



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**



FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

**UN ENFOQUE TECNOLÓGICO EN TERAPIA PROTÉSICA
MEDIANTE EL USO DE ESCÁNER
CAD-CAM Y ARTICULADOR VIRTUAL.**

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

CIRUJANO DENTISTA

P R E S E N T A:

DIEGO VÁZQUEZ GÓMEZ

TUTOR: Mtro. JOSÉ ARTURO FERNÁNDEZ PEDRERO

ASESOR: C.D ABRAHAM GARCÍA ORNELAS

Cd. Mx.

2019



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Se agradece a ésta gloriosa casa de estudios mi alma mater Universidad Nacional Autónoma de México que me dió la oportunidad de poder estudiar esta hermosa carrera de cirujano dentista.

Agradezco a la Facultad de Odontología que guía mis pasos, no solo en el ámbito académico, si no en lo profesional y personal ya que me ha servido para crecer como persona.

No podría dejar de mencionar a los académicos que formaron parte de mi vida escolar.

Mis mentores, aquellos doctores, especialistas y maestros por transmitirme sus conocimientos y vivencias. Así como las personas que laboran en las clínicas y auxiliares para brindar una buena práctica.

Agradezco a mi tutor de tesina que me ha brindado su tiempo, sabiduría y dedicación en este proceso de titulación.

Comenzando con la trayectoria, en mi vida escolar, recibiéndonos con los brazos abiertos y sonrisa franca para podernos guiar con honestidad, integridad y dedicación, no solo a mí, si no a la generación en la que fui participe en su periodo como director de la Facultad de Odontología.

Mtro. José Arturo Fernández Pedrero

Agradezco a mi asesor de tesina, que también fue mi maestro de asignatura, teniendo el privilegio de ser su alumno, habiendo creado en mí, el interés por su trabajo y un nuevo enfoque diferente en el área protésica digital.

C.D. Abraham García Ornelas

A MIS PADRES

MI MADRE C.D. MARÍA GÓMEZ NAVA

Que como formadora ha tenido una gran tarea, al enseñarme y guiarme, difícil tarea de una madre. Siendo el apoyo incondicional e inspiración porque me ha brindado su talento y experiencia como profesional y ahora en este proceso de titulación tendré el privilegio de ser su colega en esta hermosa carrera.

MI PADRE JAIME VÁZQUEZ GUTIÉRREZ

Agradezco a la vida por darme un padre que con su ejemplo y rectitud ha podido formar no solo un profesional sino un hombre que a pesar de las diferencias de pensamientos y criterios somos parecidos, te amo papa.

A MIS ABUELOS

Agradezco a mis abuelos, por haber tenido la oportunidad de contar con ellos.

Agradezco a mi abuela **Amparo Nava de Gómez** no solo por cuidarme, protegerme y quererme sino por contribuir al fortalecimiento de mi familia, siendo en todo el momento un ejemplo y la mejor defensora, con lucha, trabajo, perseverancia y esfuerzo, donde estés te quiero, te amo más allá del cielo.

Agradezco a mi segundo padre de formación, **Ignacio Gómez Chávez** por su ejemplo y que una vez más, tu nombre aparece en un documento de formación para un profesionalista, ya que soy el primero de tus nietos en la obtención de este valioso título académico, porque no sólo fuiste mi abuelo, sino un amigo que me brindaba su abrazo festivo a cada llegada, así como un consejo certero y palabras de aliento cuando lo necesité, motivándome a seguir adelante y aún después de tu partida atesoré las grandes enseñanzas de vida que me dejaste.

A ti abuela **Dolores Gutiérrez**, que no sólo puedo presumir que puedo abrazarte y compartir contigo momentos de alegría, tristeza y paz, porque al brindarme tu cariño, me transmites una gran tranquilidad, pero no sé cómo poder ayudarte para que me sigas recordando y nunca te olvides de mí, te amo abuela.

Mentores

Un agradecimiento especial para mi mentor y amigo, ya que como formador académico se tomó el tiempo para apoyarme, corregirme y aconsejarme en los momentos más cruciales de mi vida, ya que no sólo se conoce a las personas en los momentos de dicha y alegría, sino que también hay que reconocer que cuando alguien se acerca para brindarte un consejo lo podemos llamar amigo y maestro.

Mtro. Dagoberto Rodríguez Astudillo

Agradezco a la Esp. **Elizabeth Reyes Salazar** por sus consejos, por su tiempo y dedicación en la clínica y en el aula, ya que todas sus enseñanzas fueron un conjunto de conocimientos que han dado frutos en mi formación.

Agradezco a la Doctora Alejandra Morán Reyes por su confianza y alegría, así como por compartir conmigo su hermosa amistad, sus consejos y por ser mi guía en la práctica odontológica.

Un especial agradecimiento para usted padrino **Lic. David Sánchez Isidoro**, sin usted estos logros, esfuerzos y dedicación no hubieran sido cosechados. Por haber depositado su confianza ciega en mí, cumpliendo éste mi gran sueño.

Por último, pero no menos importante, agradezco a todas las personas en mi vida, compañeros de escuela, trabajo y pacientes, por haber han creído en mi ciegamente, brindándome su cariño y consejos, sin ustedes no hubiese podido cumplir este sueño.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	7
OBJETIVO	8
CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES CAD-CAM.....	9
CAPÍTULO 2 CAD-CAM	12
2.1 Definición CAD-CAM.....	12
2.1.1 Clasificación de sistemas, escáner y CAD	14
2.1.2 Sistemas abiertos	14
2.1.3 Sistemas cerrados	14
2.1.4 Fases de elaboración CAD/CAM	14
2.2 Planificación CAD.....	16
Glaseado y pulido manual.....	17
2.3 Escáner	18
2.3.1 Escáner por contacto	20
2.3.2 Escáner láser.....	20
2.3.3 Escáner de luz estructurada	21
2.4 Escaners intraorales.....	22
2.5 Dispositivos de procesamiento	23
2.5.1 Dispositivo de 3 ejes	23
2.5.2 Dispositivo de 4 ejes	23
2.5.3 Dispositivo de 5 ejes	23
CAPÍTULO 3 FLUJO DE TRABAJO CAD / CAM	24
3.1 Componentes flujo de trabajo.....	25
3.1.1 Dentro del consultorio dental	25
3.1.2 Dentro del laboratorio dental.....	27
CAPÍTULO 4 SISTEMA CAD	29
4.1 CAD Odontológicos.....	30
CAPÍTULO 5 SISTEMA CAM.....	31
CAPÍTULO 6 PARÁMETROS DE FRESADO	33

6.1 Tipos de fresado	34
6.2 Defectos en el fresado	35
CAPÍTULO 7 MATERIALES DE ELABORACIÓN	
PARA SISTEMA CAD-CAM.....	36
CONCLUSIONES.....	38
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39
ANEXO.....	42
Flujo de Trabajo sistema CAD-CAM.....	42.
Flujo de Trabajo sistema CAD-CAM.....	42

INTRODUCCIÓN

En los últimos años la tecnología CAD-CAM se define por sus siglas en inglés:

CAD que en español corresponden a (**Diseño Asistido por Computadora**) y **CAM** (**Fabricación Asistida por Computadora**). Esta técnica aplicada a la odontología consiste en diseñar (CAD) y posteriormente confeccionar (CAM) restauraciones fijas y removibles mediante el uso de una computadora para realizar, encerados de diagnóstico, coronas, provisionales, coronas parciales inlays y onlays, prótesis de varias unidades, aditamentos y estructuras sobre implantes.

