, Bartlett, & Keeling, 2019).

Los sistemas CAD/CAM ofrecen finalmente la posibilidad de obtener un flujo de trabajo confiable, predecible y económico para dientes individuales y restauraciones complejas (Spitznagel, Boldt, & Gierthmuehlen, 2018). La integración existente entre el CAD y el CAM es un factor relevante ya que el trabajo de diseño que se realiza en el monitor de la computadora y las instrucciones que se envían a la máquina de procesamiento asistida por computadora para su fresado, es interdependiente. Según nuestro estudio, el correcto manejo del CAD permite la materialización de restauraciones adecuadas, obteniendo resultados con las fresadoras de consultorio tan buenos como los de las fresadoras de laboratorio. Una revisión sistemática de 16 artículos que comprendían 1957 restauraciones no encontró diferencias significativas en las tasas de supervivencia a 5 años entre restauraciones CEREC (90,2% a 93,8%) y restauraciones de laboratorio Celay (82,1%) (Davidowitz & Kotick, 2011).

Sin embargo, es importante tomar en consideración que entre la malla de diseño y la de materialización pueden darse diferencias considerando que existen ciertos parámetros que pueden alterar el fresado de las restauraciones como la maquinabilidad de los materiales, es decir, de la facilidad con la que puede ser cortado un material la cual a su vez está afectada

por la dureza y fragilidad de estos (Lawson, 2016). Parámetros presentes en el software CAM integrado, por ejemplo, el correspondiente al offset oclusal puede influir en el resultado final. Sin embargo, en este estudio, todos los materiales fueron fresados con el mismo parámetro en -175 micrones. Al mencionar la maquinabilidad, es de gran relevancia mencionar la microestructura de los materiales empleados, no solamente de su dureza ya que de esto va a depender la facilidad de corte de cada tipo de bloque. También en este estudio, para sobrellevar la variable que pudiese modificar los resultados, para fresar cada material se utilizaron fresas nuevas para no afectar la superficie de cada restauración fresada. Otras variables que podrían generar cambios no fueron consideradas en este estudio como relevantes, pues cada restauración tuvo las mismas condiciones de fresado, el mismo escáner intraoral y el mismo software tanto de diseño como de análisis de mallas en todas las muestras obtenidas.

En cuanto a los materiales utilizados en este estudio, investigaciones previas mostraron a Empress Cad con una microestructura con menor densidad y picos cristalinos los cuales son una característica importante de los materiales feldespáticos con cristales de leucita. Los mencionados cristales se encuentran aglomerados, sin embargo, no están interconectados unos con otros, esto gracias a ciertos agentes que se encuentran en el material como el dióxido de titanio y el dióxido de cerio los cuales generan una nucleación de los cristales que se encuentran en la matriz vítrea de aluminosilicato o feldespato (Abad, 2017). Estas características en cuanto a la microestructura de Empress Cad, también fueron sugeridas por autores como Illie y Holland (Ilie & Hickel, 2008) (Holland, Schweiger, Frank, & V, 2000). De acuerdo con algunos autores, las coronas de este tipo de material de cerámica son el tratamiento preferido para restauraciones unitarias generadas por CAD / CAM (Vanoorbeek, Vandamme, Lijnen, & Naert, 2010). En cuanto a Vita Enamic, presenta características propicias para su fresado, (Sulaiman, 2020) al ser un material híbrido,

