

NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, Martes 8 de diciembre de 2020, en la Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a las 10:00 a.m. horas, en presencia de las siguientes autoridades de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

1. Ing. Armando Martínez Calderón
Director


Firma

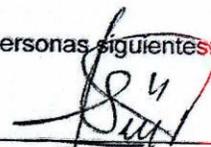

Firma



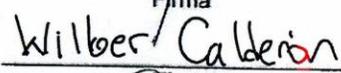
2. MSc. José Wilber Calderón Urrutia
Secretario

Y, con el Honorable Jurado de Evaluación integrado por las personas siguientes:

- MSC. SALVADOR DE JESUS GERMAN
(Docente Asesor)


Firma

- MSC. JOSÉ WILBER CALDERÓN URRUTIA


Firma

- MSC RICARDO ERNESTO CORTEZ


Firma

Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ÓRTESIS ESTÁTICAS PARA EL TRATAMIENTO DE LESIONES TRAUMÁTICAS EN EXTREMIDADES SUPERIORES POR MEDIO DE ESCANEADO DIGITAL E IMPRESIÓN 3D

A cargo de los Bachilleres:

- AGUILAR RENDEROS WILBERT AMÍLCAR

- BONILLA MONTERROSA MOISÉS ANTONIO

- CÁRCAMO DÍAZ DAVID FRANCISCO

Habiendo obtenido en el presente Trabajo una nota promedio de la defensa final: 9.2

(nueve . dos)

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA**



**“IMPLEMENTACION DE SISTEMA DE DISEÑO Y CONSTRUCCION DE
ÓRTESIS ESTÁTICAS PARA EL TRATAMIENTO DE LESIONES
TRAUMÁTICAS EN EXTREMIDADES SUPERIORES POR MEDIO DE
ESCANEAO DIGITAL E IMPRESIÓN 3D”**

ASESOR: ING. SALVADOR GERMAN

PRESENTAN:

AR13026	AGUILAR RENDEROS,	WILBERT AMILCAR
BM11006	BONILLA MONTERROSA,	MOISÉS ANTONIO
CD11036	CÁRCAMO DÍAZ,	DAVID FRANCISCO

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: INGENIERO ELECTRICISTA

CIUDAD UNIVERSITARIA, DICIEMBRE 2020

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

MSC. ROGER ARMANDO ARIAS

VICERRECTOR ACADÉMICO

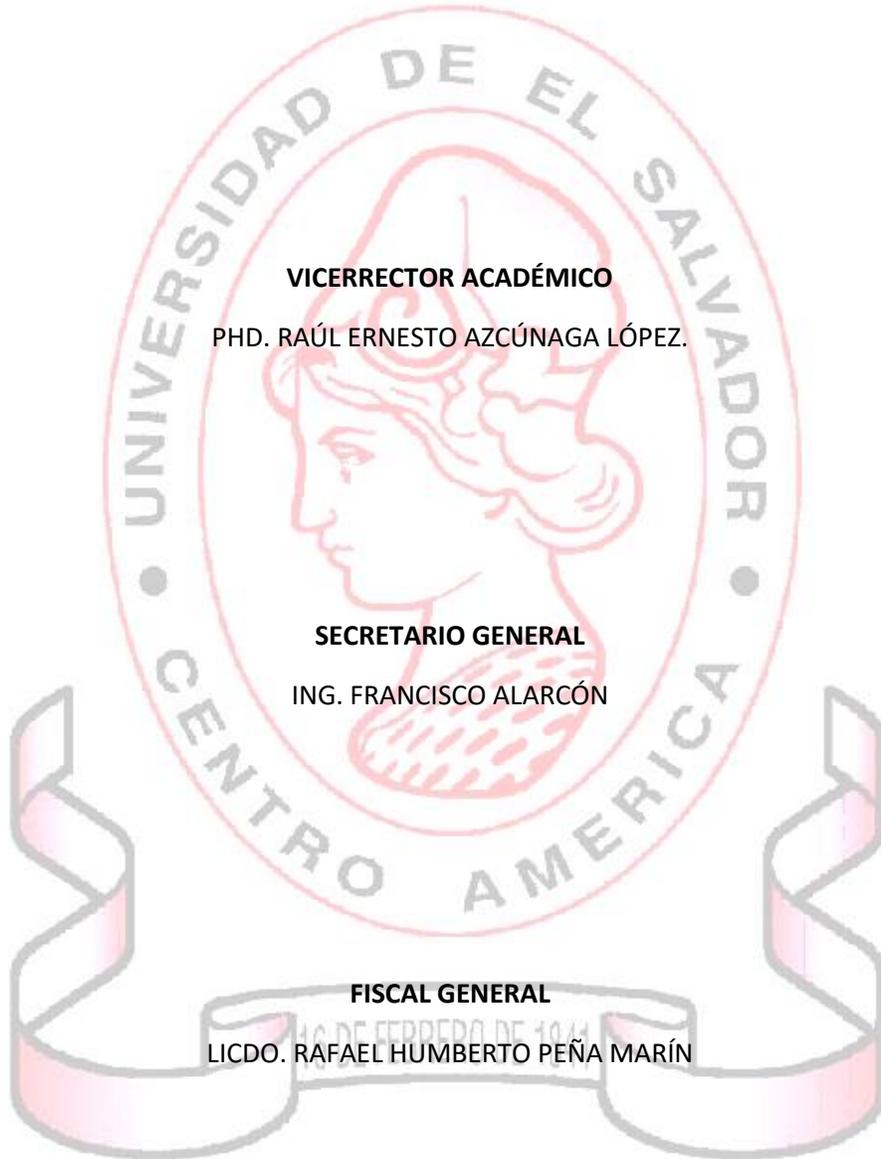
PHD. RAÚL ERNESTO AZCÚNAGA LÓPEZ.

SECRETARIO GENERAL

ING. FRANCISCO ALARCÓN

FISCAL GENERAL

LICDO. RAFAEL HUMBERTO PEÑA MARÍN



SAN SALVADOR

EL SALVADOR

CENTRO AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO

PHD. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

VICEDECANO

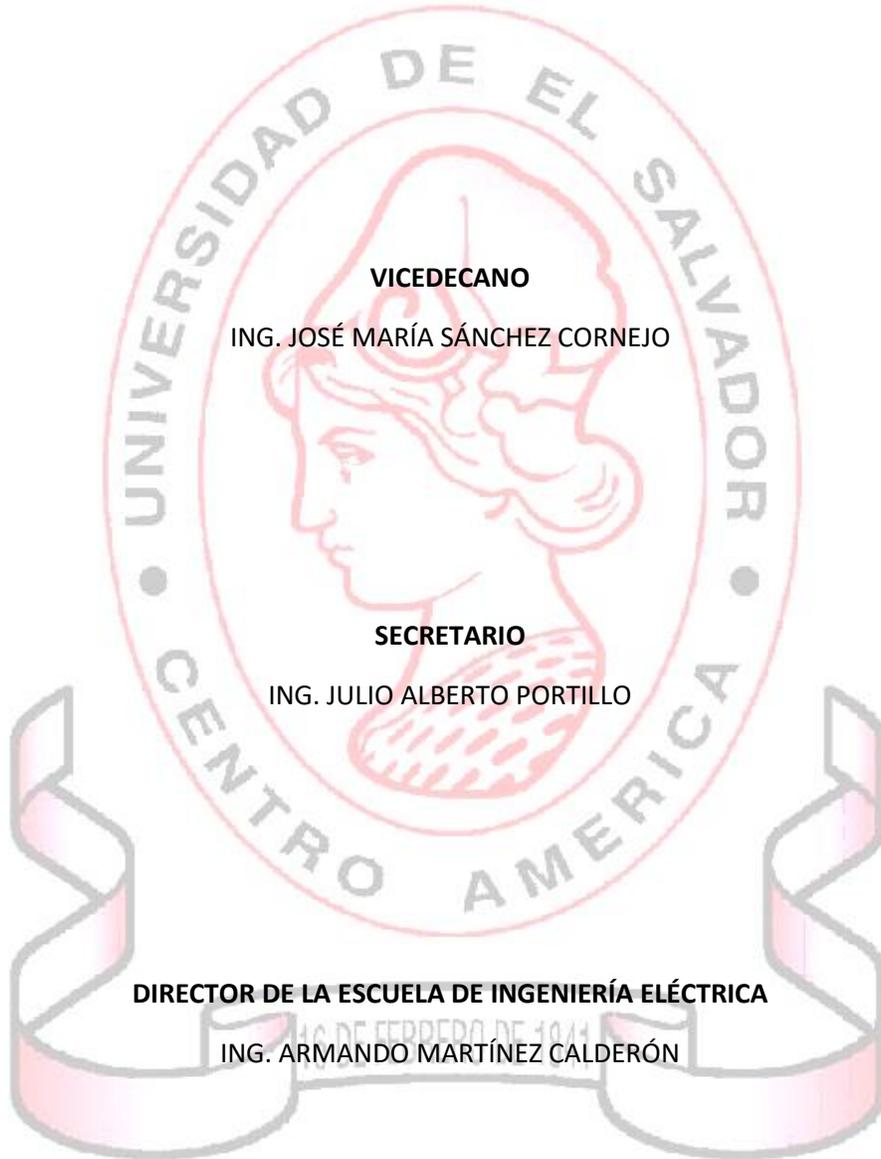
ING. JOSÉ MARÍA SÁNCHEZ CORNEJO

SECRETARIO

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

DIRECTOR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

ING. ARMANDO MARTÍNEZ CALDERÓN



SAN SALVADOR

EL SALVADOR

CENTRO AMÉRICA

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS

“A mí mismo, por lograrlo; y a mi familia y allegados, por apoyarme.”

- **Moisés Bonilla**

“A Dios el dador de la sabiduría y de la vida, quien guía cada paso que doy.

Mis Padres, pilares esenciales en mi vida, quienes con esfuerzo y dedicación me convirtieron en la persona que soy ahora, los que jamás dudaron de mí, los que aun con las cargas de la vida jamás desistieron en brindarme sus consejos en el momento adecuado, por esa taza de café que me preparaba mi papá al atardecer y por las madrugadas mi mamá alentándome a seguir, los que me inyectaban energía cuando mis fuerzas decaían, los que me impulsaban cuando las decepciones en mi persistían, este logro va por ustedes, no es mío... es de ustedes.

Mis abuelos en el cielo... y mi abuela acá en la tierra, máximo ejemplo a seguir, forjaron y marcaron mi vida desde el principio inculcando por sobre todas las cosas, humildad en cada paso por esta vida.

Mis hermanas, esas mujeres a quienes admiro, las que no dudaban en darme un consejo, las que siempre están para escucharme, mis máximas consejeras.

Mi nena hermosa como de cariño le llamo, fuente de inspiración, llena de paciencia, quien soporto muchos momentos de mi ausencia, quien me apoya en cada sueño en mi plasmado.”

- **David Cárcamo**

“Agradezco y dedico este logro a Dios, a mis padres, a mi familia, Blanca Valle y familia, y a Claudia Díaz, por apoyarme y ser importantes partícipes en esta tan importante realización.

A mis amigos y compañeros de tesis, por su esfuerzo, dedicación y camaradería, haciendo de este proyecto, no solo trabajo, sino diversión y experiencia.”

- **Wilber Aguilar**

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN.....	I
II.	OBJETIVOS.....	II
	GENERALES:	II
	ESPECÍFICOS:.....	II
III.	JUSTIFICACIÓN	III
IV.	ALCANCES Y LIMITACIONES	IV
1.	CAPITULO I: ANTECEDENTES, CONCEPTOS BASICOS Y GENERALIDADES	1
1.1	MÉTODOS DE ESCANEEO EN 3D	1
1.1.1	ESCANEEO POR CONTACTO	1
1.1.1.1	PUNTA MONTADA SOBRE UN BRAZO ROBOT (JOINT ARMS).....	2
1.1.1.2	SISTEMA DE POSICIONAMIENTOS TRIDIMENSIONAL (CMM).....	2
1.1.2	ESCANEEO SIN CONTACTO.....	3
1.1.2.1	SIN CONTACTO PASIVOS	3
1.1.2.1.1	ESCANEEO ESTEREOSCÓPICO:	3
1.1.2.1.2	ESCANEEO POR FOTOGRAMETRÍA.....	3
1.1.2.2	SIN CONTACTO ACTIVOS.....	4
1.1.2.2.1	ESCANEEO POR TIEMPO DE VUELO	4
1.1.2.2.2	ESCANEEO POR TRIANGULACIÓN	5
1.1.2.2.3	ESCANEEO MEDIANTE PROYECCIÓN DE LUZ ESTRUCTURADA.....	6
1.1.3	MICROSOFT KINECT 360	7
1.2	DIGITALIZACIÓN DE SÓLIDOS Y EDICIÓN DE MODELOS DIGITALES MEDIANTE SOFTWARE DEDICADO.....	9
1.2.1	OCCIPITAL SKANECT.....	9
1.2.2	MATLAB.....	11
1.3	LA IMPRESIÓN 3D.....	13
1.3.1	PROCESO DE IMPRESIÓN POR EXTRUSIÓN	14
1.3.1.1	MATERIALES DE IMPRESIÓN	16
2.	CAPITULO II: TEORÍA, CLASIFICACIÓN Y FISIONOMÍA DE LESIONES TRAUMÁTICAS DE EXTREMIDAD SUPERIOR Y SU TRATAMIENTO A TRAVÉS DE ORTESIS ESTÁTICAS.....	19
2.1	TIPOS DE ORTESIS.	19
2.2	ANATOMÍA DE EXTREMIDAD SUPERIOR.....	20

2.3	FRACTURAS. GENERALIDADES.	22
2.4	FRACTURAS COMUNES DE EXTREMIDAD SUPERIOR.	23
2.4.1	FRACTURA DIÁFISIS HUMERAL (FRACTURA A ALTURA MEDIA DEL HÚMERO).....	23
2.4.2	FRACTURA DE CODO	24
2.4.3	FRACTURAS DIAFISIARIAS (PARTE MEDIA DEL HUESO) DEL CÚBITO Y RADIO.....	26
2.4.4	FRACTURA DISTAL DEL RADIO.....	27
2.4.5	FRACTURA DE ESCAFOIDES.	28
2.4.6	FRACTURA DE METACARPIANO.	29
2.4.7	FRACTURA DE FALANGES.	30
3.	CAPITULO III: ESCANER 3D.	33
3.1	POSICIONAMIENTO PARA CAPTURAS DE DATOS.	33
3.2	SECCIONAMIENTO LONGITUDINAL DEL BRAZO.....	34
3.3	DISEÑO DE ESTRUCTURA DE ESCANEEO.....	34
3.4	CONSIDERACIONES AMBIENTALES PARA ESCANEEO.	37
3.5	IMPLEMENTACIÓN DE ESCÁNER.....	37
4.	CAPITULO IV: PROCESO DE OBTENCIÓN DE DATOS Y MODELADO DIGITAL DE ORTESIS PARA IMPRESIÓN 3D POR MEDIO DE MATLAB.	39
4.1	PROCESO BÁSICO DE CREACIÓN DEL SOFTWARE EN MATLAB PARA EL PROCESO DE OBTENCIÓN, TRATAMIENTO DE DATOS Y LA IMPRESIÓN DE MODELO DIGITAL DE ORTESIS EN 3D.	39
4.2	PARTES Y MANEJO DE SOFTWARE CREADO EN MATLAB.	42
4.2.1	BIENVENIDA.	43
4.2.2	ESCÁNER O TOMA DE DATOS.....	43
4.2.3	PROCESO DIGITAL.	48
4.2.4	IMPRIMIR.	53
4.2.5	FINALIZACIÓN.....	59
4.3	FUNCIONES ESPECIALES PARA MATLAB PARA EL PROCESO DE DATOS.	60
4.3.1	PCREAD()	60
4.3.2	PCSHOW()	62
4.3.3	DELAUNAY()	62
4.3.4	TRISURF().....	63
4.3.5	PATCH()	65
5.	CAPITULO V: ANÁLISIS DE RESULTADO.....	65
5.1	TRATAMIENTO DIGITAL.....	65
5.1.1	FÉRULA REALIZADA FUERA DE INTERFAZ.....	65

5.1.2	ESCANEO CON LA INTERFAZ	72
5.1.3	ERRORES DE ESCANEO CON LA INTERFAZ	75
5.1.4	CORRECCIÓN DE ERRORES AL REALIZAR FÉRULAS DENTRO DE LA INTERFAZ	76
5.2	CONFIGURACIÓN DE IMPRESORA HE3D K280	79
	CONCLUSIONES	81
	RECOMENDACIONES	82
	BIBLIOGRAFÍA	83
	ANEXOS	84

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1: CLASIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE ESCANEEO EN 3D (1).	1
FIGURA 1.2: ESCÁNER DE CONTACTO DE PUNTA MONTADA (1).....	2
FIGURA 1.3: ESCÁNER DE CONTACTO CMM (1).	2
FIGURA 1.4: MÉTODO DE ESCANEEO ESTEREOSCÓPICO (1).	3
FIGURA 1.5: MÉTODO DE ESCANEEO FOTOGRAFÉMICO (14).....	4
FIGURA 1.6: MÉTODO DE ESCANEEO POR TIEMPO DE VUELO (1).....	5
FIGURA 1.7: MÉTODO DE ESCANEEO POR TRIANGULACIÓN (1).....	6
FIGURA 1.8: MÉTODO DE ESCANEEO POR PROYECCIÓN DE LUZ ESTRUCTURADA (1).	6
FIGURA 1.9: DETALLADO DE SENSOR KINECT DE MICROSOFT (15).	7
FIGURA 1.10: PATRÓN DE PUNTOS EMITIDOS POR EL SENSOR KINECT (15).....	8
FIGURA 1.11: ENSAMBLAJE DE MICROSOFT KINECT PARA PC (FUENTE: HTTPS://SUPPORT.XBOX.COM) ..	9
FIGURA 1.12: PANTALLA INICIAL OCCIPITAL SKANECT (FUENTE: PROPIA).	10
FIGURA 1.13: VISTA EN PANTALLA DEL SOFTWARE SKANECT EN PESTAÑAS DE GRABACIÓN EN LA BARRA DE PROGRESO (FUENTE: PROPIA).....	11
FIGURA 1.14: EJEMPLO DE UNA FUNCIÓN DENTRO DEL ENTORNO DE TRABAJO DE MATLAB R2017 (FUENTE: PROPIA).....	12
FIGURA 1.15: REPRESENTACIÓN DEL PROCESO DE IMPRESIÓN 3D (4).....	13
FIGURA 1.16: ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS EN EL CAMPO DE LA IMPRESIÓN 3D (4).	14
FIGURA 1.17: PROCESO DE IMPRESIÓN POR EXTRUSIÓN (2).....	15
FIGURA 2.1: MUESTRA DE ÓRTESIS ESTÁTICA (9).	19
FIGURA 2.2: MUESTRA DE ÓRTESIS DINÁMICA (9).....	20
FIGURA 2.3: ZONAS Y HUESOS DE EXTREMIDAD SUPERIOR (6).	21
FIGURA 2.4: SUB-ZONAS DE HUESOS CON LONGITUD LARGA (5).....	21
FIGURA 2.5: TIPOS DE FRACTURA SEGÚN SUS MECANISMOS DE PRODUCCIÓN (8).	23
FIGURA 2.6: FÉRULA EN U (10).	24
FIGURA 2.7: CLASIFICACIÓN DE FRACTURAS DE OLECRANON (7).....	25
FIGURA 2.8: CLASIFICACIÓN DE FRACTURAS DE CABEZA DE RADIO (7).....	25
FIGURA 2.9: FÉRULA PARA LESIONES O FRACTURAS DE CODO (10).	26
FIGURA 2.10: FÉRULA PARA FRACTURA DE CÚBITO O RADIO DISTAL Y MUÑECA (10).	27
FIGURA 2.11: FÉRULA PARA FRACTURAD DE ESCAFOIDES (10).	28
FIGURA 2.12: FÉRULA PARA FRACTURA DEL 5° METACARPIANO (10).....	30
FIGURA 2.13: FÉRULA PARA FRACTURAS DE FALANGES (10).....	31

FIGURA 2.14: FÉRULA PARA FRACTURAS DE FALANGES DISTALES (10).	32
FIGURA 3.1: POSTURA PARA CAPTURA DE DATOS (11).	33
FIGURA 3.2: MOVIMIENTO ROTACIONAL(A) Y LONGITUD DEL CUERPO ESCANEADO(B) (12).	33
FIGURA 3.3: TÉCNICA DE SECCIONAMIENTO LONGITUDINAL DEL BRAZO (12).	34
FIGURA 3.4: SELECCIÓN DE PARÁMETROS EN SKANECT PARA DEJAR EL VOLUMEN DE LA PARTE A ESCANEAR (FUENTE: PROPIA).	35
FIGURA 3.5: DISEÑO DE ESTRUCTURA DE ESCANEEO (12).	36
FIGURA 3.6: ÁNGULO DE VISIÓN DE KINECT (FUENTE PROPIA).	36
FIGURA 3.7: MECANISMO ROTACIONAL DEL PIÑÓN Y CORONA (12).	37
FIGURA 3.8: MÁQUINA DE BRAZO GIRATORIO PARA ESCANEEO	38
FIGURA 3.9: CAPTURA DE ESCANEEO RECONSTRUIDO EN SOFTWARE SKANECT CON LA TRAYECTORIA SEGUIDA POR EL SENSOR EN EL PROCESO.	38
FIGURA 4.1: EJECUTAR HERRAMIENTA EN MATLAB.	39
FIGURA 4.2: CREACIÓN DE UNA “GUIDE” EN BLANCO.	39
FIGURA 4.3: CUADRO DE DIALOGO PARA GENERAR INTERFAZ GRÁFICA.	40
FIGURA 4.4: PROPERTIES INSPECTOR.	41
FIGURA 4.5: CREACIÓN DEL “GUIDE” DE BIENVENIDA.	42
FIGURA 4.6: RESULTADO FINAL DE “GUIDE” DE BIENVENIDA.	42
FIGURA 4.7: VENTANA SALIR.	43
FIGURA 4.8: ESCÁNER O TOMA DE DATOS.	44
FIGURA 4.9: SOFTWARE SKANECT PARA LA TOMA DE DATOS.	44
FIGURA 4.10: PARÁMETROS PARA “ESPACIO DE GRABACIÓN”.	45
FIGURA 4.11: ESPACIO DE GRABACIÓN.	45
FIGURA 4.12: PROCESO DE “RECORD” EN SKANECT.	46
FIGURA 4.13: PROCESO “RECONSTRUCT”, INICIO DEL MODELO DIGITAL.	46
FIGURA 4.14: PROCESO “PROCESS”.	47
FIGURA 4.15: PROCESO “SHARE”.	47
FIGURA 4.16: PANTALLA INICIAL DE “PROCESODIGITAL”.	48
FIGURA 4.17: CARGA DE NUBE DE PUNTOS AL SOFTWARE “FERULA2020”.	48
FIGURA 4.18: VISTA PRELIMINAR DEL MODELO DIGITAL.	49
FIGURA 4.19: TRIANGULACIÓN DE SUPERFICIE.	49
FIGURA 4.20: NOMBRE DEL ARCHIVO CON EXTENSIÓN *.STL.	50

FIGURA 4.21: A) HERRAMIENTAS DE MODIFICACIÓN PARA UN “CUERPO” TIPO “MESH” DENTRO DE FUSION 360. SELECCIONA “PLANE CUT” PARA SECCIONAR MEDIANTE UN PLANO QUE SE DIBUJA. B) CUERPO “MESH” LISTO PARA EDITAR COMO FÉRULA DENTRO DEL ENTORNO DE FUSION 360.	50
FIGURA 4.23: A) HERRAMIENTAS DE MODIFICACIÓN DE CUERPO “SPLINE”. B) APROXIMACIÓN DE CUERPO “SPLINE” PARA APEGARSE AL CUERPO “MESH” EXISTENTE.	52
FIGURA 4.28: SECCIÓN “IMPRIMIR”	53
FIGURA 4.29: PROCESO PARA MOSTRAR EL MODELO DIGITAL DE ÓRTESIS TERMINADO.	54
FIGURA 4.30: MUESTRA DE MODELO DIGITAL DE ÓRTESIS TERMINADO.	54
FIGURA 4.31: INTERFAZ “REPETIER-HOST”	55
FIGURA 4.32: CONFIGURACIÓN DEL TIPO DE IMPRESORA.	55
FIGURA 4.33: SELECCIÓN DE CURAENGINE COMO SOFTWARE SLICER DEL MODELO A CARGAR.	56
FIGURA 4.34: ELECCIÓN DEL TIPO Y GROSOR DE MATERIAL.	56
FIGURA 4.35: AJUSTES DE CALIDAD IMPRESIÓN Y ESTRUCTURAS.	57
FIGURA 4.36: AGREGANDO LOS OBJETOS A PROCESAR POR CAPAS MEDIANTE CURAENGINE.	58
FIGURA 4.37: VISTA PREVIA ANTES DE LA IMPRESIÓN EN EL SOFTWARE “REPETIER-HOST”	59
FIGURA 4.38: SECCIÓN “FINALIZACIÓN”	59
FIGURA 4.39: MODELO DE ÓRTESIS POR MEDIO DE IMPRESIÓN 3D.	60
FIGURA 4.40: LECTURA DE ARCHIVO EN FORMATO PLY EN EL ENTORNO DE MATLAB (FUENTE PROPIA).	61
FIGURA 4.41: PROPIEDAD LOCATION DE LA VARIABLE POINTCLOUD (FUENTE PROPIA).	61
FIGURA 4.42: REPRESENTACIÓN DE LA PROPIEDAD COLOR DENTRO DE LA CLASE POINTCLOUD (18)....	62
FIGURA 4.44: A) INGRESO DE DATOS A LA FUNCIÓN PCSHOW(). B) IMAGEN MOSTRADA POR LA FUNCIÓN (FUENTE PROPIA).	62
FIGURA 4.45: EJEMPLO DE APLICACIÓN DE LA FUNCIÓN DELAUNAY() (FUENTE PROPIA).	63
FIGURA 4.46: SINTAXIS DE LA FUNCIÓN TRISURF() (19).....	63
FIGURA 4.47: LLAMADO DE LA FUNCIÓN TRISURF() A PARTIR DE DATOS PROPIOS.....	64
FIGURA 4.48: INTERROGACIÓN DE LA PROPIEDAD FACES DEL OBJETO O VARIABLE TIPO PATCH. EN LA FILA 1, UN POLÍGONO VA A FORMARSE CON LOS VÉRTICES CON NÚMEROS 1, 2 Y 3 CORRESPONDIENTES A FILAS DENTRO DE LA PROPIEDAD VERTICES.	65
FIGURA 4.49: SINTAXIS DE LA FUNCIÓN PATCH() UTILIZADA EN ESTE TRABAJO.	65
FIGURA 4.50: UTILIZACIÓN DE LA FUNCIÓN PATCH()	65
FIGURA 5.1: CAPTURA TOMADA A PANTALLA DE INICIO DE SOFTWARE SKANECT	66
FIGURA 5.2: CAPTURA TOMADA MIENTRAS ESCANEAMOS EN EL SOFTWARE SKANECT	66
FIGURA 5.3: RECONSTRUCCIÓN EXITOSA DE ESCANEO EN SKANECT.	67

FIGURA 5.4: VISUALIZACIÓN DE MODELO *.PLY EXPORTADO DE SKANECT EN UN SOFTWARE DISTINTO.	67
FIGURA 5.5: HERRAMIENTAS DE MODIFICACIÓN PARA UN “CUERPO” TIPO “MESH” DENTRO DE FUSION 360. SELECCIONAMOS “PLANE CUT” PARA SECCIONAR MEDIANTE UN PLANO QUE DIBUJEMOS.....	68
FIGURA 5.6: CUERPO “MESH” LISTO PARA EDITAR COMO FÉRULA DENTRO DEL ENTORNO DE FUSION 360	68
FIGURA 5.7: HERRAMIENTAS DE CREACIÓN DE CUERPO “SPLINE” EN FUSION 360. OPTAMOS POR APROXIMAR UN CILINDRO A NUESTRO CUERPO “MESH” POR CONVENIENCIA GEOMÉTRICA EVIDENTE.	69
FIGURA 5.8: A) HERRAMIENTAS DE MODIFICACIÓN DE CUERPO “SPLINE”. B) APROXIMACIÓN DE CUERPO “SPLINE” PARA APEGARSE AL CUERPO “MESH” EXISTENTE.	69
FIGURA 5.9: CORRECCIÓN DE CUERPO “SPLINE” AL “MESH” ORIGINAL.....	70
FIGURA 5.10: CUERPO “SPLINE” CON ESPESOR DE 5MM APLICADO.....	70
FIGURA 5.11: CREACIÓN DE SÓLIDO “BREP” EN FUSION 360. NÓTESE QUE SECCIONAMOS A LA MITAD EL CUERPO PARA COMENZAR A DAR FORMA A LA FÉRULA COMO TAL.	71
FIGURA 5.12: VISTAS ANTERIOR Y POSTERIOR DE FÉRULA CON DISEÑO TERMINADO.	71
FIGURA 5.13: FÉRULA IMPRIMIÉNDOSE.	72
FIGURA 5.14: FÉRULA TERMINADA E IMPRESA.....	72
FIGURA 5.15: ESCANEADO DE PRUEBA PARA LA INTERFAZ.....	73
FIGURA 5.16: RECORTE DE MUÑECA PARA EXPORTACIÓN DE LOS 5000 POLÍGONOS EN UNA SUPERFICIE MENOR.....	73
FIGURA 5.17: EXPORTACIÓN DE ESCANEADO A MATLAB SE OBSERVA QUE SE HAN RECREADO TODOS LOS PUNTOS.....	73
FIGURA 5.18: ESCANEADO EN UN ÁREA REDUCIDA.	75
FIGURA 5.19: RESULTADO ERRÓNEO EN MATLAB AL RECONSTRUIR EL ESCANEADO EN ESPACIO REDUCIDO.	75
FIGURA 5.20: ESCANEADO SATISFACTORIO USANDO LA MÁQUINA PARA EL ESCANEADO CON UNA TOMA DE DATOS DE GRAN PRECISIÓN.	76
FIGURA 5.21: EXTRACCIÓN DE TOTALIDAD DE PUNTOS SE OBSERVA EN EL ANTEBRAZO EL DESPLIEGUE DE LOS 5000 POLÍGONOS HECHO EN SKANECT.	77
FIGURA 5.22: EXPORTACIÓN DEL ARCHIVO STL A FUSIÓN 360.....	77
FIGURA 5.23: DISEÑO EN FUSIÓN 360 DE UNA FÉRULA DE CODO.....	78
FIGURA 5.24: DISEÑO EN FUSIÓN 360 DE UNA FÉRULA DE MUÑECA.	78
FIGURA 5.26: FOTOGRAFÍA EDITADA DE IMPRESORA COMPRADA MODELO HE3D K280.....	79
FIGURA 5.26: ERRORES DE IMPRESIÓN POR DESCALIBRACIÓN Y ATASCOS DE MATERIAL.	80

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1: MATERIALES DE IMPRESIÓN POCO COMUNES CON APLICACIÓN ESPECÍFICA (4).....	17
TABLA 3.1. ESPECIFICACIONES DEL CAMPO DE VISIÓN (16).....	34

I. INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de graduación se presentan los pasos, recursos e información necesaria para la implementación del proyecto de IMPLEMENTACION DE SISTEMA DE DISEÑO Y CONSTRUCCION DE ÓRTESIS ESTÁTICAS PARA EL TRATAMIENTO DE LESIONES TRAUMÁTICAS EN EXTREMIDADES SUPERIORES POR MEDIO DE ESCANEADO DIGITAL E IMPRESIÓN 3D, teniendo como recursos base dispositivos de relativamente bajo costo, pero con calidad garantizada, ya que existen software y dispositivos con altos precios en el mercado fuera del alcance de las mayorías.