Por lo tanto ha tenido avances importantes en la odontología restauradora, al crearse soluciones digitales personalizadas para cada profesional de la salud odontológica, en el sector clínico o práctico dentro del laboratorio o consultorio dental; entendiéndose que los laboratorios, consultorios y clínicas dentales, se están convirtiendo en digitales y eso es gracias a los flujos de trabajo, lo cual facilita el diagnóstico, tratamiento y manufactura, para ahorrarnos citas clínicas durante la entrega de los trabajos al paciente, brindándole resultados óptimos. Sin embargo, la tendencia de esta tecnología nos ha orillado a la actualización continua de los materiales softwares, fresadoras, sistemas de escaneo y la evolución continua del CAD-CAM.

Es de vital importancia combinar las técnicas convencionales para obtener una mayor precisión, evitando el error humano. En este trabajo combinamos el enfoque tecnológico en la terapia protésica mediante el uso de CAD-CAM y los flujos de trabajo, mismos que a continuación describiremos los cuales constan de los siguientes elementos: escaneo, diseño, modelado y manufactura.

Mencionando lo importante que es un flujo de trabajo para estos sistemas CAD-CAM.

OBJETIVO

Describir los pasos para una simulación de flujo de trabajo, utilizando un modelo parcialmente desdentado de la facultad de odontología y pasos a seguir para su rehabilitación protésica, dando un enfoque en la actual odontología digital logrando un encerado virtual.

CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES CAD-CAM

Existen varios autores importantes en los antecedentes que a continuación mencionaré; al Dr. Patrick Hanratty se le concibe el primer software CAM llamado “**PRONTO**”[®] y ha sido considerado como el padre del (CAD-CAM) en el año 1957 (figura 1).^{1,2}

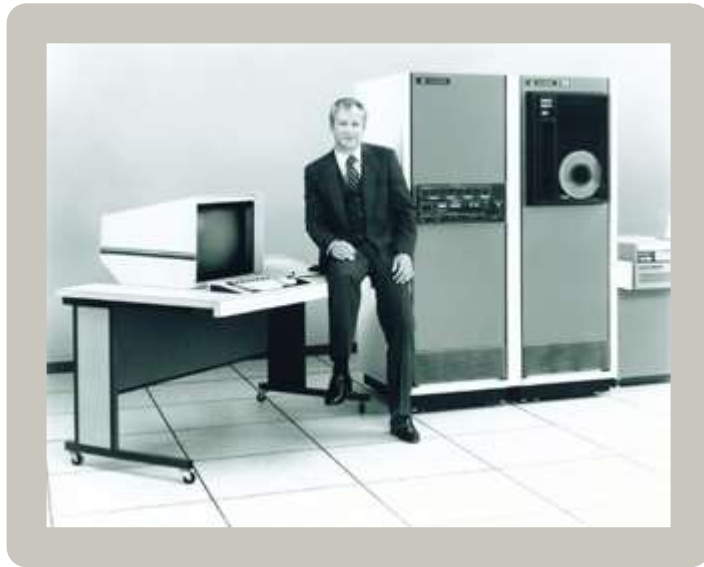


Figura 1 Dr. Patrick Hanratty sistema PRONTO padre del CAD-CAM

Es en el año de 1971 con el **Dr. Francois, Duret** cuando se introduce el (**sistema sophia**)^{®3}, con el cual se fue desarrollando la fabricación de coronas con forma oclusal funcional, utilizando un sistema de impresión óptica intraoral, seguido con la planificación digital y el fresado con torno de control numérico, tomando en cuenta su impacto en el desarrollo posterior de los sistemas CAD-CAM en el mundo (figura 2).^{3,4}



Figura 2 Dr. Francois, Duret (sistema SOPHA®).

Es en el año de 1987 cuando el **Dr. WH Morman** desarrolló el primer sistema CAD CAM comercial, quien junto con el **Dr. Brandestini**, ingeniero eléctrico, usó óptica para escáner y dispositivo de fresado, introduciendo el primer sistema (CEREC®), acrónimo para la construcción de cerámica asistida por computadora, demostrando así la posibilidad de construir una restauración directa en cerámica en una sola sesión clínica directamente en el sillón dental (figura 3).^{5,6}



Figura 3 Dr. Morman, Brandestini sistema CEREC®.

Durante 1993 **M. Anderson** realizó el sistema PROCERA® para obtener estructuras en metal (cromo-cobalto) y titanio revestido por resina compuesta mediante electroerosión y el óxido cerámico (alúmina pura) mediante fresado (figura 4).⁷



Figura 4 Dr. M. Anderson realizó el sistema PROCERA.

El sistema se desarrolló bajo la forma de centros industriales, a los cuales se les enviaban por internet las peticiones de producción bajo la forma de proyectos digitalizados de las infraestructuras, abriendo la puerta al (outsourcing) (abastecimiento desde el exterior) de los laboratorios de mecánica dental.⁷

CAPÍTULO 2 CAD-CAM

2.1 Definición CAD-CAM

Los sistemas CAD / CAM revolucionaron el diseño y la fabricación de restauraciones. Los esfuerzos pioneros de los primeros sistemas solo podían fabricar incrustaciones. Ahora, parece que no hay límite en los tipos de restauraciones que se pueden producir, desde incrustaciones simples hasta dentaduras postizas completas, diseñadas y fabricadas digitalmente, aparatos de ortodoncia, modelos de estudio, componentes relacionados con implantes y guías quirúrgicas simples y complejas.⁸

El término 'CAD / CAM' es un acrónimo en tecnología digital, que se usa actualmente como:

- **CAD** es la abreviatura de "diseño asistido por computadora"⁸.
- **CAM** significa "fabricación asistida por computadora"⁸.

Dentro del flujo de trabajo los sistemas CAD-CAM constan de tres componentes (figura 5).⁸

