

DISEÑO HACIA MANUFACTURA DE UNA BARRA SOPORTE PARA PRÓTESIS
HÍBRIDAS IMPLANTO SOPORTADAS UTILIZANDO TECNOLOGÍAS
CAD/CAE/CAM.

NICOLAS DUARTE PUENTES

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA
DIVISIÓN DE INGENIERIAS
BOGOTÁ
2022

DISEÑO HACIA MANUFACTURA DE UNA BARRA SOPORTE PARA PRÓTESIS
HÍBRIDAS IMPLANTO SOPORTADAS UTILIZANDO TECNOLOGÍAS
CAD/CAE/CAM.

NICOLAS DUARTE PUENTES

2200208

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico

DIRECTOR

ING. JORGE ANDRES GARCIA BARBOSA

CODIRECTOR

ING. OSCAR RODRIGO LOPEZ VACA

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA
DIVISIÓN DE INGENIERIAS
BOGOTÁ

2022

2

Nota De Aceptación

Firma Presidente Del Jurado

Firma Jurado

Firma Jurado

Firma director

Firma codirector

Bogotá D.C, febrero 17 del 2022

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado primero a Dios por darme la oportunidad de haber vivido cada momento de esta carrera. También dedicó este trabajo a una de las personas más maravillosas y admirables que tengo en la vida mi TIA María Isabel, que siempre me impulso y apoyo para poder hoy en día obtener un título profesional y más que eso ser una persona correcta en cada labor que desempeñara a lo largo de los días. Sin lugar a dudas siempre me llenabas de fuerzas y valor para afrontar cada situación que se presentara, que con tu esfuerzo y dedicación también lograste darme la oportunidad de estudiar profesionalmente. También dedico este trabajo a mi madre Adriana, ser que me dio la vida y estuvo cada momento para ese apoyo fundamental. A mi papá, a mi hermana, a mi abuela, a mi tía, a mi primita, a mi novia que siempre me brindaron su apoyo incondicional y me inspiraron a superarme constantemente. A mis compañeros, amigos y hermanos de carrera y vida que siempre estuvieron ahí para brindar su apoyo, por la alegría que transmitían y el empeño que día a día hicieron que sea posible cumplir esta meta. A cada uno de los docentes, que me brindaron sus conocimientos y ayudaron a mi formación académica y profesional.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer el inmenso apoyo brindado por mi director de trabajo de grado el ingeniero Jorge Andrés García y codirector el ingeniero Oscar Rodrigo López, por su paciencia, dedicación, constancia, esfuerzo, experiencia y conocimientos brindados en el desarrollo de este trabajo, personas que admiro y respeto profundamente.

A la Universidad Santo Tomas un sincero agradecimiento, la facultad de ingeniería mecánica y a todo el cuerpo docente presente durante mi proceso de formación agradezco infinitamente.

A mi familia por cada esfuerzo que realizo cada uno de ellos, por su apoyo incondicional, por cada corrección y valor que me inculcaron a lo largo de mi vida, siempre estaré eternamente agradecido por contar con una familia tan maravillosa como ustedes.

A mis amigos Jhon Sebastián Rodríguez y Mateo Devia que son como mis hermanos y futuros colegas con quienes compartimos grandes momentos y llevare el recuerdo de cada trabajo, risa, juego y demás que momentos que afrontamos. De igual forma a mis demás amigos y compañeros de carrera que también aportaron grandes cosas a mi vida y persona.

Y a todos muchas gracias.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	12
2. OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
3. OBTENCIÓN DEL MODELO VIRTUAL DE BARRA SOPORTE PARA PRÓTESIS HÍBRIDA	16
3.1 Barra soporte para prótesis implanto soportada	16
3.2 Diagrama de flujo proceso obtencion de barra soporte en la USTA.....	16
3.3 Propuesta de diseño de barra soporte	18
3.4 Recopilación de imágenes maxilar superior e inferior edéntulo a partir de scanner 3D.....	19
3.5 Obtencion Modelo CAD utilizando scanner 3D y definición de casos de estudio.	21
3.5.1 Caso 1 Edentulismo total en maxilar superior utilizando 4 implantes. Maxilar inferior edentulismo parcial, figura9.	21
3.5.2 Caso 2 Edentulismo total en maxilares superior e inferior. Utilizando 6 implantes en la parte superior y 4 implantes en la parte inferior, figura10.	21
3.5.3 Caso 3 Edentulismo total en maxilares superior e inferior. Utilizando 4 Implantes en la parte superior y 4 implantes en la parte inferior, figura11.	22
3.6 ubicación de implantes en maxilar.	22
3.7 Impresión 3D de maxilares edéntulos con agujeros guía	24
3.7.1 Instalación de implantes en impresión 3D casos de estudio.....	25
3.8 Escáner de modelos impresos con instalación de implantes.	27
3.8.1 Mejoramiento CAD escáner detalle.	28
3.9 Diseño Barra Soporte	30
4. DISEÑO DE BARRA SOPORTE POR MEDIO DEL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS	33
4.1 Modelo del montaje de barra soporte y propiedades de materiales	33

4.2	Enmallado del modelo	34
4.3	Restricciones de desplazamiento	34
4.4	Condiciones de frontera.....	35
4.5	Análisis de esfuerzos y deformaciones	35
5.	PLANIFICACIÓN DEL PROCESO DE MANUFACTURA.....	39
5.1	Selecciones materiales que pueden mecanizar los sistemas CAD/CAM para rehabilitación oral.....	40
5.2	Creación sistema de sujeción para materia prima.....	41
5.3	Simulación montaje en centro mecanizado USTA	43
6.	CONCLUSIONES.....	47
7.	RECOMENDACIONES.....	48
8.	REFERENCIAS	49

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. PRÓTESIS COMPLETA REMOVIBLE. FUENTE: HTTPS://BQDENTALCENTERS.ES/WP-CONTENT/UPLOADS/PROTESIS-DENTADURA-POSTIZA.JPG	12
FIGURA 2 TIPOS DE PRÓTESIS DENTAL. FUENTE: HTTP://SLIMBELLE.ES/TIPOS-PROTESIS-DENTALES/	13
FIGURA 3 PRÓTESIS HIBRIDA IMPLANTO SOPORTADA CON BARRA SOPORTE. FUENTE: HTTPS://IMAGES.APP.GOO.GL/KNBCKBJW9yU3sbyAA	16
FIGURA 4 PROCESO DE FABRICACIÓN ACTUAL EN TALLER DE TÉCNICA DENTAL USTA BUCARAMANGA. FUENTE: AUTOR.....	17
FIGURA 5. CONTINUACIÓN DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE FABRICACIÓN. FUENTE: AUTOR.....	17
FIGURA 6. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE FABRICACIÓN PROPUESTO. FUENTE: AUTOR.....	18
FIGURA 7. PROCESO MANUAL E IMPLEMENTACIÓN DE SCANNER 3D. FUENTE:AUTOR.....	20
FIGURA 8. EDENTULISMO TOTAL MAXILAR SUPERIOR. FUENTE:AUTOR.....	20
FIGURA 9 MUESTRA CASO ESTUDIO 1. FUENTE: AUTOR.....	21
FIGURA 10 MUESTRA CASO ESTUDIO 2. FUENTE: AUTOR.....	21
FIGURA 11 MUESTRA CASO ESTUDIO 3. FUENTE: AUTOR.....	22
FIGURA 12. MODELO MAXILAR INFERIOR CON SEÑALAMIENTO DE ZONAS. FUENTE:AUTOR.....	23
FIGURA 13. INSTALACIÓN DE IMPLANTES DENTALES SOBRE MODELO DE TRABAJO MAXILAR INFERIOR. FUENTE:AUTOR.....	23
FIGURA 14 CASOS DE ESTUDIO GENERADOS A PARTIR DE IMPRESIÓN 3D. FUENTE: AUTOR.....	24
FIGURA 15 IMPLANTE DENTAL Y HERRAMIENTA DE INSTALACIÓN. FUENTE: AUTOR.....	25
FIGURA 16. EDENTULISMO TOTAL EN MAXILAR SUPERIOR UTILIZANDO 4 IMPLANTES. MAXILAR INFERIOR EDENTULISMO PARCIAL.	25
FIGURA 17. EDENTULISMO TOTAL EN MAXILARES SUPERIOR E INFERIOR. UTILIZANDO 6 IMPLANTES EN LA PARTE SUPERIOR Y 4 IMPLANTES EN LA PARTE INFERIOR.....	26
FIGURA 18. EDENTULISMO TOTAL EN MAXILARES SUPERIOR E INFERIOR. UTILIZANDO 4 IMPLANTES EN LA PARTE SUPERIOR Y 4 IMPLANTES EN LA PARTE INFERIOR.....	26
FIGURA 19. MUESTRA DE ESCÁNER 3D CASI DE ESTUDIO 1 Y VISUALIZACIÓN DETALLADA IMPLANTE. FUENTE: AUTOR.....	27
FIGURA 20. MUESTRA DE ESCÁNER 3D CASI DE ESTUDIO 2. FUENTE: AUTOR.....	28
FIGURA 21. MUESTRA DE ESCÁNER 3D CASI DE ESTUDIO 3. FUENTE: AUTOR.....	28
FIGURA 22 MODIFICACIÓN CABEZA DE IMPLANTE EN SOFTWARE CAD. FUENTE: AUTOR.....	29
FIGURA 23. MEJORAMIENTO CAD INSTALACIÓN DE IMPLANTES.....	29
FIGURA 24. DISEÑO BARRA HÍBRIDA. FUENTE:AUTOR.....	30
FIGURA 25. DISEÑO BARRA 2 HIBRIDA. FUENTE: AUTOR.....	31
FIGURA 26. DISEÑO DE BARRA DEFINITIVO. FUENTE: AUTOR.....	31
FIGURA 27. VISTA GENERAL DE UNA BASE PARA PRÓTESIS HIBRIDA, CON BARRA IMPLANTO SOPORTADA.....	32
FIGURA 28 ENMALLADO MODELO DE TRABAJO. FUENTE: AUTOR.....	34
FIGURA 29 MUESTRA RESTRICCIONES DE DESPLAZAMIENTO BARRA-IMPLANTE. FUENTE: AUTOR.....	35
FIGURA 30 DEFORMACIÓN TOTAL SIMULACIÓN MONTAJE BARRA-IMPLANTE-MAXILAR. FUENTE: AUTOR.....	36
FIGURA 31 RESULTADO ESFUERZO DE (VON-MISES) SOBRE HUESO MAXILAR INFERIOR. FUENTE: AUTOR.....	36
FIGURA 32 RESULTADO ESFUERZO DE (VON-MISES) SOBRE IMPLANTES DENTALES. FUENTE: AUTOR.....	37
FIGURA 33 RESULTADO ESFUERZO DE (VON-MISES) SOBRE BARRA IMPLANTO SOPORTADA. FUENTE: AUTOR.....	37
FIGURA 34 RESULTADO ESFUERZO EQUIVALENTE DE (VON-MISES) SOBRE MONTAJE TOTAL. FUENTE: AUTOR.....	38
FIGURA 35 DIAGRAMA DE FLUJO PARA PLANIFICACIÓN DE PROCESO DE MANUFACTURA.....	40
FIGURA 36 DISCO DE TITANIO. FUENTE: HTTPS://IMAGES.APP.GOO.GL/EPSJONHYGPFVtes5	41
FIGURA 37 PORTAPIEZA O SISTEMA DE SUJECIÓN. FUENTE: CATALOGO HERBERT.....	42

FIGURA 38 PORTAPIEZA PARA MATERIAL DE MICRO MECANIZADO. FUENTE: CATALOGO ROHM.....	42
FIGURA 39 MÁQUINA FINITECH MODELO GTX-210 MODELO TRIDIMENSIONAL. FUENTE: AUTOR.....	44
FIGURA 40 MONTAJE DE MATERIA PRIMA EN MODELO DE MÁQUINA TRIDIMENSIONAL. FUENTE: AUTOR.	44
FIGURA 41 MONTAJE DE HERRAMIENTAS EN MÁQUINA TRIDIMENSIONAL. FUENTE: AUTOR.	45
FIGURA 42 MUESTRA PROCESO DE MECANIZADO FINALIZADO EN MATERIA PRIMA PARA OBTENCIÓN DE BARRA. FUENTE: AUTOR.	46
FIGURA 43 COMPARATIVA SIMULACIÓN DE MECANIZADO BARRA EN SOFTWARE Y BARRA MECANIZADA EN CENTRO DE MECANIZADO (ILUSTRATIVA, NO PERTENECE A MODELO REALIZADO) FUENTE: AUTOR.	46

RESUMEN

La utilización de tecnologías CAD/CAE/CAM para el desarrollo y fabricación de componentes de implantología oral en la rehabilitación de pacientes edéntulos, es algo que en la actualidad está reformando el proceso de fabricación habitual. Dentro de este trabajo encontrara descrito como es el proceso actual de fabricación y obtención de una barra soporte para prótesis híbridas implanto soportadas, utilizado en el laboratorio de tecnología dental de la Universidad Santo Tomás sede Bucaramanga, que genera un primer acercamiento a este proceso de fabricación convencional, seguido a esto se hace una propuesta de mejoramiento a este proceso de fabricación por medio de la utilización de nuevos recursos tecnológicos. Fue suministrado casos de estudio reales con los cuales se realiza la obtención de un modelo tridimensional por medio de un escáner y un modelo CAD para su debida modificación y análisis. De igual forma se tiene como objetivo el diseño hacia manufactura de la barra soporte para prótesis híbridas implanto soportadas a la cual se le efectuara un análisis de elementos finitos que busca determinar la mejor geometría, hacer claros los puntos críticos presentes ya que en muchos casos, el protocolo y definición de carga para un estudio de rehabilitación oral no puede satisfacer las necesidades de pacientes y profesionales, por lo que el análisis CAE es un área importante de la investigación actualmente. Se muestra una planificación del proceso de manufactura para la fabricación de la barra soporte en el centro de mecanizado de la Universidad Santo Tomás sede Bogotá, dejando una muestra de la simulación por medio de un software CAM dando una viabilidad concreta a la ejecución de este proceso y generando alternativas de estudio.