presenta en su microestructura picos menos amorfos que otros materiales, contiene un 86% de un sistema feldespático de vidrio puro equivalente a lo reportado por el fabricante y lo mencionado en otras investigaciones como la de Albero et al (Albero, Pascual, Camps, & Grau-Benitez, 2015), otro de sus componentes es el dióxido de zirconio en un bajo porcentaje de 0.6%. Gracias a análisis realizados por medio de difracción de rayos X, se determinó que este material híbrido contiene una gran fracción amorfa entre sus componentes orgánicos e inorgánicos, presentando dos fases, la primera correspondiente a la matriz cerámica y otra compuesta por la fase polimérica, es aquí donde bajo presión, los monómeros se infiltran (Abad, 2017). El tercer material empleado en este estudio, Cerasmart, tiene una base polimérica con una disposición amorfa, con un 61.43% de dióxido de sílice, presencia de alúmina en un 9.02% y 28.68% de Bario en el sistema vítreo de relleno lo que genera radiopacidad en el material (Chavali, Nejat, & Lawson, 2017). La composición de este material hace que sus características de fresado sean favorables con márgenes más suaves (Albero, Pascual, Camps, & Grau-Benitez, 2015). Es importante mencionar también que los materiales compuestos de resina pueden ofrecer ventajas significativas relacionados con su maquinabilidad (Watts, 1987).

Al evaluar los resultados obtenidos, los tres materiales objeto de este estudio, presentaron poca dispersión entre las mediciones con relación al promedio, es decir las 5 muestras tomadas en cada material se comportaron de forma similar, sin significativa variación entre ellas. Si bien, el comportamiento de los materiales fue similar, Empress CAD presentó una mayor exactitud, seguido de Vita Enamic y Cerasmart. La maquinabilidad de los materiales relacionada directamente con la dureza de estos es un factor para considerar. En estudios previos se ha determinado que Empress Cad tiene un valor de 6.2 GPa, seguido de Vita Enamic con 1.91 GPa y finalmente Cerasmart con un valor de 0.7 GPa (Abad,2017). Aunque no hubo diferencias significativas, si se puede sugerir que a mayor dureza y

microdureza del material, mejor será la precisión y exactitud de las mallas de diseño al ser comparadas con las mallas de materialización de restauraciones CAD/CAM como muestran los resultados del presente estudio.

Esta investigación, tiene su fortaleza en que todos los procedimientos como el diseño de la restauración, fresado, escaneado y análisis de mallas fueron realizados digitalmente lo que eliminaría algún error desde mediciones y materializaciones convencionales. Sin embargo, también puede presentar ciertas limitaciones ya que, si bien el análisis se da a partir de un software, se deben colocar puntos sobre las mallas a comparar que en algún punto pudiera presentar inexactitud en cuanto a su ubicación pudiendo causar ciertas variaciones. Otro limitante importante es que no existen estudios sobre este tema en particular con el cual comparar la metodología realizada, mejorarla y perfeccionarla para obtener resultados más acertados.

Una recomendación importante tras realizar esta investigación es que más variables de estudio podrían incorporarse como una mayor variedad de bloques de materiales CAD/CAM, un mayor número de muestra de cada material, emplear softwares diferentes de diseño, diversas fresadoras e incluso otro programa de análisis y comparación de mallas para determinar si los resultados obtenidos en esta investigación podrían ser diversos.

6 CONCLUSIONES

1. La información proporcionada por el sistema chairside, conjuntamente con el análisis realizado por el software Geomagic Control X permitió determinar la exactitud entre el diseño digital de las restauraciones y su materialización en distintos materiales CAD/CAM

2. No se evidenció una diferencia de relevancia entre las mallas digitales sobrepuestas. Las mallas de materialización generadas a través de la impresión digital de las restauraciones presentaron una exactitud similar a las mallas de diseño de los diferentes materiales

3. Las mallas de diseño y de materialización de las restauraciones fabricadas con Empress CAD fueron comparadas exitosamente sin presentar diferencias significativas, por su parte, el material Cerasmart fue el que más diferencias presentó entre sus mallas de diseño y materialización, sin llegar a ser de relevancia.

4. En relación con los valores obtenidos tras el análisis de mallas de diseño y materialización, los materiales estudiados presentaron poca dispersión entre sus mediciones, de esta manera, las muestras de cada material se comportaron de forma similar. Sin embargo, Empress Cad presentó una mayor exactitud, seguido de Vita Enamic y Cerasmart.