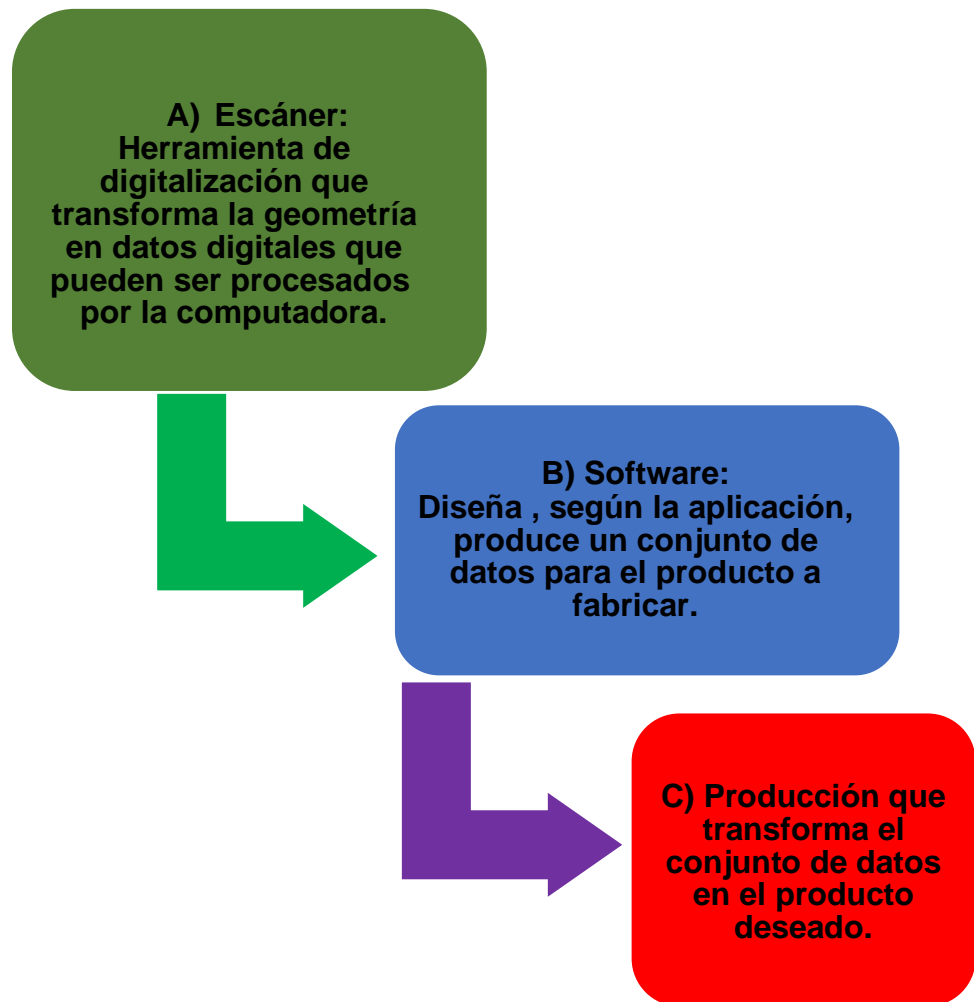


Figura 5 Componentes del sistema CAD/CAM.

2.1.1 Clasificación de sistemas, escáner y CAD

Es de vital importancia mencionar como se clasifican dichos sistemas, las tecnologías, escáner y CAD son clasificables en dos categorías:

Sistemas abiertos y Sistemas cerrados.

2.1.2 Sistemas abiertos

Los sistemas abiertos generan archivos de escaneo también por otros sistemas; Pueden representar incompatibilidad entre sistemas informáticos y dificultad de gestión de los componentes de los complejos archivos de datos.

2.1.3 Sistemas cerrados

Los sistemas cerrados, generan archivos leíbles y modificables sólo en el interior del sistema determinado, limitan la libertad en lo que se refiere a la selección de los materiales y de concurrencia de mercado, sin embargo, en la actualidad presentan menores riesgos de errores o pérdida de datos.⁷

Existen monopolios en las fresadoras ya que solo con sus sistemas se pueden tener accesos en algunos materiales de fresado.

2.1.4 Fases de elaboración CAD/CAM

- Escaneo intraoral o sobre modelo en yeso
- Iluminación del objeto.
- Luz led con patrones definidos (luz visible estructurada), (en la actualidad sin uso), laser infrarrojo (con uso actual).
- Detección de los rayos reflejados:

Técnicas topométricas: triangulación, microscopía paralela con focal, interferometría.

- Formación de nubes de puntos.
- Transformación de luz en impulso eléctrico.
- Transformación de un impulso analógico (continuo) en digital (código binario).
- Envío al CAD.
- Convertidor A/D.

2.2 Planificación CAD

Información en voxel y píxel:

- Transformación de la nube de puntos en modelo matemático (mesh triangular).
- Cada vértice de los mesh se corresponde con un triplete de valores (RGB, escala de grises).

Construcción del modelo virtual:

- Elaboración de una imagen virtual en video sobre la cual cada punto de la nube se corresponde con un píxel (figura 6).



Figura 6 nube de puntos. F.D.

Propuesta de planificación protésica modificable:

- Propuesta en biblioteca
 - Encerado virtual
 - Vista previa del desgaste
 - Verificación del proyecto
 - Envío de archivo definitivo al CAM.⁸
- ❖ **Software CAM**

Carga del modelo

Generación de instrucciones por la máquina de fresado

❖ **Fresadora**

Fresado: incisión, corte, vaciado de los recorridos cerrados, vaciado del mapa de bit (**figura 7**).



Figura 7 fresadora Ivoclar
Wieland.
F.D.

❖ **Acabado manual**

Acabado de la morfología

Acabado de color estratificación

Glaseado y pulido manual

2.3 Escáner

Bajo el término "escáner" se entiende, en el área de la odontología, herramientas de recopilación de datos que miden las estructuras tridimensionales del aparato estomatognático en conjuntos de datos digitales. (Figura 8)

Los escáneres 3D pueden ser subdivididos en:

- Escáner por contacto (desuso)
- Escáner de no contacto

Se subdivide en activos y pasivos



Figura 8 Escaner
Wieland Ivoclar .F.D.

Los escáneres de no contacto de tipo pasivo, son sistemas ópticos que no permiten ninguna radiación, pero registran la emitida por el objeto o luz ambiental, por lo general son técnicas poco precisas y económicas que son utilizadas para la arquitectura de interiores y el diseño en decoración. Los escáneres activos son dispositivos que emiten y registran cualquier forma de radiación de luz visible, láser ultrasonidos, Rayos X, electrones⁹.

Estos sistemas son denominados también de campo completo, debido a que cada punto sensible del sistema de adquisición del sensor, se obtiene una tripleta de datos (x,y,z), que corresponde a un vóxel de la pantalla y permite la digitalización en tiempo real de varios centenares de miles de puntos.¹⁰

En odontología, se utilizan radiaciones luminosas láser y luz estructurada.

Pueden ser moduladas de acuerdo con esquemas conocidos como patrones



codificados según el espacio y tiempo, para poder realizar mediciones cuidadosas y evitar fenómenos de aberraciones y difracciones, que están por otra parte presentes en la luz visible producida por lámparas incandescentes
Figura 9.

Figura 9 escáner de laboratorio. ^{F.D.}

Los escáneres ópticos activos funcionan en base a un principio común:

- Un proyector de fuente luminosa que proyecta sobre un objeto un patrón de radiaciones, con formas y tiempos codificados y un marcador.
- Una matriz de sensores que registra los rayos reflejados.
- Cámara fotográfica digital, cuya imagen resulta deformada ya que es adquirida por puntos de observación con angulaciones diferentes a las del proyector.

A través de algoritmos de fotogrametría, el software reconstruye tridimensionalmente la forma de la superficie iluminada.⁹

2.3.1 Escáner por contacto

Es importante mencionar que el uso de scanner por contacto, se caracteriza por la presencia de una sonda de tanteo, colocada sobre un aparato accionado por motores, que mueve el modelo y la sonda, toda vez que entra en contacto y envía un terno de coordenadas al software, que construye un modelo matemático para obtener un modelo virtual 3D.

Un ejemplo comercial era el ProCera Piccolo, actualmente en desuso.

Las características de éste tenían una serie de inconvenientes: son lentos y el contacto hace que se corra el riesgo de alterar el modelo. Debido a que en promedio lee un punto cada 0,2 milímetros, debido al diámetro de la esfera de Rubí montadas sobre la cabeza del aparato y de la superficie entre los rayos cercanos la cual es reconstruida arbitrariamente por la computadora, dando como consecuencia la pérdida de detalle.¹¹

2.3.2 Escáner láser

EL láser por lo general infrarrojo, presenta óptimas características debido a sus propiedades de coherencia, colimación, duración variable de impulso, monocromaticidad, módulo habilidad de pulsación continua alternada y elevada sensibilidad, el escáner láser mueve un proyector láser recorriendo toda la superficie

como un cepillo y disparando una rápida serie de Fotogramas con óptimos resultados de precisión, pero presenta algunos los siguientes inconvenientes:

La necesidad de mover el proyector para desplazar el marcador luminoso sobre la superficie necesita de motores con gravamen de complejidad mecánica y costosa.