GLOSARIO

Manufactura sustractiva: En la fabricación sustractiva, el diseño se reproduce eliminando el material innecesario de una pieza sólida y singular de metal, plástico, madera, vidrio o materiales compuestos [1].

Manufactura Aditiva (AM): La Manufactura Aditiva (Additive Manufacturing) proceso de unir materiales para hacer objetos a partir de datos de modelos 3D, generalmente capa sobre capa, en contraposición a las metodologías de fabricación sustractiva [2].

Mecanizado: Es el proceso de fabricación mediante el cual se pueden producir piezas a las dimensiones deseadas y acabado superficial de una pieza en bruto mediante la eliminación gradual del exceso material en forma de virutas con la ayuda de una herramienta de corte afilada [3].

CAD: (computer-aided design) Software que ayuda a los usuarios a crear diseños en 2D o 3D para que puedan visualizar la construcción. Permite el desarrollo, modificación y optimización del proceso de diseño [4].

Nuevo modelo CAD: Se genera un nuevo modelo CAD, que muestra la forma del resto del material necesario para producir la nueva pieza. Basado en las características geométricas de la pieza existente y la nueva pieza requerida, se selecciona una estrategia de fabricación factible. Los procesos aditivos, sustractivos o de inspección [5].

CAE: La ingeniería asistida por ordenador (CAE) consiste en el uso de software para simular el rendimiento con el objetivo de mejorar los diseños de los productos o de contribuir a la resolución de problemas de ingeniería para sectores muy diversos. Incluye la simulación, la validación y la optimización de productos, procesos y herramientas de fabricación [6].

CAM: (Computer Aided Manufacturing) es el uso de software y maquinaria controlada por computadora para automatizar un proceso de fabricación [7].

Diseño y fabricación elementos odontológicos: los elementos o piezas implementadas para uso odontológico, por lo general son piezas con geometrías complejas que requieren el uso de tecnologías y herramientas especializadas tanto para su diseño y su fabricación. Cabe destacar que muchos de los procesos para diseño ya sea de un diente o una prótesis completa genera la fusión de un método tradicional y nuevas tecnologías.

1. INTRODUCCIÓN

El edentulismo es la pérdida de dientes, ya sea de manera parcial o total. Generalmente esta patología se asocia a personas mayores. En la actualidad, la implantología oral constituye una modalidad terapéutica en el tratamiento protodóntico de los pacientes mayores edéntulos totales [8]. La población edéntula completa comprende más del 10% de la población adulta y está directamente relacionado con la edad del paciente. A la edad de 70 años, casi el 45% de la población no tiene dientes en ninguno de los dos maxilares. La gran mayoría de estos pacientes son tratados con prótesis total removible. Sin embargo, la profesión dental y el público son más conscientes de los problemas asociados con una prótesis de dentadura mandibular completa removible (figura 1), que con cualquier otra modalidad de prótesis dental [9]. Ya que en estas prótesis radica en su inestabilidad a la hora de comer o hablar, por lo que el paciente al final recurre a fijarlas con unos “pegamentos” indicados para este tipo de casos, con el inconveniente que todo esto supone.



Figura 1. Prótesis completa removible. Fuente: <https://bq dentalcenters.es/wp-content/uploads/protesis-dentadura-postiza.jpg>

La selección del tipo de prótesis se da a partir de una evaluación odontológica, en la cual se aconsejará al paciente el tipo de prótesis más adecuado, dependiendo de si necesita reemplazar algunas piezas dentales o por otra parte el reemplazo total de su dentadura, a su vez de un conjunto de características propias y su valor. A continuación, se nombran algunos de ellos: Prótesis dentales fijas, prótesis dentales removibles, prótesis removible mixta, prótesis dentales parciales, prótesis dentales híbridas implanto soportadas (Figura 2).



Figura 2 Tipos de prótesis dental. Fuente: <http://slimbelle.es/tipos-protesis-dentales/>

Las prótesis híbridas implanto soportadas consisten en la integración de dos o más tecnologías avanzadas de Fabricación, se realizan mediante estructuras de metal diseñadas y fabricadas con CAD/CAM dental, recubiertas a su vez con dientes de resina. La combinación de polímeros y cerámicas o polímeros y materiales metálicos (o aleaciones metálicas) permite un salto significativo en el desarrollo y producción de una gran diversidad de componentes y aplicaciones [10]. Este tipo de prótesis son una opción a tener en cuenta en el tratamiento de rehabilitación sobre implantes permitiendo al paciente tener unos dientes fijos completamente adaptados a su dentadura. De esta forma, el paciente no solo recupera la estética perdida sino también la función masticatoria [11].

Las prótesis híbridas implanto soportadas que se usan en la rehabilitación oral de pacientes edéntulos, utilizan como mecanismo de sujeción una barra soporte que está constituido por un núcleo metálico (titanio o cromo-cobalto)., el cual es un elemento complejo que requieren de la manufactura en máquinas de cinco grados de libertad (manufactura multieje). Actualmente en el programa de tecnología en laboratorio dental, de la Universidad Santo Tomás, sede Bucaramanga, se fabrican la barra para prótesis híbridas implanto soportadas utilizando procesos de manufactura convencionales por el proceso colado o fundición. Un proceso que se ha manejado a lo largo de los años sin variación. Lo que genera que el proceso de fabricación sea lento, en su proceso de conformado. Por lo tanto, se busca incluir las nuevas tecnologías CAD/CAE/CAM en el proceso de fabricación que ya son usadas a nivel mundial pero que en Colombia no está apropiado y extendido en esta

área lo que conlleva a una mejora de tipo estructural, procesos, precisión, entre otros. Actualmente, desde los sectores industriales más avanzados hasta los más tradicionales, han incorporado los centros de mecanizado, beneficiándose de las ventajas que ofrecen [12].

El beneficio de implementar tecnologías CAD/CAE/CAM en el proceso actual de fabricación de barras para prótesis híbridas nos conlleva a una mejora tanto en su calidad, precisión y acabado de la misma, implementando también un estudio de comportamiento a partir de un análisis de elementos finitos con el cual se puede detectar futuros fallos o puntos críticos en la barra. Otro de los factores primordiales es el beneficio en tiempo con el que se puede ejecutar el proceso de fabricación. En la actualidad, las estructuras dentales se encuentran sometidas a grandes exigencias de durabilidad, empleo de nuevos materiales y a innovadoras tecnologías de elaboración, provocando un incesante número de investigaciones que intentan dar respuesta a estas exigencias

Como aporte de la ingeniería mecánica al programa de Tecnología en Laboratorio Dental, se muestra una alternativa de nuevas tecnologías que se implementadas actualmente en los procesos de manufactura, con los cuales se puede sustituir un método tradicional en la obtención de la barra, en pro de nuevos conocimientos. Provocando que los procesos convencionales empleados en las fases de un proceso de implantología oral sean realizados de forma digital, suponiendo una auténtica revolución en el sector [13].

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el diseño para manufactura de una barra soporte para prótesis híbridas implanto soportadas utilizando tecnologías CAD/CAE/CAM.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Generar modelo 3D de la barra soporte para una prótesis híbrida implanto soportada.
- Validar el comportamiento mecánico de la barra por medio de un software de elementos finitos.
- Planificar el proceso de manufactura en el centro de mecanizado vertical de la Universidad Santo Tomás.

3. OBTENCIÓN DEL MODELO VIRTUAL DE BARRA SOPORTE PARA PRÓTESIS HÍBRIDA

3.1 Barra soporte para prótesis implanto soportada

Es una estructura la cual se fabrica con el fin de dar seguridad, soporte y ajuste en el momento de colocar la prótesis dental. La barra soporte (Figura 3) se ajusta por medio de tornillos los cuales se sujetan a los implantes dentales ya instalados en el maxilar sea superior o inferior, dependiendo del caso de estudio en cual se está trabajando.

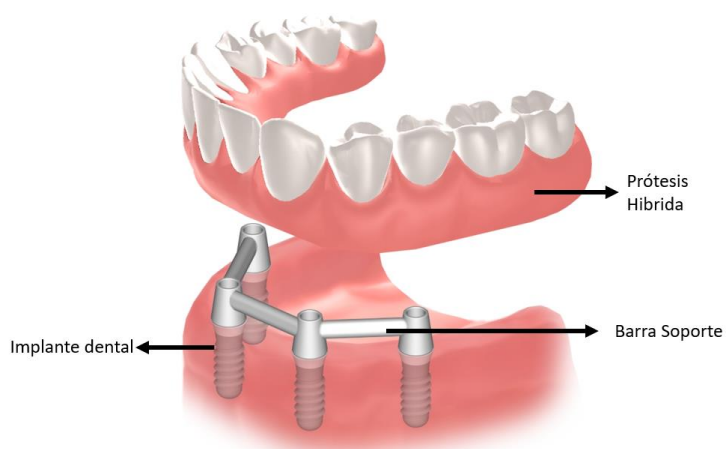


Figura 3 Prótesis híbrida implanto soportada con barra soporte. Fuente: <https://images.app.goo.gl/KnBcKBjW9yU3sbyAA>

3.2 Diagrama de flujo proceso obtencion de barra soporte en la USTA

El diagrama expuesto en la figura 4, describe el proceso actual implementado por los estudiantes de Tecnología en laboratorio dental de la USTA, para llevar a cabo el proceso de fabricación y obtención de la barra soporte para prótesis dentales híbridas. Este basado en un proceso tradicional a nivel odontológico donde se describe cada paso detalladamente, hasta finalmente llegar a un proceso de fabricación convencional de fundición, nombrado anteriormente.

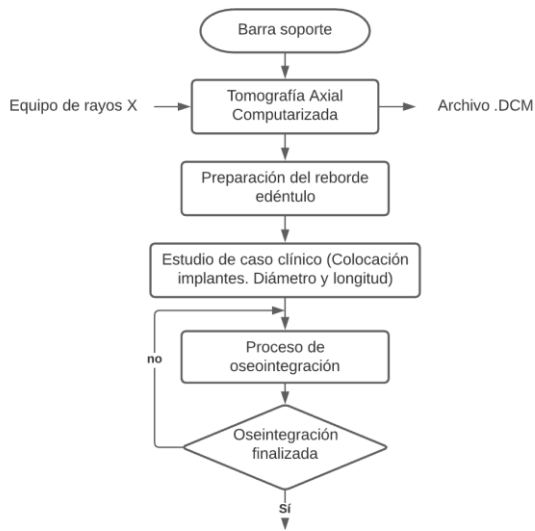


Figura 4 Proceso de fabricación actual en taller de técnica dental USTA Bucaramanga. Fuente: Autor.

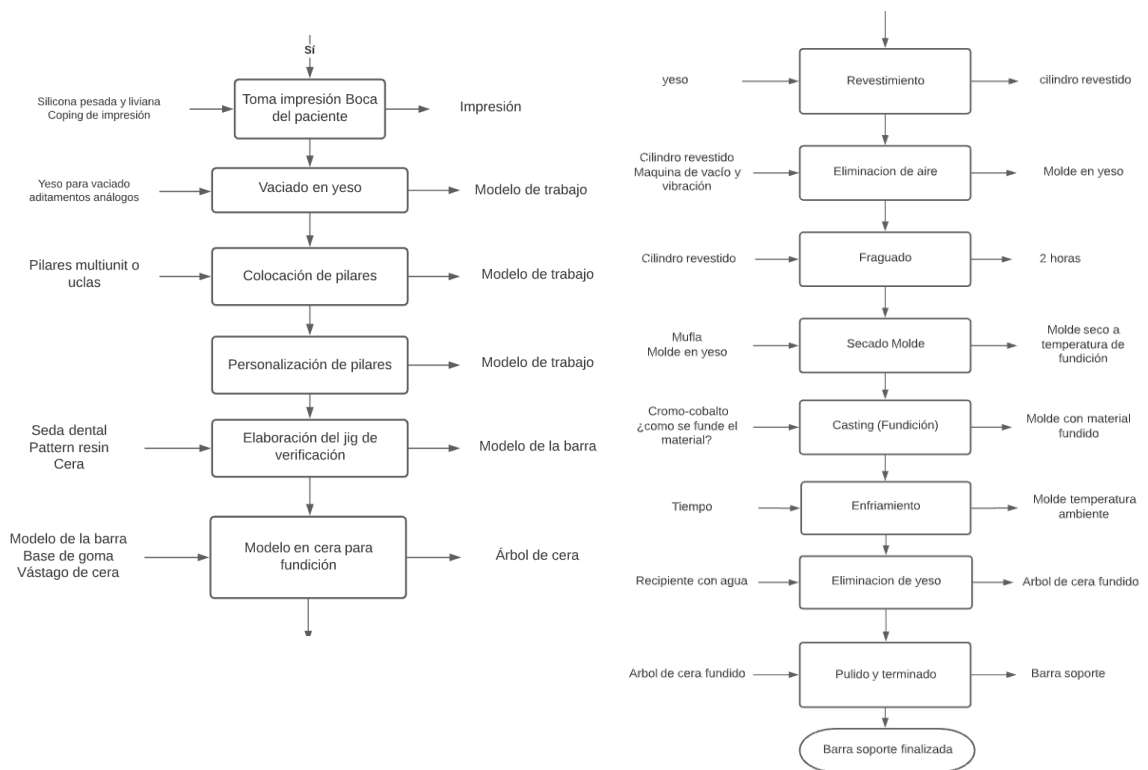


Figura 5. Continuación diagrama de flujo del proceso de fabricación. Fuente: Autor.

3.3 Propuesta de diseño de barra soporte

Como parte del trabajo, se crea un diagrama de flujo nuevo con el cual se busca mejorar el proceso de fabricación a partir de la inclusión de nuevas tecnologías y una nueva metodología, de igual forma lograr hacer una comparativa y de esta forma visualizar la diferencia entre el proceso de fabricación actual y el propuesto.