7 RECOMENDACIONES

Se sugiere la realización de futuros estudios empleando un mayor número de variables como una mayor variedad de bloques de materiales CAD/CAM, un mayor número de muestras de cada material, emplear softwares diferentes de diseño, diversas fresadoras e incluso otro programa de análisis y comparación de mallas para determinar si los resultados obtenidos en esta investigación podrían sufrir cambios al alterar las mencionadas variables.

8 REFERENCIAS

Abad, C. (2017). *Caracterización microestructural y propiedades mecánicas de materiales dentales utilizados para sistemas CAD CAM*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.

Abduo, J., Lyons, K., & Bennamoun, M. (2014). Trends in computer-aided manufacturing in prosthodontics: a review of the available streams. *Int J Dent*.

Ahlholm, P., Sipilä, K., Vallittu, S. P., Jakonen, M., & Kotiranta, U. (2016). Digital Versus Conventional Impressions in Fixed Prosthodontics: A Review. *Journal of Prosthodontics*, 1-7.

Albero A, Pascual A, Camps I, Grau-Benitez M. Comparative characterization of a novel cad-cam polymer-infiltrated-ceramic-network. *J Clin Exp Dent* 2015 Oct 1;7(4): e495-500.

Alghazzawi, T. F. (2016). Advancements in CAD/CAM technology: Options for practical implementation. *Journal of prosthodontic research*, 1-13.

Andersson, M., Razzoog, M., Odén, A., Hegenbarth, E., & Lang, B. (1998). Procera: a new way to achieve an all-ceramic crown. *Quintessence International*, 285-296.

Artec3D. (12 de Agosto de 2021). *Geomagic Control X*. Obtenido de https://www.artec3d.com/3d-software/geomagic-control-x?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=12554714117&utm_term=%2Bgeomagic%20%2Bcontrol%20%2Bx|aud-381301838334:kwd-450232249398&utm_content=119631253579||&keyword=%2Bgeomagic%20%2Bcontrol%20%2Bx

Barazanchi, A., & al., e. (2017). technology: update on current materials and applications in dentistry. *J Prosthodont.* , 156–163.

Blatz, M. B., & Conejo, J. (2019). The Current State of Chairside Digital Dentistry and Materials. *Dent Clin N Am*, 175-197.

Braian, M., & al, e. (2018). Geometrical accuracy of metallic objects produced with additive or subtractive manufacturing: a comparative in vitro study. *Dent Mater*, 978–993.

Chavali, R., Nejat, A., & Lawson, N. (2017). Machinability of CAD-CAM materials. *THE JOURNAL OF PROSTHETIC DENTISTRY*, 194-199.

Davidowitz, G., & Kotick, P. G. (2011). The Use of CAD/CAM in Dentistry. *Dent Clin N Am*, 559-570.

Dawood, A., Purkayastha, S., Patel, S., MacKillop, F., & Tanner, S. (2010). Microtechnologies in implant and restorative dentistry: a stroll through a digital dental landscape. *Proc Inst Mech Eng H*, 789-796.

Fasbinder, D. (2010). Digital dentistry: innovation for restorative treatment. *Comp Cont Educ Dent*, 2-11.

Galhano, G., Pellizzer, E., & J, M. (2012). Optical impression systems for CAD-CAM restorations. *J Craniofac Surg*, 575-579.

Giménez, B., Özcan, M., Martínez-Rus, F., & Pradíes, G. (2015). Accuracy of a digital impression system based on active wavefront sampling technology for implants considering operator experience implant angulation, and depth. *Clin Implant Dent Relat Res*, 54–64.

Goujat, A., Abouelleil, H., Colon, P., Jeannin, C., Pradelle, N., Seux, D., & Grosogeat, B. (2018). Marginal and internal fit of CAD-CAM inlay/onlay restorations: A systematic review of in vitro studies. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 1-11.

Güth, J., Keul, C., Stimmelmayer, M., Beuer, F., & Edelhoff, D. (2013). Accuracy of digital models obtained by direct and indirect data capturing. *Clin Oral Investig*, 1201–1208.