El Rayo láser posee un lugar especial y estratégico, porque conlleva a que los detalles más pequeños no sean localizados y el software esté obligado a realizar algunas elecciones descartando aquellos píxeles de la imagen que resultan dudosos, causando pérdida de la información.¹²

2.3.3 Escáner de luz estructurada

La luz visible de onda corta y elevada frecuencia blanca azulada, blanca negra y puntos blancos y azules, es emitida por letra o diodo emisor de luz, el cual aprovecha las propiedades ópticas de algunos materiales semiconductores para producir fotones de luz visible a través del fenómeno de emisión espontánea cuando son polarizados presentan características favorables por duración de funcionamiento, lo que conlleva escaso mantenimiento, cromaticidad restringida, ausencia de los rayos IR y UV para la fuente puntiforme, efectos spot o maculado, con el término de luz estructurada se hace referencia a una técnica de detección tridimensional, que utiliza rayos luminosos con un esquema conocido patrón codificado, lentes de focal corto, tomada a través de videocámaras, el marcador óptico puede estar conformado por diferentes tipos de luz en bandas blancas, negras o blancas y azules en puntos, líneas paralelas o rejillas. El marcador óptico cubre totalmente al modelo y se varía la posición de la luz; cada posición del escáner ejecuta las tomas para generar las secciones, qué sirven para que el software reconstruya la geometría en los escáneres de 2ª generación en desuso actualmente.¹³

Una gran ventaja de impresiones ópticas en comparación con las impresiones convencionales, ya que las impresiones ópticas no presentan cambios volumétricos, no hay distorsión en las impresiones y una vez ya registrados, se transmiten electrónicamente los archivos y no existe pérdida de información, asimismo, a las impresiones digitales se les conoce como archivo digital, estereolitografía o archivo STL (Standard Tercekation Language).¹⁰

2.4 Escaners intraorales

Los escaners detectan la tridimensionalidad del elemento a ser reconstruido directamente en el interior de la cavidad oral del paciente.

Se trata de dispositivos precisos y veloces, cuyas diferencias dependen de factores tecnológicos y productivos, técnicas topométricas, tipo de radiaciones, necesidad de utilización de polvos opacadores, sistemas abiertos que prevén solo el escáner destinados a interactuar con sistemas CAD CAM abiertos, sistemas cerrados con escáner CAD/ CAM, que no interrumpen y que no interactúan con otros sistemas.¹⁴

2.5 Dispositivos de procesamiento

Todos los datos obtenidos mediante el sistema CAD, son enviados al sistema CAM para su posterior fresado, el número de ejes de la fresadora es lo que determina las posibilidades de movimiento que tendrá la fresadora en el momento de la confección de la prótesis. Existen 3 tipos de ejes.

2.5.1 Dispositivo de 3 ejes

Las fresadoras de 3 ejes tienen posibilidad de movimiento vertical, horizontal y oblicuo, son utilizadas para elaborar prótesis unitarias.

2.5.2 Dispositivo de 4 ejes

La fresadora de 4 ejes tiene las mismas posibilidades de movimiento que la fresadora de 3 ejes, pero tiene la posibilidad de realizar movimientos rotatorios en un solo eje, se utilizan para elaborar prótesis unitarias y puentes de 4 a 6 unidades.

2.5.3 Dispositivo de 5 ejes

Cumple con los movimientos descritos en fresadoras de 3 y 4 ejes, pero cuenta además con movimientos rotatorios en 2 ejes uno paralelo y otro perpendicular y la capacidad de girar la prótesis sobre un eje horizontal y que la fresa pueda inclinarse alrededor de un eje perpendicular al anterior, son utilizadas para realizar prótesis de arcadas completas, estructuras sobre implantes, las prótesis realizadas no deben tener más de 30° de divergencia.

Existen dos tipos de procesamiento en el fresado mediante CAD-CAM, el procesamiento en seco se aplica principalmente cuando se utiliza óxido de zirconio y el procesamiento en húmedo, el cual es utilizado cuando se fresan metales y materiales cerámicos de vidrio a fin de evitar daños por sobrecalentamiento.¹⁵

CAPÍTULO 3 FLUJO DE TRABAJO

CAD / CAM

El flujo de trabajo empezó a introducirse en el campo de la odontología en 1971 de forma experimental y teórica. En 1979 Heitlinger, Rodder y posteriormente Mormann y Brandestini en 1980, comienzan a trabajar en este sistema; Duret, Minnesota y Cerec®.¹⁶

“Se define como aquel proceso o conjunto de procesos que permite realizar un tratamiento dental únicamente utilizando recursos digitales.”¹⁶

En lugar de sistemas cerrados, donde todos los componentes funcionales se incorporaron a un sistema CAD / CAM, ahora el usuario puede seleccionar y vincular componentes funcionales de diferentes fabricantes. Esto permite que los procesos de creación de restauraciones se distribuyan para satisfacer mejor el interés, las capacidades y las habilidades de quienes contribuyen a la fabricación de componentes dentales (figura 6).¹⁶

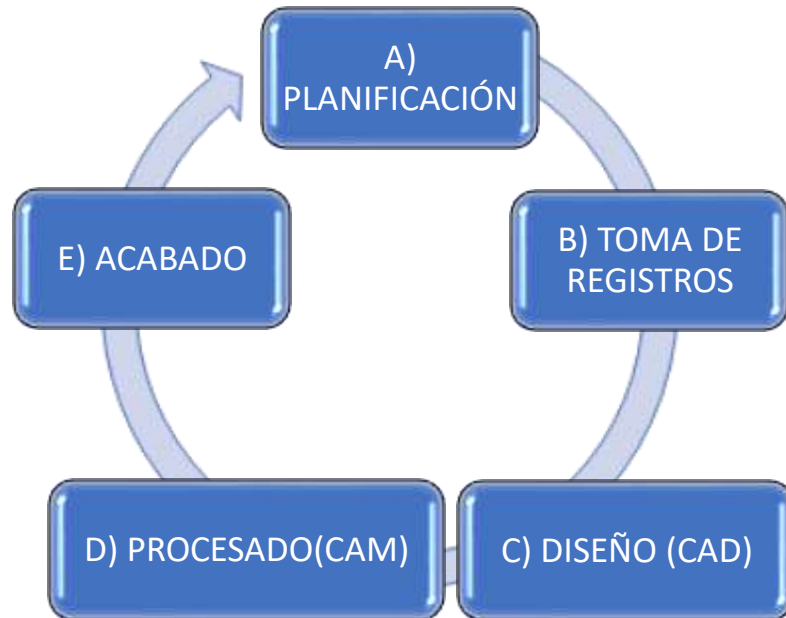


Figura 6 Flujo de trabajo.

Demuestra cómo el trabajo puede fluir a través de diferentes canales, cada uno de los cuales es capaz de producir restauraciones / prótesis de alta calidad.

El flujo de trabajo digital ha demostrado que el tiempo desde la adquisición de datos hasta el producto final se acorta con el flujo de trabajo digital con el mayor ahorro en tiempo de laboratorio.¹⁷

3.1 Componentes flujo de trabajo

Los componentes del flujo de trabajo tienen dos grupos; en el consultorio dental y en el laboratorio dental:

3.1.1 Dentro del consultorio dental

- Un escáner intraoral, para detectar impresiones ópticas en boca.
- Un escáner de laboratorio que detecta la morfología de los pilares a partir de las impresiones en elastómeros o modelos de yeso.
- Un software que transforma los datos adquiridos a partir del escaneo en modelos virtuales tridimensionales y permite la planificación de las prótesis.
- Un software CAM que genera los comandos para la máquina realizando un fresado estratégico.
- Una fresadora, que realiza la prótesis a partir de un bloque en bruto.