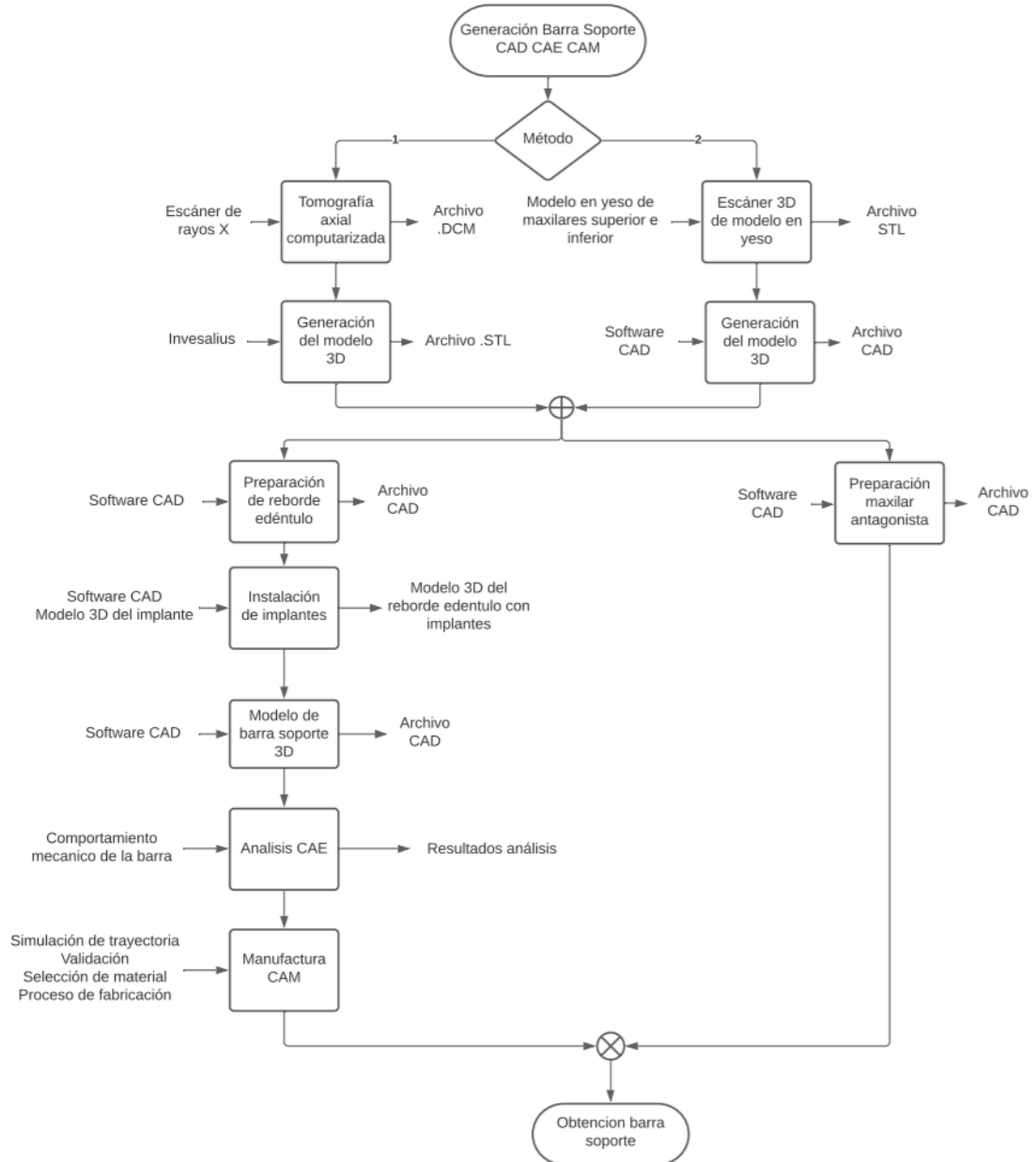


Figura 6. Diagrama de flujo del proceso de fabricación Propuesto. Fuente: Autor

Como se muestra dentro del diagrama de flujo expuesto en la figura 5 y figura 6, se exponen dos metodologías o alternativas para realizar el proceso de obtención de un modelo de trabajo 3D en software CAD. La primera consiste en un proceso de reconstrucción a partir de tomografías computacionales guardadas en archivos DCM o formato original, donde con la ayuda de un software se puede generar una combinación de esta imagen y obtener una visualización previa de las mismas. Es un proceso que conlleva mayor tiempo ya que las imágenes no son 100% claras, por el contrario, se busca poder mejorar este primer resultado con ayudas del mismo software, para finalmente poder obtener un modelo de trabajo sin distorsión en la imagen o puntos que no estén completos dentro la imagen, este tiempo puede variar según la calidad de imagen original arrojada por los archivos DCM, cabe resaltar que no todo proceso de reconstrucción es igual, ya que depende de la constitución morfológica y ósea de la persona. Por otra parte, se muestra un método de scanner 3D con la ayuda de modelos impresos en yeso, con el cual a partir de un scanner se puede obtener un modelo de trabajo 3D dentro de un software, el proceso es más corto a comparación del primer método expuesto. Ya que con esto se toma el modelo en yeso sobre una superficie plana y una base giratoria, de tal manera que al momento de hacer el scanner se pueda realizar 360°. Es un método que por modelo lleva aproximadamente 30 minutos haciendo la respectiva modificación y corrección en el software del scanner. La diferencia de tiempo entre ambos procesos muestra una gran diferencia. La selección de alguno de los dos métodos para la obtención de un archivo 3D es totalmente válido y aceptable, su diferencia se refleja en la duración de cada uno.

3.4 Recopilación de imágenes maxilar superior e inferior edéntulo a partir de scanner 3D.

Los escáneres 3D portátiles de Artec han llevado a importantes desarrollos en la industria médica de la salud, convirtiéndose en una etapa clave en el tratamiento de diferentes condiciones. El escaneo portátil es irremplazable en numerosas aplicaciones médicas, por ejemplo, en el diseño y creación de prótesis y órtesis, las cuales requieren que la anatomía individual de cada paciente sea tenida en cuenta. Un escáner 3D de luz estructurada son seguros de usar en el escaneo de personas y tienen la habilidad de producir resultados extremadamente precisos [14].

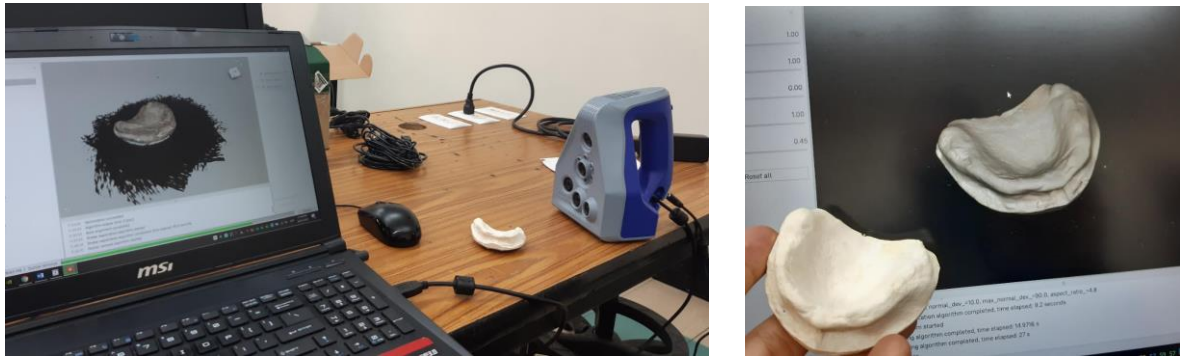


Figura 7. Proceso manual e implementación de scanner 3D. Fuente: Autor

La Universidad Santo Tomás cuenta con este equipo para ayuda y desarrollo de cada uno de los estudiantes, por esto se llega a implementar dentro del desarrollo del presente proyecto (Figura 7). La visualización detallada de estos modelos de forma computacional genera una gran ventaja de análisis mejorando el resultado tanto en el proceso de modelamiento CAD, vista general del reborde edéntulo, así como en el diseño tanto de una barra soporte para prótesis y el uso de implantes dentales. La Figura 8 muestra una comparativa entre la fotografía original del modelo en yeso y una imagen del mismo dentro del software del escáner. Los modelos computacionales obtenidos presentan una similitud total con los modelos físicos.

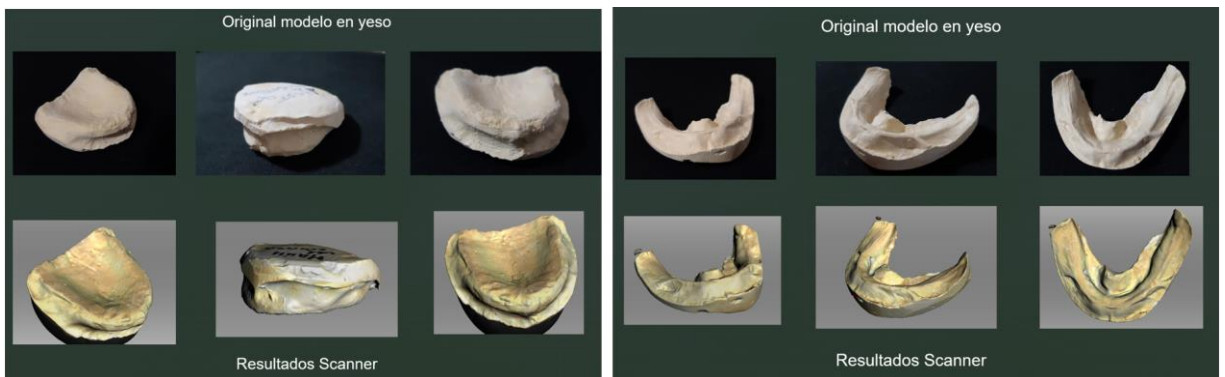


Figura 8. Edentulismo total maxilar superior. Fuente: Autor

3.5 Obtención Modelo CAD utilizando scanner 3D y definición de casos de estudio.

Dentro del proceso encontramos el scanner realizado a tres modelos de trabajo, dos totalmente edéntulos tanto maxilar superior como inferior y un modelo con un edentulismo superior y un edentulismo parcial en la parte inferior.

3.5.1 Caso 1 Edentulismo total en maxilar superior utilizando 4 implantes. Maxilar inferior edentulismo parcial, figura9.

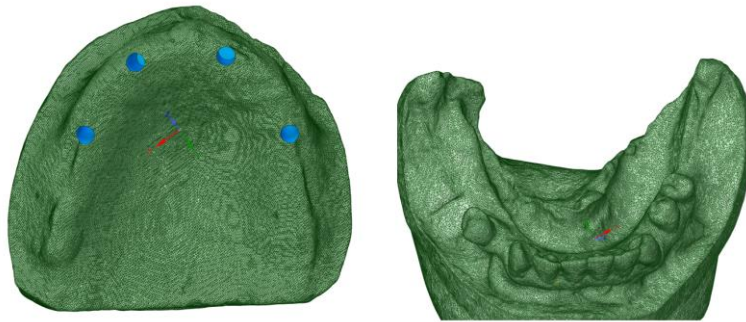


Figura 9 Muestra caso estudio 1. Fuente: Autor.

3.5.2 Caso 2 Edentulismo total en maxilares superior e inferior. Utilizando 6 implantes en la parte superior y 4 implantes en la parte inferior, figura10.

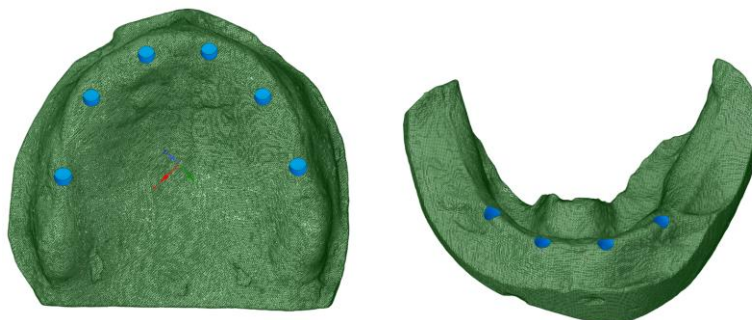


Figura 10 Muestra caso estudio 2. Fuente: Autor.

3.5.3 Caso 3 Edentulismo total en maxilares superior e inferior. Utilizando 4 Implantes en la parte superior y 4 implantes en la parte inferior, figura11.

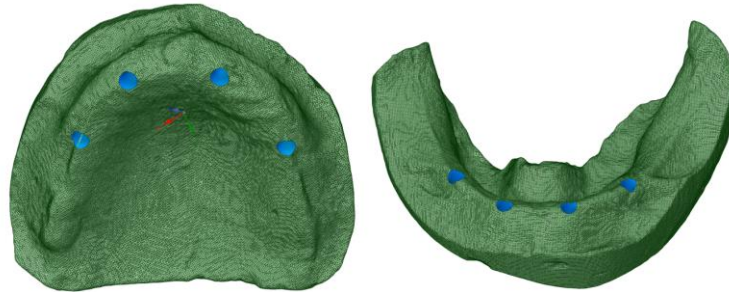


Figura 11 Muestra caso estudio 3. Fuente: Autor.

3.6 ubicación de implantes en maxilar.

En primer lugar, se define la cantidad de implantes que se colocarán ya que influirá en el diseño de la prótesis. El número de implantes vendrá determinado tanto por la biomecánica de la prótesis como por la ubicación de la misma, en la mandíbula o en el maxilar superior. Si se trata de una prótesis implanto soportada serán necesarios al menos cuatro implantes distribuidos de forma correcta. Sólo si han quedado situados anteriormente y la extensión anteroposterior de la barra es poca se comportará biomecánicamente como una prótesis implantomucosoportada. Esta es una prótesis de quitar y poner (removible). Consiste en una parte fija que va unida al implante y que se adapta a la prótesis mediante un sistema de sujeción por dos partes macho/hembra. La clave que marca la biomecánica en ambas maxilares es que, cuando se pretenda una sobre dentadura implanto soportada, será imperativo disponer de implantes tanto en el sector anterior como en ambos sectores posteriores y, además, que la distancia existente entre el implante más distal y el más anterior en ambos lados sea igual o mayor que la longitud del extremo libre respectivo. Siempre que se cumpla este precepto, la prótesis será implanto soportada [15]. La figura 12 ilustra la terminología utilizada para definir cada zona, presentes en el maxilar.