Este proyecto está enfocado a la impresión de órtesis estáticas a partir de la información recolectada en el escaneo, para pacientes con lesiones traumáticas (fracturas, luxaciones, entre otros) donde se requiera mantener fija la parte dañada, sin tener que recurrir a órtesis estáticas rudimentarias como el entablillado o yeso, dado que éstas impiden realizar ciertas actividades con normalidad al paciente (bañarse, rascarse, entre otros) y causando malestares como escozor, falta de absorción de vitamina D, etc.

Básicamente dicho trabajo de graduación constará de partes como son:

- ❖ Escaneo de la parte afectada

En esta parte, por medio de un dispositivo sensor de movimiento a base de profundidad del modelo “KINECT” para la consola de videojuegos XBOX 360, se realiza la captura de información externa. Dicha captura se tiene que realizar desde un software que decodifique la información del sensor, dado que éste está diseñado para capturar posición y movimiento del cuerpo humano para videojuegos de la consola antes mencionada.

- ❖ Digitalización de la imagen convirtiéndola en un “sólido” imprimible

A partir del software OCCIPITAL SKANECT se realiza el procesamiento de datos adquiridos con el KINECT y a la vez utilizando MATLAB en donde realizaremos el tratamiento de los datos obtenidos y generaremos el sólido en un formato digital imprimible.

- ❖ Impresión en 3D de la pieza.

Con los datos adquiridos en MATLAB se procede a la impresión en una impresora 3D tipo DELTA que tenga las dimensiones necesarias para la impresión de dicha pieza.

Todo este proceso tiene sus ventajas y sus desventajas que sin lugar a dudas serán abordados dentro de este material.

II. OBJETIVOS

GENERALES:

- ❖ Diseñar y construir un sistema capaz imprimir órtesis estáticas en 3D para extremidades superiores en tratamiento por lesión/es traumáticas.

ESPECÍFICOS:

- ❖ Diseñar un software que sea capaz de digitalizar órtesis estáticas digitalizadas
- ❖ Utilizar una impresora 3D tipo "DELTA" con las especificaciones requeridas para imprimir objetos de gran volumen.
- ❖ Diseñar estructura para escáner
- ❖ Investigar procedimientos ortopédicos y fisioterapéuticos para garantizar aplicaciones efectivas de las órtesis estáticas.

III. JUSTIFICACIÓN

Para la implementación de este proyecto se pretende crear un sistema que sea capaz de crear un dispositivo que cumpla con las mismas propiedades de una órtesis estática de yeso, pero con ventajas que permitan que el paciente sea capaz de continuar su tratamiento sin dejar a un lado la mayoría de las actividades de su cotidiano vivir.

Para tal sistema se necesita dividir el proyecto en 3 partes esenciales:

El diseño de una estructura de escaneo: debido a la diversidad de anatomía de cada paciente y tomando en consideración las posiciones efectivas del paciente de acuerdo a la lesión, nos vemos en la necesidad de diseñar una estructura a fin de que cada órtesis estática sea cómoda y ergonómica para el paciente.

El ensamblaje de una impresora 3D: ya que el tamaño de las órtesis estáticas es considerablemente grande se deberá ensamblar una impresora que cumpla con las dimensiones necesarias para la fabricación de una pieza que se adapte al tamaño del miembro fracturado del cliente.

La ejecución o fabricación de la órtesis estática: dado que existen muchos tipos de lesiones posibles en el cuerpo humano, nos hemos limitado a las traumáticas de extremidades superiores (brazo, antebrazo, muñeca y mano), que cumpla todas las funciones para el tratamiento y a la vez que sea cómoda, ergonómica, liviana y con estilo personalizado.

IV. ALCANCES Y LIMITACIONES

El presente trabajo de graduación abarcará el diseño e implementación de un sistema capaz de generar órtesis estáticas 3D donde resalta los siguientes puntos:

- ❖ Implementación de métodos de obtención de datos a partir del sensor de movimiento modelo "KINECT 360" y el software OCCIPITAL SKANECT.
- ❖ Tratamiento de dichos datos en su variedad de formatos a fin de digitalizar, a partir de los datos obtenidos en la etapa de escaneo, un modelo de un cuerpo sólido (férula u órtesis) mediante un "script" en el entorno de MATLAB.
- ❖ Utilización de impresora 3D tipo "DELTA" para órtesis estáticas de gran volumen compatible con el software a diseñar
- ❖ Automatización del proceso para la obtención de órtesis estáticas
- ❖ Aplicar procedimientos y técnicas ortopédicas y fisioterapéuticas durante el proceso de fabricación.

La finalidad del proyecto será una férula como producto terminado que será a la medida de cualquier paciente y demore lo menos posible en estar lista para el tratamiento del paciente.

1. CAPITULO I: ANTECEDENTES, CONCEPTOS BASICOS Y GENERALIDADES

1.1 MÉTODOS DE ESCANEEO EN 3D

Ya que el objetivo del presente proyecto es imprimir férulas a partir de un modelo digital del miembro del cuerpo del paciente, abordaremos los métodos de censado o “escaneo” en 3D que se consideran existentes en la actualidad. La clasificación más extendida se establece en función de si existe contacto con el objeto o no. Los escáneres 3D sin contacto a su vez se pueden dividir en dos categorías principales: escáneres activos y escáneres pasivos.

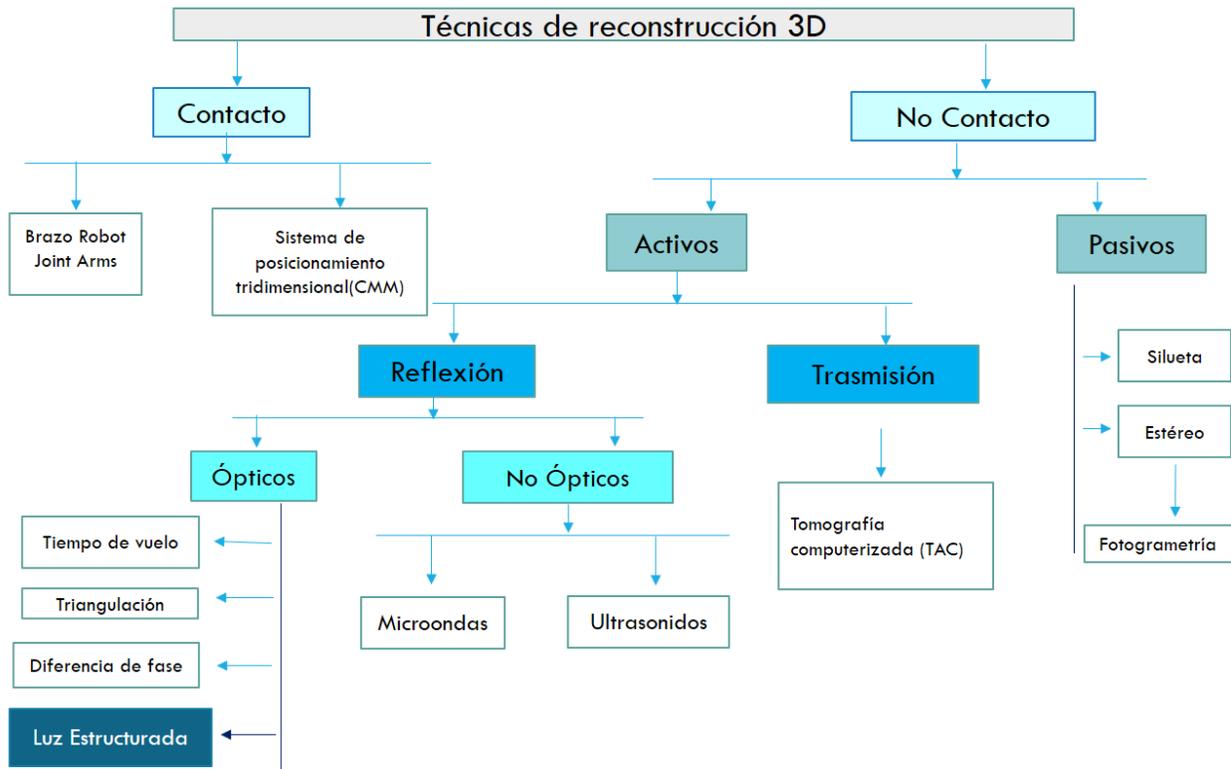


Figura 1.1: Clasificación de los métodos de escaneo en 3D (1).

A continuación, se abordarán los métodos de escaneo antes mencionados, concentrándose especialmente en los métodos ópticos y otros mencionados en el diagrama de la Figura 1.1, dado que tienen más relación con los sensores de los cuales se compone el dispositivo utilizado en nuestro proyecto.

1.1.1 ESCANEEO POR CONTACTO

Los escáneres 3D por contacto son los más antiguos. Su funcionamiento se basa en la obtención de las coordenadas de los puntos mediante la medida del desplazamiento de una punta o palpador sobre la superficie a digitalizar.

1.1.1.1 PUNTA MONTADA SOBRE UN BRAZO ROBOT (JOINT ARMS)

Cuentan con articulaciones (ver figura 1.2) que permiten al operador del escáner girar la sonda de medición en cualquier dirección; teniendo puntas exploratorias intercambiables que pueden ser utilizadas dependiendo de las características de la superficie del objeto.



Figura 1.2: Escáner de contacto de punta montada (1).

1.1.1.2 SISTEMA DE POSICIONAMIENTOS TRIDIMENSIONAL (CMM)

Se usan mayoritariamente en control dimensional para procesos de fabricación (figura 1.3), alcanzándose altas precisiones de hasta 0,01 mm. El movimiento físico del brazo es muy lento, obteniéndose una frecuencia de muestreo máxima del orden de las centenas de Hz.



Figura 1.3: Escáner de contacto CMM (1).

1.1.2 ESCANEEO SIN CONTACTO

Estas técnicas utilizan equipos que emiten cierto tipo de energía, por ejemplo, luz o sonido, para examinar la superficie del objeto a escanear. Se pueden subdividir en activas y pasivas. Las primeras consisten en técnicas que no emiten ninguna clase de radiación, pero se enfocan en detectar la reflejada en el ambiente como puede ser la luz visible. Las segundas son aquellas técnicas que se caracterizan por emitir alguna clase de radiación (luz, ultrasonido u ondas de radio). La medición de la forma del objeto se logra analizando la energía reflejada o transmitida por la superficie del objeto.

1.1.2.1 SIN CONTACTO PASIVOS

Son aquellos que no emiten ninguna radiación por sí mismos, y basan su funcionamiento en capturar la radiación reflejada en el ambiente. La mayoría de los métodos de este tipo detectan la luz visible debido a que es una radiación fácilmente disponible

1.1.2.1.1 ESCANEEO ESTEREOSCÓPICO:

Este sistema se basa en simular el principio con el que el ojo humano analiza las diferencias de las imágenes captadas por cada ojo y así determinar la profundidad de la escena. Este tipo de sistemas se sirven de dos cámaras de vídeo situadas una al lado de la otra con muy poca distancia entre ellas mirando al mismo objetivo, como se muestra en la figura 1.4.

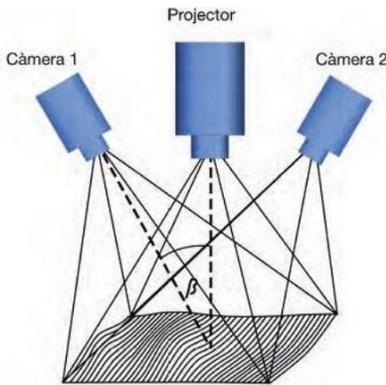


Figura 1.4: Método de escaneo estereoscópico (1).

1.1.2.1.2 ESCANEEO POR FOTOGRAMETRÍA

Es un método muy utilizado dada su practicidad de aplicación, accesibilidad de equipo y confiabilidad aceptable de resultados. Su objeto es estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera, utilizando esencialmente medidas hechas sobre una o varias

fotografías de ese objeto. Una definición más actualizada, de la Sociedad Americana de Fotogrametría y Teledetección (ASPRS): " es el arte, ciencia y tecnología para la obtención de medidas fiables de objetos físicos y su entorno, a través de grabación, medida e interpretación de imágenes y patrones de energía electromagnética radiante y otros fenómenos”.

Básicamente, es una técnica de medición de coordenadas 3D, también llamada captura de movimiento, que utiliza fotografías u otros sistemas de percepción remota junto con puntos de referencia topográficos sobre el terreno, como medio fundamental para la medición.

Éste método tiene muchas aplicaciones como digitalización de objetos en formatos imprimibles (e.g. nuestro proyecto), cartografía (obtención de planos mediante vuelos fotogramétricos), entre otros. Procesando varias fotografías que traslapen entre sí (se recomienda mayor a 60% y es óptimo mayor a 80%), como se ve en la figura 1.5, en un software dedicado, se obtiene un archivo de “nube de puntos” con formatos más común *.PLY o *.PCD

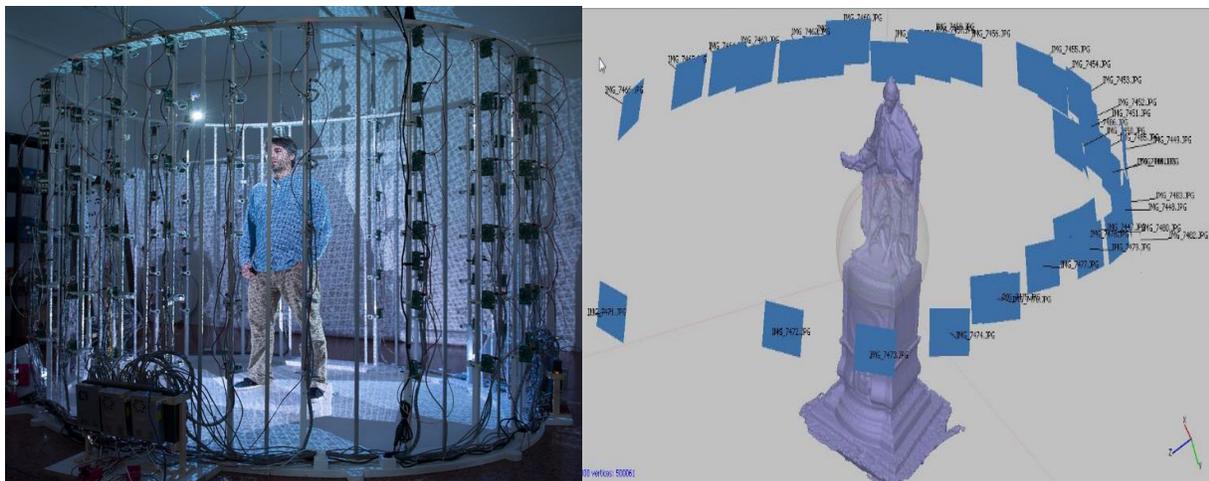


Figura 1.5: Método de escaneo fotogramétrico (14).

1.1.2.2 SIN CONTACTO ACTIVOS

Se denominan Escáneres Activos a los que emiten alguna clase de señal y analizan la respuesta para capturar la geometría del objeto.

Los escáneres sin contacto activos más utilizados en la actualidad se describen a continuación.

1.1.2.2.1 ESCANEO POR TIEMPO DE VUELO

Utiliza la luz de un láser para examinar la superficie del objeto que se quiere escanear y por medio de un telémetro láser mide la distancia que hay entre el punto de salida del láser y la superficie del objeto, cronometrando el tiempo del viaje redondo de un pulso de luz. Debido a que el láser apunta su rayo en un rango horizontal es necesario apuntar el escáner sobre diferentes puntos del objeto para obtener

mediciones de la superficie total del mismo y poder lograr un modelo tridimensional. La ventaja de estos escáneres es que pueden recopilar datos sobre mediciones a distancias muy lejanas, las cuales pueden llegar al rango de varios kilómetros. Estas técnicas son muy útiles para realizar escaneos de grandes estructuras como pueden ser edificios o topografías geográficas (Figura 1.6). Su desventaja se encuentra en el rango de precisión debido a que suele ser del orden de milímetros y no de micro-milímetros como en otras técnicas.

Los escáneres típicos de este tipo pueden medir la distancia de aproximadamente 10.000-100.000 puntos cada segundo.

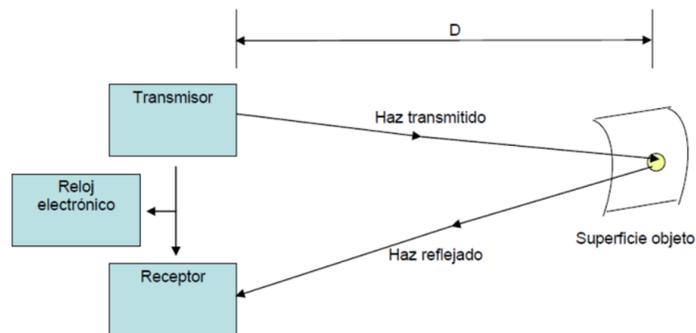


Figura 1.6: Método de escaneo por tiempo de vuelo (1).

1.1.2.2.2 ESCANEO POR TRIANGULACIÓN

Como su nombre lo indica, utiliza el principio de triangulación activa basado en la aplicación de un haz de luz por medio de un emisor láser sobre la superficie de la escena que examina; posteriormente la luz reflejada del láser es captada por un sistema óptico (cámara digital), el cual a través de un sensor denominado dispositivo de acoplamiento por carga (CCD), que se encuentra dentro de la cámara, ubica las medidas de profundidad de la superficie inspeccionada como deformaciones de la luz láser. Estas medidas son representadas en una señal de imagen digital que contiene información referente a las coordenadas X, Y, Z del conjunto de curvas de la superficie escaneada. El punto del láser sobre la superficie del objeto, la cámara y el emisor del láser forman un triángulo. Aunado a esto, el conocimiento de la distancia entre el emisor y la cámara permite aplicar el teorema de Pitágoras para conocer la distancia entre el emisor del láser y la superficie escaneada logrando obtener mediciones precisas.

Los escáneres de triangulación utilizan una línea de luz láser, horizontal o vertical, que “barre” el objeto con una orientación perpendicular a esta línea en lugar de emitir un solo punto cada vez. De esta manera el proceso de adquisición de los datos es más veloz. La posición del emisor, de la cámara y del objeto forma un triángulo. De este triángulo se conoce el lado que conecta el emisor láser con la cámara y el ángulo “ α ” de la figura. El ángulo “ β ” puede obtenerse examinando la localización del punto objetivo en el campo visual de la cámara (ver Figura 1.7).

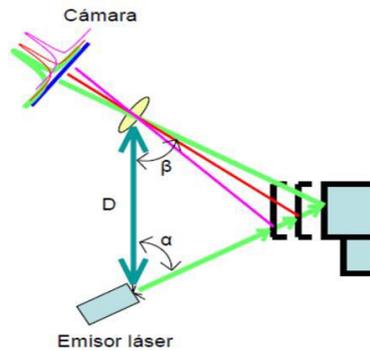


Figura 1.7: Método de escaneo por triangulación (1).

1.1.2.2.3 ESCANEO MEDIANTE PROYECCIÓN DE LUZ ESTRUCTURADA

El objetivo de esta técnica es la introducción de información geométrica en la iluminación para facilitar la extracción de la profundidad de la escena que se pretende digitalizar. Este tipo de escáneres proyectan una línea de luz en el objeto y miran la deformación de la luz provocada por la superficie del mismo con base a las diferentes distancias en las que choca la luz. Esto produce una imagen bidimensional, que al ser complementada con la información de la profundidad produce una referencia tridimensional de cada punto capturado. La información de profundidad se adquiere del desplazamiento relativo de los diferentes puntos de la línea de luz. La ventaja de esta técnica de escaneo es que realiza mediciones de múltiples puntos a la vez, agilizando el tiempo de escaneo de objetos o ambientes. Utilizar esta técnica requiere del procesamiento de múltiples imágenes para generar la escena completa, y el ángulo de captura servirá como referencia para establecer la ubicación espacial de los puntos concordantes. Estas se generarán al desplazar la fuente de luz o al mover la escena de manera que el ángulo cambie. Una variante de este método es la aplicación de un patrón de luz (rejilla de difracción) formado por la proyección simultánea de múltiples líneas sobre la escena a capturar (figura 1.8), lo que permite recopilar toda la información en una sola toma.

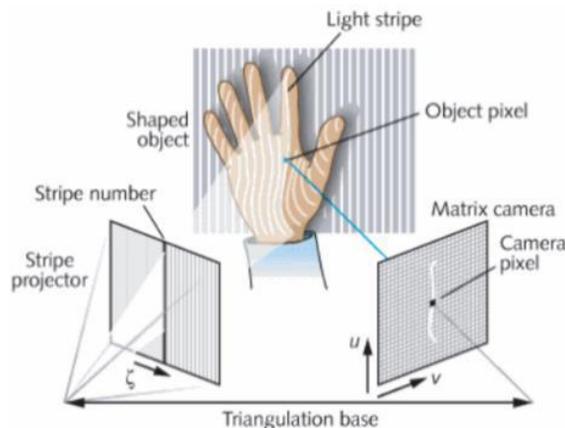


Figura 1.8: Método de escaneo por proyección de luz estructurada (1).

La metodología de cálculo de puntos sigue el principio de triangulación, concepto compartido con los escáneres activos sin contacto por triangulación.

El procedimiento seguido por este tipo de aparatos puede describirse en tres pasos:

- ❖ Se proyecta sobre el objetivo una sucesión de patrones cuyo orden y codificación es conocida.
- ❖ Se realiza un análisis por comparación de las variaciones de los patrones captados por la cámara respecto al original.
- ❖ Mediante diferentes algoritmos de cálculo, se obtiene una nube de puntos que formarán posteriormente la malla tridimensional del objeto.

Atendiendo a la codificación y forma de los patrones, se distinguen tres técnicas fundamentales:

- ❖ Técnica de Multiplexado en tiempo.
- ❖ Técnica de Vecindad espacial.
- ❖ Codificación directa.

1.1.3 MICROSOFT KINECT 360

Este dispositivo no es un método de escaneo en sí (mencionados en la Figura 1.1), sino que es un dispositivo que incluye una serie de sensores dedicados que lo convierten en un sistema que facilita la adquisición de datos en nuestro proyecto. Orientado principalmente a la industria de los videojuegos, concretamente, como periférico de la video-consola Xbox 360 de Microsoft. Su principal innovación es que permite a los usuarios controlar e interactuar con la consola sin necesidad de tocar ningún controlador de juego físicamente, a través de una interfaz de usuario natural basada en gestos y comandos de voz.



Figura 1.9: Detallado de sensor Kinect de Microsoft (15).

Como se puede ver en la figura 1.9, son cuatro los elementos principales que componen el dispositivo: una cámara RGB en resoluciones de 640x480 (VGA) y 1280x1024 píxeles, sensor de profundidad (proyector IR + cámara IR) en resoluciones de 640x480 (VGA), 320x240 (QVGA) y 80x60 píxeles; un motor

para controlar la inclinación del dispositivo y un arreglo de cuatro micrófonos distribuidos a lo largo del sensor. A continuación, se describen los que resultan de interés para este proyecto.

- ❖ Cámara RGB: Dependiendo del SDK (Software Development Kit) utilizado, esta cámara es capaz de operar con dos formatos de imagen: formato RGB y formato YUV. En formato RGB, hasta treinta imágenes pueden ser generadas por segundo (30fps). Las imágenes en formato YUV sólo están disponibles en una resolución de 640x480 píxeles y a solo 15fps.
- ❖ Sensor de profundidad: Este sensor utiliza luz estructurada infrarroja para su funcionamiento. La fuente de luz infrarroja (laser más rejilla de difracción), proyecta un patrón de puntos sobre la escena que es leído por un sensor de infrarrojos monocromático CMOS. El sensor detecta los segmentos de puntos reflejados y estima la profundidad a partir de la intensidad y la distorsión de los mismos. Microsoft, la empresa propietaria del sensor, no ha hecho ninguna publicación en relación al algoritmo empleado para estimar la profundidad. Sin embargo, varios investigadores han intentado deducirlo por medio de un proceso de ingeniería inversa. La Figura 9 muestra un patrón de puntos claros y oscuros proyectados por el sensor Kinect. Según ROS (Robot Operation System), el algoritmo comienza calculando la profundidad de un plano de referencia a partir de los nueve puntos que aparecen muy marcados y guarda el patrón para ese plano. Posteriormente, la profundidad para cada píxel se calcula eligiendo una ventana de correlación pequeña (9x9 o 9x7) y se compara el patrón local en ese píxel con el patrón memorizado en ese píxel y los 64 píxeles vecinos en una ventana horizontal.

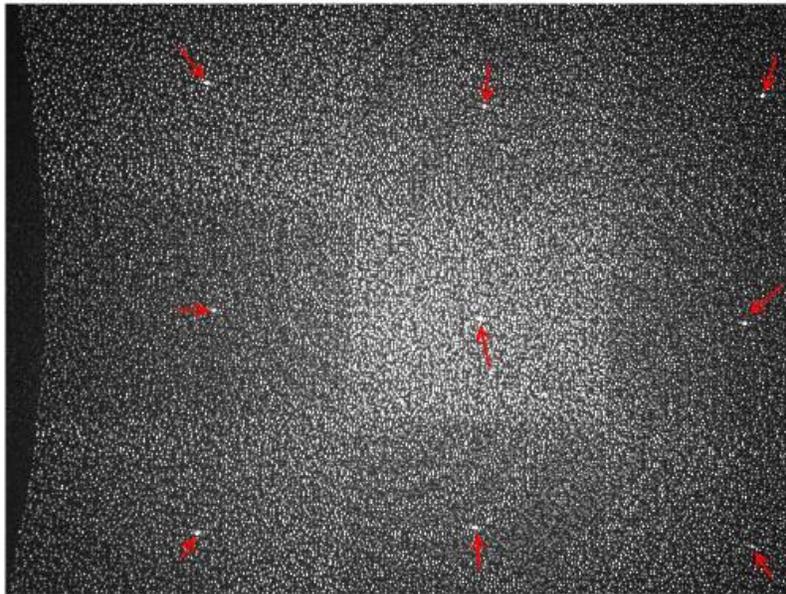


Figura 1.10: Patrón de puntos emitidos por el sensor Kinect (15).