Esquema de flujo de trabajo en sistema CAD-CAM Figura 7.^{18,19}

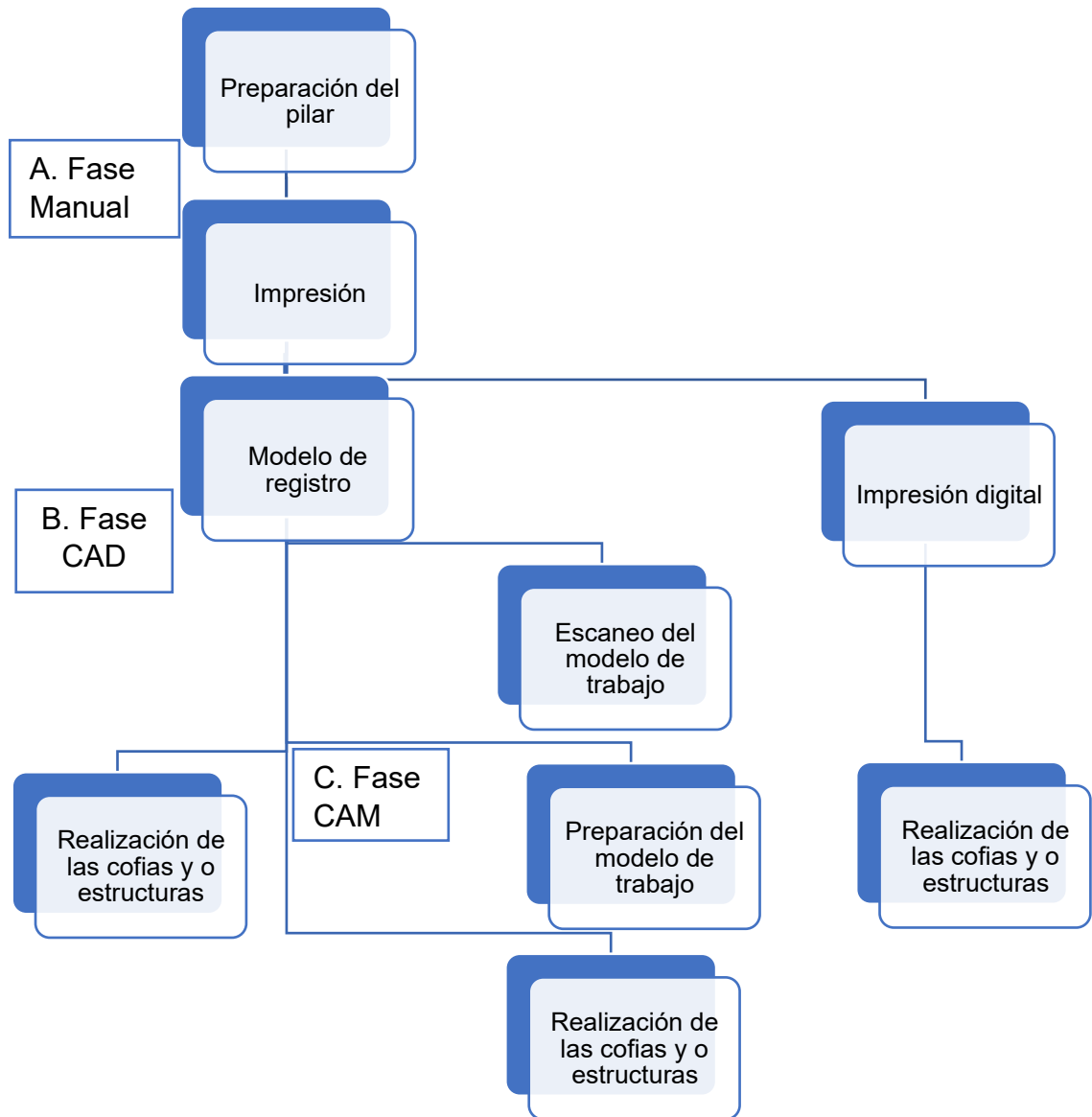


Figura 7 Diagrama flujo de trabajo.

A. Fase análoga o manual. B. Fase CAD. C. Fase CAM.

3.1.2 Dentro del laboratorio dental

- Un escáner de laboratorio que detecta la morfología de los pilares y estructuras a partir de las impresiones con elastómeros o modelos de yeso.
- Un software que transforma los datos adquiridos a partir del escaneo en modelos virtuales tridimensionales, permitiendo la planificación de las prótesis.
- Un software CAM, que genera los comandos del recorrido estratégico de fresado.
- Una máquina fresadora, que realiza las prótesis a partir de un bloque en bruto.(figura 8).^{18,20}