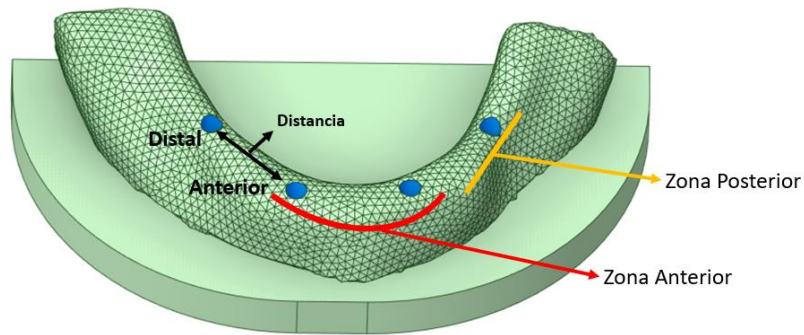


Figura 12. Modelo maxilar inferior con señalamiento de zonas. Fuente: Autor

La construcción de prótesis completas implanto soportadas requiere una minuciosa planificación de los procesos terapéuticos tanto quirúrgicos como protésicos. El número y la localización de los implantes, así como la conformación del cuerpo de la prótesis y la oclusión deben realizarse teniendo en cuenta los factores anatómicos, funcionales e higiénicos. El comportamiento estático-dinámico define la elección del elemento de retención [16].

Después de tener los modelos de trabajo con guías de agujero o perforación para la instalación de implantes, se procede a realizar este proceso en el modelamiento CAD. La figura 13 muestra como es el proceso de instalación de los implantes sobre el modelo de trabajo (maxilar inferior), donde se observa los implantes de color amarillo y cada perforación respectiva de color naranja. De igual forma se observa el proceso de instalación finalizado.

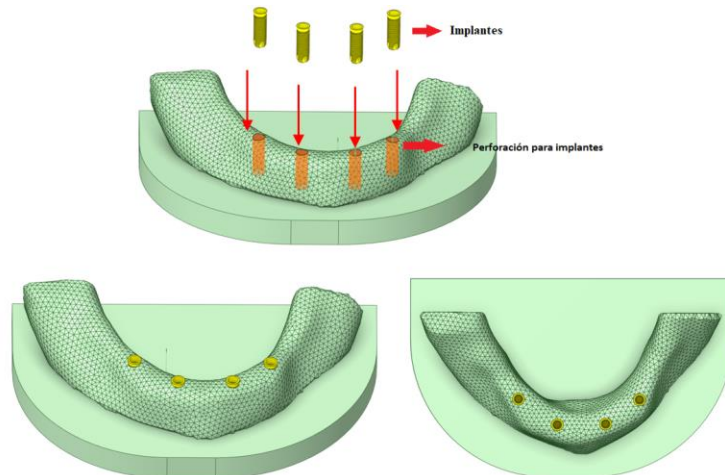


Figura 13. Instalación de implantes dentales sobre modelo de trabajo Maxilar Inferior. Fuente: Autor

3.7 Impresión 3D de maxilares edéntulos con agujeros guía

Posterior a la realización de los casos de estudio en software CAD y selección de la posición de implantes, se procede a realizar la impresión 3D de estos casos Figura 14. Para esto se hace uso de la impresora Zortrax M200 disponible en las instalaciones de la Universidad Santo Tomás Utilizando un material o filamento ABS. La finalidad de imprimir estos casos, es hacer la instalación de implantes dentales de forma manual como se muestra la Figura 16,17, 18. De igual forma, mostrar una alternativa de generar modelos de estudio obtenidos a partir de un software CAD implementando una nueva tecnología, una de las ventajas de este proceso es poder obtener el modelo de forma continua o repetida las veces que sea necesaria su impresión. Es un proceso que por archivo de impresión puede tardar entre 2 a 3 horas en este caso, para una geometría distinta dependiendo las dimensiones, complejidad de la pieza el proceso puede llevar mayor o menor tiempo.

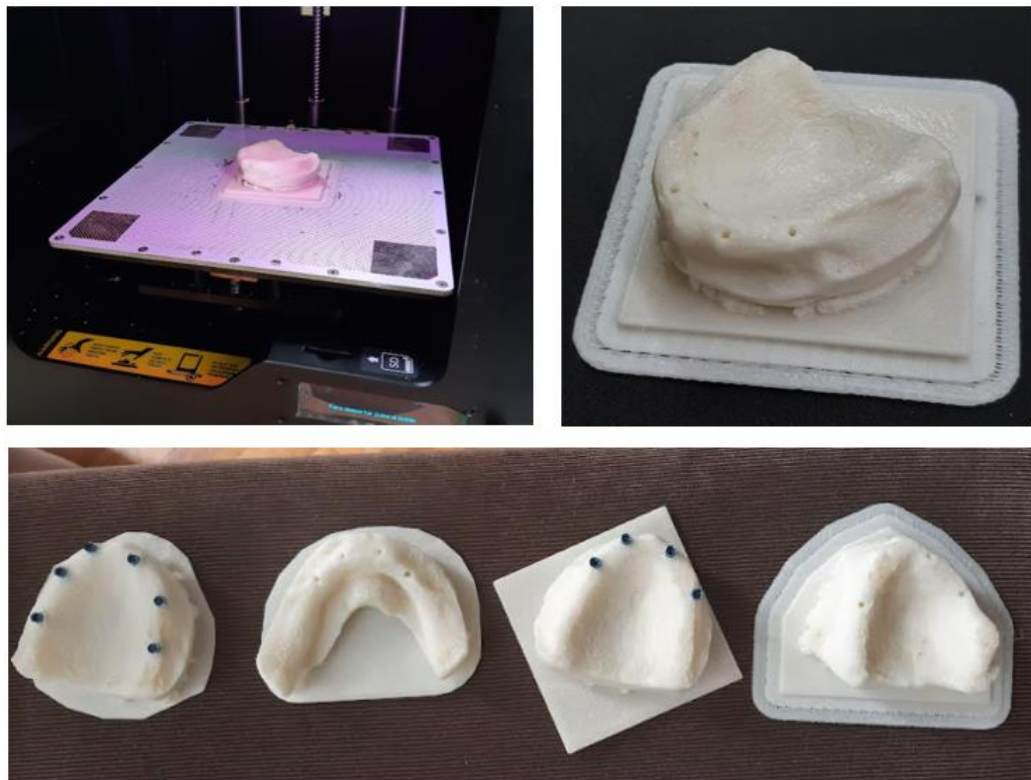


Figura 14 Casos de estudio Generados a partir de impresión 3D. Fuente: Autor.

3.7.1 Instalación de implantes en impresión 3D casos de estudio.

Con la obtención de los casos de estudio a partir de la impresión 3D, se hace la instalación de los implantes dentales suministrados por la empresa IMERBIONIC S.A (figura 15). lo cuales tienen una dimensión de 10mm de largo por un diámetro de 3.5 mm y una herramienta de instalación también suministrada. En total se hace uso de 22 implantes para los 3 casos de estudio para un total de 5 modelos. 3 para maxilar superior y 2 modelos para maxilar inferior, cada uno con sus respectivos implantes.



Figura 15 Implante dental y herramienta de instalación. Fuente: Autor.

Caso de estudio 1, Fotografía modelo impreso.

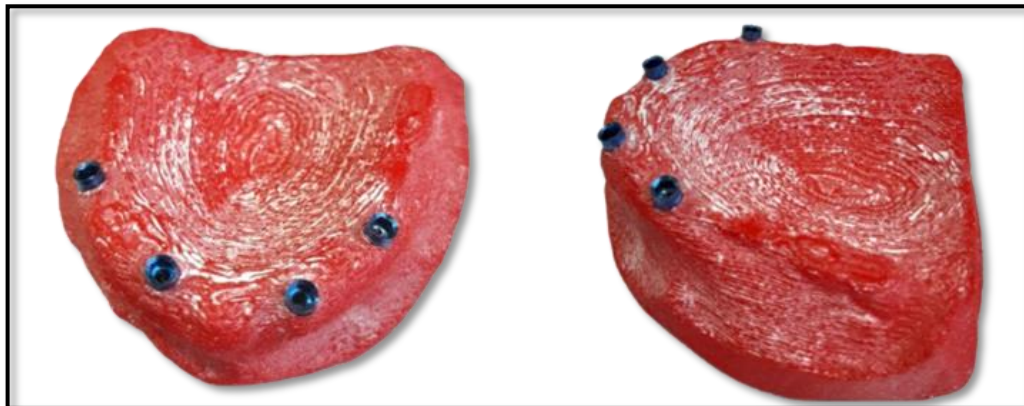


Figura 16. Edentulismo total en maxilar superior utilizando 4 implantes. Maxilar inferior edentulismo parcial.

Caso de estudio 2, Fotografía modelo impreso.

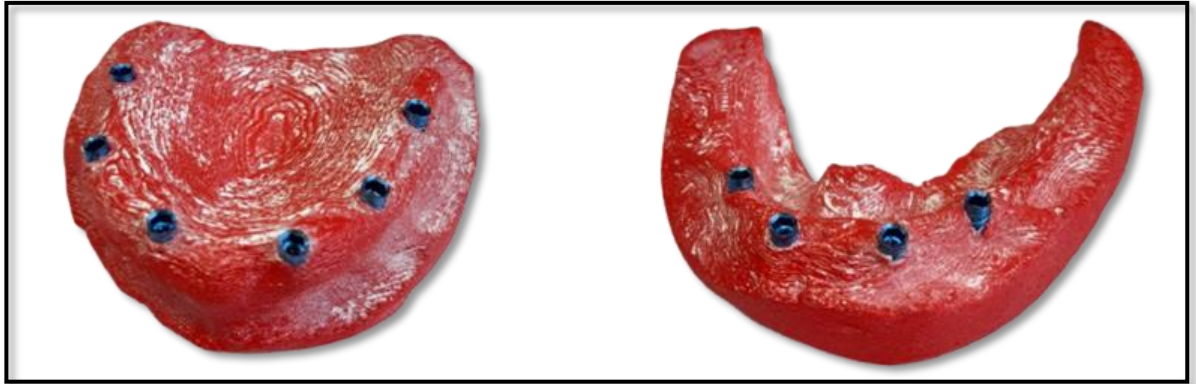


Figura 17. Edentulismo total en maxilares superior e inferior. Utilizando 6 implantes en la parte superior y 4 implantes en la parte inferior.

Caso de estudio 3, Fotografía modelo impreso.

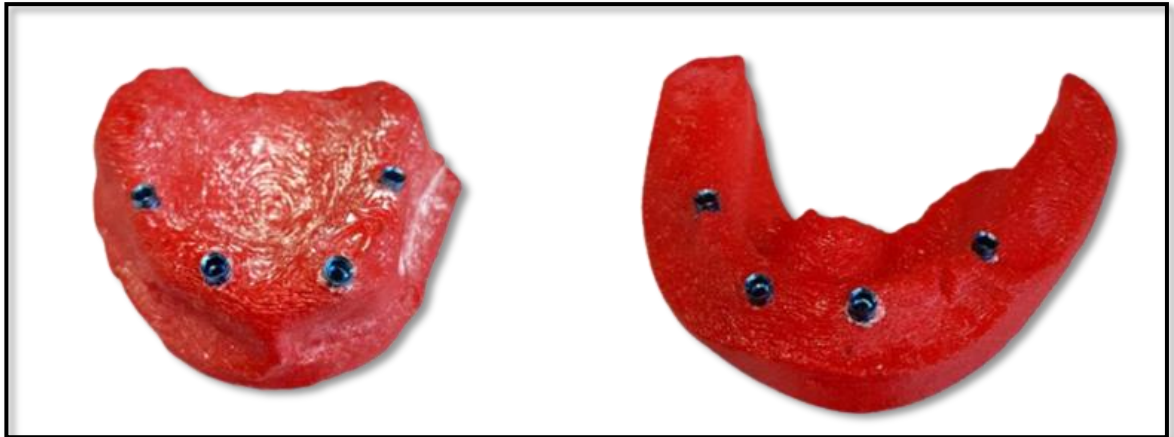


Figura 18. Edentulismo total en maxilares superior e inferior. Utilizando 4 Implantes en la parte superior y 4 implantes en la parte inferior.

3.8 Escáner de modelos impresos con instalación de implantes.

La realización de un segundo escáner para los casos de estudio impresos ya con una instalación de implantes dentales, se da para observar de forma tridimensional en un software CAD la posición correcta de dicho implante y de esta forma poder ubicar, diseñar y generar de forma acertada una barra soporte para prótesis híbridas.

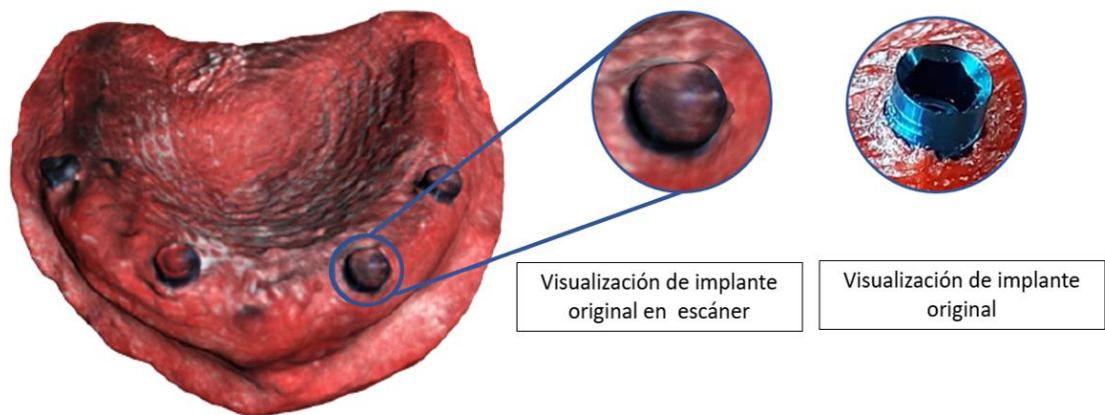


Figura 19. Muestra de escáner 3D casi de estudio 1 y visualización detallada implante. Fuente: Autor.