La mejor coincidencia da un offset (disparidad) respecto a la profundidad del plano de referencia, en términos de píxeles. Dadas la profundidad del plano memorizado y la disparidad, una profundidad estimada para cada píxel puede ser calculada por triangulación, de acuerdo a la expresión utilizada por un sistema estéreo normal. Por otro lado, la resolución en la dimensión z es de aproximadamente un centímetro, mientras que la resolución espacial (ejes x e y) es del orden de milímetros. La información de profundidad se devuelve en un mapa de píxeles con una frecuencia máxima de 30 imágenes por segundo. Cada píxel está representado por dos bytes (16 bits), cuyo valor representa teóricamente la distancia del objeto al sensor. Para un funcionamiento correcto, deben satisfacerse las siguientes condiciones teóricas:

- ❖ Máxima (mínima) distancia del objeto al sensor: 3.5 (1.2) metros.
- ❖ Los objetos deben estar dentro del ángulo de visión: $\pm 43^\circ$ verticalmente y de $\pm 57^\circ$ horizontalmente.
- ❖ Relacionadas con el tipo de objeto (translucido, especular, cóncavo, etc.).
- ❖ Relacionadas con la iluminación (luz solar fuerte).

Si el valor de un píxel del mapa es cero, significa que el sensor no pudo estimar la profundidad para esa región por no cumplirse alguna de estas condiciones.

1.2 DIGITALIZACIÓN DE SÓLIDOS Y EDICIÓN DE MODELOS DIGITALES MEDIANTE SOFTWARE DEDICADO.

Ahora, para la parte de análisis de datos, los programas disponibles en el mercado que tratan con los formatos de nubes de puntos, de polígonos, de modelos sólidos, entre otros, son demasiado variados y con características muy similares. Por eso se hace énfasis en los utilizados en este trabajo, que son Occipital Skanect para la adquisición de la nube de puntos y MatLab para el tratamiento de dicha nube de puntos y digitalización de la órtesis como un sólido en formato digital imprimible.

Más adelante se definirán conceptos y detalles técnicos y específicos de los algoritmos, código, lógica de programación y combinación del software antes mencionados ya como parte del sistema completo

1.2.1 OCCIPITAL SKANECT

Inicialmente, se necesita preparar el hardware necesario, dado que este programa decodificará los datos que se lean en el sensor Kinect. Como mencionado anteriormente, el sensor de movimiento/profundidad Kinect necesitará un adaptador, como se muestra ensamblado en la Figura 1.11 para funcionar con la computadora.

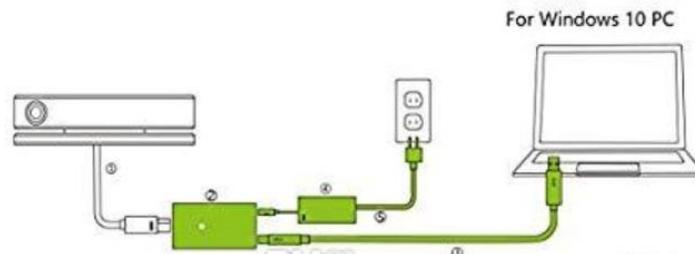


Figura 1.11: Ensamblaje de Microsoft Kinect para PC (fuente: <https://support.xbox.com>)

El entorno de trabajo no es muy demandante. Lo único necesario es tener iluminación adecuada.

Skanect es un software que, junto con el "Structure Sensor" Microsoft Kinect o las cámaras Asus Xtion pueden escanear objetos decodificando, mediante el anteriormente mencionado adaptador. Además de capturar formas, este sistema también captura el color del objeto escaneado. Crea mallas 3D en pocos minutos. Escanea en tiempo real, por lo que es posible ver el objeto escaneado en la pantalla

inmediatamente durante el escaneo. Luego, solo toma unos minutos para que se complete el renderizado y el objeto esté en el programa.

Existe la posibilidad de modificar la malla dentro del programa, pero lo mejor es exportarlo como un formato OBJ o PLY y editarlo con un software distinto.

La interfaz del programa es muy sencilla. Su pantalla inicial es como se muestra en la figura 1.12.

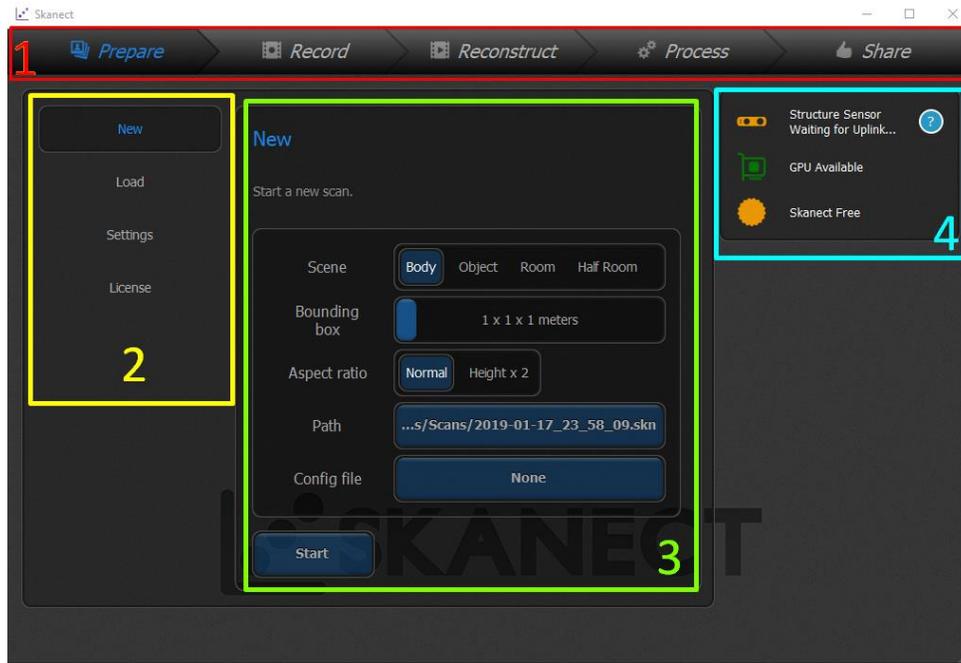


Figura 1.12: Pantalla inicial Occipital Skanect (fuente: propia).

En la figura anterior, se pueden desglosar las partes enumeradas:

1. Barra de progreso: La opción inicial “prepare” muestra las opciones más importantes a configurar antes de realizar el escaneo, ya sea si se quiere hacer una nueva entrada, cargar una existente, o modificar aspectos de grabación. La pestaña “record” mostrará lo escaneando, como se ve en la Figura 1.13a. La pestaña “reconstruct” permite ordenar los datos obtenidos en forma de un sólido (lo esperado); puede ser que partes escaneadas hayan quedado separadas o mal unidas y se reconstruirán automáticamente (cabe aclarar que dependerá mucho de la capacidad de procesamiento gráfico de la computadora en que se trabaje para que la reconstrucción sea exitosa). La pestaña “process” da herramientas de edición como rellenar agujeros, suavizar superficie, entre otras; sin embargo, como mencionado anteriormente, es más recomendable utilizar software más dedicado a edición. Finalmente, “share” permite guardar o exportar el modelo escaneado a un formato de conveniencia, guardarlo como proyecto en la nube, y modificar datos de escala, colores, entre otros.
2. La barra de configuración permite abrir un archivo existente o seleccionar las opciones en el numeral 3 de esta lista para un archivo nuevo, así como modificaciones de selección del procesador preferido y activación de licencia.

La licencia por la que se optó es la licencia “gratis” para no incurrir en costos adicionales. La limitante más notoria de no tener la licencia “profesional” es que el modelo a exportar (*.PLY, *.OBJ, etc.) estará conformado por 5000 polígonos (plano formado por 3 o más puntos de la nube de puntos) como máximo; lo anterior significa que habrá cierto nivel de distorsión entre el miembro escaneado del cuerpo y el modelo obtenido. Sin embargo, ésta pérdida no será significativa dado que el nivel de detalle requerido para el escaneo no es tan alto; quiere decir que no afectará mucho para los propósitos del trabajo.

3. El cuadro de opciones nos muestra las configuraciones disponibles para la selección hecha en el numeral 2 de esta lista. En la pantalla inicial, se mostrarán las opciones de crear un archivo nuevo. Básicamente, dichas configuraciones son de medidas de un “espacio de grabación”. Es un espacio con altura, ancho y largo donde únicamente el programa grabará (coordenadas 3D) los puntos clave que entren en dicho espacio. En la figura 1.13b se observa cómo se han guardado para la reconstrucción del modelo únicamente datos leídos del sensor cuanto tomó puntos que se encontraban dentro del espacio seleccionado.
4. La barra de estados muestra la disponibilidad del sensor (Kinect u otro), si se utilizará tarjeta de video para optimizar procesamiento y el tipo de licencia con que se trabajará.

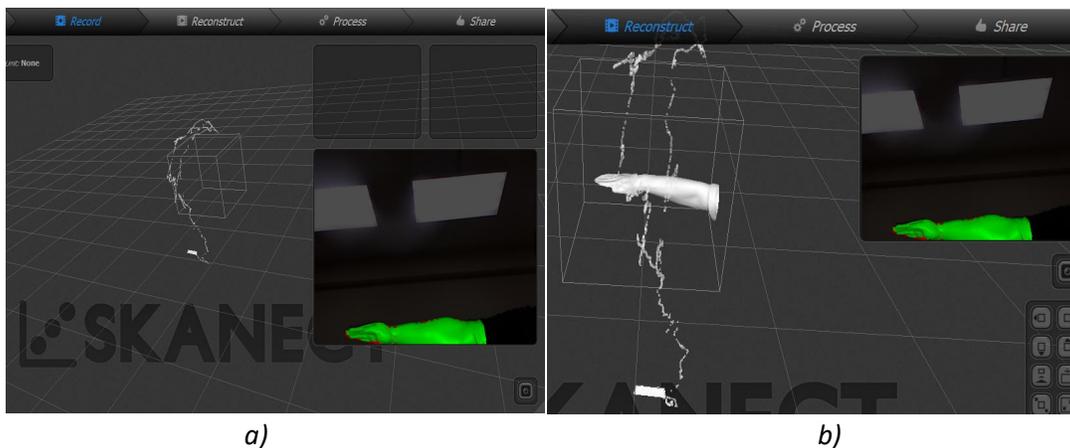


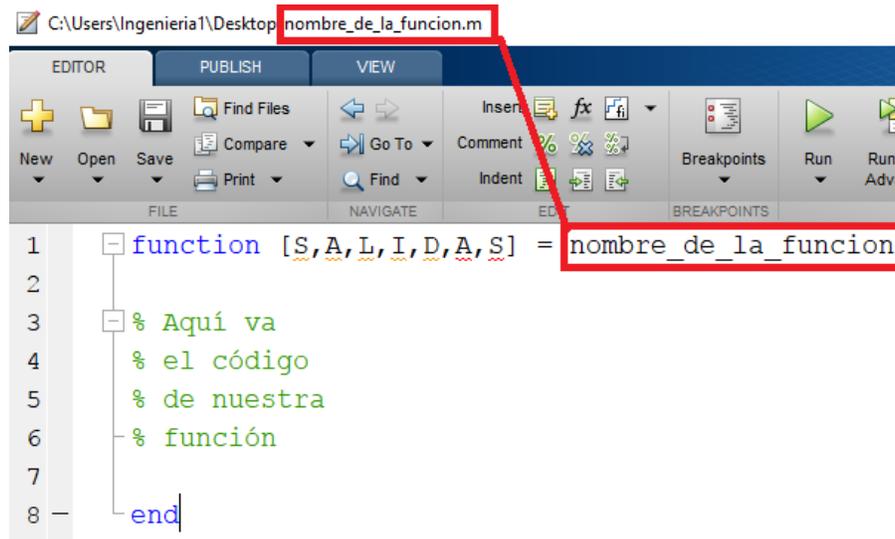
Figura 1.13: Vista en pantalla del software Skanect en pestañas de grabación en la barra de progreso (fuente: propia).

a) En “record” se muestra desde qué posición está grabando puntos el sensor. b) Luego de procesar los datos obtenidos en “record”, en “reconstruct” se ven inicios de un modelo digital de lo escaneado, siempre limitándose al espacio de captura definido al inicio (dicho espacio se puede modificar en ésta pestaña).

1.2.2 MATLAB

Matlab es una herramienta informática que sirve para realizar cálculos matemáticos permite crear gráficos de diferentes tipos y representa una gran ayuda al momento de trabajar con números complejos, matrices, funciones trigonométricas, etc. Desde sus principios trae consigo una característica muy interesante que es la de programar es decir que es posible crear archivos que contengan las operaciones que deseen realizar (Mathworks, 2019).

La programación se realizará mediante un lenguaje parecido a BASIC o C denominado “script” (ver ejemplo en figura 1.14), esto permite que el programador pueda agrupar sentencias que utiliza frecuentemente dentro de un programa que puede ser utilizada posteriormente. De este modo se ahorra tiempo y esfuerzo en sucesivas sesiones. La versión de este software que utilizaremos en nuestro proyecto es la R2017.



```
1 function [S,A,L,I,D,A,S] = nombre_de_la_funcion
2
3 % Aquí va
4 % el código
5 % de nuestra
6 % función
7
8 end
```

Figura 1.14: Ejemplo de una función dentro del entorno de trabajo de MatLab R2017 (fuente: propia).

No obstante, no todas son ventajas MATLAB. Dado que no fue concebido como lenguaje de programación, tiene falta de elementos o características necesarias para una buena programación. Se maneja en su mayor parte escribiendo sentencias dentro de una ventana denominada de “ordenes” dichas ordenes se escriben línea a línea.

La aplicación del software MatLab para tratamiento matemático de datos es prácticamente infinita, por lo que más adelante definiremos los algoritmos matemáticos empleados para dicho tratamiento. Sin embargo, se delimitan los pasos del proceso lógico de la/s funciones del código que se diseñará y aplicará que, a su vez, son aplicables a cualquier programa realizado con MatLab:

- ❖ Análisis del problema
- ❖ Diseño y desarrollo del algoritmo.
- ❖ El algoritmo debe seguirse paso a paso verificando que se realicen todas las instrucciones necesarias para alcanzar el objetivo.
- ❖ Compilación.
- ❖ Depuración (debug). Proceso de detección y eliminación de los errores de programación.
- ❖ Evaluación de resultados. Se ejecuta el programa utilizando datos de entrada y resultados conocidos para verificar que se esté ejecutando adecuadamente.

1.3 LA IMPRESIÓN 3D

Impresión 3D es el proceso de conformar un objeto sólido a partir de un modelo digital computarizado. El término impresión 3D engloba al grupo de tecnologías de fabricación de un objeto tridimensional por adición de capas sucesivas de material.

Las impresoras 3D ofrecen a los desarrolladores la capacidad para producir partes compuestas en diferentes materiales, con las diferentes propiedades físicas y mecánicas asociadas, y juntarlas con un simple procedimiento de ensamble.

Todo proceso de impresión 3D de un objeto sigue una misma estructura (representado en la figura 1.15).

- ❖ El primer paso consiste en la obtención de un modelo tridimensional del objeto deseado. El modelo puede conseguirse a través de un escáner 3D, como se ha comentado anteriormente, o mediante el diseño por ordenador a través de los canales adecuados, comúnmente mediante el uso de programas CAD o CAM. Ejemplos de este tipo de programas pueden ser Solidworks o Blender.
- ❖ El segundo paso trata de la preparación del modelo en el formato adecuado (generalmente STL), en el que se almacena toda la información geométrica del objeto.
- ❖ Por último, se presenta de forma común la necesidad de transformar el archivo del modelo a un sistema que pueda ser entendido por la máquina impresora (generalmente, g-code). Finalmente, se establecen los parámetros de impresión con ayuda de un ordenador externo y se da comienzo a la impresión, que se realiza de una forma automática.

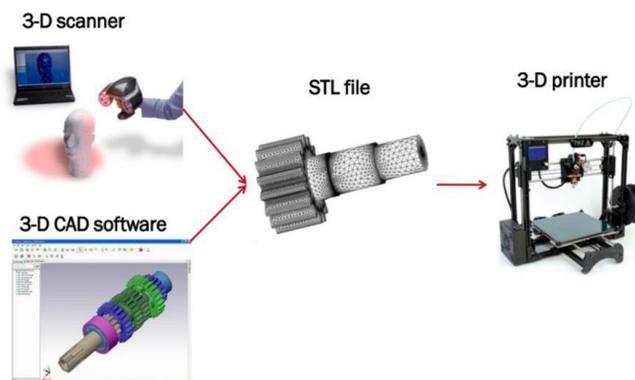


Figura 1.15: Representación del proceso de impresión 3D (4)

Existe un gran número de alternativas tecnológicas para la impresión 3D. Las principales diferencias radican en la forma en la que se depositan las distintas capas de material.

La elección del método más adecuado debe ser considerado en función de diversos factores como pueden ser: material de impresión, de la velocidad empleada o el coste de fabricación. A continuación, se presenta un cuadro (figura 1.16), en el que se resumen las alternativas más destacadas en función del modo de conformado y del material empleado.

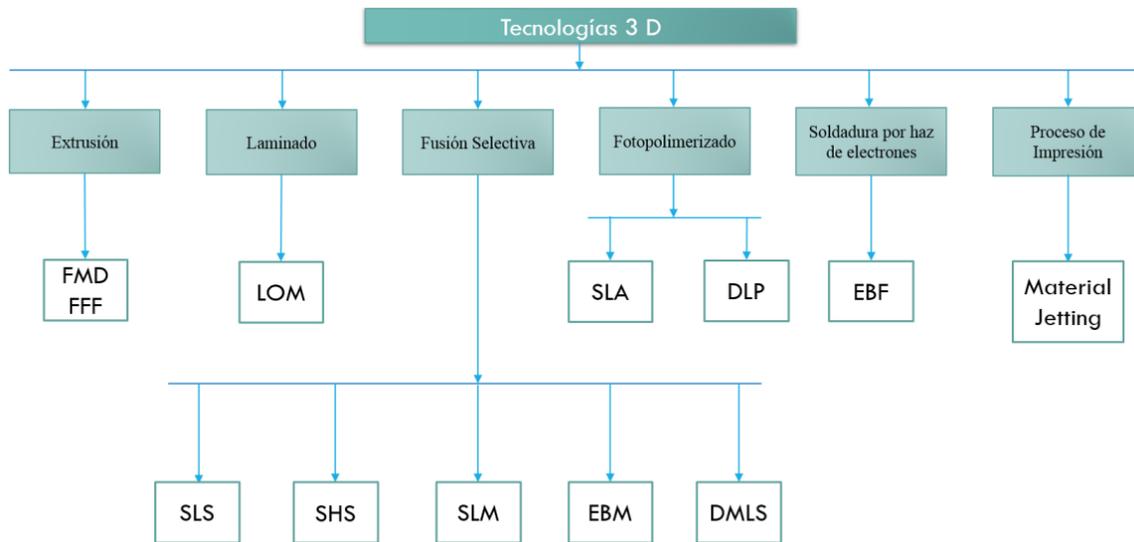


Figura 1.16: Alternativas tecnológicas en el campo de la impresión 3D (4).

A pesar de la variedad de métodos de impresión, se hará énfasis solamente en los sistemas de impresión por extrusión y se definirán a continuación.

1.3.1 PROCESO DE IMPRESIÓN POR EXTRUSIÓN

El método más extendido es el Modelado de deposición fundida (FDM). El material base (PLA, ABS, entre otros) es calentado a una temperatura de aproximadamente 200°C. Posteriormente es extruido a través de la boquilla del extrusor. El material se deposita de forma gradual y se va enfriando, solidificándose y formando una nueva capa que se adhiere a la capa anterior, formándose capa a capa el producto final. El objeto se apoya sobre una base que va descendiendo de forma sucesiva según avanza el proceso.

El equipo de impresión 3D utilizado en el desarrollo del presente proyecto se basa en el principio de extrusión, según la tecnología de Fabricación por Filamentos Fusionados (FFF).

El esquema de funcionamiento es como se muestra en la figura 1.17.

La impresión comienza desde la capa inferior, en la que se crea una superficie base que servirá de apoyo para la construcción de la pieza y para su posterior separación una vez concluido el proceso. El material es calentado y una vez alcanzada la temperatura óptima, es depositado mediante un extrusor de forma que el material vaya formando las diferentes capas que componen el objeto final.

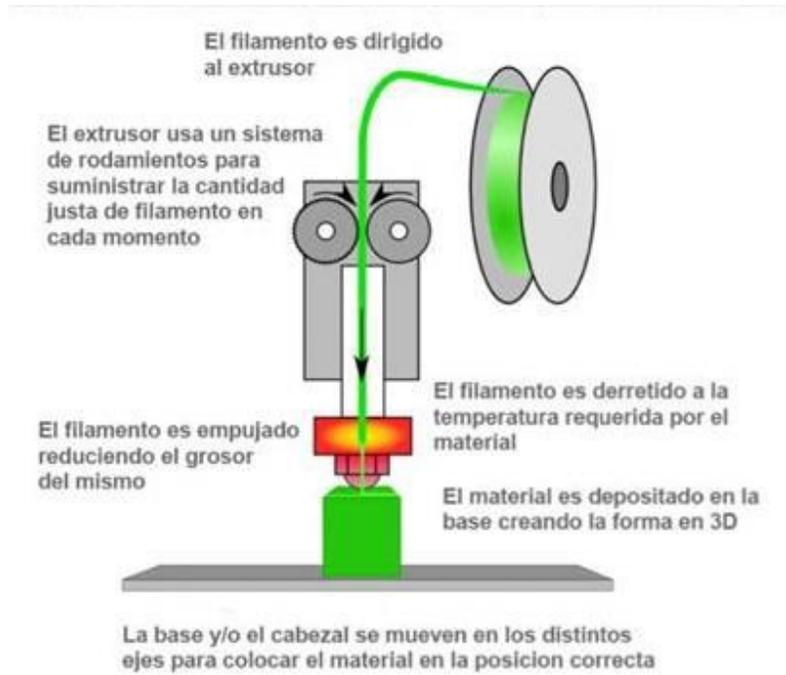


Figura 1.17: Proceso de impresión por extrusión (2).

Definiremos los materiales de impresión más adelante, aunque los más comúnmente empleados en este campo son los polímeros ABS y PLA. Existen otros materiales de uso poco frecuente, ya sea por el precio o porque la finalidad del objeto impresión no requiere cumplir con exigencias específicas mecánicas. Ejemplos de este tipo de materiales son ULTEM, PC, Nylon o PET.

Estos materiales poseen ciertos aditivos, los cuales pueden provocar una variación tanto a sus cualidades mecánicas como térmicas del material en cuestión. Se considera aditivo a todo aquel material que se encuentra disperso en la matriz polimérica sin afectar a la estructura molecular. Ejemplo de aditivos son los colorantes y pigmentos que otorgan color al material. Afecta también al envejecimiento y la degradación del material.

La viscosidad y las propiedades de los materiales utilizados en esta técnica de impresión requieren que se produzca rápidamente el aglutinamiento y solidificación con las capas de material previamente depositadas, consiguiéndose así la unión entre capas de forma natural.

Considerando el material empleado, los objetos suelen contar con una resistencia aceptable. La robustez de la unión de las capas permite utilizar estos procesos para crear piezas con buenos acabados superficiales, y que no necesiten invertir una gran cantidad de tiempo en post-procesado.

Sin embargo, debido a la técnica de fabricación, las estructuras auxiliares con función de soporte para la impresión suelen ser necesarias para la mayoría de las geometrías, lo que supone una dificultad adicional, no sólo al proceso de construcción del objeto sino también al procedimiento de extracción y limpieza del objeto una vez terminada la impresión, ya que es necesario remover las zonas correspondientes a los soportes auxiliares de manera que no se dañe el objeto. Además, es habitual la aplicación de un aerosol adhesivo sobre la base de impresión, para facilitar el agarre de la pieza construida y evitar que se desplace durante el proceso.

1.3.1.1 MATERIALES DE IMPRESIÓN

Existe una gran variedad de insumos que pueden ser utilizados en la impresión aditiva por deposición de material. Esto permite una mayor flexibilidad a la hora de producir objetos. A los insumos que utilizan estas impresoras se los denomina filamentos y hay de dos diámetros estándar: 1,75 y 3 mm.

También existe una gran diversidad de colores (incluidos los fosforescentes) y propiedades que, por ejemplo, aportan flexibilidad o resistencia. Algunos materiales incluso son capaces de conducir electricidad y formar circuitos. Los productos que se destacan en este ámbito son los filamentos de plástico ABS y PLA. Si bien ambas opciones son válidas para la mayoría de proyectos, la elección del tipo de plástico a utilizar dependerá de la funcionalidad del producto final.

- ❖ ABS: es la sigla en inglés de acrilonitrilo butadieno estireno, un termoplástico derivado del petróleo muy común en todo tipo de productos, por ejemplo, las piezas de LEGO. Sus principales características son:
 - Resistencia al calor: comienza a fundirse a partir de 190 °C. La temperatura de extrusión recomendada es de entre 220 y 250 °C. Temperatura de cama: 100 °C.
 - Rigidez: el ABS es resistente y fuerte. Aun así, tiene cierta flexibilidad, lo que permite un buen acabado y lo vuelve apropiado para realizar encastrés.
 - Colores y opacidad: variedad de colores e incluso alternativas transparentes.
 - Adecuado para: productos o piezas que se sometan a altas temperaturas o que requieran tratamiento posterior (pintura, lijado, pulido, etcétera).
- ❖ PLA: es la sigla, también en inglés, de ácido poliláctico, un plástico biodegradable derivado del almidón que está ganando popularidad en el mercado doméstico gracias a algunas características que lo diferencian del tradicional plástico ABS:
 - Emisión de olores: no emite olores tan fuertes como el ABS, lo que lo hace ideal para espacios cerrados o poco ventilados.
 - Temperatura de cama: alrededor de 60 °C. Se recomienda 70 °C para piezas finas.
 - Temperatura del extrusor: 180-230 °C.
 - Ecológico: el PLA es un plástico biodegradable.
 - Rapidez: la impresión con este material es más rápida y consume hasta un treinta por ciento menos de electricidad que si se utiliza ABS (debido a su menor temperatura de fusión).
 - Resistencia al calor: escasa, comienza a fundirse a partir de 60 °C.
 - Rigidez: el PLA no tiene la flexibilidad del ABS. Sufre menos deformación en la impresión de piezas grandes, pero no se puede lijar o taladrar sin que se quiebre.
 - Colores y opacidad: el PLA tiene una gama de colores más diversa que el ABS, existen variantes traslúcidas o que brillan en la oscuridad. Los colores son algo más apagados que en el plástico ABS.
 - Adecuado para todo tipo de productos o piezas: especialmente aquellas que requieran una gran dureza pero que no vayan a estar sometidas a altas temperaturas.

Existen, además, otros filamentos menos populares que pueden brindar una solución para aplicaciones específicas:

Material	Descripción	Temperatura de impresión	Ventajas	Desventajas
----------	-------------	--------------------------	----------	-------------

HIPS	Polímero termoplástico muy utilizado. Es similar al ABS, por lo que algunos lo emplean como soporte.	210-260 °C	Firme y resistente al calor. Se puede lijar y pintar con acrílico.	La exposición a la luz UV vuelve frágiles las estructuras impresas con este material. No es soluble en vapor de acetona.
PVA	Alcohol polivinílico, una gran opción para usar como material de soporte ya que es soluble en agua tibia, facilitando su remoción.	170-195 °C	Soluble al agua, buena adherencia a materiales como el ABS y el PLA.	se recomienda no superar los 200 °C.
PET	tereftalato de polietileno, comúnmente usado en botellas y recipientes plásticos.	210-220 °C	Gran capacidad de cristalización, puede generar piezas transparentes, es fuerte y resistente a los impactos.	Para que sea transparente hay que extruirlo a más de 245 °C, pero los extrusores comunes no funcionan correctamente a esa temperatura.
LayBrick-Sandstone	Hecho a base de tiza blanca y polímeros para unión. Es ideal para lograr una terminación similar a la piedra.	165-210 °C	terminación suave que no se asemeja a los plásticos. Se usa para objetos de gran tamaño, permite un buen lijado y pintado posterior. Tiene muy poca deformación.	No es tan flexible como otros filamentos.
LayWood-D3	es un compuesto de madera reciclada y polímeros que, al enfriarse, adquiere una textura, un color y un olor similar a la madera	175-250 °C. La variación de temperatura afecta al color. Para color claro, 185 °C. Para color oscuro, 230 °C.	Es un material rígido y permite hacer diseños con un acabado similar al de la madera.	Puede tapar el extrusor. La madera se quema y se carboniza.

Tabla 1.1: Materiales de impresión poco comunes con aplicación específica (4).