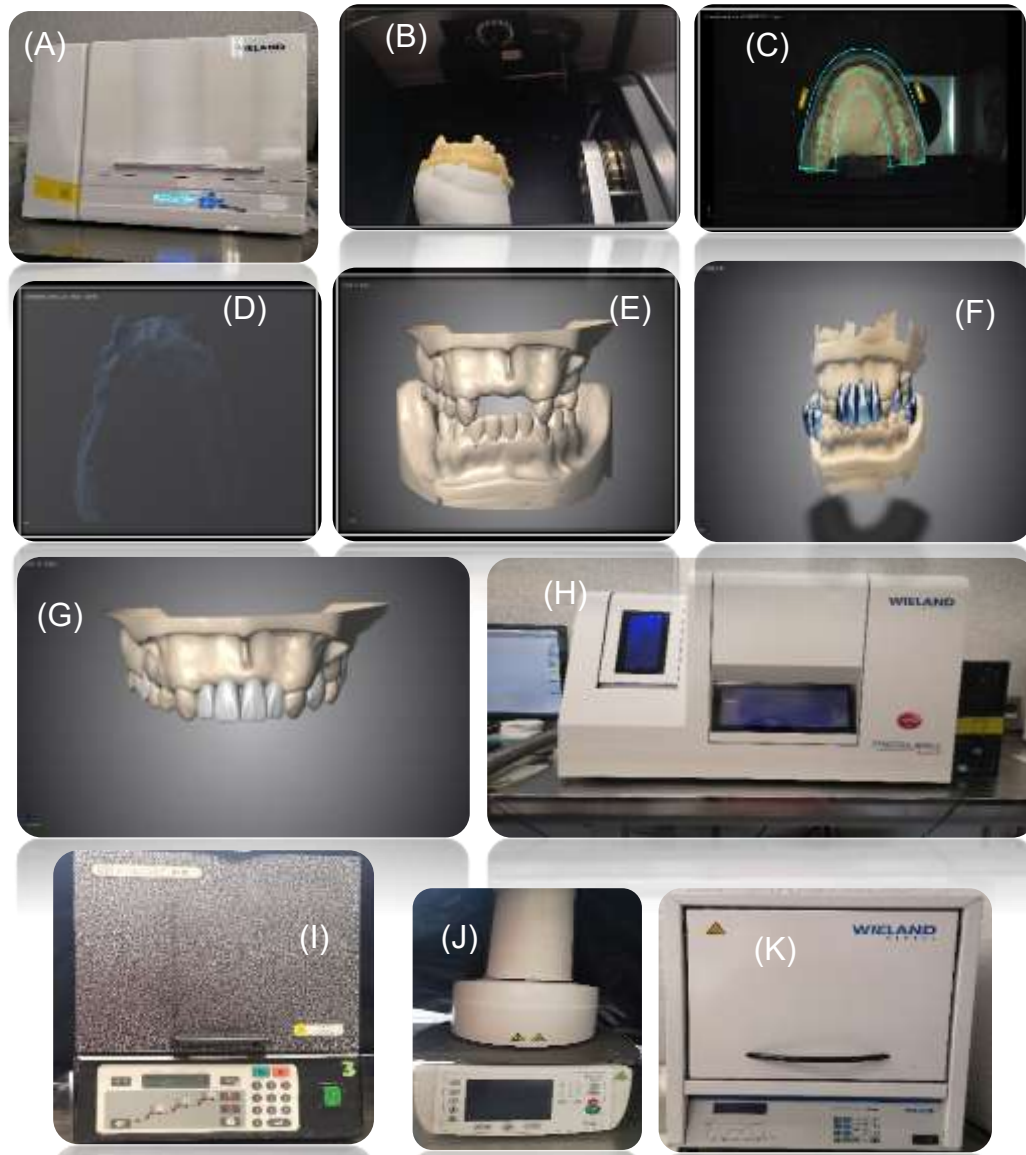


Figura 8 secuencia de imágenes de un flujo de trabajo, dentro del laboratorio digital de la División Posgrado de la Universidad Nacional Autónoma de México.

A) Iniciamos el proceso con la obtención de modelos de estudio, previo a un articulado y digitalizamos por medio de un escáner de laboratorio. B) Inicia el proceso de digitalización. C) Revisamos los parámetros correspondientes. D) Obtenemos el modelo virtual a base de voxel y nube de puntos. E) Una vez realizado este paso tenemos el modelo digitalizado. F) Comienza el proceso CAD y diseñamos nuestro trabajo. G) Realizamos los procedimientos previos a nuestro diseño y rehabilitación protésica. H) Utilizamos el Sistema CAM empezando el fresado. I) Horno de cocción para núcleos J) Horno de sinterizado K) Horno de cerámica.

CAPÍTULO 4 SISTEMA CAD

El termino CAD indica el sector de la informática que utiliza la gráfica computarizada para soportar la actividad de planificación de productos virtuales.¹²

La gráfica computarizada tridimensional es una técnica para representar, mediante modelos matemáticos, una imagen bidimensional en objetos tridimensionales. Esquemáticamente, el modelo de producción está compuesto por dos pasos:

- La descripción de la escena, la cual está compuesta por representaciones matemáticas obtenidas mediante la elaboración de una nube de puntos registrados con el escaneo.
- La producción del modelo, realizado con un motor de render o interpretación, que mediante algoritmos efectúa los cálculos necesarios, que definen el color de cada píxel de la pantalla o monitor (rendering, proceso de rendimiento o interpretación).¹²

El conjunto de escaneo (adquisición de los datos geométricos o de muestreo), la generación de un modelo matemático (modelado) y la extracción de los datos para el uso requerido (rendering), constituyen una operación definida de reverse engineering (ingeniería en reversa).

La imagen 3D puede ser utilizada para fines diferentes como representación gráfica, como fuente de informaciones (interrogación del diseño) y para generar instrucciones para el software CAM.¹³

4.1 CAD Odontológicos

El CAD ejecuta diversas operaciones como:

Describir la escena con representaciones matemáticas obtenidas a partir de las nubes de puntos de la muestra detectada por el escáner.

Construir modelos de detalle de pequeñas zonas o porciones de diente.

Ensamblar los modelos simples en contigüidad para obtener la imagen de cada pilar (stitching, unión, alineación).

Ampliar los modelos en una representación panorámica, que ensambla las áreas a ser rehabilitadas y adyacentes (matching o combinación, comparación) para obtener el análogo de una impresión de toda la arcada dental.

Realizar un diseño de la prótesis mediante modelado (proyecto).

Generar los parámetros de fresado para el software CAM¹³.

CAPÍTULO 5 SISTEMA CAM

CAM es el acrónimo de computer aided manufacturing, que significa fabricación asistida por la computadora.^{9,11,21}

Esta expresión indica una categoría de productos software que analizan un modelo geométrico tridimensional y generan las instrucciones para producir un producto, a ser utilizado por una máquina de control numérico computarizado (CNC, computer numerical control, control numérico computarizado).¹⁴

Secuencia de pasos para el sistema CAD

- ❖ Programación de los parámetros de elaboración para cada porción del modelo.
- ❖ Generación de las instrucciones para la máquina, guardadas en un archivo STML.
- ❖ Visualización o modificación de la secuencia de instrucciones generadas.
- ❖ Visualización gráfica.
- ❖ Envío de datos al control numérico de la fresadora.

La palabra "CAD/CAM" es utilizada en forma genérica para indicar la utilización de instrumentos de planificación y fabricación computarizada, que integra un software CAD, un software CAM y un fresador o torno (unidad de desgaste o sustracción).¹⁴

El software CAM genera al usuario dibujar los modelos geométricos y generar parámetros de fresado, realizando la planificación del producto. Los datos obtenidos son sucesivamente transferidos al CAM con un formato compatible para ambos sistemas (STL, standard témpate library, biblioteca de plantillas estandarizadas).¹⁴

El software CAM genera los parámetros de fresado, los recorridos y las estrategias de desgaste, que son transferidos a la máquina fresadora (unidad de desgaste), generalmente mediante un formato en código ISO 9683 (International Organization for Standardization, Organización Internacional de Estandarización); para que de esa forma pueda realizarse la planificación del proyecto.¹²

La calidad del resultado depende de la integración de numerosos factores como son: los parámetros de desgaste, que a su vez dependen de las características del material a ser fresado, de la estrategia de fresado.²²

CAPÍTULO 6 PARÁMETROS DE FRESADO

Las informaciones son transferidas desde el CAM a la máquina, para programar el tipo y la cantidad de movimiento de la fresa o de la pieza para obtener la reproducción, por lo que los parámetros de fresado son:

- Diámetro, número de dientes (cortantes) y velocidad de la fresa.
- Velocidad de corte de la fresa y numero de giros a ser aplicados al mandril para obtener la velocidad de corte deseada.
- Velocidad de avance de la fresadora en las distintas direcciones.
- Espesor y seccionamiento del material fresado.^{8,15}

Los movimientos de fresado son: el movimiento de corte, determinado por la rotación de la fresa; el movimiento de alimentación, determinado por el avance de la fresadora o de la pieza; el movimiento de profundización, que determina la profundidad del paso, causada por el movimiento del utensilio o de la pieza.⁹

La presión de contacto es el resultado de la combinación de las fuerzas de traslación y de avance que debe poseer una relación indirectamente proporcional para obtener un buen fresado de la pieza: la presión de contacto debe ser relacionada con la velocidad, si la presión es escasa con respecto a la velocidad, no hay desgaste, si resulta elevada la sobrecarga produce sobrecalentamiento.¹⁵

6.1 Tipos de fresado

Los principales tipos de trabajo en el fresado son:

- La incisión del corte
- El vaciado de recorridos cerrados
- El vaciado mapa de bits
- El modelado de las superficies

La incisión es una labor en la cual la herramienta sigue un recorrido geométrico definido por secuencias de líneas divididas, abiertas o cerradas, y perforaciones.