Dentro de la figura 19 se hace la muestra del primer caso de estudio sobre un maxilar superior el cual cuenta con 4 implantes dentales. Partiendo de las imágenes obtenidas por el escáner, se visualiza que no se logra evidenciar claramente la geometría de los implantes instalados en los modelos de impresión 3D, esto debido a la reflexión de la luz generada por la luz del escáner contra el implante, ya que este tiene un brillo o cromo que no hace posible una visualización clara del implante al momento de generar el escáner. De igual manera se muestra la visualización original del implante instalado en el modelo impreso y se observa la diferencia de detalle respecto al realizado por el escáner. Este error está presente en cada uno de los casos de estudio mostrado en la figura 20 y figura 21.

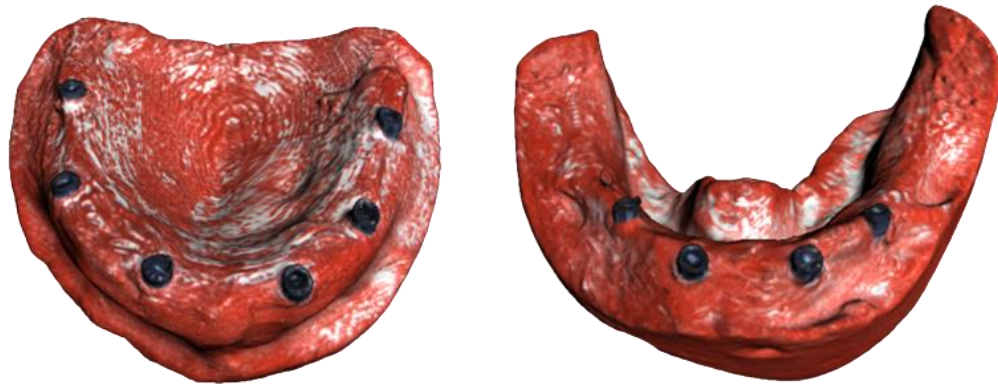


Figura 20. Muestra de escáner 3D casi de estudio 2. Fuente: Autor.

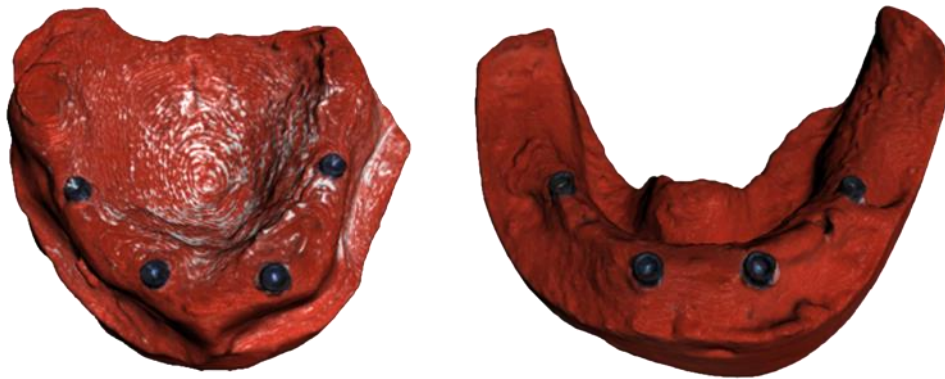


Figura 21. Muestra de escáner 3D casi de estudio 3. Fuente: Autor.

3.8.1 Mejoramiento CAD escáner detalle.

Para hacer un mejoramiento dentro de cada uno de los casos de estudio se toma software CAD, se evidencian los puntos del implante y se procede a realizar una modificación. El software permite realizar modificaciones en cualquier parte del modelo, por lo cual se hace una eliminación de las áreas de instalación de los implantes. La figura 22 muestra el proceso de alineación y una vista parcial generada para corregir y mostrar la correcta visualización de los implantes en cada uno de los casos de estudio.

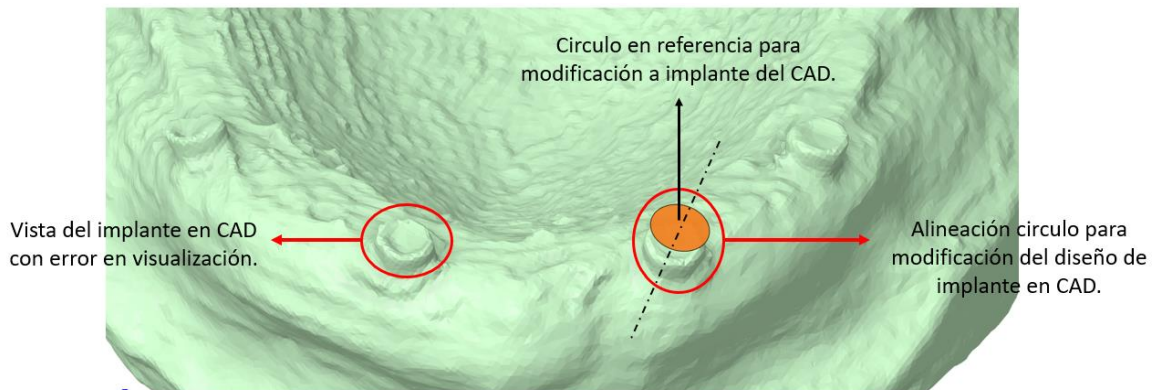


Figura 22 Modificación cabeza de implante en software CAD. Fuente: Autor.

Como se observa en la figura 22, se dibuja un círculo (color naranja) sobre el CAD del modelo en el área de que fueron instalados los implantes, para obtener el centro y eje de orientación del implante. Al obtener este círculo de forma paralela con la cara del implante mostrado por el CAD, se hace una eliminación del error o disminución en el área en la cual va la cabeza del implante, para después ser generado de forma correcta con la misma altura y dimensión. En la figura 23 se muestra la corrección del error y vista completa de cada cabeza de implante.

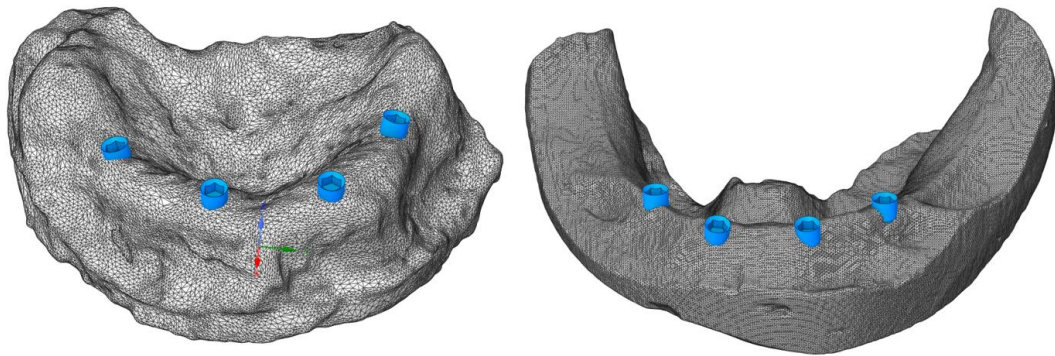


Figura 23. Mejoramiento CAD instalación de implantes

Al ser este un punto primordial para la realización del diseño de la barra, es importante poder evidenciar correctamente la posición de los implantes. En estos se encuentra información como lo son el ángulo al cual se instaló el implante, la distancia entre implantes anteriores y posteriores y la altura de la cabeza del implante. Al no ser una superficie regular, se van a tener cambios tanto en alturas

como en los ángulos de instalación, ya que estos dependen de la constitución ósea del paciente y esta varía para cada caso de estudio.

3.9 Diseño Barra Soporte

Se genera un diseño para cada barra, el cual consta de una variación en los perfiles geométricos, la angulación y puntos de contacto, así como altura y grosor de la misma. Con base en el modelo de cada caso de estudio, se genera una extrusión desde la cabeza de cada implante en forma de círculo, seguido a esto se genera un plano que busca ser perpendicular al modelo de trabajo, se ajusta la altura a la cual se quiere realizar el diseño de la barra, se eliminan las partes de la extrusión que no va a ser utilizada y se traza una línea por el punto central de cada cilindro. Al tener los 4 puntos de cada centro, se procede a dibujar el perfil de diseño para la barra, cuando este se define, se realiza un spline que guiará el perfil dibujado y genera un sólido sobre esta trayectoria. Para la parte que une la barra con la cabeza del implante, se hacen operaciones de redondeo y bisel que harán que esta sienta de forma pasiva sobre el implante. Ya que no se utilizará ningún método de unión sino un contacto directo entre barra-implante. La figura 24 muestra un primer diseño de barra soporte.

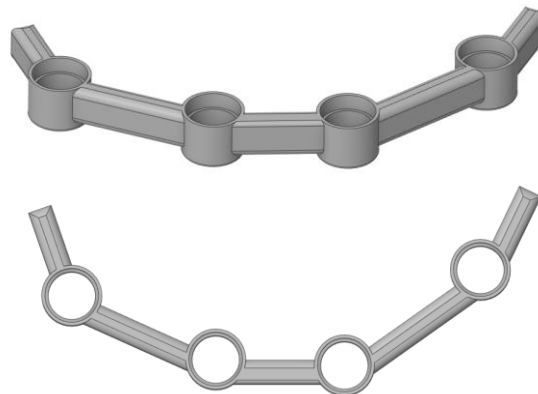


Figura 24. Diseño Barra híbrida. Fuente: Autor

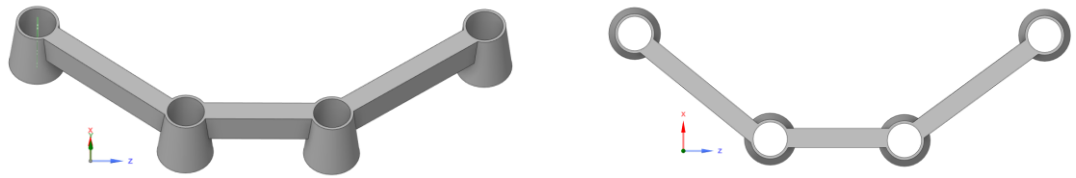


Figura 25. Diseño Barra 2 hibrida. Fuente: Autor.

La figura 25 muestra nuevamente un diseño de barra soporte, variando su perfil y geometría. Después de hacer diferentes comparaciones entre los perfiles, geometrías, diseños, secciones y detalle de cada barra, se llega al diseño que será implementado para la colocación en el caso de estudio, su respectivo análisis y de igual forma la simulación de trayectoria para una posterior fabricación. La barra está diseñada para sentar de forma pasiva sobre el implante ya instalado y la cual será sujeta por un tornillo que la mantendrá firme y en su posición. En este caso se muestra una barra implanto soportada figura 26, instalada en un maxilar inferior con un edentulismo total y en el cual se hizo la instalación de 4 implantes dentales figura 27.

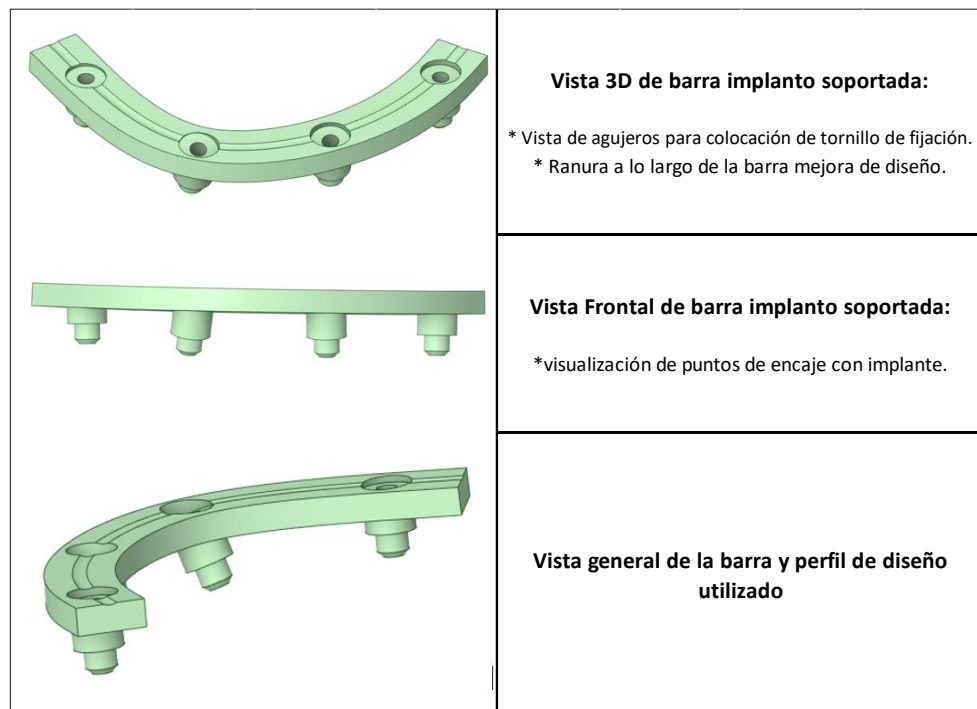


Figura 26. Diseño de barra definitivo. Fuente: Autor.