Estos son solo algunos de los materiales existentes. Sin embargo, esta lista es muy pequeña comparada con la cantidad de filamentos disponibles en el mercado e, incluso, con la de aquellos aún en desarrollo. Hace algunos años, por ejemplo, los investigadores del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) de Argentina lograron generar un insumo para impresión de piezas tridimensionales a partir de envases de plástico de descarte. El desecho de botellas de PET es una de las principales problemáticas ambientales actuales, no solo por el volumen de residuo generado diariamente sino también por la lenta degradación del material, que no es biodegradable. En un futuro, su implementación podría sustituir la importación de

las materias primas que se utilizan actualmente en esta industria, favoreciendo no solo al desarrollo nacional sino también al cuidado del medioambiente.

2. CAPITULO II: TEORÍA, CLASIFICACIÓN Y FISIONOMÍA DE LESIONES TRAUMÁTICAS DE EXTREMIDAD SUPERIOR Y SU TRATAMIENTO A TRAVÉS DE ORTESIS ESTÁTICAS.

2.1 TIPOS DE ORTESIS.

Conforme avanza la tecnología los sistemas se vuelven más complejos y funcionales para las diversas necesidades que se encuentran en la medicina, para el caso de la rehabilitación de fracturas o leves luxaciones, se encuentran dos tipos de órtesis, las cuales son:

- Órtesis estáticas: este tipo de órtesis es usado en casos donde el miembro afectado del paciente requiere fijación total, es decir, el más mínimo movimiento puede causar que la fractura o luxación prolongue su rehabilitación.

Un ejemplo de órtesis estática se muestra en la figura 2.1 donde se observa la extremidad superior sin posibilidad de realizar movimientos.

Es utilizada básicamente en fracturas que conlleven inflamación de tendones, inflamaciones de partes blandas (músculos, piel) o nervios dañados.



Figura 2.1: Muestra de Órtesis estática (9).

- Órtesis Dinámicas: tipo de órtesis que permite hasta cierto punto (controlado) el movimiento de ciertas articulaciones o músculos, es utilizada principalmente en casos donde existen músculos debilitados, básicamente asisten al movimiento (ver figura 2.2) y permiten, guían, limitan o resisten movimientos específicos y previenen movimientos determinados.

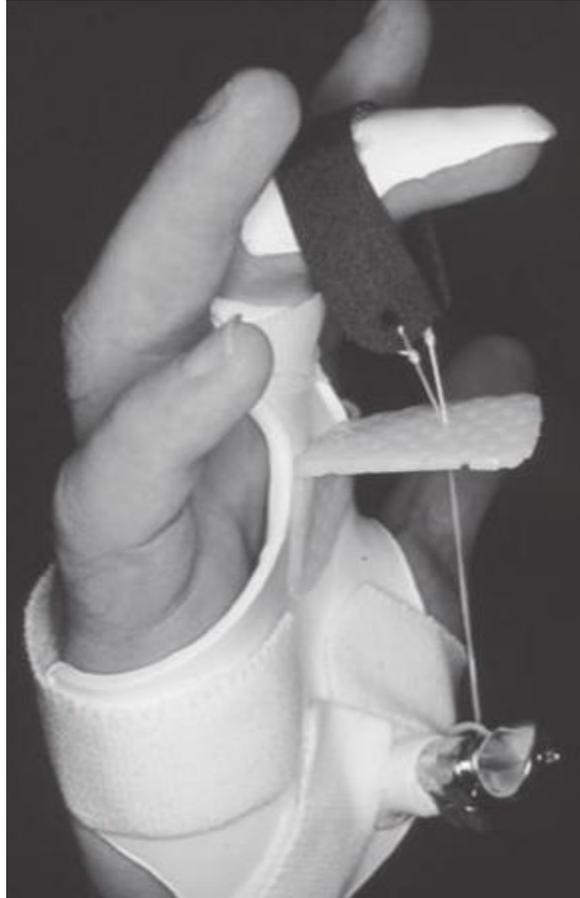


Figura 2.2: Muestra de órtesis dinámica (9).

2.2 ANATOMÍA DE EXTREMIDAD SUPERIOR.

Para una fácil visión y comprensión de la anatomía de la extremidad superior se mencionarán algunas definiciones médicas-anatómicas, las cuales abordaran a lo largo de este capítulo, ya que las partes más complejas de la anatomía ósea no se profundizan en este trabajo.

Se comenzará mencionando los huesos principales en la extremidad superior, que básicamente se compone de seis zonas esenciales, que más adelante se profundizara un poco en cada uno de ellas exceptuando la zona A (figura 2.3), debido a la complejidad que conllevara escanear y fabricar una férula para tal zona, que se explicara más a detalle en un capítulo posterior.

ZONAS:

- A. Cintura escapular.
- B. Brazo.
- C. Antebrazo.
- D. Carpo.
- E. Metacarpo
- F. Dedos de la mano.

HUESOS:

- 1. Escápula.
- 2. Clavícula.
- 3. Esternón.
- 4. Húmero.
- 5. Radio.
- 6. Cúbito.
- 7. Huesos del carpo.
- 8. Metacarpianos.
- 9. Falanges.

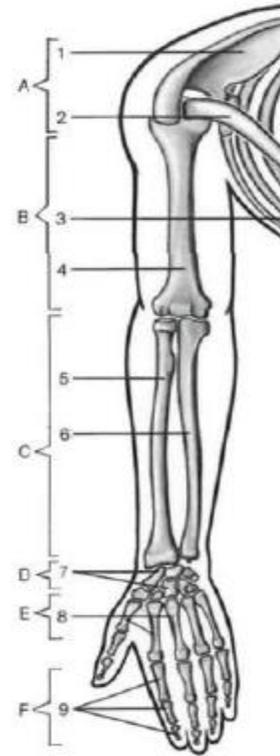


Figura 2.3: Zonas y huesos de extremidad superior (6).

Tal como muestra la figura 2.3 se observa las zonas y huesos que conforman la extremidad antes mencionada.

Dentro de las zonas B, C y F existen sub-zonas debido a la longitud de los huesos estas sub zonas son: Epífisis proximal, diáfisis o medial y Epífisis distal las cuales se describen en la figura 2.4 la cual muestra el ejemplo del húmero, de igual forma las sub zonas son para el cúbito, radio y falanges, epífisis es la palabra técnica usada para describir el extremo de huesos con longitud larga.

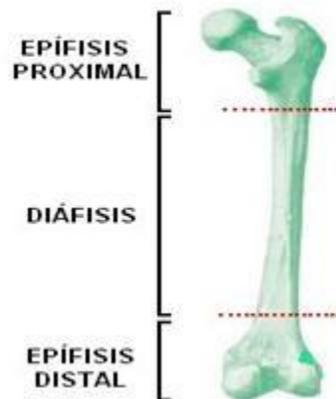


Figura 2.4: Sub-zonas de huesos con longitud larga (5).

2.3 FRACTURAS. GENERALIDADES.

Una fractura se define como: la discontinuidad del tejido óseo o cartilaginoso (extremos del hueso) de cualquier hueso del cuerpo, producido por consecuencia de un esfuerzo excesivo mayor a la resistencia del hueso.

Existen diversidad de clasificaciones de fracturas que dependen tanto como de la localización, energía, etiología (origen que la causo), mecanismos de producción, patrón de interrupción, etc. Pero solo mencionaremos las fracturas producidas por diferentes mecanismos de producción, según la Universidad Complutense de Madrid (8) se tiene:

❖ FRACTURAS POR MECANISMO DIRECTO

Son las producidas en el lugar del impacto de la fuerza responsable.

❖ FRACTURAS POR MECANISMO INDIRECTO

Se producen a distancia del lugar del traumatismo. Se pueden clasificar de la siguiente forma:

➤ FRACTURAS POR TENSIÓN.

Se produce por el resultado de la acción de dos fuerzas de la misma dirección y sentido opuesto (ver fractura transversal en figura 2.5 a).

➤ FRACTURAS POR COMPRESIÓN

La fuerza actúa en el eje del hueso (ver fractura oblicua en figura 2.5 b).

➤ FRACTURAS POR FLEXIÓN

La fuerza actúa en dirección perpendicular al eje mayor del hueso y en uno de sus extremos, estando el otro fijo (ver fractura mariposa en figura 2.5 c).

➤ FRACTURA POR TORSIÓN

La torsión se define como la deformación de un objeto como resultado de una fuerza que le imprime un movimiento de rotación sobre su eje, estando un extremo fijo. También puede definirse como la acción de dos fuerzas que rotan en sentido inverso. (Ver fractura espiral en figura 2.5 d).

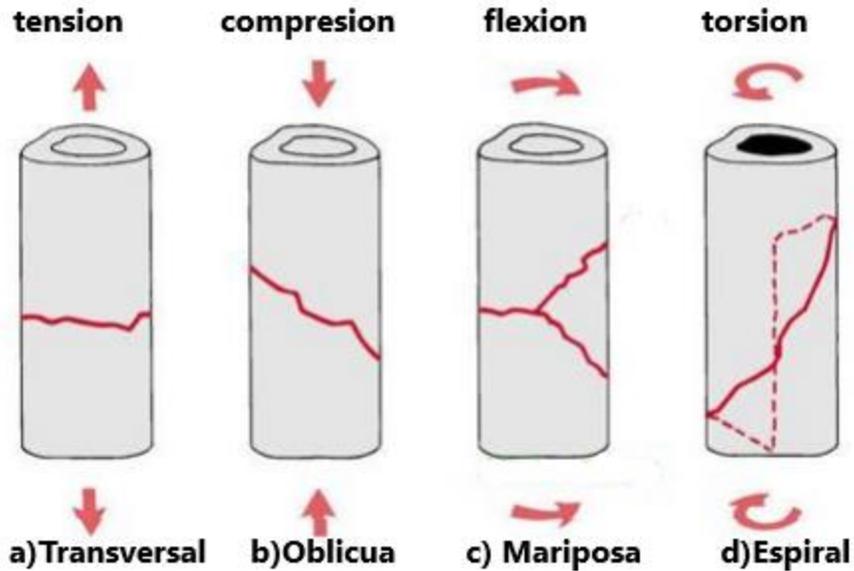


Figura 2.5: Tipos de fractura según sus mecanismos de producción (8).

2.4 FRACTURAS COMUNES DE EXTREMIDAD SUPERIOR.

Debido a la gran variedad de patologías que se pueden presentar en diferentes partes del cuerpo, este trabajo se limitará a las fracturas de las extremidades superiores más comunes, las cuales se presentan a continuación:

2.4.1 FRACTURA DIÁFISIS HUMERAL (FRACTURA A ALTURA MEDIA DEL HÚMERO).

❖ GENERALIDADES:

Son fracturas provocadas por golpes directos de manera violenta.

❖ MECANISMO LESIONAL

Las fracturas diafisarias (parte media del hueso) de húmero pueden producirse tanto por traumatismos directos como indirectamente tras caídas de baja energía con el antebrazo en extensión.

❖ CLASIFICACIÓN

Se basa en criterios descriptivos como:

- Localización de la fractura: proximal, medio y distal (ver sección 2.2)
- Trazo de la fractura: transversal, oblicua, espiral-Transversal, conminuta (muchos fragmentos).

❖ TRATAMIENTO

La mayoría de los casos pueden tratarse mediante procedimientos ortopédicos, pues es un segmento óseo no sometido a cargas y capaz de tolerar sin problemas cierto grado de consolidación. Los tratamientos clásicos de las fracturas de humero han ido evolucionando pasando por distintos tipos de inmovilizaciones como los yesos o férulas que van desde la palma hasta el hombro rodeando la axila.

- Se puede recurrir al método quirúrgico (operación), pero solo en fracturas graves. La figura 2.5 muestra ejemplo de tratamiento llamado “férula en U”, la cual es utilizada en casos más frecuentes.



Figura 2.6: Férula en U (10).

2.4.2 FRACTURA DE CODO

❖ Generalidades.

Las fracturas del codo afectan básicamente el húmero distal, el radio y cúbito proximal.

En las fracturas del codo están comprendidas las fracturas distales del húmero, las de la región de los cóndilos, las fracturas del olecranon cubital (parte distal del cúbito) y las de la cabeza del radio.

❖ Clasificación.

- Clasificación de las fracturas de olecranon (ver figura 2.7):
 - Transversas.
 - Transversas impactadas.
 - Oblicuas.
 - Conminuta.
 - Oblicua distal.
 - Luxo-fracturas.

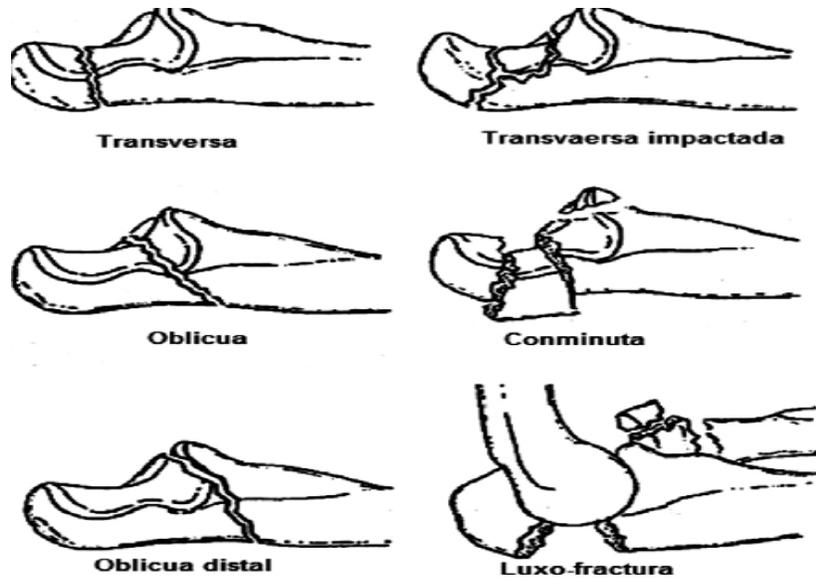


Figura 2.7: Clasificación de fracturas de olecranon (7).

- Clasificación de las fracturas de la cabeza del radio (ver figura 2.8):
 - **Tipo I:** fracturas no desplazadas.
 - **Tipo II:** fracturas marginales con desplazamiento (impactación, hundimiento y angulación).
 - **Tipo III:** fracturas conminutas (fragmentada) o del cuello, con afectación de toda la cabeza.
 - **Tipo IV:** luxofracturas (separación de huesos en una articulación).

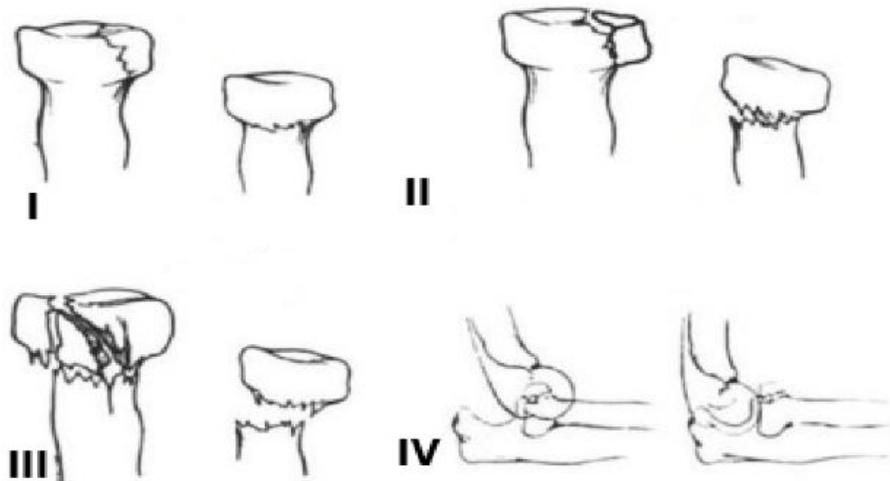


Figura 2.8: Clasificación de fracturas de cabeza de radio (7).

- MECANISMO LESIONAL

- Las fracturas del olecranon son consecuencia de un impacto directo sobre el olecranon con el codo en flexión.
- Generalmente las fracturas de la **cabeza del radio** son causadas por traumatismos indirectos al caer sobre la mano en extensión.

❖ TRATAMIENTO

El tratamiento en este caso requiere un yeso o férula formando un ángulo de 90° entre el brazo y el antebrazo (ver figura 2.9) inmovilizando la parte afectada.



Figura 2.9: férula para lesiones o fracturas de codo (10).

2.4.3 FRACTURAS DIAFISIARIAS (PARTE MEDIA DEL HUESO) DEL CÚBITO Y RADIO.

❖ Generalidades.

Es la fractura producida en la diáfisis (parte media) de los huesos del antebrazo, cúbito y radio. Las fracturas del antebrazo, son una de las patologías de mayor frecuencia en la práctica ortopédica y revisten gran importancia porque como un anillo, por tanto, una fractura que acorte al radio o al cúbito provoca una fractura o luxación (separación) del otro hueso del antebrazo en la articulación radio-cubital proximal o distal. Las fracturas del antebrazo son más frecuentes en varones que en mujeres; esto se debe a la mayor incidencia de traumatismos por accidentes de tráfico, deportes de contacto, altercados y caídas desde altura.

❖ MECANISMO LESIONAL. Se producen por un impacto directo al antebrazo como consecuencia de un accidente de tráfico, deportivo o tras caída de altura.

❖ Clasificación.

- En el adulto se clasifican básicamente por el patrón del trazo de la fractura en
 - Transversales.
 - Oblicuas.
 - Espiral.
 - Conminutas (fragmentada).

❖ TRATAMIENTO.

Se inmoviliza la parte afectada con yeso o férula a un ángulo de 90° entre el brazo y el antebrazo (ver figura 2.9) por un tiempo de cuatro a ocho semanas según la edad del paciente en fracturas que involucran el cúbito y radio en su parte proximal, en niños generalmente es de cuatro semanas, también para fracturas distales (parte media) del cúbito o radio se debe colocar una férula que inmoviliza desde la palma de la mano hasta el codo o parte proximal de cúbito o radio como se aclara en la figura 2.10



Figura 2.10: férula para fractura de cúbito o radio distal y muñeca (10).

2.4.4 FRACTURA DISTAL DEL RADIO.

❖ GENERALIDADES.

Son fracturas complejas que involucran el extremo distal del radio con desplazamiento del fragmento distal.

❖ MECANISMO LESIONAL

Caída sobre la mano en extensión, tras accidente laboral o de tráfico, En pacientes jóvenes las causas suelen ser caídas desde alturas, accidentes de tráfico o lesiones deportivas. En ancianos pueden producirse por mecanismos de baja energía (golpes leves), como una simple caída estando de pie. El mecanismo de lesión más frecuente es una caída sobre la mano extendida con la muñeca en flexión dorsal.

Las lesiones de alta energía como en accidentes de tráfico, pueden provocar fracturas muy desplazadas o conminutas del radio distal.

❖ TRATAMIENTO

Se trata de lesiones muy complejas y con pronóstico variable que han sido y son objeto de muy diversos tratamientos. Antes de decidir el tratamiento se deben tener en cuenta factores como la edad, enfermedades asociadas, la ocupación etc.

Como norma general el tratamiento de las fracturas de radio distal será:

En fracturas estables (no graves) se inmoviliza con yeso o férula desde el antebrazo hasta la palma (ver figura 2.10) por 6 semanas. En pacientes muy ancianos con fracturas no desplazadas de radio distal se puede inmovilizar con yeso o férula solo en la parte del antebrazo (4 semanas) si sus necesidades funcionales son muy básicas.

Existen otros tratamientos quirúrgicos los cuales no se abordarán ya que el trabajo de graduación no contempla tratamientos que no incluyan el uso de férulas.

2.4.5 FRACTURA DE ESCAFOIDES.

❖ MECANISMO LESIONAL

Fracturas sobre la mano en dorsiflexión (movimiento que reduce el ángulo entre el antebrazo y la parte superior de la palma de la mano) marcada y desviación radial (dislocación), sobre todo por accidentes deportivos o de tráfico en personas jóvenes.

❖ CLASIFICACIÓN

En general se basa en:

- Localización de la fractura: proximal, medial o distal
- Trazo de fractura: transversal u oblicuo.

❖ TRATAMIENTO

Si no existe fractura, pero si dolor, se debe inmovilizar con yeso o férula desde el antebrazo a la palma de la mano que incluya la articulación del pulgar por 10-15 días (ver figura 2.11).

Si se diagnostica una fractura de escafoides, se inmoviliza con yeso o férula desde el brazo hasta la palma de la mano incluyendo la articulación del pulgar en posición de oposición (12 semanas aproximadamente).



Figura 2.11: férula para fractura de escafoides (10).

2.4.6 FRACTURA DE METACARPIANO.

❖ MECANISMO LESIONAL

Son consecuencia de traumatismos directos en la mano o indirectos con torsión. El patrón de fractura dependerá del mecanismo de lesión.

❖ CLASIFICACIÓN

- Localización:
 - Base.
 - Diáfisis.
 - Cuello o cabeza de MTC (abreviatura de metacarpiano).
- Trazo de fractura:
 - Transverso.
 - Oblicua.

❖ TRATAMIENTO

Las fracturas de la base de 2° a 5° MTC generalmente no están desplazadas y consolidan bien tras inmovilización con férula desde la palma de la mano hasta el codo sin incluirlo como se observa en la figura 2.11 (3-4 semanas).

- Las fracturas diafisarias sin desplazamiento se tratan con férula o yeso desde el antebrazo hasta la palma de la mano, con la muñeca en extensión de 40°, las articulaciones metacarpianas en 80° de flexión y las interfalángicas libres como se observa en la figura 2.11 (3-4 semanas).
- Las fracturas del cuello se producen con más frecuencia en el 5° metacarpiano (fractura del boxeador), se inmoviliza con una férula o yeso del antebrazo a la palma de la mano incluyendo el 4° y 5° dedos con la articulación metacarpiana en flexión de 80° y los dedos en extensión (ver figura 2.12) por 3-4 semanas.
- Las fracturas articulares de la base del 1° metacarpiano, suelen presentar desplazamiento y requieren tratamiento quirúrgico, los cuales no son tomados en cuenta dentro de este trabajo.



Figura 2.12: férula para fractura del 5° metacarpiano (10).

2.4.7 FRACTURA DE FALANGES.

❖ GENERALIDADES

Las fracturas de la mano son fracturas muy frecuentes y a menudo tratadas de forma incorrecta en urgencias y en consulta. Un tratamiento inadecuado acaba produciendo una importante afectación en la función de la mano.

Se debe aplicar el método de tratamiento más sencillo que permita una movilización temprana.

La articulación interfalángica proximal es una bisagra muy importante para la movilidad de los dedos correspondiendo el 85 % de la flexión del dedo cuando la articulación metacarpiana está flexionada a 90°. Por ello las lesiones periarticulares a este nivel merecen consideración especial.

❖ MECANISMO LESIONAL

Traumatismos directos en los dedos y traumatismo indirectos rotacionales generan diversos tipos de fracturas de falanges. En ocasiones son consecuencia de atrapamiento de la mano en accidentes laborales con afectación importante de partes blandas.

❖ CLASIFICACIÓN

Se basa en:

- Localización:
 - Base.

- Diáfisis.
- Extremo distal de falange
- Trazo de fractura:
 - Transverso.
 - Oblicua.

❖ TRATAMIENTO

- La mayoría de las fracturas de las falanges pueden ser tratadas con medidas conservadoras empleando férulas digitales metálicas (ver figura 2.13) 2-3 semanas asociadas.



Figura 2.13: férula para fracturas de Falanges (10).

- Las fracturas-arrancamiento de la base de la falange distal (dedo en martillo) se tratan mediante férula en hiperextensión o de Stack 6 semanas (ver figura 2.14). Ocasionalmente pueden ser quirúrgicas.



Figura 2.14: férula para fracturas de falanges distales (10).

3. CAPITULO III: ESCANER 3D.

3.1 POSICIONAMIENTO PARA CAPTURAS DE DATOS.

Las diversas técnicas empleadas por fisioterapeutas para realizar una férula apropiada para cada lesión se observa una postura para captura de datos fisiológicos que es repetitiva:

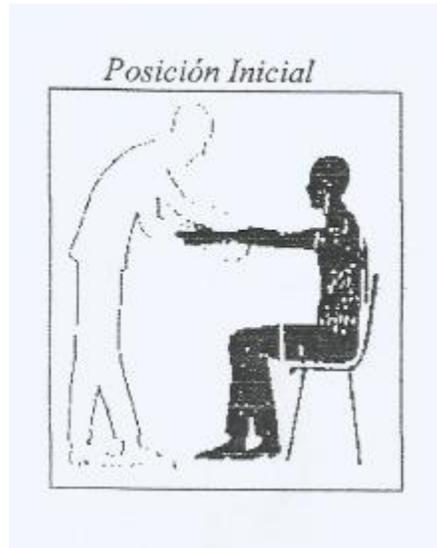


Figura 3.1: postura para captura de datos (11).

En la figura 3.1 se muestra una postura que facilita la captura de datos en pacientes lesionados ya que el escáner debe ser no intrusivo y para adaptar referencias que nos ayudará en el tratamiento de datos, el movimiento que se realizará con el escáner alrededor de la extremidad superior será:

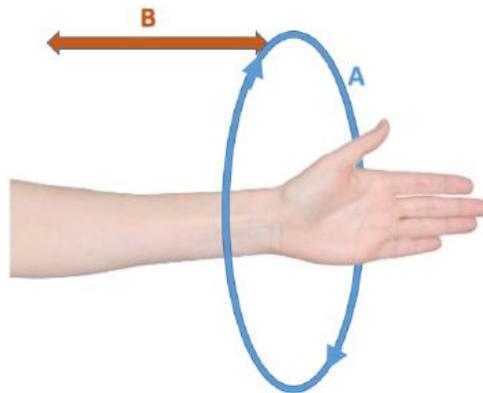


Figura 3.2: movimiento rotacional(A) y longitud del cuerpo escaneado(B) (12).

En la figura 3.2 se muestra la manera que debe moverse el Kinect para realizar un escaneo efectivo y obtener una nube de puntos más densa generando un modelado de calidad, pero existe una limitante lo más cercano que puede estar el Kinect al objeto es de 0.4m que será el radio mínimo de escaneo para la longitud de B se aprovechara el ángulo de visión vertical que es de 43° estos datos son tomado de las especificaciones de Kinect (13).

3.2 SECCIONAMIENTO LONGITUDINAL DEL BRAZO.

Como es importante seccionar hasta donde debe llegar la férula ya que el escaneo siempre será de toda la extremidad superior lo cual no es necesario todo el volumen obtenido para la creación de la férula adecuada para el paciente.

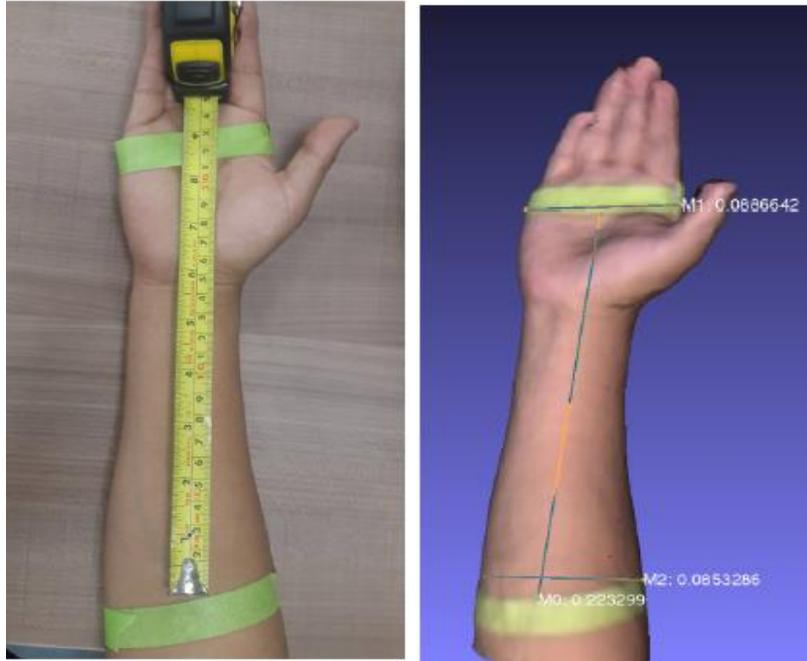


Figura 3.3: técnica de seccionamiento longitudinal del brazo (12).

En la figura 3.3 se observa se toma medidas del brazo claro esto es de carácter comparativo con las medidas obtenidas por es Kinect, la técnica consiste en colocar algo de otro color que no afecta la forma fisonomía del brazo, ya que el software Skanect detecta el color y al generar la nube de puntos conserva este atributo de color (esto se especificara con detalle en el capítulo 4).

3.3 DISEÑO DE ESTRUCTURA DE ESCANEO.

La estructura de escaneo realizará con un movimiento manual por medio de una manivela la cual aplicará el movimiento a un tornillo sin fin (ver figura 3.6), y este aplicara ese movimiento a un engrane conectado con el brazo metálico en el que estará montado el Kinect, para nivelar el pesor generado por este al lado contrario se colocara un contra peso. (Esta estructura es construida con aluminio para evitar el sobrepeso y así generar aplicar mucha fuerza a la manivela).