Se posiciona Sobre el primer punto, desciende en la pieza unos pocos décimos, sigue la línea punteada y vuelve a subir (por ejemplo, grabado de placas y superficies oclusales dentales).²³

En la incisión son importantes los conceptos de compensaciones y de vínculos del ángulo de incidencia.²⁴

El vaciado de recorridos cerrados consiste en alcanzar con la herramienta, todos los puntos internos de recorrido cerrado, por ejemplo, el interior de una corona protésica.²⁵

El vaciado mapa de bits, consiste en alcanzar todos los puntos, que en una matriz rectangular de bits (denominada bit map) poseen con valor a 0. La cuota de cada punto está en la computadora por dos coordenadas (x,y) contenidas en una matriz de números denominados DEM (digital elevation model, modelo digital de elevación).

El modelado se produce en dos fases el fresado y el acabado.¹¹

6.2 Defectos en el fresado

Los defectos más frecuentes en el fresado se observan en la producción de prótesis, están conformados por facturas, agujeros y falta de producción de detalles, estos defectos puede ser causados por presas desgastadas, planificación de estructura de espesores inadecuados, ausencia de calibrado y de mantenimiento de la máquina fresadora y defectos del material en bruto.¹¹

En lo que se refiere al zirconio deben tomarse en cuenta 3 aspectos:

- El fresado prevé la ampliación y debe compensar la contracción por sinterización.
- Los instrumentos de corte dejan superficies más lisas que los abrasivos, pero después de la contracción por sinterización las diferencias de textura (rugosidad) lucen reducidas.
- Las líneas paralelas del fresado no representan puntos de desencadenamiento de las grietas, ya que poseen dimensiones superiores al valor umbral que hace que los micros defectos de Griffith sean peligrosos.²⁰

CAPÍTULO 7 MATERIALES DE ELABORACIÓN PARA SISTEMA CAD-CAM

Con el uso de sistemas CAD/CAM, los operadores pueden fabricar restauraciones a partir de una serie de materiales que mencionaré, en los que se incluyen: la cerámica, aleaciones, metálicas, así como resina más grafeno, Disilicato de litio, circonio y PMMA. (figura9)²⁶

TABLA COMPARATIVA SOLUCIONES DENTALES					
Tipos de prótesis	PMMA	Metal	Circonio	Disilicato de litio	Resina + grafeno
Coronas individuales	✓	✓	✓	✓	✓
Puentes de hasta 3 piezas	✗	✓	✓	✗	✓
Puentes de más de 2 pónticas	✗	✓	✗	✗	✓
Incrustaciones	✓	✗	✗	✓	✓
Carillas	✗	✗	✓	✓	✓
Prótesis completas	✓	✗	✗	✗	✓
Rehabilitaciones directas e implantes	✗	✓	✗	✗	✓

Figura 9 tabla de materiales.

Las cerámicas que se utilizan actualmente para restauraciones son predominantemente alúmina, incluyendo aquellos posteriormente infiltrados, vidrio, circonio y porcelana a base de cerámica. Sistemas CAD/CAM basados en el mecanizado de bloques de alúmina o circonio presinterizados especialmente diseñados para coronas Posteriores y dentaduras parciales, muchos materiales restauradores están disponibles únicamente para el uso del sistema CAD CAM.^{14,27}

Actualmente existe una gran variedad de cerámicas que se procesan mediante CAD/CAM, para realizar coronas totalmente cerámicas, puentes y sus estructuras internas. Son numerosas las clasificaciones de estas cerámicas que se han empleado, siguiendo diferentes criterios¹⁹. En 2015, Gracis y Cols, realizaron una clasificación atendiendo a la composición química de la cerámica. Es vital conocer la composición química para entender su comportamiento mecánico (figura 10).^{12,28}

Figura 10 Sistemas Cerámicos		
a) Cerámicas con matriz vítrea:	b) Cerámicas policristalinas	c) Cerámicas con una matriz de resina
Contienen mayor fase vítrea que cristalina	No contienen fase vítrea	Contienen una matriz polimérica en la que se une la cerámica
<ul style="list-style-type: none"> • Cerámicas feldespáticas • Cerámicas sintéticas ○ Base de leucita ○ Disilicato de litio ○ Base de fluorapatita ○ Cerámicas con infiltrado vítreo ○ Alúmina ○ Alúmina y magnesio ○ Alúmina y zirconio 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Alúmina ○ Zirconia Parcialmente estabilizada ○ Zirconia endurecida con alúmina ○ Alúmina endurecida con zirconio en desarrollo 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Resina nano cerámica ○ Cerámica vítrea en matriz de resina ○ Zirconio -Sílice en Matriz de resina

CONCLUSIONES

Tomando en cuenta los componentes, el enfoque tecnológico y sus aplicaciones consideramos que los sistemas CAD/CAM, han sufrido una evolución vertiginosa.

Si hablamos del flujo de trabajo, la adquisición de datos, el diseño, la fabricación en los sistemas CAD / CAM modernos, y la arquitectura abierta de los sistemas digitales han creado nuevas oportunidades de construcción en el ámbito de la rehabilitación bucal. Hoy en día el usuario puede seleccionar y vincular componentes funcionales de diferentes fabricantes. Esto permite que los procesos de creación de restauraciones se distribuyan para satisfacer mejor el interés, las capacidades y las habilidades de quienes contribuyen a la fabricación de componentes protésicos.

El flujo de trabajo digital ha demostrado que el tiempo desde la adquisición de datos hasta el producto final disminuye significativamente, y es muy importante el contar con archivos digitales (evidencias medico legales) de nuestros pacientes para futuros tratamientos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Historia e evolución del CAD/CAM. <https://www.castor.es/historia-software-CAD-CAM.html>. Published 2019.
2. Historia e evolución de las aplicaciones CAD/CAM. <https://www.castor.es/historia-software-CAD-CAM.html>. Consultado octubre 12, 2019.
3. Duret F, Blouin JL DB. CAD-CAM in dentistry. Dent Assoc. 1988;117(715–720):5.
4. Duret F PJC imaging in dentistry. COD 1991;1(2): 150–4. No Title. Curr Opin Dent 1991. 1(2)(1):105–4.
5. WH. M. The evolution of the CEREC. J Am Dent Assoc. 2006;137(Suppl):7–13.
6. Mörmann WH, Brandestini M, Lutz F, Barbakow F. Chairside computer-aided direct ceramic inlays. Quintessence Int. 1989;20(5):329–339.
7. Biocare N. History of Nobel Biocare. Corporate.Nobelbiocare.
8. Cam OCAD, Orv G, Flqfxhqwd D, et al. Artículo de revisión.
9. Fabrizio Montagna MB. Cerámicas,Zirconio y CAD/CAM. En: Amolca, ed. Cerámicas,Zirconio y CAD/CAM. En idioma. 2012 Amolca,Actualidades Médicas; 2013.
10. Dickens N, Haider H, Lien W, Simecek J, Stahl J. Longitudinal analysis of CAD/CAM restoration incorporation rates into navy dentistry. Mil Med. 2019;184(5–6):e365–e372. doi:10.1093/milmed/usy260
11. Lee JD, Jung S, Wang C, Lee SJ. Integrated Digital and Conventional Treatment Workflow in Guided Complete Mouth Implant Rehabilitation : A Clinical Case Report. 2019:1–9. doi:10.3390/dj7040100
12. Blatz MB, Conejo J. The Current State of Chairside Digital Dentistry and Materials. Dent Clin North Am. 2019;63(2):175–197. doi:10.1016/j.cden.2018.11.002

13. Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. Digital dentistry: An overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Br Dent J.* 2008;204(9):505–511. doi:10.1038/sj.bdj.2008.350
14. Cam CAD. Expanding the CAD/CAM Workflow With Planmeca Emerald Intraoral Scanner. 2018;(March).
15. Miyazaki T, Hotta Y, Kunii J, Kuriyama S, Tamaki Y. CAD CAM.pdf. 2009;28(1):44–56. doi:10.4012/dmj.28.44
16. Callís, Ernest Mallat, Juan Cadafalch Cabaní JDMF. Las claves de la prótesis fija en cerámica. (Lisermed Editorial, ed.). C/Juan de Garay No.18BJ.lzq.46017 Valencia; 2018.
17. Mühlemann S, Benic GI, Fehmer V, Hämmerle CHF, Sailer I. Randomized controlled clinical trial of digital and conventional workflows for the fabrication of zirconia-ceramic posterior fixed partial dentures. Part II: Time efficiency of CAD-CAM versus conventional laboratory procedures. *J Prosthet Dent.* 2019;121(2):252–257. doi:10.1016/j.prosdent.2018.04.020
18. Lo Russo L, Caradonna G, Biancardino M, De Lillo A, Troiano G, Guida L. Digital versus conventional workflow for the fabrication of multiunit fixed prostheses: A systematic review and meta-analysis of vertical marginal fit in controlled in vitro studies. *J Prosthet Dent.* 2019:1–6. doi:10.1016/j.prosdent.2018.12.001
19. Gabor A-G, Zaharia C, Stan AT, Gavrilovici AM, Negruțiu M-L, Sinescu C. Digital Dentistry — Digital Impression and CAD/CAM System Applications. *J Interdiscip Med.* 2017;2(1):54–57. doi:10.1515/jim-2017-0033
20. Abdullah AO, Muhammed FK, Zheng B, Liu Y. An Overview of Computer Aided Design / Computer Aided. 2018;7(1):1–10.
21. Miyazaki T, Nakamura T, Matsumura H, Ban S, Kobayashi T. Current status of zirconia restoration. *J Prosthodont Res.* 2013;57(4):236–261. doi:10.1016/j.jpor.2013.09.001

22. Editorial G. CAD / CAM — A Tool for Cosmetic Dentistry. 2013;29(2):7–8.
23. Cam CAD. Métodos CAD / CAM. (Figura 1).
24. Schaan D. Statement IDS 2019 : CAD / CAM trifft auf Totalprothetik. 2019;45(7):950–952.
25. Gracis S, Thompson V, Ferencz J, Silva N, Bonfante E. A New Classification System for All-Ceramic and Ceramic-like Restorative Materials. *Int J Prosthodont*. 2016;28(3):227–235. doi:10.11607/ijp.4244
26. Bidra AS, Taylor TD, Agar JR. Computer-aided technology for fabricating complete dentures: Systematic review of historical background, current status, and future perspectives. *J Prosthet Dent*. 2013;109(6):361–366. doi:10.1016/S0022-3913(13)60318-2
27. Vlahova A. Preparation Junctions for All-Ceramic CAD/CAM Crown and Bridge Restorations. *Balk J Dent Med*. 2016;20(2):122–125. doi:10.1515/bjdm-2016-0020
28. Cho J-H, Yoon H-I, Han J-S, Kim D-J. Trueness of the Inner Surface of Monolithic Crowns Fabricated by Milling of a Fully Sintered (Y, Nb)-TZP Block in Chairside CAD–CAM System for Single-visit Dentistry. *Materials (Basel)*. 2019;12(19):3253. doi:10.3390/ma12193253

ANEXO

Flujo de Trabajo sistema CAD-CAM.

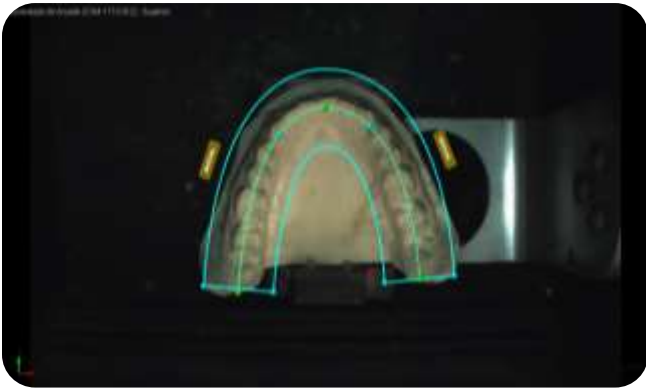


FIGURA1 DIGITALIZACIÓN DEL MODELO. F.D.



FIGURA2 OBTENCIÓN NUBE DE PUNTOS. F.D.



FIGURA 3 OBTENCIÓN DEL MODELO DIGITALIZADO. F.D.

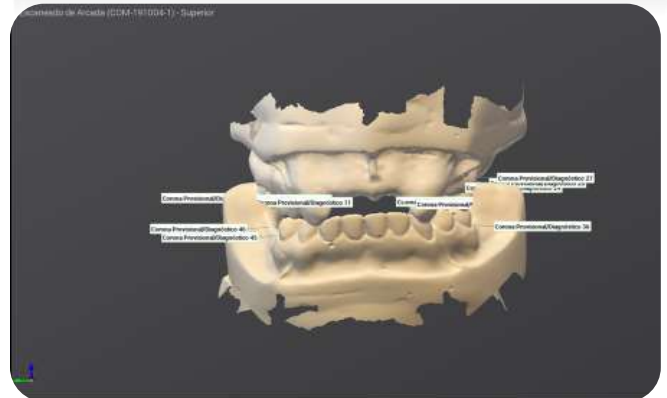


FIGURA 4 EVALUACIÓN DEL MODELO DE TRABAJO. F.D.



FIGURA5 DISEÑO DE DIENTES PREFABRICADOS. F.D.

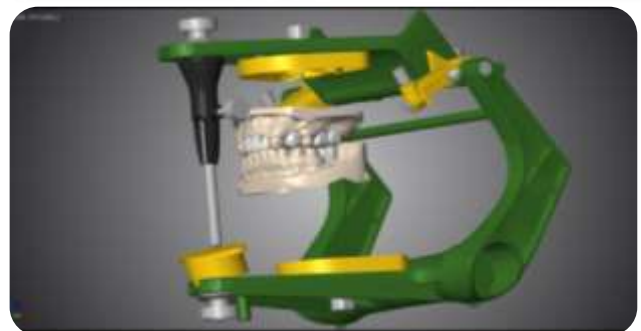


FIGURA 6 TRANSFERENCIA ARTICULADOR VIRTUAL. F.D.

Continua...

...Continuación

Flujo de Trabajo sistema CAD-CAM.



FIGURA 7 OBTENCION DE PUNTOS DE CONTACTO POR MEDIO DE ARTICULADOR VIRTUAL. F.D.



FIGURA 8 PUNTOS DE CONTACTO EN EL MODELO, MONTAJE VIRTUAL F.D.



FIGURA 9 MODELO PREVIO REHABILITADO. F.D.



FIGURA 10 PUNTOS INTERPROXIMALES Y PUNTOS DE CONTACTO F.D.



FIGURA 11 LLAVE DE OCLUSION (ESTA LLAVE SE OBTIENE CON SILICONA) Y ES EN MODO CONVENCIONAL F.D.



FIGURA 12 ENCERADO VIRTUAL F.D.