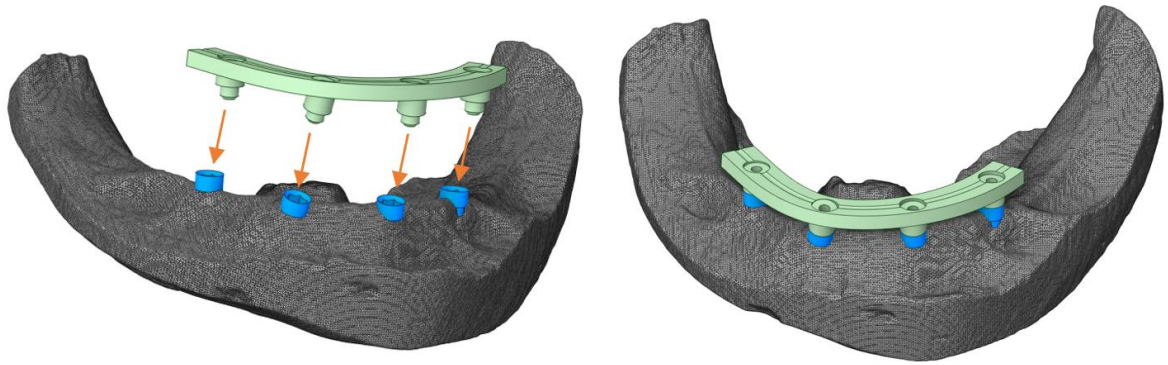


Figura 27. Vista general de una base para prótesis híbrida, con barra implanto soportada.

Una ventaja a la hora del diseño a comparación del método general utilizado para la fabricación de estas barras (fundición), es poder generar una geometría variando el perfil de diseño, la trayectoria o angulación que deba tener y de igual forma una mejor terminación, tanto a detalle como la calidad. Cabe resaltar que previo a la colocación de la estructura metálica, se requiere la correcta fijación de los implantes en la estructura ósea, este tiempo depende si se trabaja ya sea el maxilar superior o inferior.

4. DISEÑO DE BARRA SOPORTE POR MEDIO DEL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS

Los elementos finitos están conectados entre sí por puntos, que se llaman nodos o puntos nodales. Al conjunto de todos estos ítems – elementos y nodos se lo denomina malla. Debido a las subdivisiones de la geometría, las ecuaciones matemáticas que rigen el comportamiento físico no se resolverán de una manera exacta, sino aproximada por este método numérico. La precisión de los Métodos Elementos Finitos depende de la cantidad de nodos y elementos, del tamaño y de los tipos de elementos de la malla. Por lo tanto, cuanto menor sea el tamaño y mayor el número de elementos en una malla, más precisos serán los resultados del análisis [17].

4.1 Modelo del montaje de barra soporte y propiedades de materiales

La barra soporte se ajusta por medio de tornillos los cuales se sujetan a los implantes ya colocados en el maxilar ya sea superior o inferior, dependiendo del caso de estudio en el cual se está trabajando. Diferentes investigaciones han encontrado un gran rango de valores de FM (fuerza de mordida). En los cuales se encuentra un rango entre los 114 N y los 727 N dependiendo su edad y si esta se encuentra asociado alguna patología. Sin embargo, si sólo revisamos datos aislados como los anteriores, podríamos plantear conclusiones superficiales en cuanto a los factores que influyen en la FM [18]. Al conocer estos conceptos teóricos se busca realizar un análisis por medio del método de elementos finitos para conocer el comportamiento de la barra para prótesis implanto soportada bajo cargas oclusales, Las propiedades mecánicas para cada cuerpo que conforma el modelo fueron recopiladas de diferentes estudios técnicos reportados y validados en literatura especializada, tomando como caso de estudio la fuerza de mordida de una mujer adulta la cual puede llegar a ser 210 N [19].

Tabla 1. Propiedades mecánicas materiales

Material	Modulo elasticidad (Gpa)	Relación de poisson	Limite elástico (Mpa)
Hueso Cortical	20	0.295	125
Aleación Cromo Cobalto	240	0.29	625
Titanio	110	0.36	930

Los valores son tomados desde el software de análisis ANSYS.

4.2 Enmallado del modelo

En el enmallado del modelo de trabajo figura 28, consta de un total de 440.827 nodos, y elementos 307.593. Para el modelo de la barra soporte se generó un mallado utilizando modelos tetraédricos y una medida de 0,8 mm por cada elemento para así obtener resultados más claros y de mayor información en el análisis.



Figura 28 Enmallado modelo de trabajo. Fuente: Autor.

Para los implantes dentales y hueso se utilizaron modelos tetraédricos con medida de 0.5 mm por elemento.

4.3 Restricciones de desplazamiento

Para la simulación se restringieron los desplazamientos y las rotaciones para el hueso cortical en la superficie del plano de corte para simular su fijación con el total de la mandíbula, los diferentes contactos empleados para la barra con el hueso cortical se aplicaron en base a artículos donde se especifica que los contactos mecánicos que más se asemejan a una situación de la vida real es el contacto tipo BONDED para no permitir el desplazamiento o la separación de la barra con el hueso cortical que se está simulando, estos contactos se aplicaron como se ve en la figura 29 siendo las zonas de contacto.

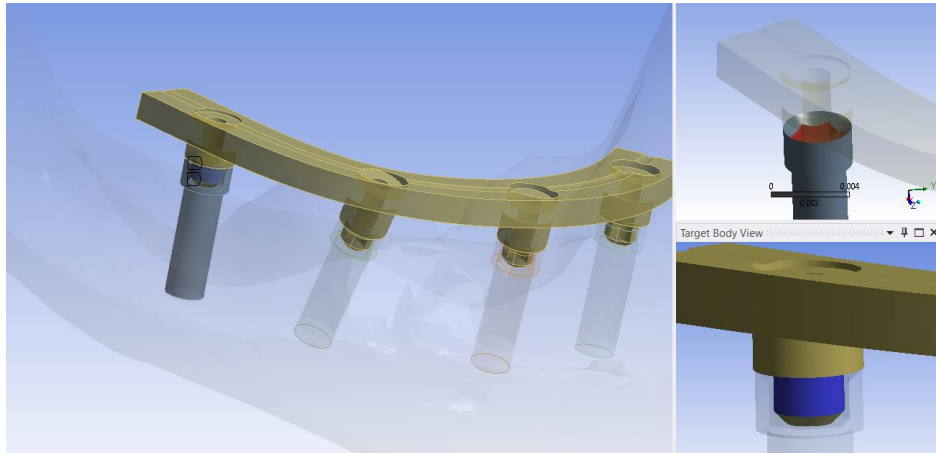


Figura 29 Muestra restricciones de desplazamiento barra-implante. Fuente: Autor.

4.4 Condiciones de frontera

Se proporcionó las relaciones dadas a la geometría, para que el modelo se encontrara en equilibrio frente a la aplicación de cargas. A la simulación por elementos finitos de la barra dentro del ensamblaje se le aplicó una carga axial distribuida lo largo de la barra, la cual simula la carga oclusal que se genera. La magnitud de las fuerzas se dio en unidades newton (210 N, tomando como referencia la fuerza oclusal generada por mujer con enfermedad periodontal). En la zona del implante la fuerza estuvo dentro del límite fisiológico de 114 N hasta los 727 N. Esta carga fue dirigida sobre el eje longitudinal de la barra y se dividió en 6 puntos a lo largo de la barra y la zona posterior del maxilar, cada una con una magnitud de 35 N. Se dice que un “exceso de movimiento” o “excesivo micro movimiento” afectan la recuperación del hueso provocando que éste genere una interfaz porosa con el implante afectando directamente la estabilidad del implante. Existe un consenso en que se define micro movimiento como el movimiento relativo que existe entre el implante y la pared ósea.

4.5 Análisis de esfuerzos y deformaciones

Se muestra los resultados obtenidos para la deformación y esfuerzo en un maxilar inferior edéntulo. Para la variación de longitud en el montaje total (figura 30) se observa que, bajo la carga de 35 N distribuida en 6 puntos a lo largo de la barra y el hueso, con la cual se busca de esta forma simular la Fuerza de mordida generado

por la persona, el modelo se comporta de forma óptima, se visualiza un área roja en las esquinas de la barra la cual indica un mayor movimiento en esta área de la barra. El valor para este punto es de 0.1044 mm lo que es muy baja, si contrastamos este resultado con la dimensión longitudinal de la barra que es 2 mm.

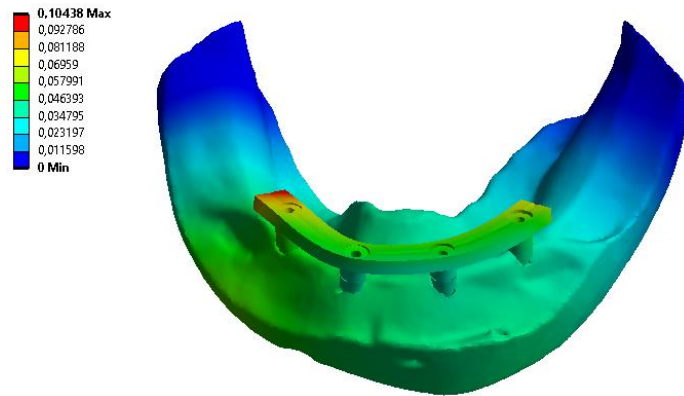


Figura 30 Deformación Total simulación montaje barra-implante-maxilar. Fuente: Autor.

Al conocer el resultado se puede decir que la barra soportara de manera eficiente la carga asignada en este análisis. Para los esfuerzos tanto el hueso (maxilar inferior), la barra soporte a la vez que el montaje total, se genera un análisis de esfuerzo von-Mises por separado. La figura 31 muestran la distribución completa de tensiones en el hueso cortical y esponjoso. Donde se observa que la mayoría del hueso esponjoso experimenta un estado uniforme de tensión.

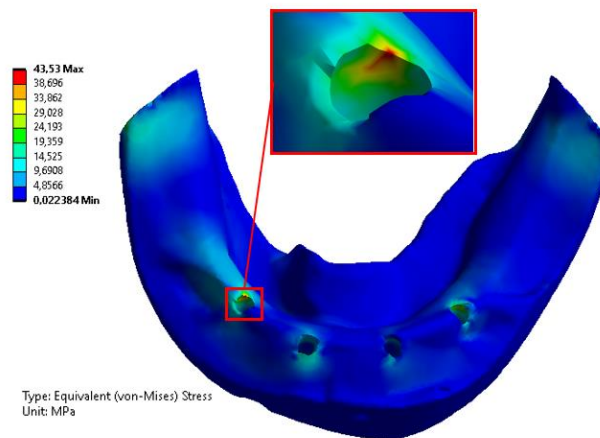


Figura 31 Resultado esfuerzo de (von-mises) sobre hueso maxilar inferior. Fuente: Autor.

El esfuerzo máximo obtenido en el hueso de la mandíbula es de 43.5 Mpa, figura 31, si se compara este valor con las propiedades mecánicas y valores del módulo de elasticidad para el hueso, se logra evidenciar que el hueso pese a esta concentración en esta área, lo soportara de forma correcta ya que su límite está en 125 Mpa. El esfuerzo de von-Mises se utiliza para evaluar el esfuerzo en el diseño de tratamiento postulado. En este caso, la mayor tensión en el hueso se produce alrededor del cuello del implante lado derecho. El valor de este esfuerzo disminuye rápidamente hacia el final del implante (figura 32) lo que genera que la tensión en el hueso cortical sea mucho mayor que la del hueso esponjoso.

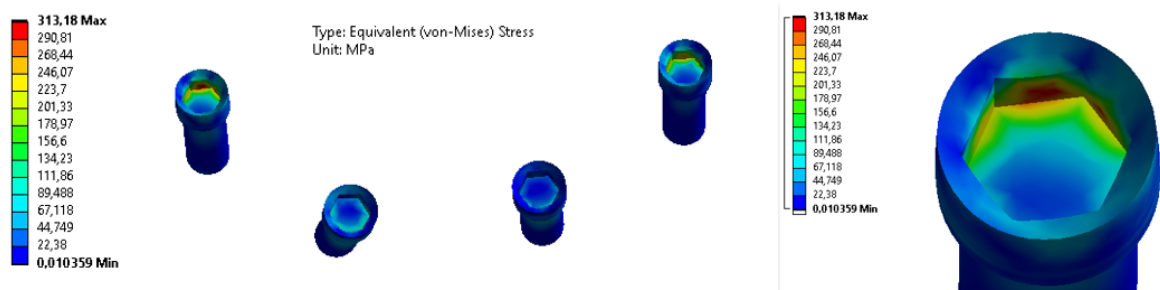


Figura 32 Resultado esfuerzo de (von-mises) sobre implantes dentales. Fuente: Autor.

En el modelo de trabajo, las tensiones de von-Mises inducidas en las piezas metálicas fueron mayores a comparación de los producidos en el hueso de la mandíbula.

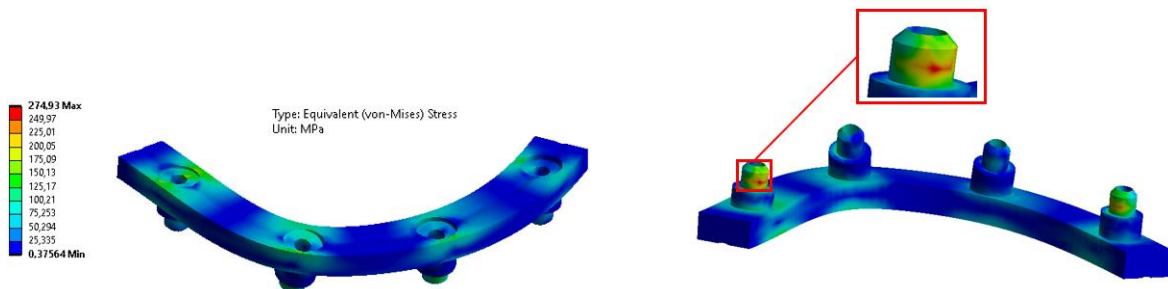


Figura 33 Resultado esfuerzo de (von-mises) sobre barra implanto soportada. Fuente: Autor.

La magnitud de las tensiones para la barra en su punto máximo fue de (274.9 MPa), donde el punto de mayor concentración se presenta en el punto de contacto entre la cabeza del implante y la base de conexión entre barra-implante de cada extremo

de la barra como se muestra en la figura 33, para este análisis los valores no se encuentran cercanos al límite de fluencia, que para la barra de titanio es 930 MPa y para la barra de CrCo es de 710 MPa. En general la barra experimenta un estado uniforme de tensión, con variaciones mínimas hacia los puntos de agujero presentes en la geometría.