Especificaciones de toma de datos del Kinect:

Parámetro	Valor
Campo de visión horizontal	57 grados
Campo de visión vertical	43 grados
rango de profundidad del sensor	0.40-1.2-metros

Tabla 3.1. Especificaciones del campo de visión (16).

En base a la tabla 3.1 para diseñar usamos el campo de visión vertical debido a que el software de Skanect ofrece la opción de altura por 2, esto facilita la construcción de la máquina de escaneo ya que el volumen efectivo de escaneo deja de ser cubo y se hace un prisma.

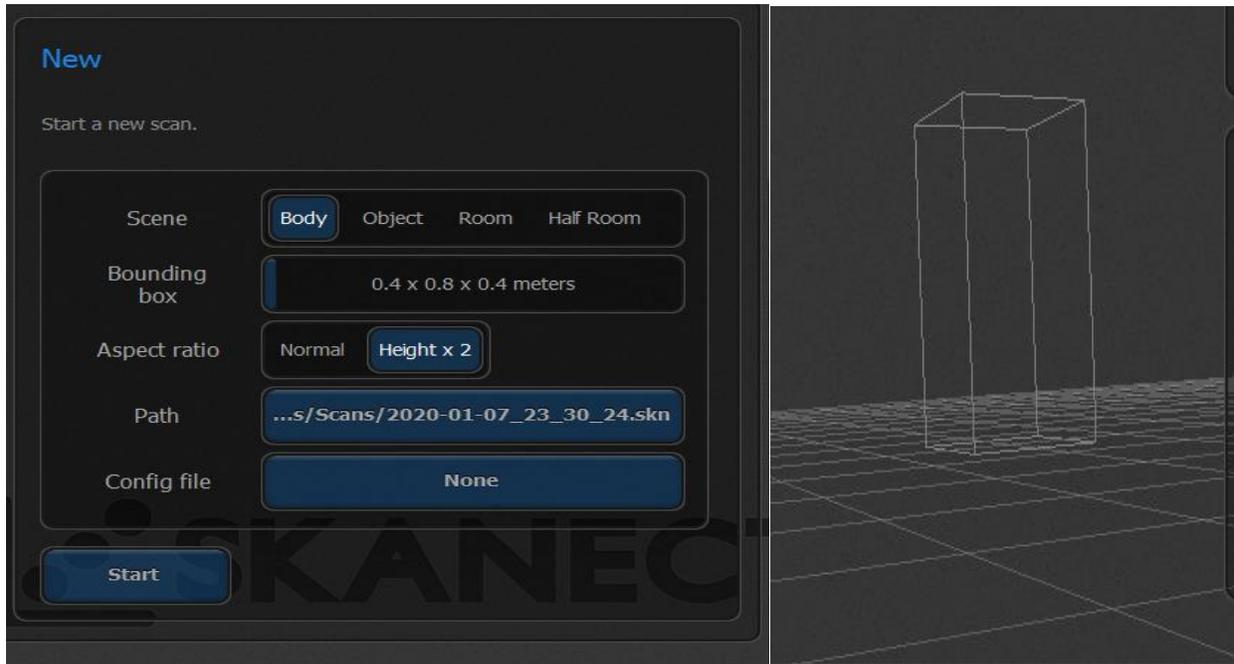


Figura 3.4: selección de parámetros en Skanect para dejar el volumen de la parte a escanear (fuente: propia).

En la figura 3.4 se observa el entorno de Skanect el cual el prisma tiene las dimensiones de 0.4 metros de ancho, 0.8 metros de alto y 0.4 de profundidad lo cual es suficiente para escanear una extremidad superior promedio desde los dedos hasta el hombro mide 70cm lo cual no deja un margen de 10 cm (en caso sea una extremidad con longitud mayor para efecto de ajuste de la maquina se puede medir la muñeca del paciente y multiplicarla *2.34 y así tenemos el brazo y el antebrazo la longitud de la muñeca por 1.885 lo cual son medidas ideales del cuerpo humano).(17)

En la figura 3.5 se observa un modelado de la estructura de escaneo la dimensión del radio de giro en A será 45cm (distancia D de la figura) un poco mayor que la distancia mínima de profundidad para el Kinect, con esto se calcula la extensión del brazo donde estará el Kinect (distancia E en la figura), en base al ángulo de apertura vertical que tiene el dispositivo.

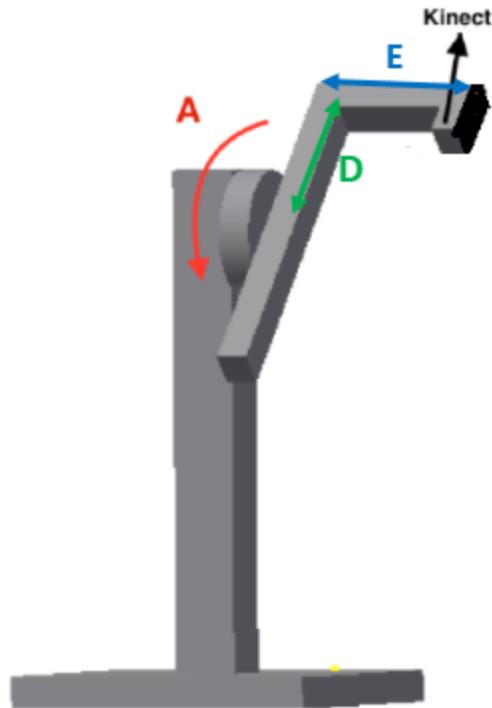


Figura 3.5: diseño de estructura de escaneo (12).

Calculo de la distancia E:

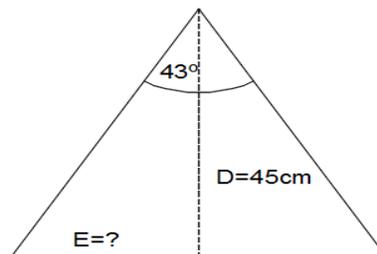


Figura 3.6: Ángulo de visión de Kinect (fuente propia).

En base a la figura 3.6 usamos trigonometría para calcula el largo E.

$$E = 45 \frac{\text{sen}(43^\circ)}{\text{cos}(43^\circ)} = 41.96\text{cm}$$

Esta próxima a 50cm esa es la distancia que se le dará a la extensión E debido a que se necesita una holgura entre los dedos y la máquina.

El brazo del paciente se apoyará en una base pequeña de acrílico transparente para que el Kinect no lo detecte.

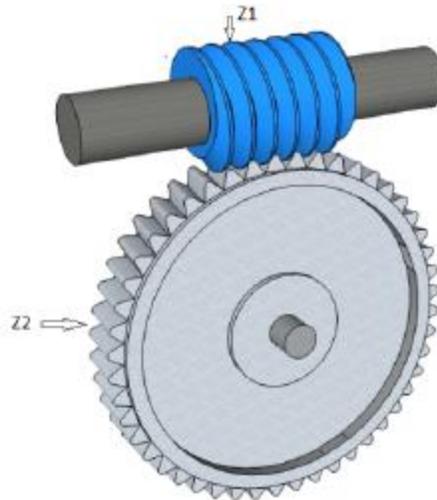


Figura 3.7: mecanismo rotacional del piñón y corona (12).

En la figura 3.7 se observa un tornillo sin fin con la corona es la manera en como el brazo realizara el movimiento por medio de una manivela se usa este juego de engranes ya que se evita que el brazo se gire solo.

3.4 CONSIDERACIONES AMBIENTALES PARA ESCANEO.

El cuarto y condiciones ambientales para hacer un escaneo efectivo con el Kinect las condiciones deben ser las siguientes:

1. Evitar superficies reflectantes, como metales, plásticos, espejos. Etc. Alrededor y sobre el cuerpo a escanear.
2. Cuarto con buena iluminación evitando sea directa sobre la superficie ya que este reflejara haz de luz que evitara el escaneo efectivo.
3. El cuerpo a escanear no debe moverse en lo absoluto (por lo cual en la parte de los dedos se pondrá una base de acrílico anti reflejante para evitar la extremidad se mueva por cansancio).
4. Evitar movimientos bruscos del escáner ya que se pierde el traslapado de imágenes que forman el objeto tridimensional (por lo cual el movimiento de la manivela debe ser lento).
5. Evitar objetos circundantes al cuerpo a escanear para evitar remociones en los modelados (se sugiere: sea un cuarto de color blanco).

3.5 IMPLEMENTACIÓN DE ESCÁNER

Considerando los puntos, medidas y criterios antes mencionados, se construyó una máquina de soporte que permita la rotación del escáner alrededor de la extremidad del paciente a manera de agilizar el proceso de adquisición de imagen, haciendo la obtención de puntos clave más eficiente.

La máquina se construyó con tubería estructural cuadrada en su pedestal y brazo giratorio, mientras que en el mecanismo de giro se utilizó un rodamiento de rueda de un vehiculo (conocido como "bufa") y una cadena engranada a un servo-motor (12-24Vdc) rescatado de una ventana de un carro. Todos los materiales fueron reciclados con el objetivo de reducir al máximo el costo de fabricación. En el externo del brazo se ha adaptado fijamente el sensor Kinect orientado hacia el centro de la trayectoria circular

descrita. La alimentación de esta máquina se logra desde una fuente de tensión DC variable de 30W reglada a una salida de 4.5Vdc. La máquina ya construida puede verse en la figura 3.8



Figura 3.8: Máquina de brazo giratorio para escaneo

Al utilizar esta máquina para escanear el miembro afectado, se reduce notoriamente el tiempo de escaneo y se asegura adquisición de puntos clave de difícil acceso cuando se hace a mano. En la figura 1.16 se observa una trayectoria seguida irregular e improvisada, cuidando el no perder el traslape y coherencia entre las tomas escaneadas. Si se compara con la trayectoria descrita por el brazo mecanizado (ver figura 3.8), no solo tomó menos tiempo, sino que se elimina la posibilidad de captura de datos (puntos clave) indeseados, resultando en un escaneo más eficiente.

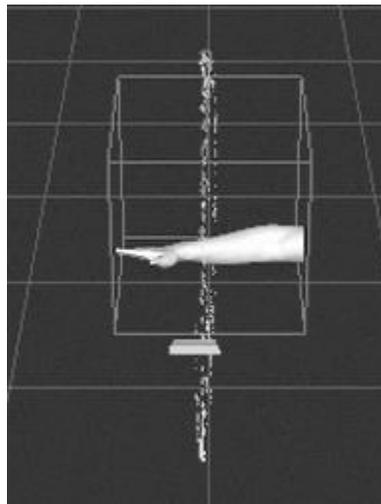


Figura 3.9: Captura de escaneo reconstruido en software Skanect con la trayectoria seguida por el sensor en el proceso.

4. CAPITULO IV: PROCESO DE OBTENCIÓN DE DATOS Y MODELADO DIGITAL DE ORTESIS PARA IMPRESIÓN 3D POR MEDIO DE MATLAB.

4.1 PROCESO BÁSICO DE CREACIÓN DEL SOFTWARE EN MATLAB PARA EL PROCESO DE OBTENCIÓN, TRATAMIENTO DE DATOS Y LA IMPRESIÓN DE MODELO DIGITAL DE ORTESIS EN 3D.

Para la creación del software se utilizará la herramienta llamada “GUIDE” en Matlab. Cabe mencionar que en este capítulo se limitara a la explicación de las herramientas, botones y funciones usadas para la creación de software, sin profundizar en el uso de las demás.

Todos los pasos mencionados se trabajarán dentro del entorno de Matlab.

1. Para ejecutar dicha herramienta en la ventana de comandos se escribe la palabra “guide”, tal como se muestra en la figura 4.1 y presionar enter.

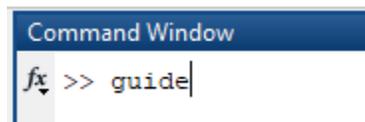


Figura 4.1: Ejecutar herramienta en Matlab.

2. Aparece un cuadro de dialogo como el mostrado en la figura 4.2, donde se elegirá la opción de crear una nueva “guide” en la opción “Blank GUI (default)” y se pulsa el botón OK.

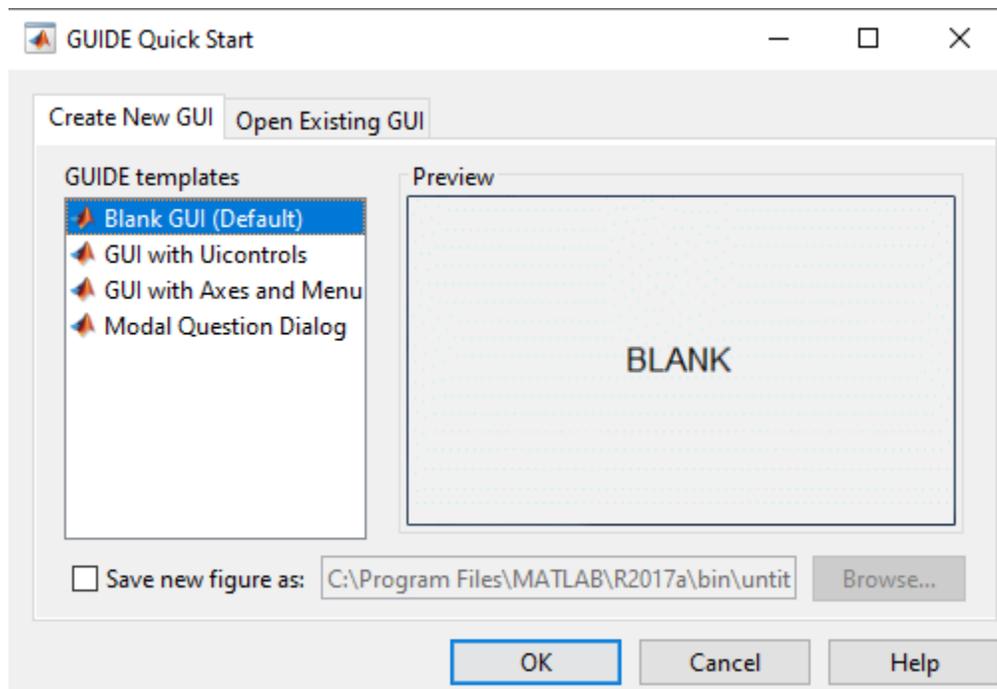


Figura 4.2: creación de una “GUIDE” en blanco.

3. En el cuadro de dialogo siguiente (figura 4.3) se muestra todas las herramientas que se pueden utilizar para la creación de la interfaz Usuario-software y como se mencionó anteriormente solo se explicara las utilizadas en el software.
 - Push Button: esta herramienta es un pulsador el cual al dar clic en el ejecuta una función (línea de códigos) determinada por el usuario.
 - Static Text: es cuadro con texto fijo o “estático”.
 - Axes: es un área donde se puede colocar imágenes o gráficos, según la necesidad del usuario.

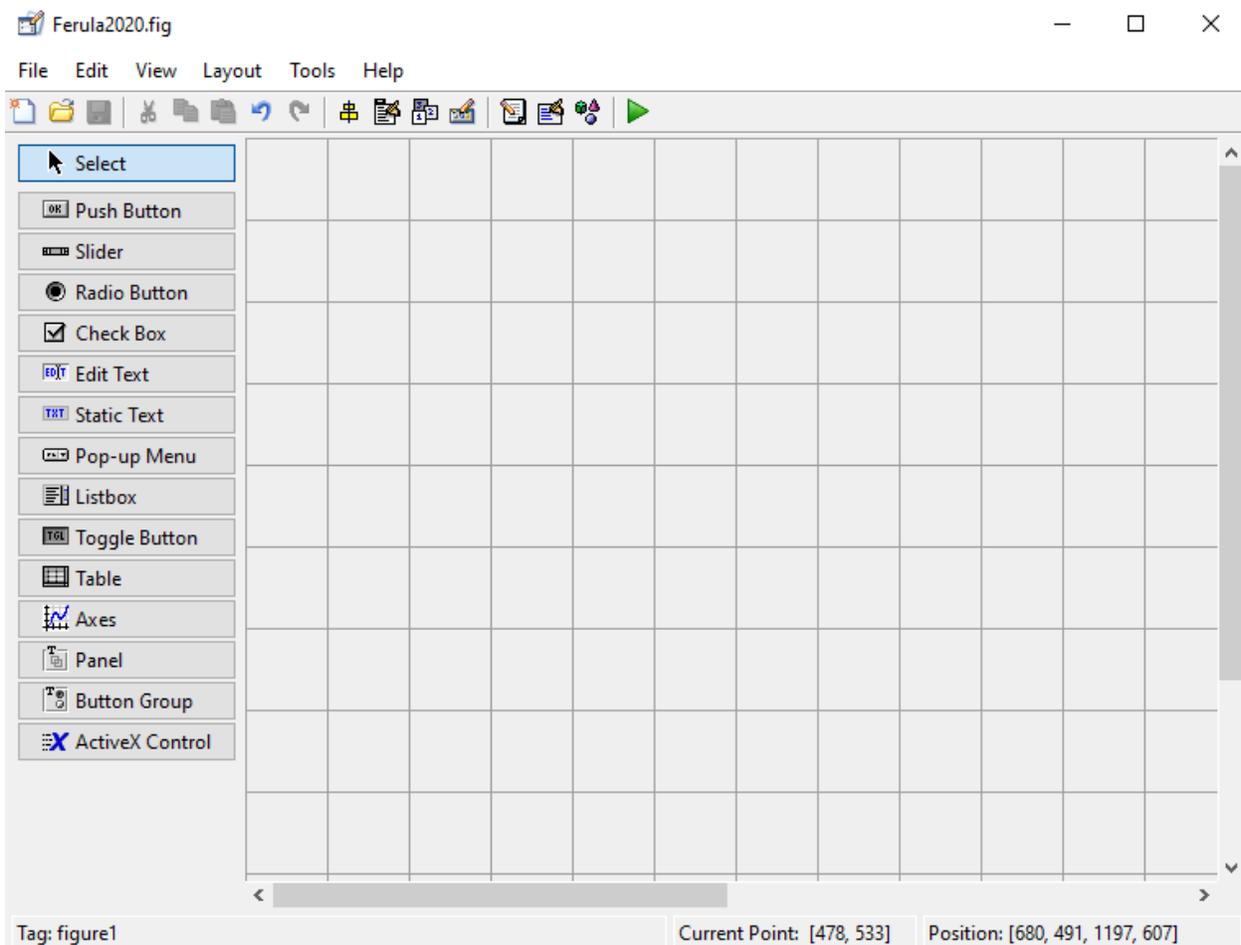


Figura 4.3: cuadro de dialogo para generar interfaz gráfica.

4. Al colocar cada elemento dentro del área de trabajo (área cuadrículada) de la figura 4.3 es necesario determinar ciertos parámetros para el fácil manejo del código que generara la creación del “GUIDE”.
Al dar doble clic en el elemento por ejemplo un Push Button, arrojará un cuadro llamado: “Properties Inspector” como se muestra en la figura 4.4, en el cual se puede modificar tanto color, tipo de letra, etc. del Push Button o del elemento seleccionado, pero, las más útiles tanto como para la interfaz Usuario- software y el código son:

- String: Se coloca el nombre que se desee observar en la interfaz Usuario-software, por ejemplo, si ese Push Button realizara la función de sumar entonces en el campo correspondiente es ideal colocar "SUMAR".
- Tag: es el nombre de la función con el cual será invocado en el código, por ejemplo, si el Push Button su función es que al presionarse se cierre el programa, en el campo "Tag" se le pondrá salir, así el código para que el Push Button realice tal función quedara de la siguiente manera:

```
function salir_Callback(hObject, eventdata, handles)
opc=questdlg('Desea Salir del Programa?', 'SALIR', 'SI', 'NO', 'NO');
if strcmp(opc, 'NO')
    return;
end
clear,clc,close all
```

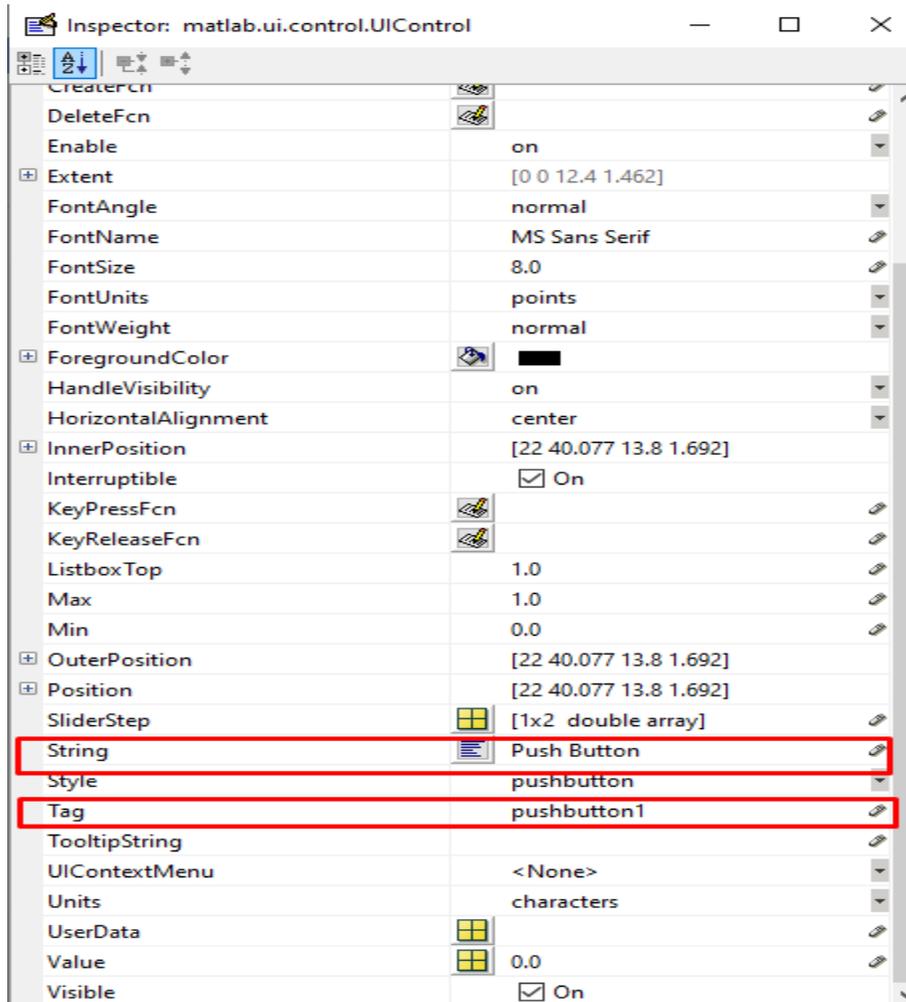


Figura 4.4: Properties Inspector.

5. Así sucesivamente para cada elemento que se desee agregar, dando como resultado para este caso particular de software, como se muestra en la figura 4.5, pantalla que se le ha llamado "Ferula2020" que es la bienvenida del software.

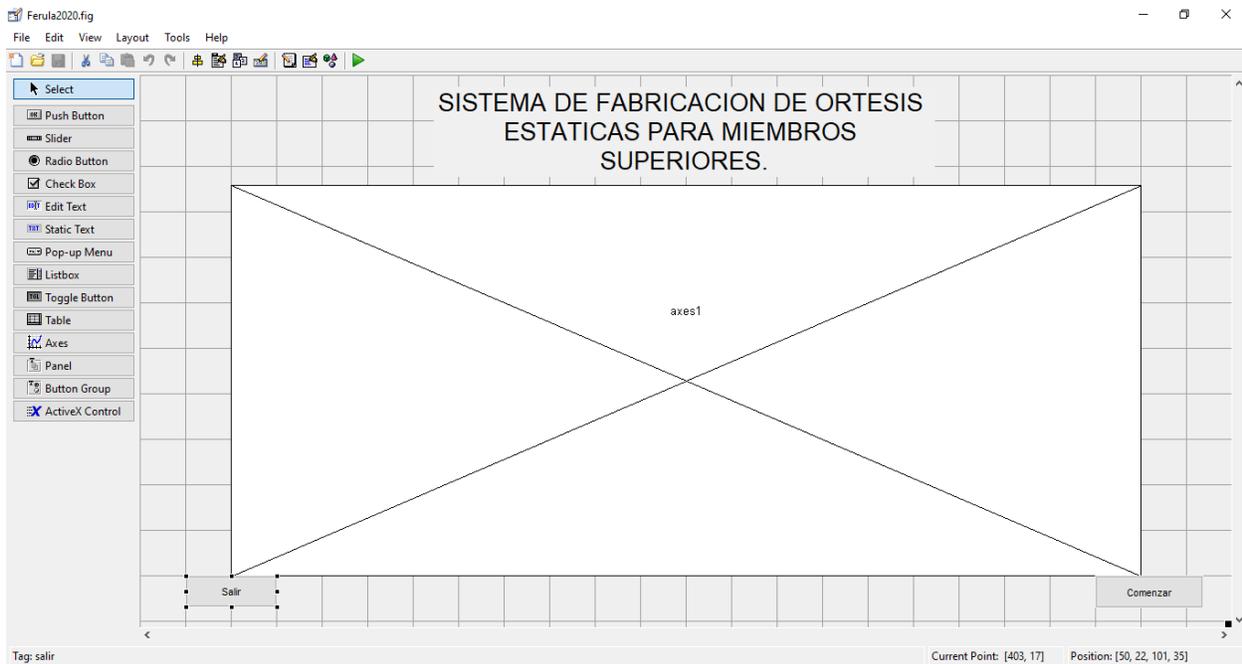


Figura 4.5: Creación del “GUIDE” de Bienvenida.

Finalmente, a la hora de ejecutar el “GUIDE” se muestra el cuadro de dialogo mostrado en la figura 4.6.



Figura 4.6: resultado final de “GUIDE” de bienvenida.

4.2 PARTES Y MANEJO DE SOFTWARE CREADO EN MATLAB.

Básicamente, el software al cual hemos llamado, según la sección anterior “Ferula2020”, el cual es el nombre de archivo .exe o ejecutable, se divide en 5 partes o actividades:

- Bienvenida: Es la pantalla de inicio del Software.
- Escáner (toma de datos): Su función es abrir el software para el escaneo efectivo de la parte dañada del usuario, en este caso particular se abrirá "Skanect".
- Proceso Digital: Esta parte del software realiza:
 - ✓ Muestra de la nube de puntos adquirida en el paso anterior (Escáner).
 - ✓ Convierte la nube de puntos en una superficie (triangulación de puntos).
 - ✓ Guarda en un archivo **.STL, la superficie adquirida como nube de puntos en la toma de datos para la creación de sólido.
 - ✓ Abre el software "Fusion 360" para la creación del solido (la creación del solido se realizará de forma manual) a imprimir.
- Impresión: Es la encargada de:
 - ✓ Mostrar el sólido o modelo digital de órtesis a imprimir. El modelo se mostrará en dos partes, ya que es necesario partirlo a la mitad para la implementación del mismo.
 - ✓ Abrirá el software que realizará la impresión del sólido, en este caso abrirá "Repetier-Host"
- Finalización: se finaliza el software.

4.2.1 BIENVENIDA.

En esta parte el software muestra una pantalla de bienvenida (ver figura 4.6 de la sección 4.1) la cual consta del nombre del trabajo de grado, la imagen de portada y dos botones, uno llamado "SALIR" por si desea abandonar la sesión y otro "COMENZAR" es el encargado de dar inicio al proceso de creación del modelo digital de órtesis estática para miembro superior.

¿Al dar clic en "SALIR" el software preguntara "Desea Salir del Programa?" al dar clic en "SI" cerrara el software al dar clic en "NO" se mantendrá en la ventana que se encuentre, tal mensaje se muestra en la figura 4.7

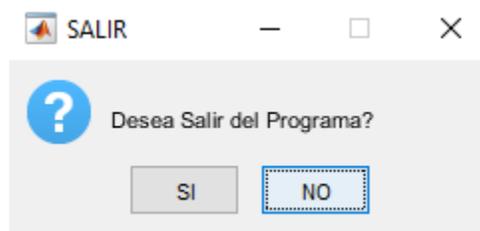


Figura 4.7: ventana SALIR.

Al dar clic en "COMENZAR" pasara a la siguiente sección de Escáner.

4.2.2 ESCÁNER O TOMA DE DATOS.

Como se mencionó anteriormente en esta parte el software lo que realiza es básicamente la toma de datos, dando clic en el botón "ESCANEAR" abrirá el programa "SKANECT" (ver figura 4.8 y 4.9).



Figura 4.8: Escáner o toma de datos.

A la misma vez abrirá la siguiente parte “PROCESADO DE DATOS” (sección 4.2.1.3) pero no podrá realizarse ninguna acción si no se cierra o culminan acciones en “SKANECT”, al dar clic en el botón atrás volverá al paso anterior (sección 4.2.1.1) y dando clic en el botón salir arrojará el mismo mensaje mostrado en la figura 4.7.



Figura 4.9: software SKANECT para la toma de datos.