He, L.-H., & Swain, M. (2011). A novel polymer infiltrated ceramic dental material. *Dental Materials*, 527-534.

Holland, W., Schweiger, M., Frank, M., & V, R. (2000). A comparison of the microstructure and properties of the IPS Empress 2 and the IPS Empress glass-ceramics. *J Biomed Mater Res.*, 297-303.

Ilie, N., & Hickel, R. (2008). Correlation between ceramics translucency and polymerization efficiency through ceramics. *Dent Mater*, 908-914 .

International Organization for Standardization. (09 de Noviembre de 2021). *International Organization for Standardization. ISO-5725-1. Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results d Part 1: General principles and definitions.* . Obtenido de ISO: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:5725:-1:ed-1:v1:en>.

A

Jeon, J.-H., S.-S. H., J.-H. K., & Kim, W.-C. (2018). Trueness and precision of scanning abutment impressions and stone models according to dental CAD/CAM evaluation standards. *The Jpurnal of Advanced Prosthodontics*, 335-339.

Joda, T., Zarone, F., & Ferrari, M. (2017). The complete digital workflow in fixed prosthodontics: a systematic review. *BMC Oral Health*, 1-9.

Jovanovic, M., Zivic, M., & Milosavljevic, M. (2021). A potential application of materials based on a polymer and CAD/CAM composite resins in prosthetic resins.

Journal of Prosthodontic Research, 1-11.

Kelly, J., & Benetti, P. (2011). Ceramic materials in dentistry: historical evolution and current practice. *Australian Dental Journal*, 84–96.

Khan, A. S., & Syed, M. R. (2018). A review of bioceramics-based dental restorative materials . *Dental Materials Journal*, 1-14.

Koch, G. K., Gallucci, G. O., & Lee, S. J. (2016). Accuracy in the digital workflow: From data acquisition to the digitally milled cast. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 1-6.

Koutayas, S., Kreulen, C., & Creugers, N. (2009). The conventional and the digital impression method for single-unit and multi-unit fixed dental prostheses. *Ned Tijdschr Vagkopoulou*, 348-380.

Latham, J., Ludlow, M., Mennito, A., Kelly, A., Evans, Z., & Renne, W. (2019). Effect of scan pattern on complete-arch scans with 4 digital scanners. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 1-11.

Lawson, N. C. (2016). Wear, strength, modulus and hardness of CAD/CAM restorative materials. *Dental Materials*, 275-283.

Li, R. W., Chow, T. W., & Matinlinna, J. P. (2014). Ceramic dental biomaterials and CAD/CAM technology: State of the art. *Journal of Prosthodontic Research*, 208-216.

Lim, K., A. U.-J., Agarwalla, S. V., Tan, K. B.-C., & Rosa, V. (2016). Reliability, failure probability, and strength of resin-based materials for CAD/CAM restorations. *J Appl Oral Sci*, 447-452.

Loos, R., Rudolph, H., Luthardt, R., & Quaas, S. (2015). Randomized controlled trial comparing direct intraoral digitization and extraoral digitization after impression taking. *Int J Prosthodont*, 30-32.

Mainjot, A., Dupont, N., Oudkerk, J., Dewael, T., & Sadoun, M. (2016). From Artisanal to CAD-CAM Blocks: State of the Art of Indirect Composites. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine*, 1-9.

Miyazaki, T., Hotta, Y., Kunii, J., Kuriyama, S., & Yukimichi, T. (2009). A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience. *Dental Materials Journal*, 44-56.

Mörmann, W., Brandestini, M., & Lutz, F. (1987). The Cerec system: computer-assisted preparation of direct ceramic inlays in 1 setting. *Quintessenz*, 457-470.

Mormann, W., Brandestini, M., & Lutz, F. B. (1989). Chairside computer-aided direct ceramic inlays. *Quintessence Int*, 329-339.

O'Toole, S., Osnes, C., Bartlett, D., & Keeling, A. (2019). Investigation into the accuracy and measurement methods of sequential 3D dental scan alignment. *Dental Materials*, 495-500.