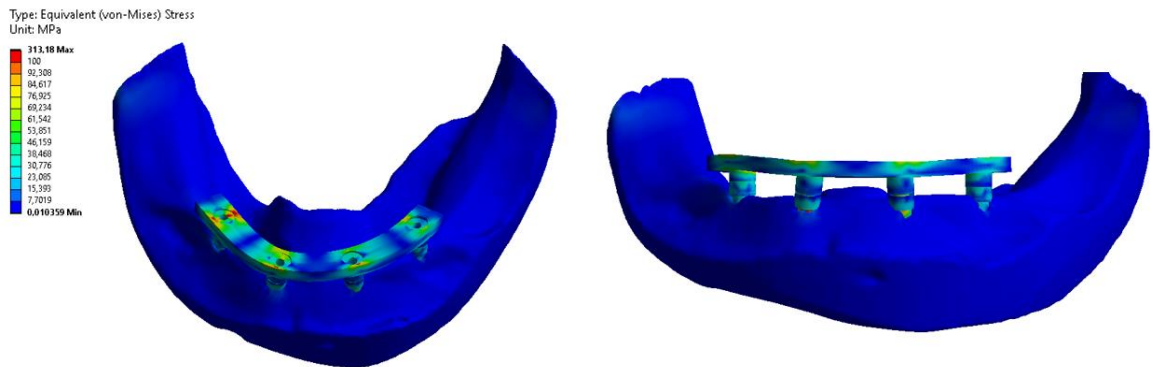


Figura 34 Resultado esfuerzo equivalente de (von-mises) sobre montaje total. Fuente: Autor.

La figura 34 da una visión general del comportamiento de todo el montaje donde el hueso no presenta mayores tensiones y este experimenta un estado uniforme de tensión, la barra a comparación muestra puntos con una mayor variación de esfuerzos, a lo largo de su área presenta concentración de esfuerzos medios en el rango de valores expuesto. la transferencia de energía entre barra-implante también presenta una concentración de esfuerzos medios y altos en la parte superior de la barra y en el punto de contacto con el implante donde estos pueden llegar a estar entre los 84 Mpa a los 313 Mpa como máximo, sabiendo esto se evidencia que se logra comportar de forma apta para soportar las cargas a la cual se pone a prueba ya que como se menciona anteriormente, se analiza a una persona adulta con un problema periodontal. Al analizar el factor de seguridad para los componentes del diseño protésicos, se demostró que, ante cargas de 210 N, los materiales estuvieron en capacidad de soportar cargas adicionales con factores de seguridad comunes de hasta $F_s=3$. Se sugieren más estudios evaluando el comportamiento protésico, variando diseño de estructuras, materiales y otras variables presentes en el análisis.

5. PLANIFICACIÓN DEL PROCESO DE MANUFACTURA

Para el desarrollo de la planificación del proceso de manufactura, se hace un diagrama de flujo que se muestra en la figura 35, en el cual se centra en la obtención de la barra soporte. Lo principal es determinar cual será la materia prima a implementar, seguido a esto se debe realizar el diseño de un dispositivo de sujeción para la materia prima ya que la barra por ser una geometría pequeña, el material utilizado se debe sujetar de forma correcta en el centro de mecanizado. La generación de una secuencia de operaciones tecnológicas y la selección correcta de las herramientas que se implementaran para el proceso de manufactura debe corresponder al tipo de mecanizado que se va a realizar, para de esta forma no tener pérdidas de materiales, fallos de la máquina o la fractura ya sea de la pieza como de la herramienta de corte. Por lo tanto se requiere de una generación de trayectoria por medio de un Software CAM, en donde inicialmente se simula el proceso de mecanizado y se evidencian de forma digital cualquier error, de la misma forma se define cual es la forma correcta para la fabricación de esta.

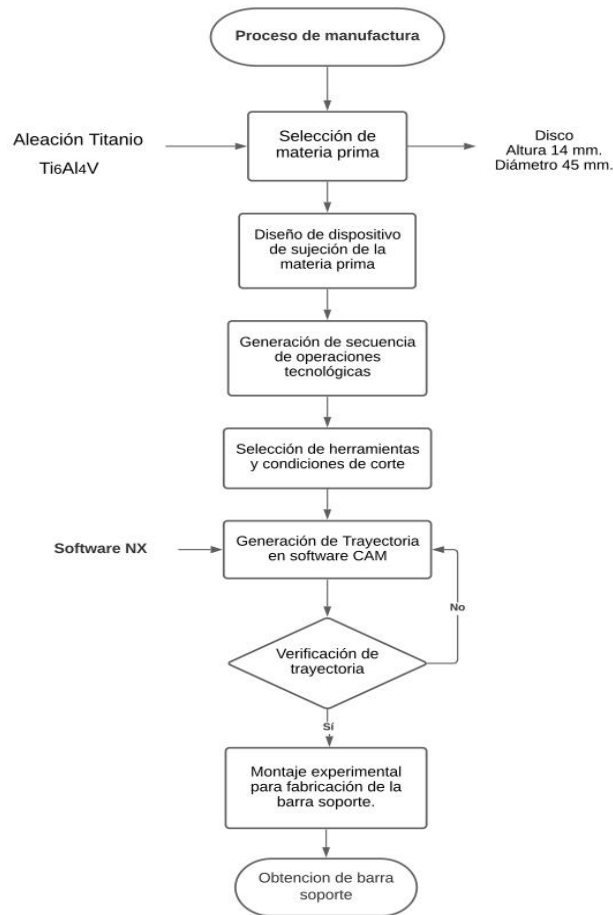


Figura 35 Diagrama de flujo para planificación de proceso de manufactura.

5.1 Selecciones materiales que pueden mecanizar los sistemas CAD/CAM para rehabilitación oral.

Los materiales que pueden utilizar estos sistemas son fundamentalmente cerámicos, resina compuesta y titanio, según el sistema. Algunos sistemas pueden mecanizar también cromo cobalto. El empleo del **titanio** en prótesis ofrece ventajas entre las que destacan su biocompatibilidad, siendo una buena alternativa en pacientes alérgicos a las aleaciones convencionales, su elevada resistencia a la corrosión, su baja densidad, su baja conductividad térmica, radio transparencia y su alta resistencia mecánica, pero su uso está limitado principalmente por las dificultades de colado, que pueden comprometer el ajuste de las restauraciones de titanio. Estas dificultades vienen derivadas de su elevado punto de fusión (1.672 °C)

y su alta reactividad a temperaturas elevadas. El titanio reacciona rápidamente con los elementos de los materiales de revestimiento convencionales y con el oxígeno, conllevando una reducción en su ductilidad y cambios en su resistencia, por lo que debe colarse en un equipo especial con gas inerte y emplear revestimientos especiales, con óxidos térmicamente estables como el de magnesio, la alúmina, zirconio e itria. La posibilidad de mecanizar el titanio, evita los problemas que surgen durante su colado y, por tanto, el titanio mecanizado constituye una valiosa alternativa frente al titanio colado. Puede mecanizarse titanio para su empleo tanto en prótesis fija convencional como en prótesis fija sobre implantes [20]. Se propone el uso de un disco de titanio con una altura de 14 mm y un diámetro de 45 a 50 mm figura 36.



Figura 36 Disco de titanio. Fuente: <https://images.app.goo.gl/ePSJonhYgPFCVTes5>

5.2 Creación sistema de sujeción para materia prima

La necesidad de crear una herramienta de sujeción en este caso, se da debido a la magnitud de la pieza. Ya que el centro de mecanizado no cuenta con un dispositivo de sujeción correcto para realizar este proceso. Una buena solución para mantener la pieza tanto en centros de torneado como de fresadoras de 5 ejes. Existen diferentes estilos de mordazas para diferentes necesidades de mecanizado. Una de ellas se muestra en la figura 37 la cual se compone de una doble mordaza que sujetara el material para su mecanizado.

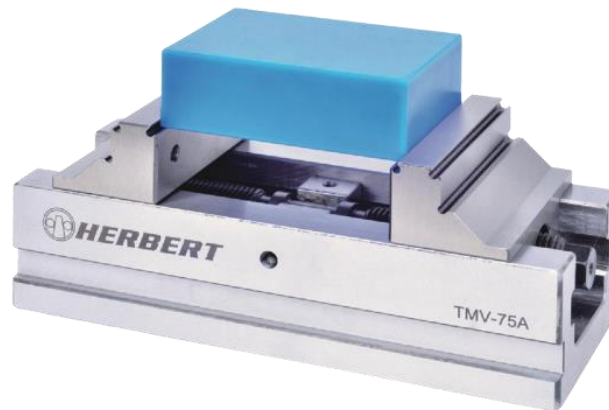


Figura 37 Portapieza o sistema de sujeción. Fuente: Catalogo Herbert.

Conociendo el diseño y el uso final del producto o pieza, se puede determinar su forma, tamaño, peso, durabilidad, material, acabado y tolerancias. Esos factores influyen en la clase de dispositivo requerido. También es importante conocer el estado en que se encuentra la pieza, (puede estar en bruto o parcialmente trabajada), a fin de lograr un correcto posicionamiento y fijación de la misma.



KZS-P-MT
ID 440279

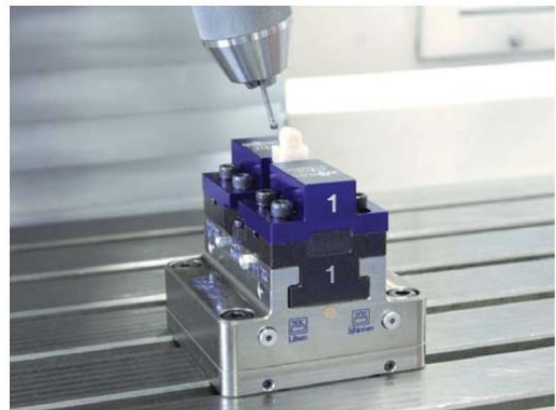


Figura 38 Portapieza para material de micro mecanizado. Fuente: Catalogo ROHM.

El uso de dispositivos de fijación (figura 38) para efectuar las operaciones de montaje no requiere de una secuencia única ni inmodificable. Esta secuencia depende más de la necesidad de garantizar elevada calidad y precisión de la pieza

e igualmente de la exigencia de alta productividad. Sin embargo, sea cual fuere la secuencia de montaje, esta debe obedecer a criterios de importancia como son la precisión, la simplificación de trabajo y la seguridad [21].

Un dispositivo de sujeción o porta pieza está compuesto por diferentes elementos que ayudan a mejorar el posicionamiento de la pieza respecto a la herramienta de corte. De esta forma también se logra mejorar y garantizar la correcta sujeción de la pieza en oposición a la fuerza de corte generando una localización correcta respecto máquina-herramienta y pieza. Los principales elementos que conforman un dispositivo de porta pieza son:

- Elemento localizador, sitúa la pieza de forma correcta y precisa en el espacio respecto a la herramienta.
- Elemento direccionador, guía la pieza respecto al movimiento de la herramienta de corte.
- La estructura o cuerpo del dispositivo.
- Elemento de sujeción, sostiene la pieza al dispositivo y fijan también el dispositivo a la máquina, que permiten realizar el cambio ya sea en la posición de la pieza en el dispositivo como variar dispositivo respecto a la máquina.
- Elemento de apoyo, con el cual se le dará rigidez a la pieza en caso que las fuerzas de corte tiendan a deflactarla.

5.3 Simulación montaje en centro mecanizado USTA

Para llevar a cabo el proceso de simulación de mecanizado virtual se implementó el software CAM NX, de esta manera poder trabajar sobre un modelo tridimensional tanto de la materia prima como de la máquina que se va a implantar en el proceso. La Universidad Santo Tomas cuenta con un modelo tridimensional (figura 39) del centro de mecanizado que se conoce como maquina FINITECH modelo GTX-210. Una estrategia de manufactura implementando software CAM es reducir los errores tanto de mecanizado como la verificación acertada de trayectoria teniendo en cuenta los desplazamientos y posiciones de la herramienta respecto a la pieza o material de trabajo. Sin embargo, La geometría compleja de la barra soporte exige que la simulación sea más rigurosa y tenga en cuenta la máquina a usar y sus características técnicas como la velocidad máxima del husillo para las herramientas de corte seleccionadas y la cinemática de la máquina. Para determinar el rango de precisión del montaje conformado por máquina, husillo y herramienta, es de suma

importancia que se tomen en cuenta las desviaciones y tolerancias que se pueden obtener al momento de mecanizar la pieza.

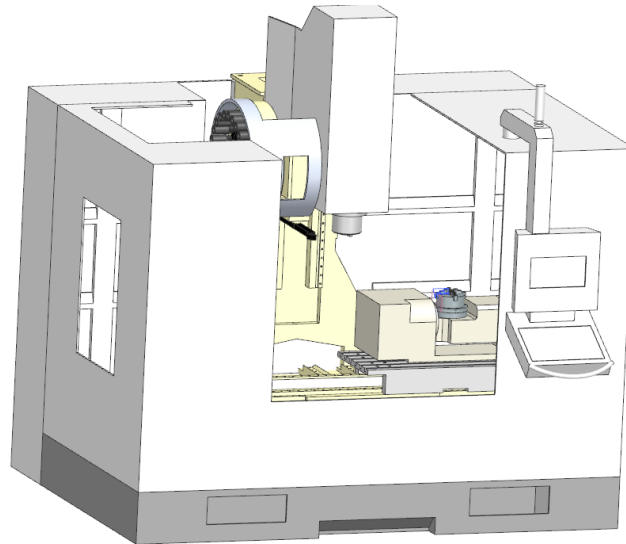


Figura 39 Máquina FINITECH modelo GTX-210 modelo tridimensional. Fuente: Autor.

La figura 40 hace un acercamiento al montaje y colocación de la materia prima en la maquina FINITECH modelo GTX-210 dentro del software NX. Generada a partir de la alineación del sistema coordenado de la pieza, con el sistema coordenado definido para la máquina.