Las partes de la interfaz de “SKANECT” se mencionan y profundizan en la sección 1.2.1, lo que se resaltara en esta sección es que, en este trabajo la configuración necesaria para un adecuado “espacio de grabación” (como el mostrado en la figura 4.11), es la mostrada en la figura 4.10

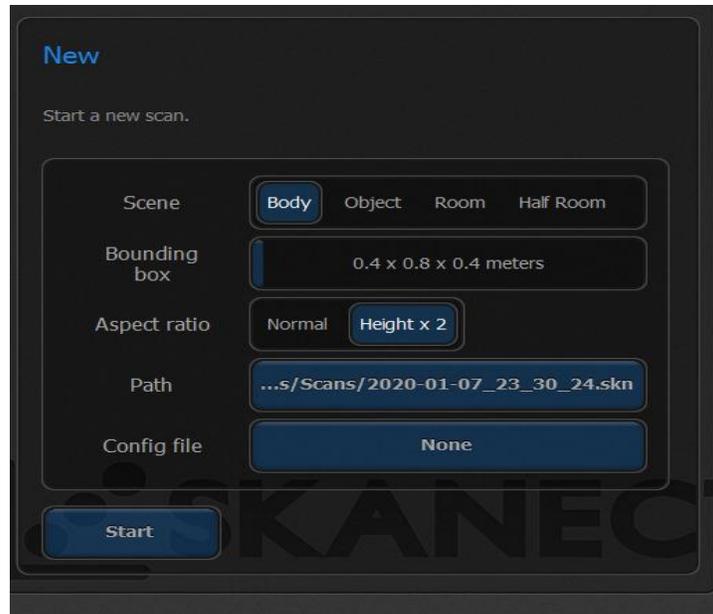


Figura 4.10: Parámetros para “Espacio de grabación”.

Esta configuración de parámetros permite modificar el “espacio de grabación” (el rectángulo o frontera mostrado en la figura 4.11), el cual forma parte de pasos posteriores.

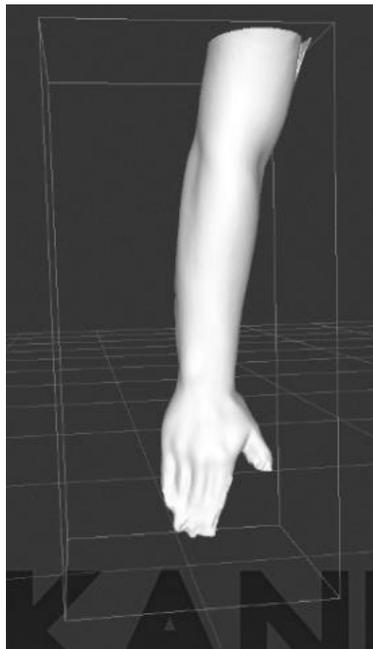


Figura 4.11: Espacio de grabación.

Finalmente dar clic en “START”.

Se abrirá paso para la parte de “RECORD” la cual es básicamente una grabación en 3D de la captura de datos (nube de puntos). Este proceso se muestra en la figura 4.12, donde un detalle a tomar en cuenta es que necesitamos, para que se capturen exitosamente puntos clave en la superficie escaneada, capturar la

superficie lentamente y de manera uniforme, razón por la cual se diseña la máquina de escaneo del capítulo 3. Básicamente, se reduce a que haya traslape entre una captura y la siguiente. El software nos facilita ése cuidado gráficamente, mostrando en color verde la captura que va siendo exitosa. Si no lo es, los puntos que no son capturados se muestran en color rojo.

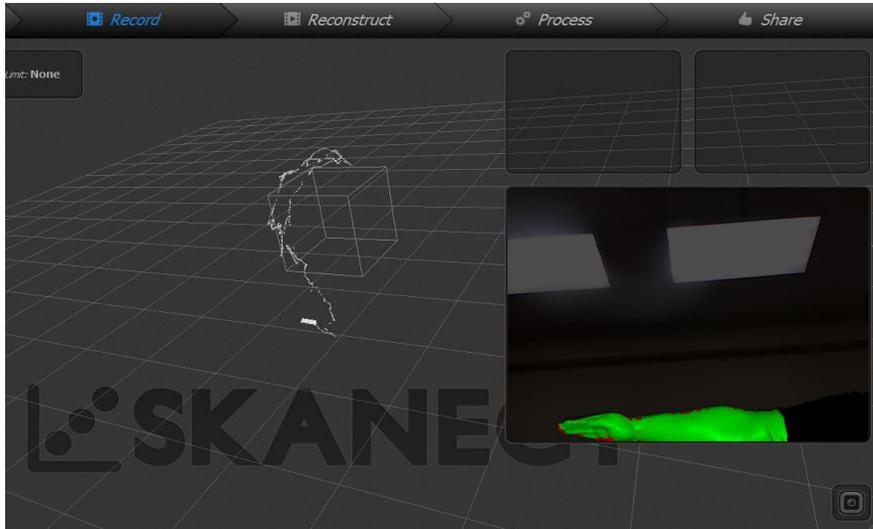


Figura 4.12: Proceso de “RECORD” en SKANECT.

Luego de procesar los datos obtenidos en “record”, en “reconstruct” (figura 4.13), podemos ver inicios de un modelo digital de lo escaneado, siempre limitándose al espacio de captura definido al inicio (figura 4.10).

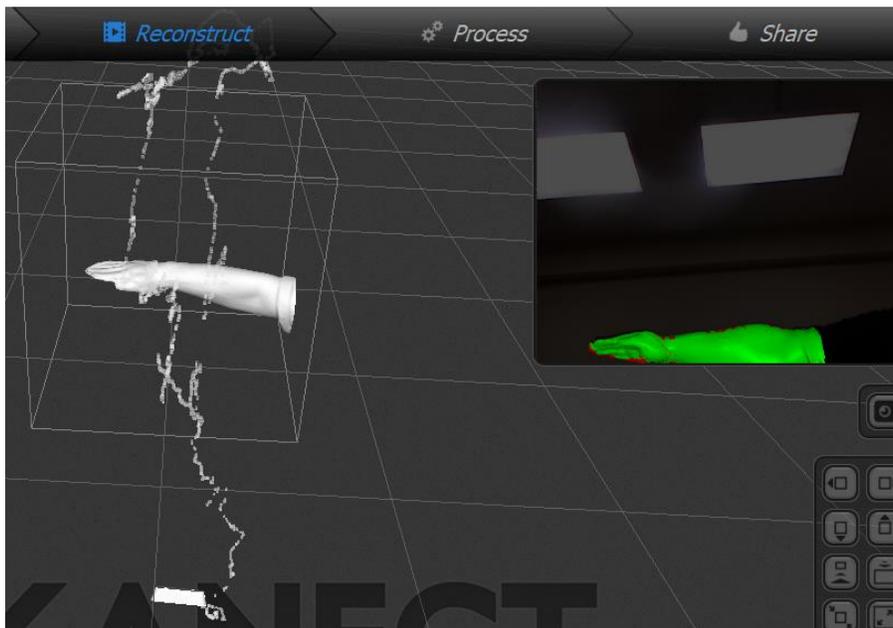


Figura 4.13: Proceso “RECONSTRUCT”, inicio del modelo digital.

Seguidamente, en el paso “PROCESS”, se verifica el proceso de escaneo, donde se puede modificar (color, tamaño, recortar, etc.) los datos adquiridos como se muestra en la figura 4.14, en el caso particular

de este trabajo, no se modificará nada en este paso, ya que toda parte de edición será tratada en la sección 4.2.3.



Figura 4.14: Proceso “PROCESS”.

En el siguiente paso “SHARE” se exportar el modelo con una extensión *.PLY. Así, podemos editarlo en una variedad inmensa de programas dedicados, y por su simplicidad en el tratamiento en Matlab, dicho paso se muestra en la figura 4.15.

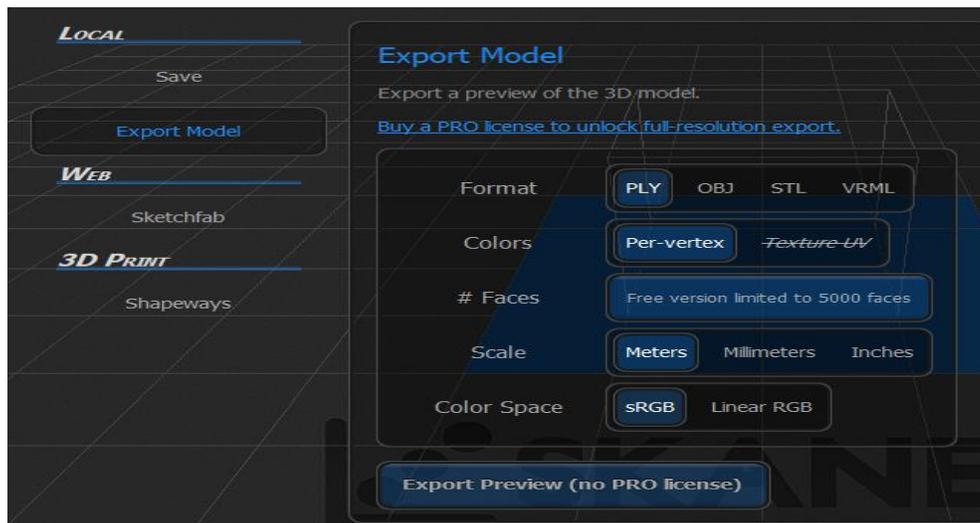


Figura 4.15: Proceso “SHARE”.

Se guarda la captura de datos en la carpeta deseada, aunque se recomienda que se guarde en la misma dirección donde se encuentra el software “FERULA2020.exe” y a la vez se cierra “SKANET”. Seguidamente se continúa con la siguiente sección de “Proceso Digital” (sección 4.2.3).

4.2.3 PROCESO DIGITAL.

En esta sección la pantalla inicial mostrada, es la figura 4.16, donde como primer punto damos clic en “CARGAR NUBE DE PUNTOS”, tal acción abrirá un cuadro de dialogo para buscar la dirección y el archivo con extensión .PLY creado en la sección anterior según la figura 4.17.

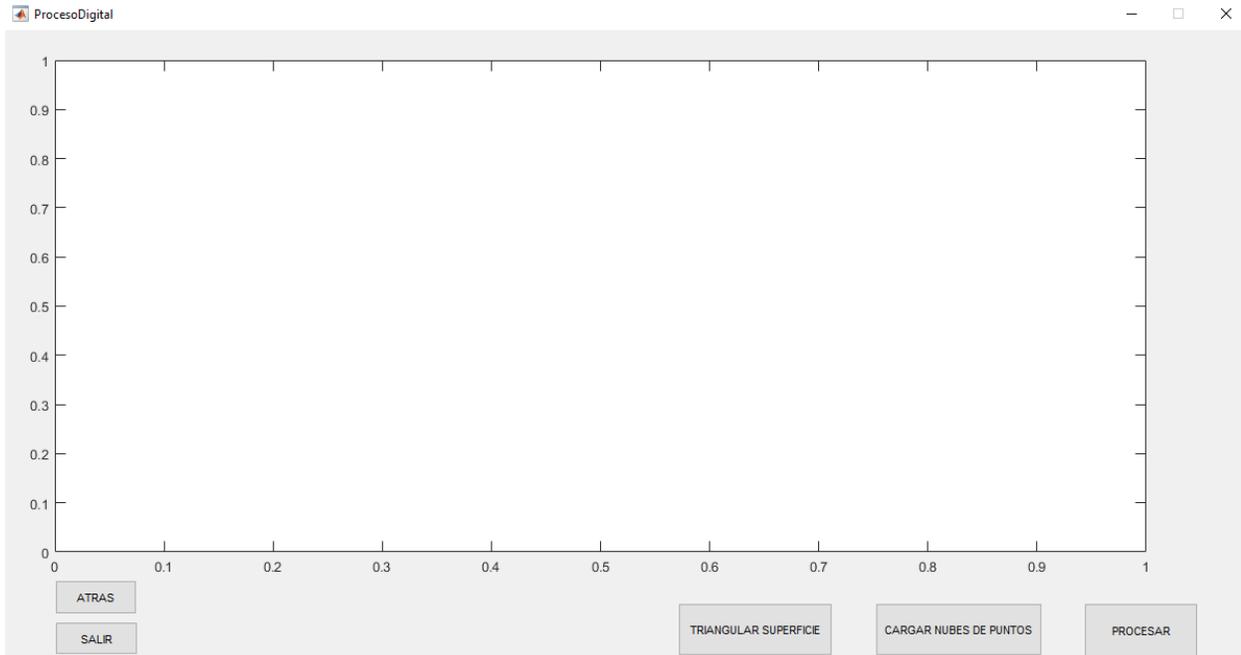


Figura 4.16: Pantalla inicial de “ProcesoDigital”.

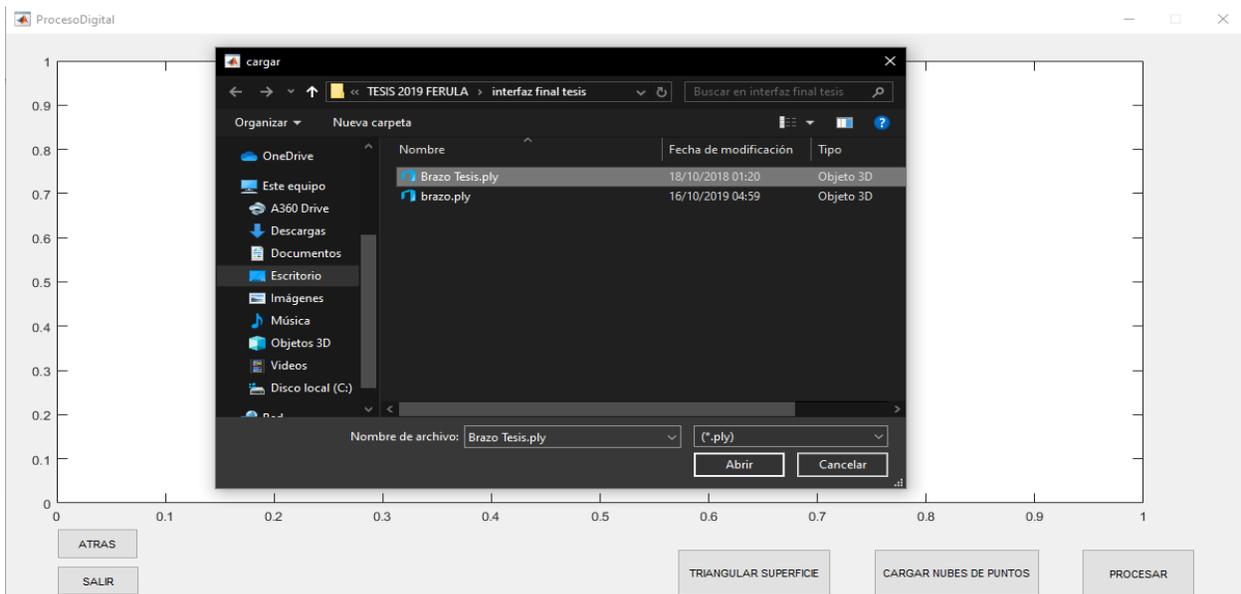


Figura 4.17: Carga de nube de puntos al Software “FERULA2020”.

La cual al dar clic en “abrir” nos mostrara la vista preliminar del modelo digital como nube de puntos adquirida en la sección de “ESCANER” (ver figura 4.18).

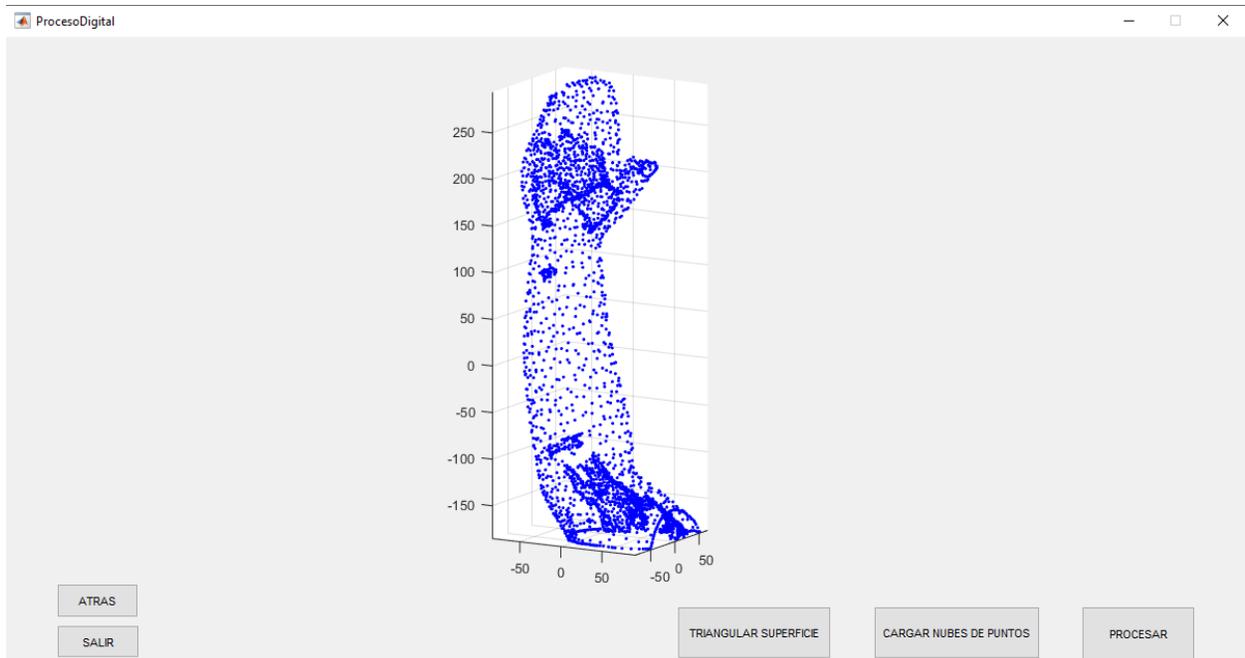


Figura 4.18: Vista preliminar del Modelo Digital.

Posteriormente dar clic en el botón “TRIANGULAR SUPERFICIE” el cual nos mostrara un modelo hecho superficie, es decir, la unión o “triangulación de puntos adyacentes” según se muestra en la figura 4.19, a través de la función o algoritmo que comanda dicho botón, el software nos permite volver a verificar la calidad de la toma de datos. Cabe mencionar que hasta este punto sigue siendo una vista preliminar del modelo digital, ya que no es el modelo final y ni se aproxima a un “cuerpo sólido”.

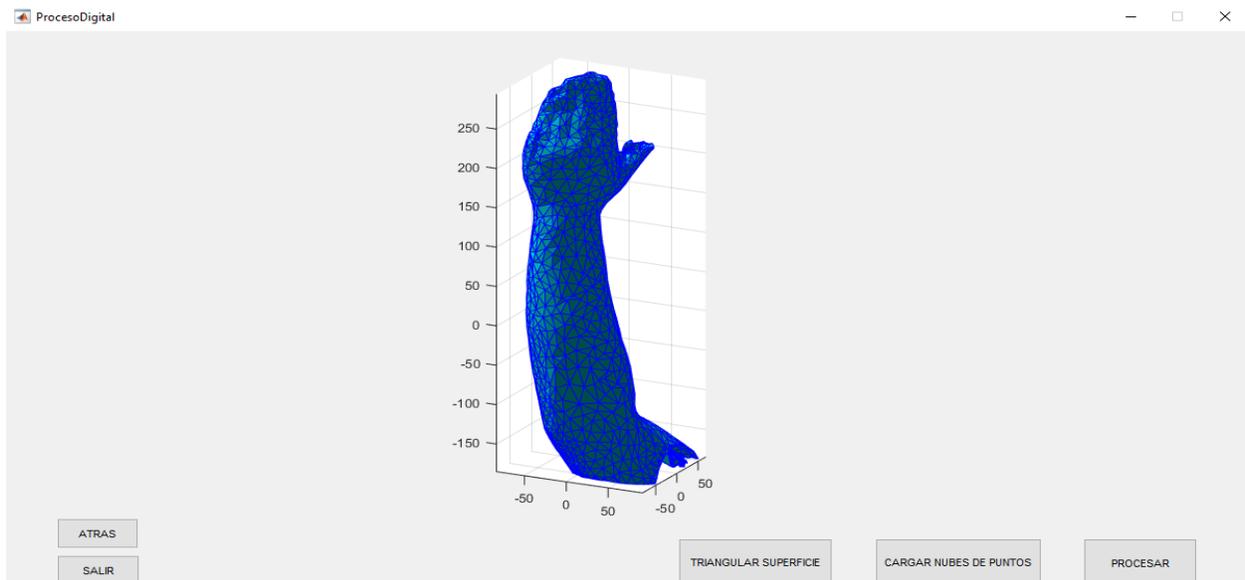


Figura 4.19: Triangulación de superficie.

Finalmente dar clic en “PROCESAR”, esta acción abrirá un pequeño cuadro de dialogo, en el cual se guardará el archivo con extensión **.STL para su edición en FUSION 360 (ver figura 4.20), el software

“FERULA2020” automáticamente lo guarda con el nombre que el usuario le asigne, en la dirección donde está ubicado el archivo “FERULA2020.exe”.

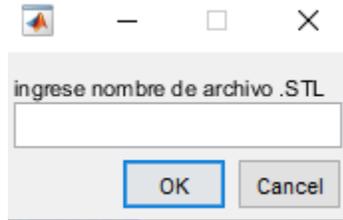


Figura 4.20: Nombre del archivo con extensión *.STL.

Colocar nombre deseado y finalmente dar clic en “OK”, posteriormente de manera automática abrirá el software “FUSION 360” para la edición y creación del modelo digital final, según la necesidad o tipo de fractura (ver capítulo 2) a tratar.

Siguiendo con el ejemplo que hasta ahora se ha mostrado y asumiendo que se tratara como “fractura de cúbito o radio distal y muñeca”, el proceso correspondiente después de abrir “FUSION 360” es el siguiente:

El modelo, como se observa, tiene mucho que depurar. Ésa depuración consta, en este caso particular, solamente de recortar del modelo en nube de puntos lo que no se necesita.

El modelo a diseñar será tratado como se mencionó anteriormente como “fractura de cúbito o radio distal y muñeca”, es decir, será de brazo (desde muñeca) sin incluir codo. Dicho modelo se podría usar en un caso de múltiples fracturas en muñeca, radio y/o cúbito, valga la aclaración.

Por lo anterior, se corta el codo y dedos en *Fusion 360*. Originalmente, se importa el modelo que se obtuvo antes.

Fusion 360 trabaja con varios tipos de “cuerpos”. El que se importa es del tipo “Mesh”. Éste tipo de cuerpo es básico, incluye los puntos clave del modelo y los planos que forman. Para cortarlo, se utiliza la función “plane cut” (ver figura 4.21a), que crea un plano de corte que se puede arrastrar para seccionar lo que se necesita. Luego de haber depurado el modelo, en la figura 4.21b se observa el cuerpo tipo “Mesh” que será el editable en *Fusion 360* listo.

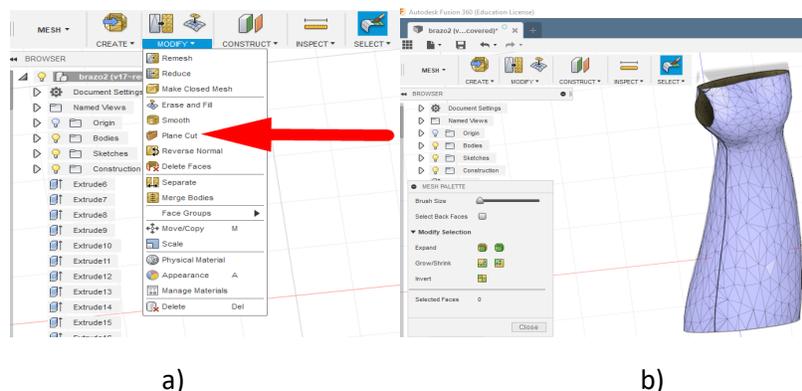


Figura 4.21: a) Herramientas de modificación para un “cuerpo” tipo “Mesh” dentro de Fusion 360. Selecciona “plane cut” para seccionar mediante un plano que se dibuja. b) Cuerpo “mesh” listo para editar como férula dentro del entorno de Fusion 360.

Ahora, se necesita un cuerpo que no se conforme de puntos, sino que de curvas.

Esto es, convertir el cuerpo tipo “Mesh” en un tipo de cuerpo que no se conforme de planos formados por rectas, sino que por curvas. El tipo de cuerpo que se necesita entonces en el entorno de Fusion 360 se llama “spline” (ver figura 4.22). El programa, en este tipo de cuerpos, busca una regresión lineal de las rectas formadas por puntos. La necesidad de este tipo de cuerpos es porque se necesita dar al cuerpo, para efectos de hacer un sólido él, un espesor específico (se considera adecuado un espesor de 5 mm).

La figura 4.23a muestra las herramientas de modificación de un cuerpo tipo “spline”, mientras que en la figura 4.23b, el cuerpo nuevo del brazo como “spline”. Dado que es una aproximación de curvas desde puntos, se observa cómo se distorsiona del original. Habrá entonces que corregirlo.

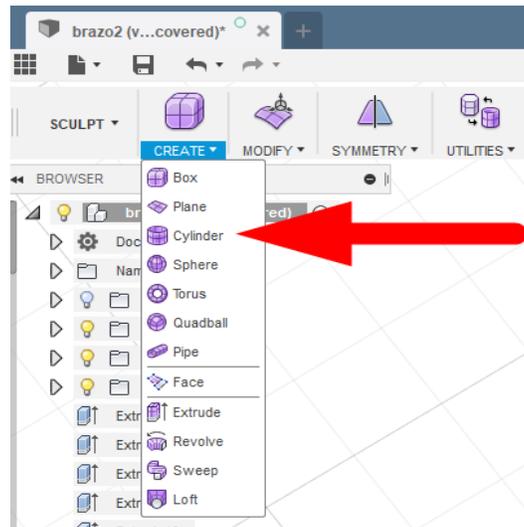


Figura 4.22: Herramientas de creación de cuerpo “spline” en Fusion 360. Optamos por aproximar un cilindro a nuestro cuerpo “Mesh” por conveniencia geométrica evidente.

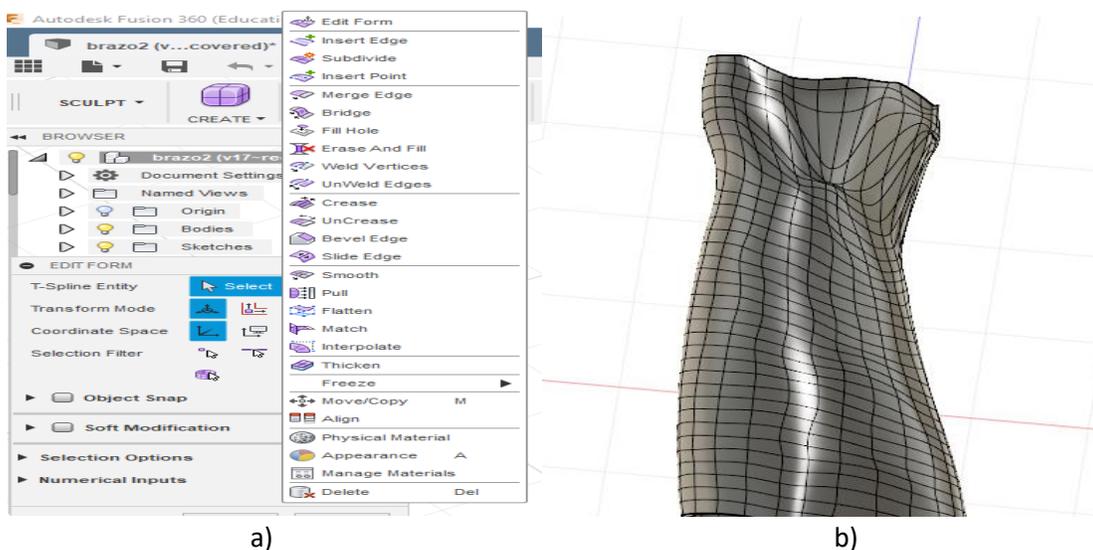


Figura 4.23: a) Herramientas de modificación de cuerpo “spline”. b) Aproximación de cuerpo “spline” para apegarse al cuerpo “mesh” existente.

Ahora, como se mencionó anteriormente, la aproximación de éste nuevo “cuerpo” creado es defectuosa, por lo que tenemos que corregirla. Manualmente se arrastra cada punto necesario para apegarse a la forma y contorno del “mesh” original (ver figura 4.24).