Patel, N. (2014). Contemporary Dental CAD/CAM: Modern Chair side/Lab Applications and the Future of Computerized Dentistry. *Compendium of Continuing Education in Dentistry*, 739-746.

Porto, T. S., Roperto, R. C., Teich, S. T., Faddoul, F. F., Rizzante, F. A., Porto-Neto, S. d., & Campos, E. A. (2019). Brittleness index and its relationship with materials mechanical properties: Influence on the machinability of CAD/CAM materials. *Braz. Oral Res*, 1-11.

Pradíes, G., Zarauz, C., Valverde, A., Ferreiroa, A., & Martínez-Rus, F. (2015). Clinical evaluation comparing the fit of all-ceramic crowns obtained from silicone and digital intraoral impressions based on wavefront sampling technology. *J Dent*, 201-208.

Quaas, S., Rudolph, H., & Luthardt, R. G. (2007). Direct mechanical data acquisition of dental impressions for the manufacturing of CAD/CAM restorations. *Journal of Dentistry*, 903-908.

Reich, S., Gozdowski, S., Trentzsch, L., Frankenberger, R., & Lohbauer, U. (2008). Marginal fit of heat-pressed vs. CAD/CAM processed all-ceramic onlays using a milling unit prototype. *Oper Dent*, 544-650.

Rekow, E., Silva, N., Coelho, P., Zhang, Y., Guess, P., & Thompson, V. (2011). Performance of dental ceramics: challenges for improvements. *J Dent*, 937-952.

Rudolph, H., Salmen, H., Moldan, M., & Khun, K. (2016). Accuracy of intraoral and extraoral digital data acquisition for dental restorations. *Journal of Applied Oral Sciences*, 85-94.

Ruse, N., & Sadoun, M. (2014). Resin-composite blocks for dental CAD/CAM applications. *J Dent Res*, 1232-1234.

Samra, A. P., Morais, E., Vieira, R. F., & Rached, R. N. (2016). CAD/CAM in dentistry a critical review. *Journal of Dental Science*, 140-144.

Samraa, A. P., Morais, E., Mazur, R. F., Vieirac, S. R., & Rached, R. N. (2016). CAD/CAM in dentistry – a critical review. *Journal of Dental Science*, 140-144.

Sen, N. &. (2018). Mechanical and optical properties of monolithic CAD-CAM restorative materials. . *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 595-599.

Spitznagel, F., Boldt, J., & Gierthmuehlen, P. (2018). CAD/CAM Ceramic Restorative Materials for Natural Teeth. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine* , 1-10.

Stanley, M., Paz, A. G., I. M., & Coachman, C. (2018). Fully digital workflow, integrating dental scan, smile design and CAD-CAM: case report. *BMC Oral Health*, 1-8.

Strub, J. R., Rekow, E. D., & Witkowski, S. (2006). Computer-aided design and fabrication of dental restorations. Current systems and future possibilities. *The Journal of the American Dental Association*, 1289-1296.

Sulaiman TA. Materials in digital dentistry-A review. *J Esthet Restor Dent*. 2020 Mar;32(2):171-181. doi: 10.1111/jerd.12566. Epub 2020 Jan 13.

Swain, M., Coldea, A., Bilkhair, A., & Guess, P. (2015). Interpenetrating network ceramic-resin composite dental restorative materials. *Dental Materials*, 1-9.

Tamimi, F., & Hirayama, H. (2019). *Digital Restorative Dentistry*. Cham: Springer.

Van Noort, R. (2012). The future of dental devices is digital. *Dent Mater*, 3-12.

Vanoorbeek, S., Vandamme, K., Lijnen, I., & Naert, I. (2010). Computer-aided designed/computer-assisted manufactured composite resin versus ceramic single-tooth restorations: a 3-year clinical study. *Int J Prosthodont.*, 223-230.

Ziegler, M. (2009). Digital impression taking with reproducibly high precision. *Int J Comput Dent*, 159-163.