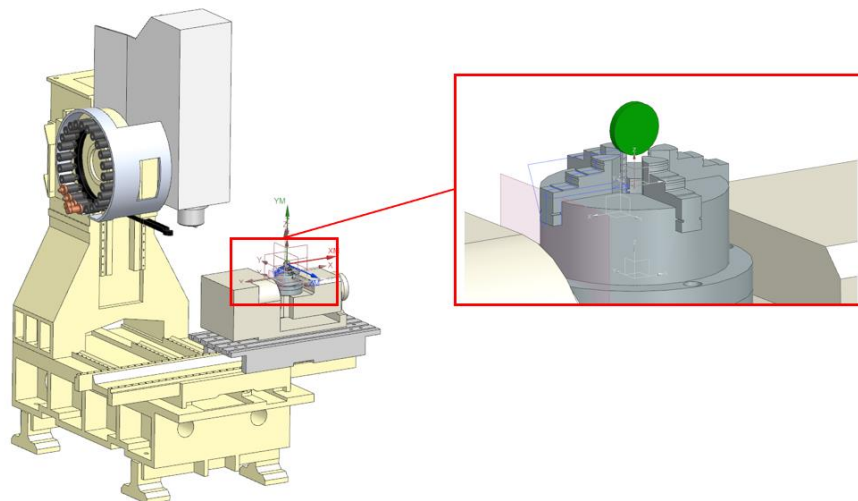
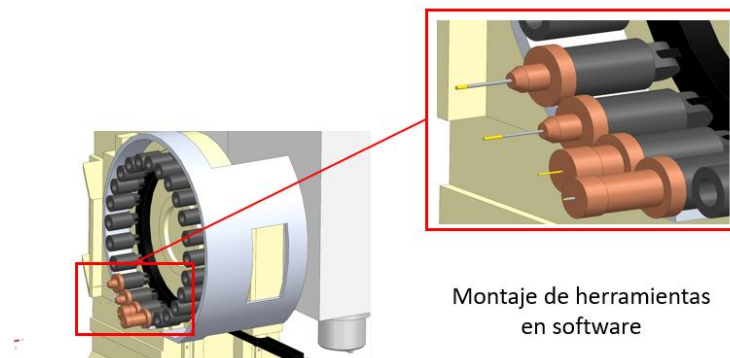


Figura 40 Montaje de materia prima en modelo de máquina tridimensional. Fuente: Autor.

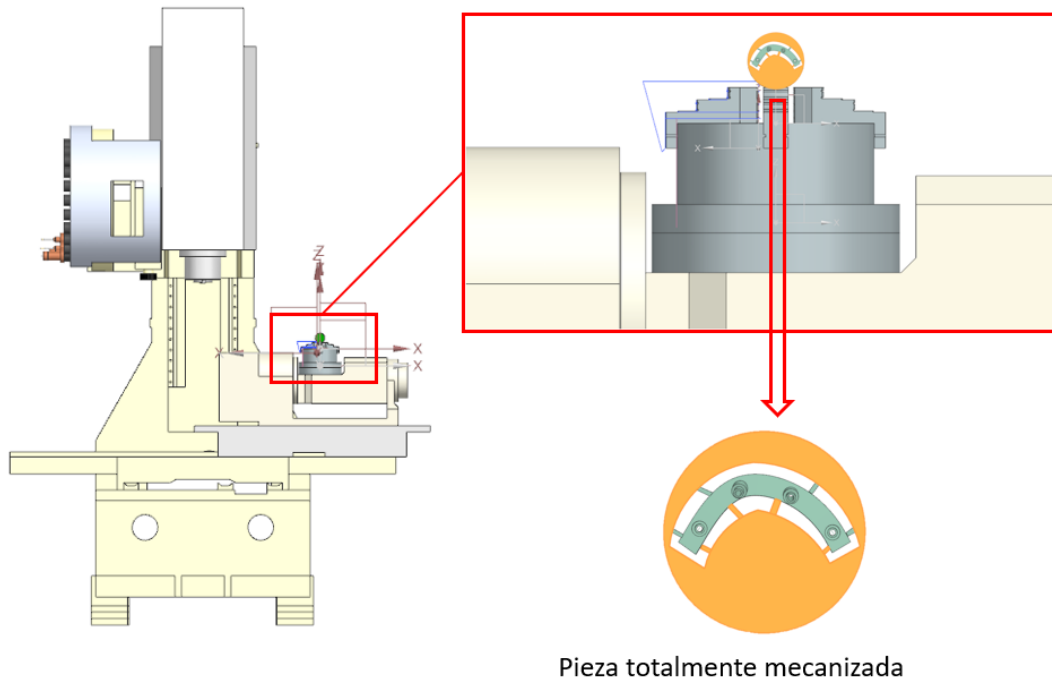
Conociendo la geometría de la pieza de mecanizado y del material de esta, se pueden emplear para el proceso de mecanizado, diferentes herramientas de corte para mecanizar el diámetro exterior, interior o las caras ya sea frontal y o la parte posterior del material. De acuerdo con su función hay diferentes herramientas para llevar a cabo este proceso entre la que se encuentran las herramientas de refrentado, cilindrado exterior, roscado exterior, ranurado exterior, multidireccional exterior, ranurado interior, roscado interior y ranurado frontal, entre otras. La complejidad de la pieza hace que la máquina deba moverse en sus 5 ejes o grados de libertad multi eje, en este caso la figura 41 muestra el montaje de 4 herramientas en el modelo tridimensional de la máquina que fueron implementadas al momento de la generación de la trayectoria o mecanizado virtual.



Montaje de herramientas en software

Figura 41 Montaje de herramientas en máquina tridimensional. Fuente: Autor.

El acabado superficial es un aspecto importante de por qué el titanio es un material apropiado para la fabricación de elementos protésicos. Es necesario utilizar un material que pueda resistir el desgaste natural que se va generando a lo largo de los años. El acabado superficial debe ser de la mejor calidad, no sólo para la comodidad y movilidad del paciente, porque crea menos fricción, sino también porque debe estar preparado para todos los demás procesos secundarios a los que se somete el componente. El mejoramiento o acabado superficial sustenta la calidad del proceso de mecanizado implementado. La figura 42 hace una muestra del proceso de mecanizado finalizado, en el cual se logra visualizar la barra ya completamente mecanizada.



Pieza totalmente mecanizada

Figura 42 Muestra proceso de mecanizado finalizado en materia prima para obtención de barra. Fuente: Autor.

Conociendo la validación del proceso y la correcta ejecución de la simulación, se puede proceder a finalmente pasar los datos al centro de mecanizado donde ya se empezara el proceso de fabricacion definitivo y de esta forma poder obtener una barra soporte por medio de la implementacion de tecnologia CAM. La figura 43 hace una muestra del resultado estimado del mecanizado de la barra mostrando una imagen de un proceso real de fabricacion (ilustrativo).

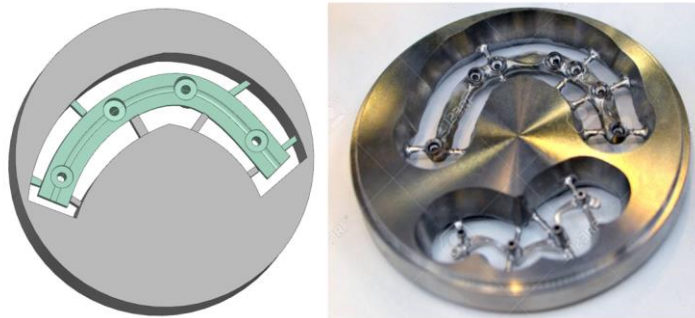


Figura 43 comparativa simulación de mecanizado barra en software y barra mecanizada en centro de mecanizado (ilustrativa, no pertenece a modelo realizado) Fuente: Autor.

6. CONCLUSIONES

- La propuesta del diagrama de flujo para la obtención de la barra soporte para prótesis híbridas implanto soportadas utilizando tecnologías CAD/CAE/CAM ayudara a mejorar los procesos de fabricación y obtención de la misma generando una nueva alternativa, para sustituir el método convencional.
- La implementación del escáner Artec 3D para la obtención de un modelo tridimensional de un maxilar edéntulo facilita y mejora el proceso análisis en la definición de un caso de estudio. Debido a las variaciones y planteamientos de solución que puede obtenerse en una reconstrucción de una dentadura por medio de prótesis híbridas implanto soportadas.
- La impresión de modelos 3D propios de maxilares edéntulos, permitió instalar los implantes suministrados por la empresa IMERBIONIC S.A.S, cuyo objetivo es después de ejecutar el proceso de fabricación de la barra, corroborar la instalación de esta de forma pasiva sobre cada implante y obtener un correcto ajuste de la prótesis.
- El diseño en software CAD y posterior análisis de elementos finitos sobre el modelo de barra definitivo, consolida y confirma la implementación de esta para dar solución a un maxilar inferior edéntulo, que será tratado por medio de una prótesis híbrida implanto soportada.
- La validación realizada del comportamiento mecánico de la barra soporte, implantes y hueso por medio de un software de elementos finitos da como resultado una barra que se comporta de forma eficiente mecánicamente sin llegar a generar fallas futuras o una malformación del del maxilar.
- Se logra proponer la planificación del proceso de manufactura en el centro de mecanizado vertical de la Universidad Santo Tomás, usando como guía general un diagrama de flujo y la validación de trayectoria para la fabricación de esta.

7. RECOMENDACIONES

Se sugiere realizar más estudios evaluando el comportamiento protésico y mecánico de la barra soporte para prótesis híbridas, variando diseño de la estructura, materiales, la distribución de las cargas oclusales. Para el proceso de manufactura la simulación de trayectorias de una geometría compleja como la de la barra soporte es indispensable el uso de la máquina virtual (CAM), donde se puede verificar desplazamientos durante el proceso de mecanizado, revisar la existencia de colisiones y así evitar problemas en la manufactura de la pieza. De igual manera se puede buscar un material que se biocompatible y de excelentes propiedades mecánicas, para realizar el proceso de fabricación por medio de impresión 3D y poder dar una nueva oportunidad de inclusión tecnológica en el sector odontológico e ingeniería.

8. REFERENCIAS

- [1] J. Flynt, «3DINSIDER,» 24 Julio 2019. [En línea]. Available: <https://3dinsider.com/additive-vs-subtractive-manufacturing/>. [Último acceso: 14 09 2020].
- [2] ASTM INTERNATIONAL F2792-12a, «Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies,» 9 Septiembre 2013. [En línea]. Available: <https://web.mit.edu/2.810/www/files/readings/AdditiveManufacturingTerminology.pdf>. [Último acceso: 15 09 2020].
- [3] D. O. M. Khayal, *et al* «ResearchGate,» Julio 2019. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/334282701_DESIGN_FOR_MACHINING. [Último acceso: 14 09 2020].
- [4] L. BERNSTEIN, «JOBSITE POWERED BY PROCORE,» 13 Abril 2020. [En línea]. Available: <https://www.procore.com/jobsite/what-is-computer-aided-design-cad-and-why-its-important/>.
- [5] Stephen T. Newman, Z. Zicheng, D. Vimal y A. Shokrani, «Process planning for additive and subtractive manufacturing technologies,» *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, vol. LXVII, nº 68, pp. 467-470, 2015.
- [6] SIEMENS ingenuity for life, «SIEMENS,» [En línea]. Available: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/es/our-story/glossary/computer-aided-engineering-cae/13112>. [Último acceso: 21 Septiembre 2020].
- [7] M. Deans, «AUTODESK,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/computer-aided-manufacturing-beginners/>. [Último acceso: 21 Septiembre 2020].
- [8] V. E, *et al* «Sobredentaduras mandibulares sobre dos implantes en pacientes edéntulos totales. Un estudio a tres años,» 10 Mayo 2015. [En línea]. Available: <http://scielo.isciii.es/pdf/peri/v27n3/original1.pdf>.
- [9] C. E. Misch., «The Edentulous Mandible: Treatment Plans for Implant Overdentures,» de *Dental Implant Prosthetics (Second Edition)*, Mosby, 2015, pp. 573 - 599.
- [10] M. Silva, *et al* «Application of a Hybrid Additive Manufacturing Methodology to Produce a Metal/Polymer Customized Dental Implant,» *Procedia Manufacturing*, vol. XII, nº 12, pp. 150-155, 2017.

- [11] E. PRÓTESIS, «Prótesis híbridas sobre implantes dentales,» 22 Febrero 2018. [En línea]. Available: <https://www.estudiosydesarrollosdeprotesis.es>.
- [12] AUTYCOM, «AUTYCOM Innovacion Inteligente,» 07 Febrero 2020. [En línea]. Available: <https://www.autycom.com/que-es-un-centro-de-mecanizado-y-que-beneficios-ofrece/>.
- [13] M. Jiménez Calzado, A. Hernández Gutiérrez y D. Fraiz Cosano, «Mecanizado de estructuras dentales,» *Interempresas*, 22 01 2013.
- [14] ARTEC 3D, «Artec3D,» [En línea]. Available: <https://www.artec3d.com/es/cases/medical>.
- [15] E. Mallat-Callís, «Aspectos de interés en el diseño de sobredentaduras sobre implantes,» *RCOE*, vol. 11, nº 3, Mayo/junio 2006.
- [16] P. M.-W. 1. Institut Straumann AG, «Sistema de anclaje para prótesis híbridas implanto soportadas,» *Straumann*.
- [17] G. Mirlisenna, «ESSS,» Blog ESSS, 22 Enero 2016. [En línea]. Available: <https://www.esss.co/es/blog/metodo-de-los-elementos-finitos-que-es/>.
- [18] D. Patricia, *et al* «Fuerza de mordida: su importancia en la masticación, su medición y sus condicionantes clínicos.,» *REVISTA ADM*, vol. LXIX, 2011.
- [19] SEPA Sociedad Española de Periodonciay Osteointegración., «DIAGNÓSTICO Y TRATAMIENTO PERIODONTAL,» *Revista científicade la Sociedad Españolade Periodoncia*, vol. XI, 2018.
- [20] M. I. Sánchez, *et al* «Métodos CAD/CAM en protesis,» *GACETA DENTAL 178*, Febrero 2007.
- [21] I. E. CORDOBA, FUNDAMENTOS GENERICOS DE DISENO, Convenio SENA - Universidad Nacional, 1991.