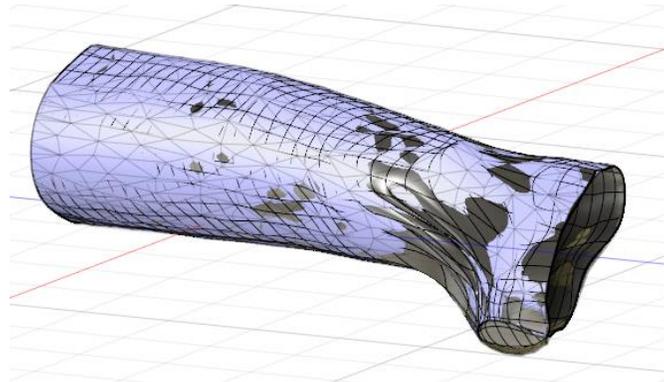


Figura 4.24: Corrección de cuerpo “spline” al “mesh” original.

Nótese en la figura 4.24 que la corrección no es 100% exacta, siempre hay desviación. Sin embargo, esta deformación es de fracciones de mm. Es despreciable para tales efectos. Luego, se utiliza la herramienta “thicken” de modificación de “spline” para dar el espesor uniforme necesario al cuerpo. El resultado es el mostrado en la figura 4.25:

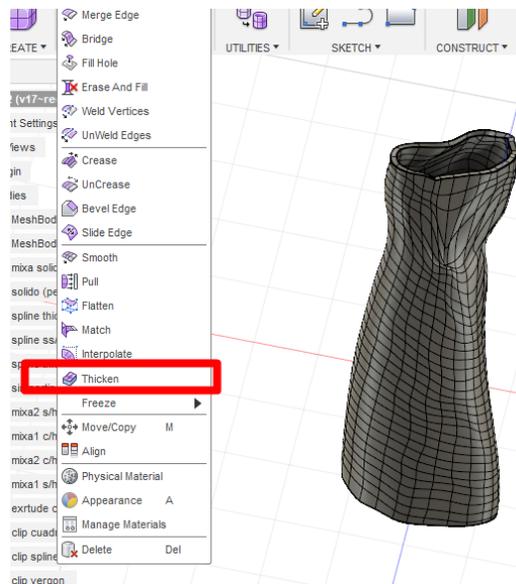


Figura 4.25: Cuerpo “spline” con espesor de 5mm aplicado.

A éste punto, se obtiene una aproximación de un modelo digital de órtesis que ya se puede considerar como “sólido”. Un “sólido” es llamado, dentro del entorno de Fusion 360, “BRep”. Convirtiendo nuestro “spline” a “BRep”, como se muestra en la figura 4.26, Nótese que es necesario seccionar a la mitad el cuerpo para comenzar a dar forma al modelo digital de órtesis como tal.

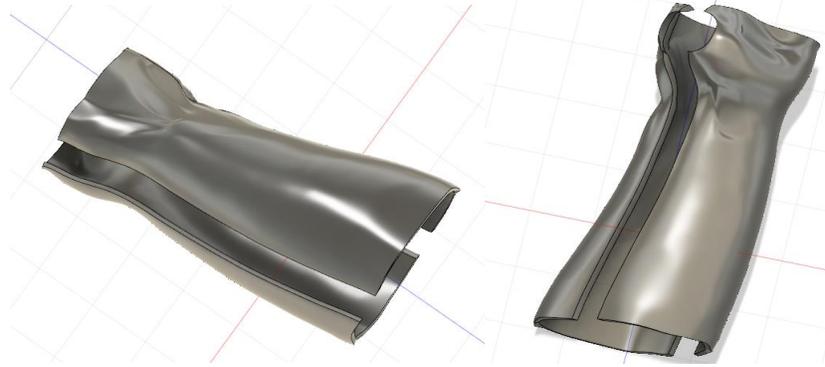


Figura 4.26: Creación de sólido “BRep” en Fusion 360.

Teniendo éste “sólido” formado, solo resta modificar el diseño que se desee darle al modelo digital de órtesis, desde las opciones de modificar, como se ha explicado antes. El modelo terminado es el mostrado en la figura 4.27.

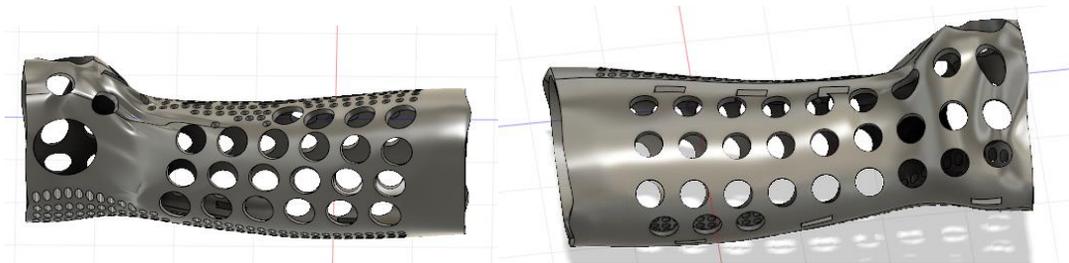


Figura 4.27: Vistas anterior y posterior de modelo digital con diseño terminado.

Finalmente, el software “FERULA2020”, abrirá la ventana correspondiente a la sección “IMPRIMIR”.

4.2.4 IMPRIMIR.

En esta sección solo resta mostrar el modelo digital de órtesis final para su impresión 3D, para lo cual la ventana de esta sección se muestra en la figura 4.28, donde se observan dos planos, en los cuales se mostrarán las dos partes de dicho modelo. Dando clic en el botón “MODELO”, abrirá un cuadro de dialogo (ver figura 4.29), donde se tendrá que abrir uno de los dos archivos del modelo digital de órtesis terminado, creado en la sección anterior, por lo cual de manera automática el software “ferula2020” hará la acción anterior dos veces, donde el usuario tendrá que elegir uno en cada opción.

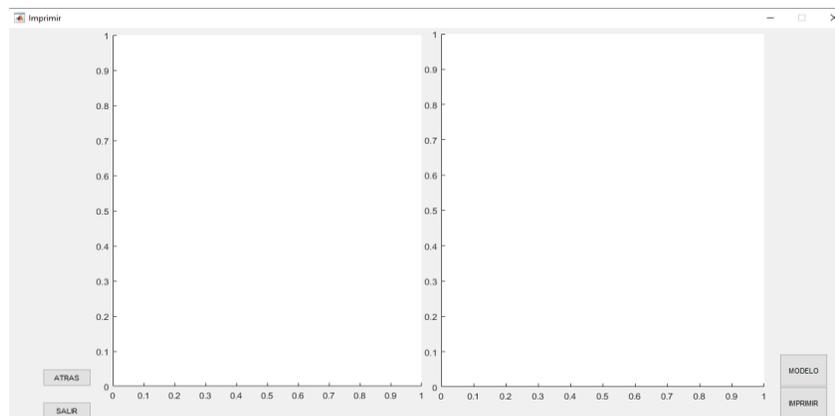


Figura 4.28: Sección “IMPRIMIR”.

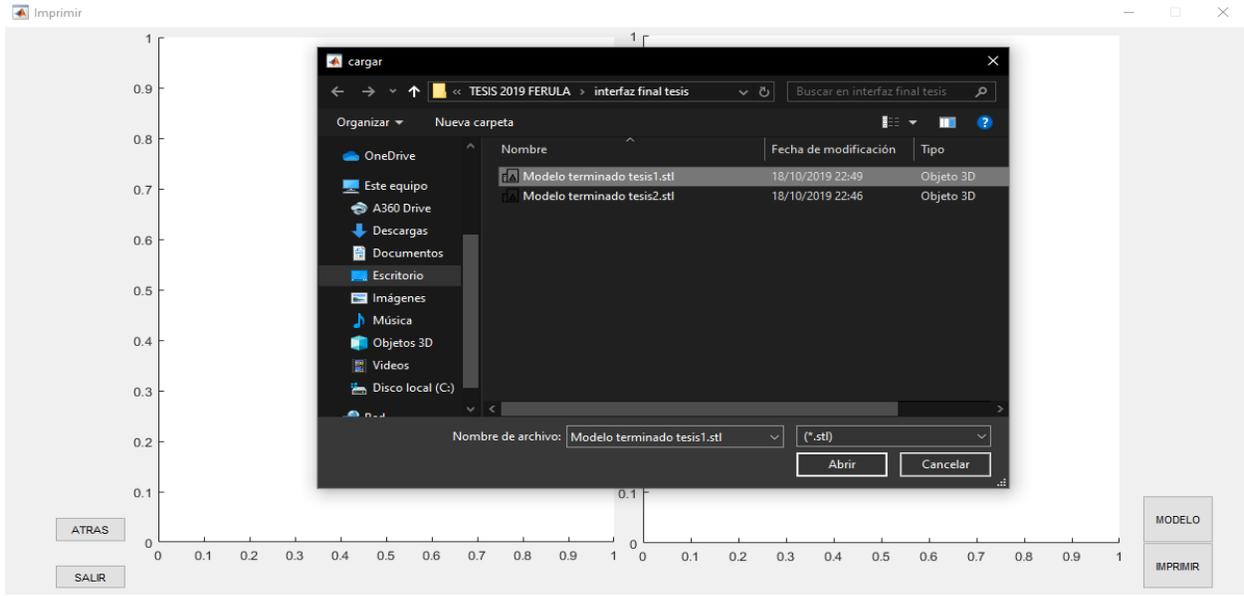


Figura 4.29: Proceso para mostrar el modelo digital de órtesis terminado.

Después de abrir cada parte del modelo, el software “FERULA2020” muestra ambas partes (figura 4.30). Cabe mencionar que al momento de mostrar los resultados el software “FERULA2020”, permite girar cada modelo (rotación 3D) para observar cada detalle, debido a que es un cuerpo en 3 dimensiones.

Como siguiente paso en esta sección 4.2.4, se da clic en “IMPRIMIR” y el software “FERULA2020”, abre el programa “Repetier-Host” para impresión del modelo.

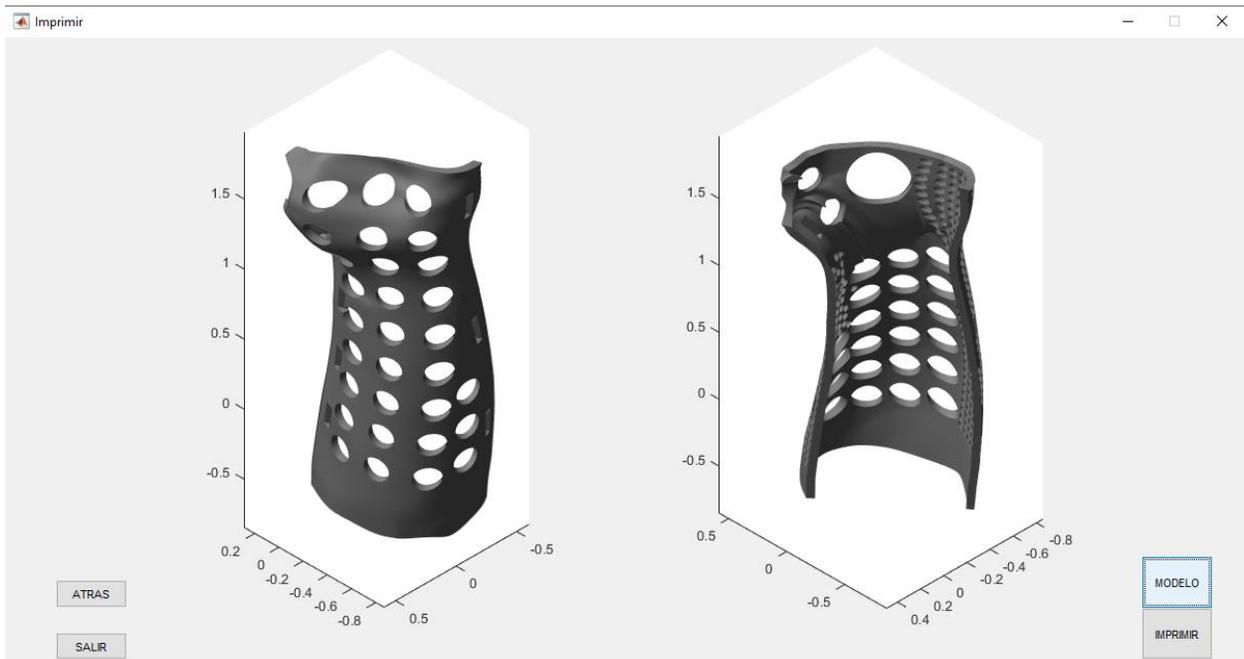


Figura 4.30: Muestra de modelo digital de órtesis terminado.

Al ejecutarse “Repetier-Host” da clic en la imagen de folder ubicado en la parte superior izquierda tal como se muestra en la figura 4.31, para abrir el archivo *.STL creado en pasos anteriores.



Figura 4.31: Interfaz “Repetier-Host”.

Seguidamente se selecciona y configura el tipo de impresora 3D a utilizar para la impresión. Se eligieron configuraciones por defecto y se muestran las mas importantes en la figura 4.32, ya que las demás configuraciones se mantuvieron con los valores automáticamente asignados.

Al dar clic en la opción “Printer Settings” en la barra de opciones, como se ve en la figura 4.32, se obtiene la configuración de la impresora tanto para cada eje (x, y, z), es decir, las dimensiones o longitudes máximas para cada eje, así como cargar el firmware, donde todos estos parámetros deberían de ser automáticas al conectar la impresora al ordenador. Luego de tener un orden de los aspectos por defecto que se vincularan con la impresora conectada mediante cable USB A-B (en puerto serial COM7 en este caso), se selecciona el “capeador” o “slicer” que convertirá el modelo STL a un código de capa a capa, que se traduce comandos seguidos por el extrusor para imprimir el solido. En la figura 4.33 se muestra que el slicer seleccionado de preferencia es CuraEngine, que es un software externo propiedad de Ultimaker que efectua el antes mencionado capeado del modelo codificandolo en un archivo con extensión *.GCODE.

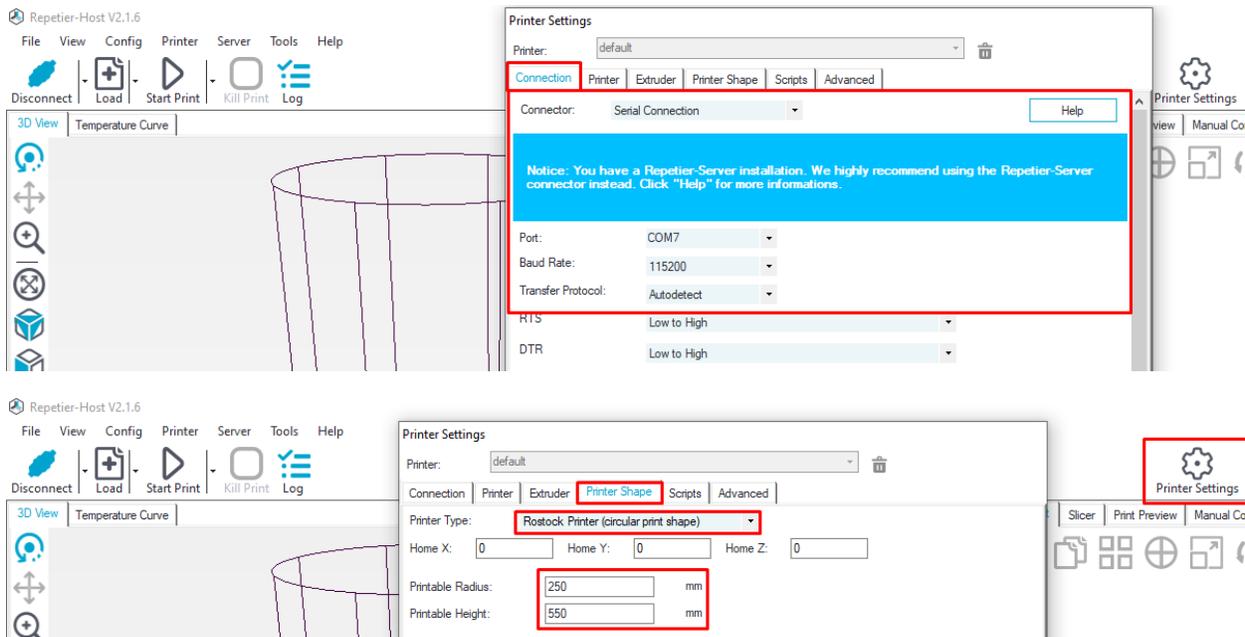


Figura 4.32: Configuración del tipo de impresora.

Existe una gran variedad de impresoras en el mercado, es necesario elegir la adecuada para cada aplicación, en este caso particular, la elección fue una impresora “DELTA” (*Rostock Printer (circular shape)* en el software) ya que tiene la particularidad de brindar una mayor longitud en el “eje Z”, tomado como referencia Z lo largo del brazo.

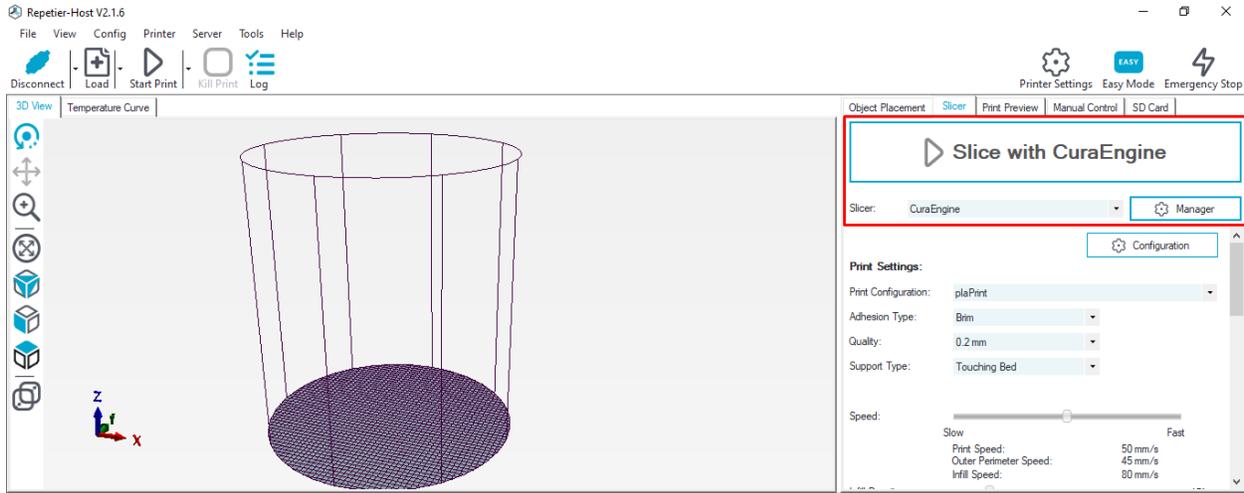


Figura 4.33: Selección de CuraEngine como software slicer del modelo a cargar.

Posteriormente, se seleccionan los ajustes para el tipo de material a utilizar y la calidad de impresión que cargar.

El material usado para este proyecto fue PLA, por su resistencia mecánica a la compresión (66 - 86 MPa), bajo costo (precio local: ~\$40/kg) y aceptablemente alta temperatura de fusión (175-220°C), lo que permitiría una reducción en el costo de fabricación de una férula no muy elástica, pero resistente a golpes. Se optó por temperaturas para la impresión: 180°C para extrusor y 60°C para la cama/base, así como el grosor del filamento de PLA (1.75mm), según se muestra la figura 4.34.

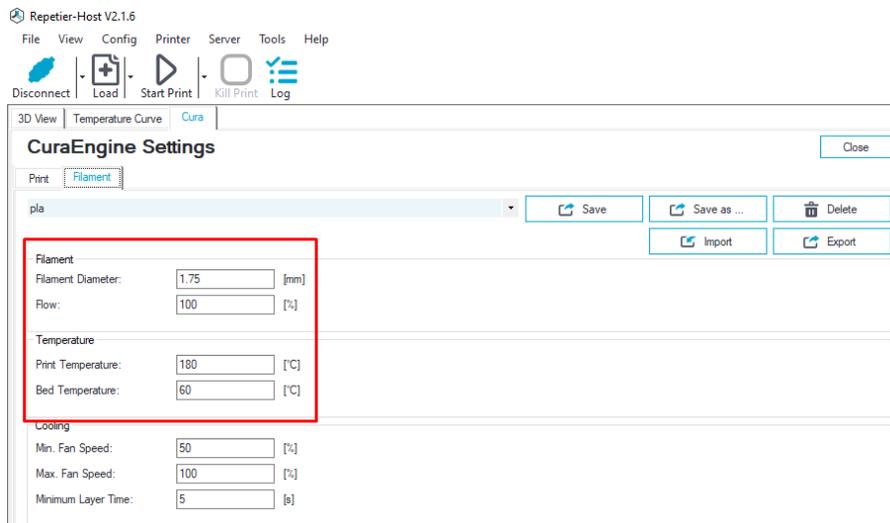


Figura 4.34: Elección del tipo y grosor de material.

Solo resta la configuración del perfil de impresión, donde la mayoría tiene valores por defecto, aunque conviene cambiar o tomar en cuenta algunos. La figura 4.35 muestra los parámetros que se consideran mas importantes para ajustar, como:

- **QUALITY:** Referido a la altura entre capas generadas en el modelo.
- **INFILL DENSITY:** Es la cantidad o porcentaje de relleno a suministrar a la impresión, un relleno con porcentaje alto, radica en mayor inversión de material, por lo cual mayor rigidez en la impresión de igual manera un bajo porcentaje de relleno, implica menos material invertido y menor rigidez en la impresión.
- **SUPPORT:** Es el soporte que se incluirá en la impresión para el balance del cuerpo a imprimir, este es material que sostiene las partes donde se considera según el algoritmo de impresión, este en desequilibrio, al final este material se retirara del cuerpo impreso.
- **ADHESION:** *Brim* (falda o alero) o *Raft* (balsa, capa inferior adicional). Incluye una base que fija a la base de la impresora el cuerpo a imprimir, así evitar el deslizamiento entre el cuerpo y la base de la impresora a la hora de impresión.

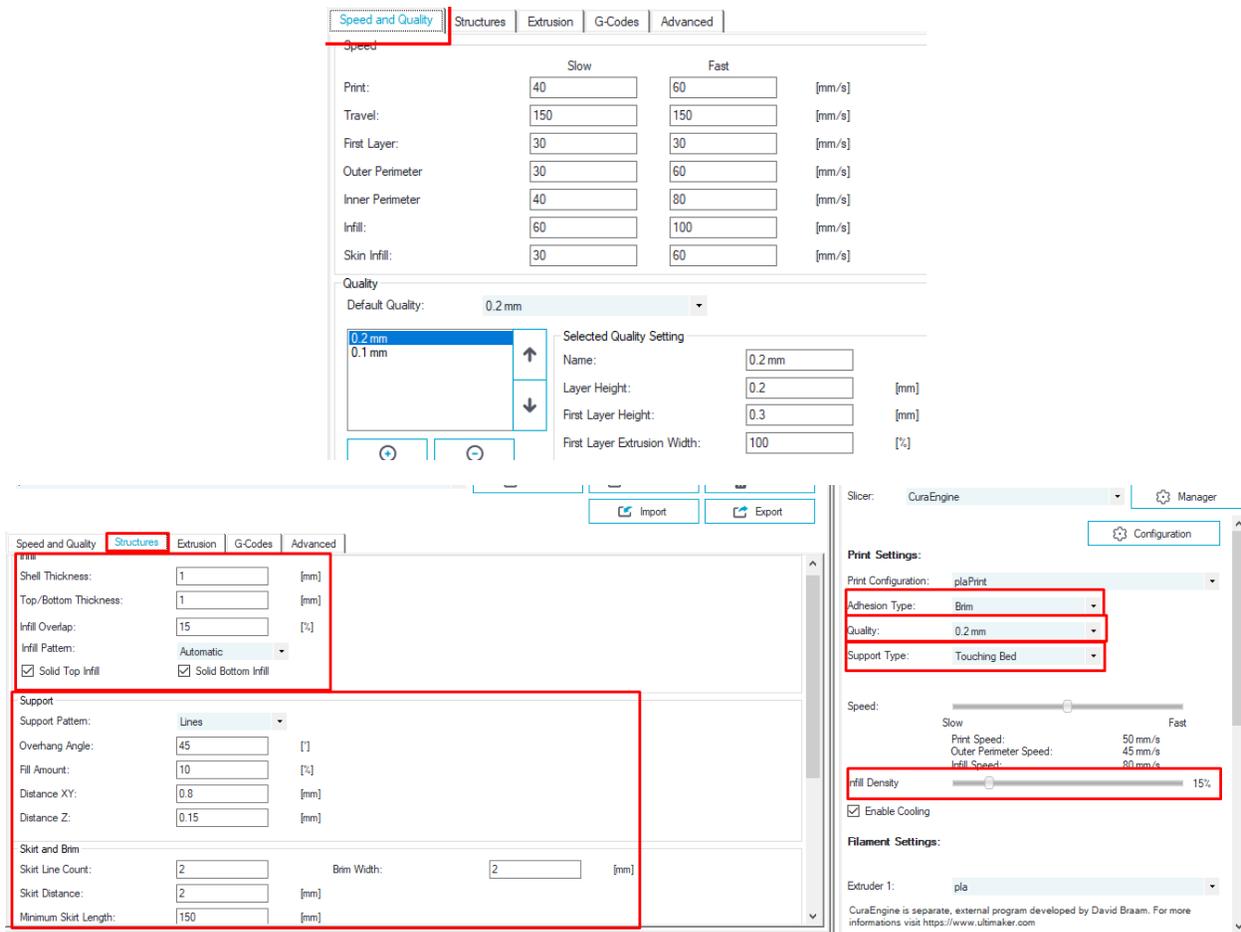


Figura 4.35: Ajustes de calidad impresión y estructuras.

Finalmente se tiene los parámetros listos para la impresión, por lo que se procede a la impresión, se abre el archivo STL desde almacenamiento local. La figura 4.36 muestra la vista de 2 archivos STL ya procesados en el software “Repetier-Host” previa al capeado por CuraEngine.

Estos pasos antes mencionados en el programa “Repetier-Host” se realizan cada vez que se desea imprimir para verificar los parámetros.

Las dos partes del Modelos digital de órtesis realizado en este trabajo se imprimen en la misma sesión, el espacio de impresión lo permite.

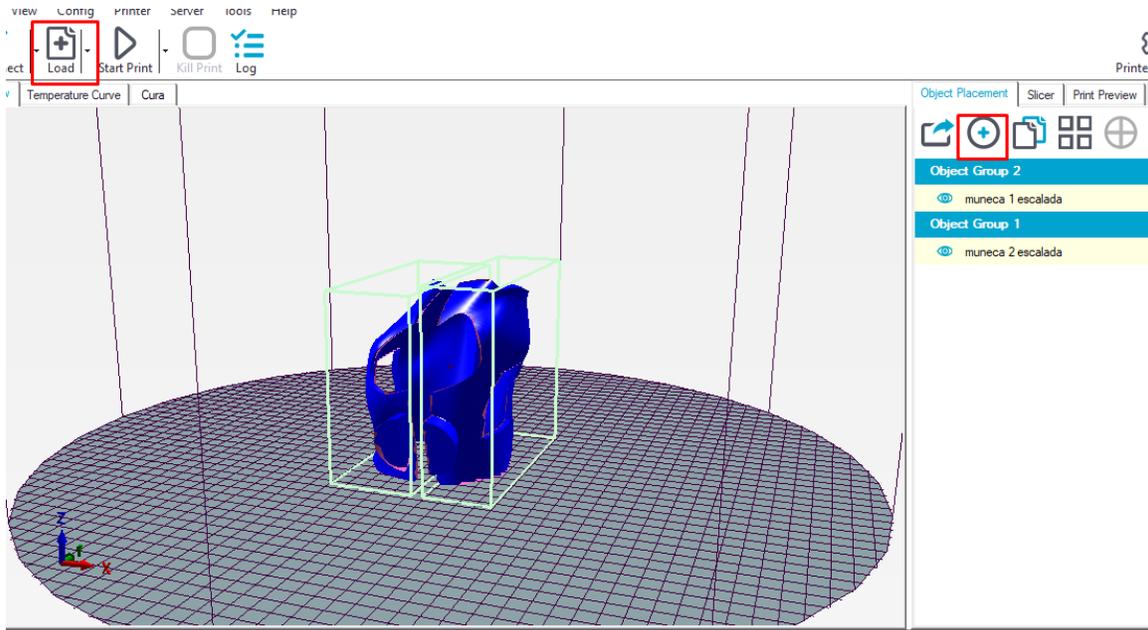


Figura 4.36: Agregando los objetos a procesar por capas mediante CuraEngine.

Las líneas gruesas adicionales paralelas al eje z (eje azul) en la figura 4.37, son el material de soporte que se agrega al procesar el capeado con CuraEngine. El software también estima un tiempo de impresión total.

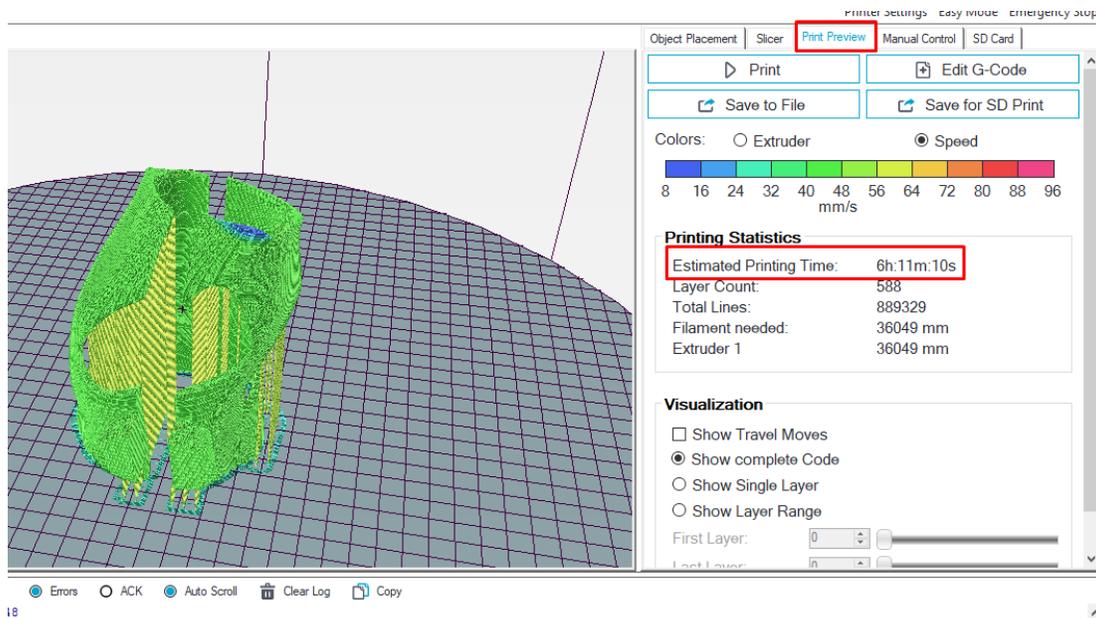


Figura 4.37: Vista previa antes de la impresión en el software “Repetier-Host”.

Al cerrar “Repetier-Host”, se da el paso para la última sección “FINALIZACIÓN”.

4.2.5 FINALIZACIÓN.

Esta sección básicamente es la despedida del software “FERULA2020” la figura 4.38 muestra el cuadro de dialogo generado para esta sección, que contiene un botón finalizar donde al dar clic en él, se abre un cuadro de dialogo de “SALIR” de la misma naturaleza que el de la figura 4.7.



Figura 4.38: Sección “FINALIZACIÓN”.

La figura 4.39 muestra el producto terminado, donde ya se puede llamar Modelo de Órtesis.



Figura 4.39: Modelo de órtesis por medio de impresión 3D.

4.3 FUNCIONES ESPECIALES PARA MATLAB PARA EL PROCESO DE DATOS.

En el proceso de tratamiento de datos, luego del escaneo, se consideran los datos como simples números, dado que los “puntos claves” obtenidos del proceso de captura se interpretan como juegos de coordenadas tridimensionales (nube de puntos en formato *.PLY) para, al final, poder formar una malla o superficie que se exportará a Fusion 360 para su posterior tratamiento.

Para lograr lo antes mencionado, se utilizan muchas funciones matemáticas dentro del entorno de Matlab. Dado que son extremadamente extensas y cuantiosas, se abarcarán las funciones cruciales con el enfoque de uso aplicado al presente trabajo. Cabe aclarar que el tratamiento de cálculo matemático es mucho más extenso e incluye funciones de operaciones básicas que no se definirán en el trabajo.

4.3.1 PCREAD()

Esta función lee u obtiene sus datos a partir de un archivo en formato *.PLY o *.PCD, lo cual favorecer el proceso, dado que el archivo de escaneo se exporta en formato *.PLY. Al aplicar la función, se obtiene una variable u objeto tipo “pointCloud”, como se puede observar en la figura 4.39.

```

Command Window

>> a=pcread('brazo.ply');
>> a

a =

    pointCloud with properties:

        Location: [700x3 single]
        Color: []
        Normal: [700x3 single]
        Intensity: []
        Count: 700
        XLimits: [-0.0832 0.0549]
        YLimits: [-0.0814 0.0570]
        ZLimits: [-0.0816 0.1936]

fx >>

Variables - a
a
1x1 pointCloud

Property ^ Value
Location 700x3 single
Color []
Normal 700x3 single
Intensity []
Count 700
XLimits [-0.0832,0.0549]
YLimits [-0.0814,0.0570]
ZLimits [-0.0816,0.1936]

```

Figura 4.40: Lectura de archivo en formato PLY en el entorno de Matlab (fuente propia).

Una variable “*pointCloud*” es un objeto tipo clase (*class*) que incluye otras variables dentro de la misma que se interpretan como propiedades y que permiten el acceso a ellas mediante nombres asociados a la clase (*clase.propiedad*; e.g. *a.Location*, *a.Color*, *a.Count*). A continuación, se definirán las propiedades más fundamentales o que se utilizaron para el tratamiento de datos:

- Location: son las coordenadas cartesianas asociadas a cada punto leído del archivo original. Se ubican en una matriz tridimensional, donde cada columna son ubicaciones en cada eje coordenado, siendo la columna 1 X, columna 2 Y, columna 3 Z; representando cada fila un juego coordenado correspondiente a un punto, como se observa en la Figura 4.40.

```

>> a.Location

ans =

    700x3 single matrix

    -0.0240    0.0545    0.1583
    -0.0194    0.0557    0.1638
    -0.0169    0.0550    0.1530
    -0.0282    0.0511    0.1502
    -0.0292    0.0507    0.1637
    -0.0202    0.0528    0.1716

```

Figura 4.41: Propiedad Location de la variable *pointCloud* (fuente propia).

- Color: matriz bi- o tridimensional que indica el color asignado a cada punto de la nube. Cada columna representa la intensidad de cada color rojo, verde y azul (R, G, B, de columna 1 a 3) en cada punto, correspondiendo una fila a un juego de intensidades de colores por cada punto, como se observa en la Figura 4.41.

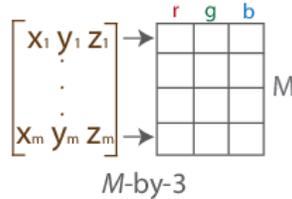


Figura 4.42: Representación de la propiedad Color dentro de la clase pointCloud (18).

- Count: Número de puntos totales que corresponden al número de filas de las propiedades Color y Location anteriormente definidas.
- Normal: Conjunto de vectores normales en cada punto, correspondiendo fila a fila cada punto con la propiedad Location y Color. Esta propiedad puede usarse para escalar uniformemente las dimensiones originales de la nube de puntos.

4.3.2 PCSHOW()

Permite mostrar en una ventana de "figure" la nube de puntos especificada. La variable de entrada puede ser una clase tipo *pointCloud* o una matriz tridimensional de valores numéricos tipo *double* que indicarán las coordenadas cartesianas de cada punto. En la Figura 4.42 a) se muestra el ingreso de datos a esta función; la propiedad Location se guardó como una matriz 3D de números tipo *double* porque es el tipo de datos aceptado para este formato de entrada por la función *pcshow()* y ya dentro de la función se pueden especificar diferentes propiedades como el color y diámetro de cada punto, el eje vertical y su dirección, entre otras; el color fue la única propiedad modificada para este trabajo. La Figura 4.43 b) ejemplifica cómo se muestra gráficamente la nube de puntos con la configuración antes mencionada.

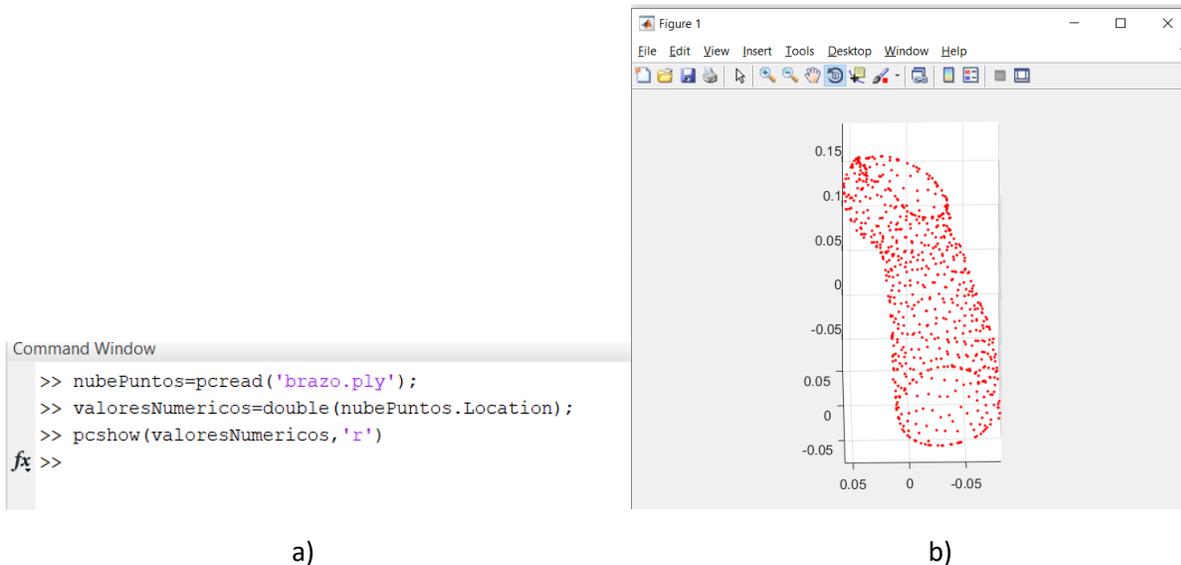


Figura 4.44: a) Ingreso de datos a la función *pcshow()*. b) Imagen mostrada por la función (fuente propia).

4.3.3 DELAUNAY()

Crea una matriz de 4 dimensiones conteniendo tetraedros por cada fila y tantas filas como tetraedros se triangulen. Su entrada corresponderá a la matriz tridimensional que contiene las coordenadas de la nube de puntos (*pointCloud.Location* o una variable aparte equivalente). Los valores de cada índice (columna

por fila) indican un correlativo de filas dentro de la matriz de entrada y, por ende, se correlaciona a cada punto de la nube. El uso de esta función no es graficar o mostrar una imagen, sino que definir los parámetros de los tetraedros para ser utilizados por una función graficadora compatible más adelante. En la Figura 4.44 se observa cómo se forman tetraedros al invocar esta función con una nube de puntos en formato *double*; la nube del ejemplo contiene 700 puntos y la matriz de tetraedros contiene 4285 de ellos, ya aplicada la función. Se puede ver, por ejemplo, que la fila 1 de la matriz resultante describe un tetraedro formado entre los puntos 633, 613, 614 y 555, cada uno correspondiente a un punto o a una fila de la matriz *valoresNumericos* usada como entrada.

```

>> nubePuntos=pcread('brazo.ply');
>> valoresNumericos=double(nubePuntos.Location);
>> deli=delaunay(valoresNumericos)

deli =

    633    613    614    555
    227    551    544    230
    396    116    105    147
    214    514    221    213
    473    502    239    488
  
```

Workspace variables:

- deli: 4285x4 double
- nubePuntos: 1x1 pointCloud
- valoresNumer...: 700x3 double

Figura 4.45: Ejemplo de aplicación de la función *delaunay()* (fuente propia).

Esta función no puede usarse por ella misma para formar los tetraedros que describan la superficie escaneada, sino que se creó una función que incluye *delaunay()* y la modifica utilizando procesos matemáticos intrincados para obtener dicha superficie.

4.3.4 TRISURF()

Grafica o muestra una superficie tridimensional con valores de entrada de una matriz de tetraedros y las coordenadas tridimensionales de cada punto pertenecientes al objeto escaneado. Su sintaxis se explica en la Figura 4.45:

Sintaxis

```

trisurf(T,x,y,z)
trisurf(TO)
trisurf( __ ,c)
trisurf( __ ,Name,Value)
h = trisurf( __ )
  
```

Descripción

trisurf(T , x , y , z) traza la superficie triangular tridimensional definida por los puntos en los vectores x , y y z , y una matriz de conectividad triangular T

trisurf(TO) traza la superficie definida por un objeto de triangulation 3-D o *delaunayTriangulation* .

trisurf(__ , c) también especifica el color de la superficie para cualquiera de las sintaxis anteriores.

Figura 4.46: Sintaxis de la función *trisurf()* (19).

El resultado de esta función es una variable de tipo *patch* que, básicamente, incluye muchas propiedades modificables e interrogables. En la Figura 4.46 a) se observa el resultado del llamado de esta función.

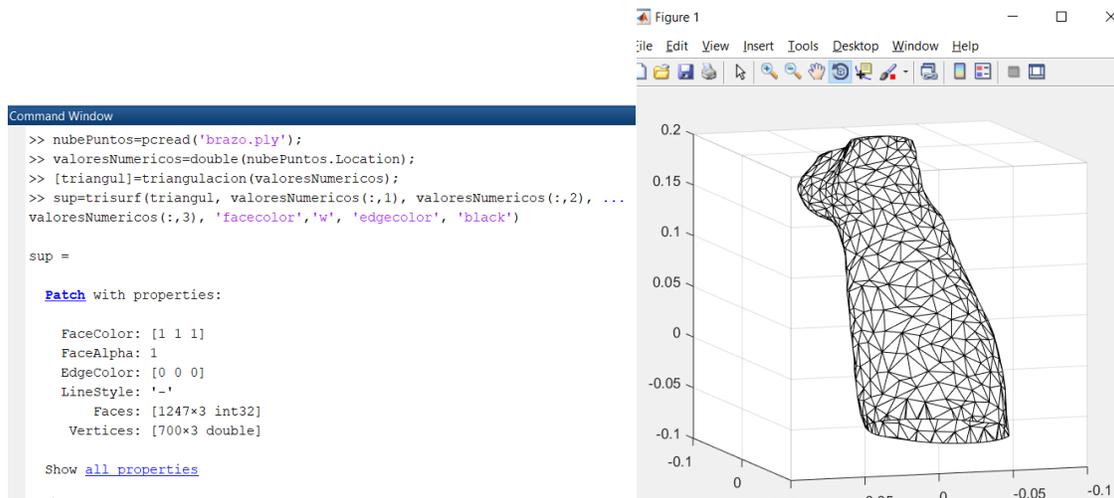


Figura 4.47: Llamado de la función *trisurf()* a partir de datos propios.

Cada propiedad se puede llamar para modificarse o interrogarse usando la misma sintaxis que para una variable de tipo clase (class), es decir: *patch.propiedad*, e.g. *sup.FaceColor*. Ahora, se definirán las propiedades utilizadas para el procesamiento de la superficie en el trabajo:

- **FaceColor:** el color asignado a cada “cara” o polígono indicando una fila el color de un polígono. Puede asignarse un solo color para todas las caras o asignar colores variados mediante una matriz que tiene que tener un número de filas igual al número de caras que contiene el objeto. Cada columna indica la intensidad de colores rojo, azul y verde (R, G, B, de columnas 1 a 3 respectivamente).
- **EdgeColor:** el color asignado a cada “vértice” de cada polígono, indicando una fila el color de un vértice. Puede asignarse un solo color para todos los vértices o asignar colores variados mediante una matriz que tiene que tener un número de filas igual al número de vértices que contiene el objeto. Cada columna indica la intensidad de colores rojo, azul y verde (R, G, B, de columnas 1 a 3 respectivamente).
- **LineStyle:** tipo de línea utilizado al graficar cada vértice en la imagen resultante. Puede cambiarse a línea sólida ('-'), discontinua ('- -'), punteada (':'), semipunteada ('- .') y ninguna('none').
- **Faces:** matriz tridimensional describiendo un polígono por cada fila. Cada índice (fila por columna) indica un número correlativo de vértice (dentro de la matriz “*Vertices*” o *patch.Vertices*). Entonces, como se muestra en la Figura 4.47, un polígono se formará con la unión de cada vértice en cada columna de una fila de esta variable.

```
>> sup.Faces

ans =

1247x3 int32 matrix

     1     2     3
     1     2     5
     1     3     4
     1     4     5
     2     3    460
     2     5     6
```

Figura 4.48: Interrogación de la propiedad *Faces* del objeto o variable tipo *patch*. En la fila 1, un polígono va a formarse con los vértices con números 1, 2 y 3 correspondientes a filas dentro de la propiedad *Vertices*.

- *Vertices*: Matriz tridimensional que guarda los puntos que se ingresaron a la función. Tiene exactamente la misma estructura que la propiedad "*Location*" de los objetos tipo *pointCloud*.

4.3.5 PATCH()

Función que crea un objeto tipo *patch* a partir de una sintaxis utilizada como muestra la Figura 4.48:

`patch('Faces', F, 'Vertices', V)` crea uno o más polígonos donde *V* especifica valores de vértice y *F* define qué vértices conectar. Especificar solo vértices únicos y su matriz de conexión puede reducir el tamaño de los datos cuando hay muchos polígonos. Especifique un vértice por fila en *V*. Para crear un polígono, especifique *F* como vector. Para crear múltiples polígonos, especifique *F* como una matriz con una fila por polígono. Cada cara no tiene que tener el mismo número de vértices. Para especificar diferentes números de vértices, rellene *F* con valores NaN.

Figura 4.49: Sintaxis de la función *patch()* utilizada en este trabajo.

A pesar de que la función *trisurf()* ya resulta en una variable de tipo *patch*, se utilizó la presente función para almacenar los datos o agregarles a conveniencia, lo cual resulta favorable en el caso de este trabajo. La manera de utilizarla fue almacenando las propiedades *Faces* y *Vertices* del resultado de la invocación de *trisurf()* y aplicando propiedades, así como se ve en la Figura 4.49.

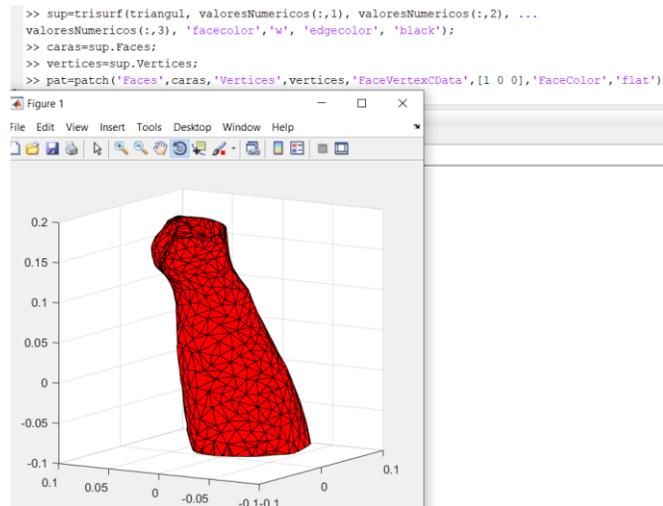


Figura 4.50: Utilización de la función *patch()*

5. CAPITULO V: ANÁLISIS DE RESULTADO

5.1 TRATAMIENTO DIGITAL

5.1.1 FÉRULA REALIZADA FUERA DE INTERFAZ

Escaneo realizado a: Moisés Bonilla (Utilizando sensor Kinect y software Skanect, ver figura 5.1).

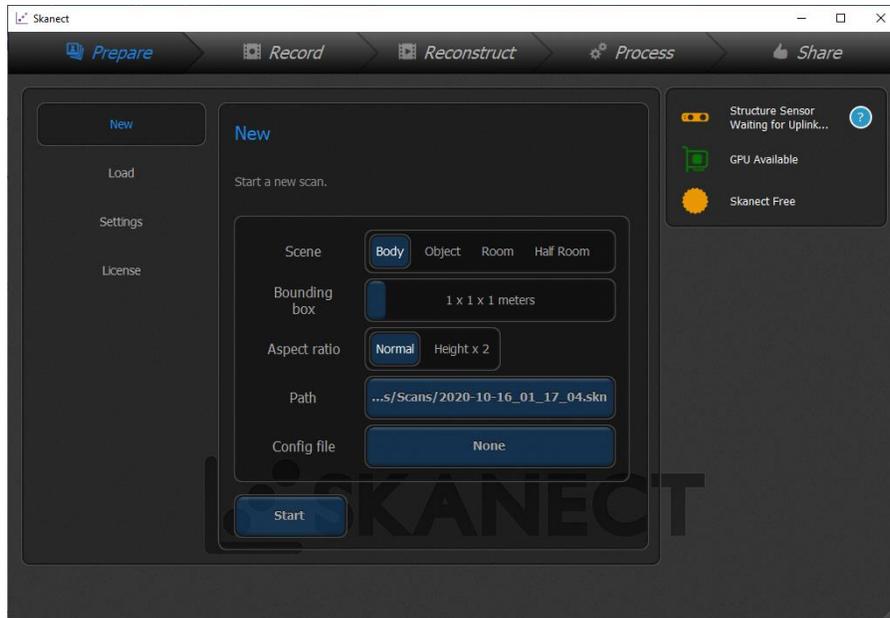


Figura 5.1: captura tomada a pantalla de inicio de software Skanect

En primer intentado de hacer una férula los procesos fueron satisfactorios:

- En el programa *Skanect* se seleccionan las opciones adecuadas para el escaneo, mayormente nos concentramos en el espacio de captura de datos. Éste espacio varía de acuerdo a la parte escaneada y otros objetos que se encuentren cerca (para no capturarlos).

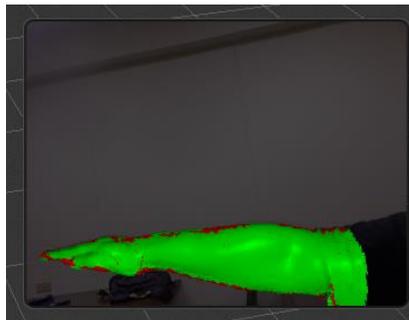


Figura 5.2: captura tomada mientras escaneamos en el software Skanect

- Habiendo reconstruido la captura exitosamente (ver figura 5.3), procedimos a exportar el modelo con una extensión **.PLY*.

Nuestro escaneo tenía muchos más vértices del límite impuesto por la licencia “gratis” de *Skanect*. Por ende, los polígonos se redujeron a 5000, reduciendo también la calidad del modelo.

En la figura 5.4 podemos ver cómo, a pesar de la reducción en la calidad del modelo antes explicado, la calidad es muy aceptable, las medidas correctas, y la distorsión despreciable para efectos de nuestro proyecto; también vemos en el modelo se pueden guardar datos de color y textura para utilizarse, de ser necesario, en la edición.

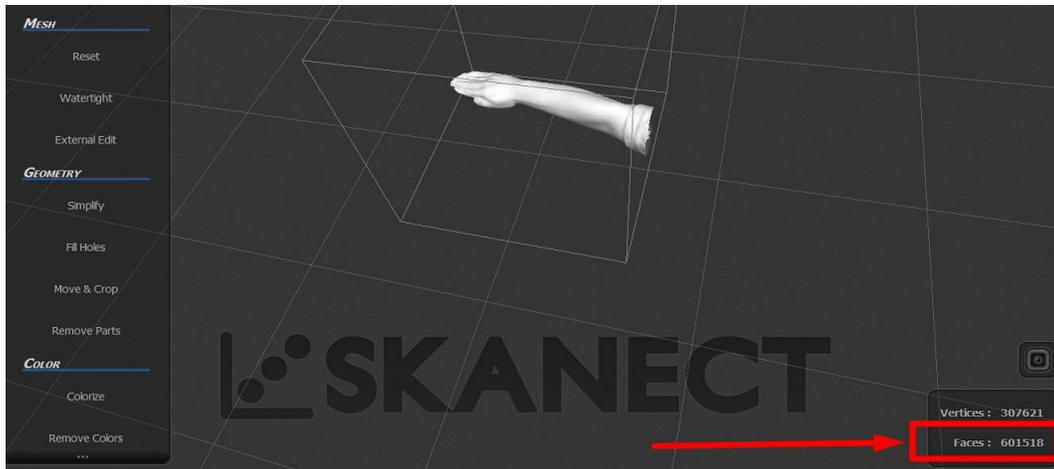


Figura 5.3: Reconstrucción exitosa de escaneo en Skanect.

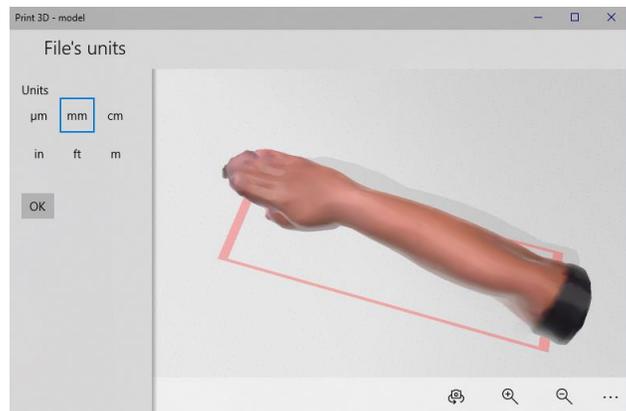


Figura 5.4: Visualización de modelo *.PLY exportado de Skanect en un software distinto.

- El modelo hay que depurarlo, La férula que diseñaremos será de brazo (desde muñeca) sin incluir codo. Dicha férula se podría usar en un caso de múltiples fracturas en muñeca, radio y/o cúbito. Por lo anterior, cortamos el codo y dedos en *Fusion 360*. *Fusion 360* trabaja con varios tipos de “cuerpos”. El que importamos es del tipo “Mesh”. Éste tipo de cuerpo es básico, incluye los puntos clave del modelo y los planos que forman. Para cortarlo, utilizamos la función “plane cut” (ver figura 5.5), que crea un plano de corte que podemos arrastrar para seccionar lo que necesitemos. Luego de haber depurado el modelo, en la figura 5.6 vemos que finalmente tenemos el cuerpo tipo “Mesh” que editaremos en *Fusion 360* listo.

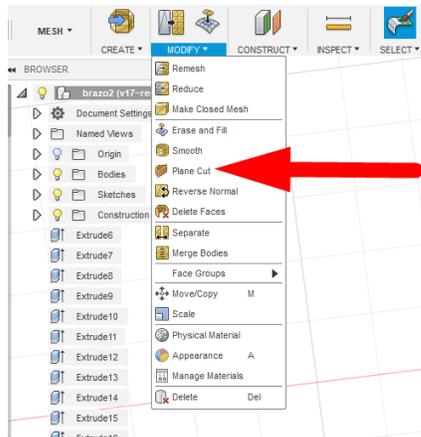


Figura 5.5: Herramientas de modificación para un “cuerpo” tipo “Mesh” dentro de Fusion 360. Seleccionamos “plane cut” para seccionar mediante un plano que dibujemos.

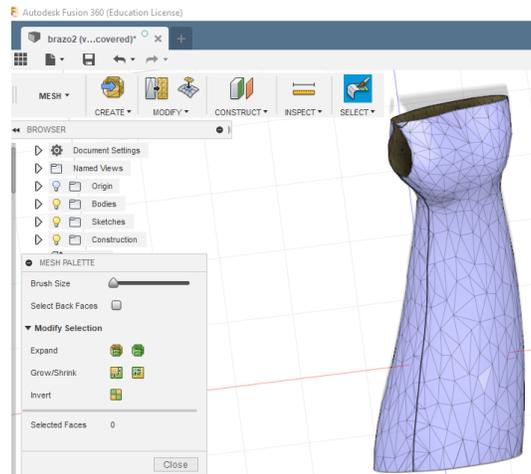


Figura 5.6: Cuerpo “mesh” listo para editar como férula dentro del entorno de Fusion 360

- Ahora, necesitamos un cuerpo que no se conforme de puntos, sino que de curvas. Esto es, convertir nuestro cuerpo tipo “Mesh”. El tipo de cuerpo a utilizar en entorno de *Fusion 360* se llama “spline” (ver figura 5.7). El programa, en este tipo de cuerpos, busca una regresión lineal de las rectas formadas por puntos. La necesidad de este tipo de cuerpos es porque la férula posee un espesor (consideramos adecuado un espesor de 5 mm). En la figura 5.8a se observan las herramientas de modificación de un cuerpo tipo “spline”, mientras que en la figura 5.8b el cuerpo nuevo del brazo como “spline”. Dado que es una aproximación de curvas desde puntos, vemos como se distorsionó del original. Habrá entonces que corregirlo.

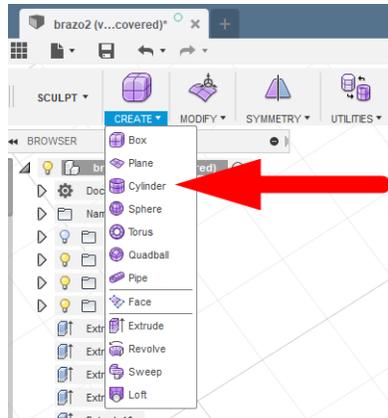


Figura 5.7: Herramientas de creación de cuerpo “spline” en Fusion 360. Optamos por aproximar un cilindro a nuestro cuerpo “Mesh” por conveniencia geométrica evidente.

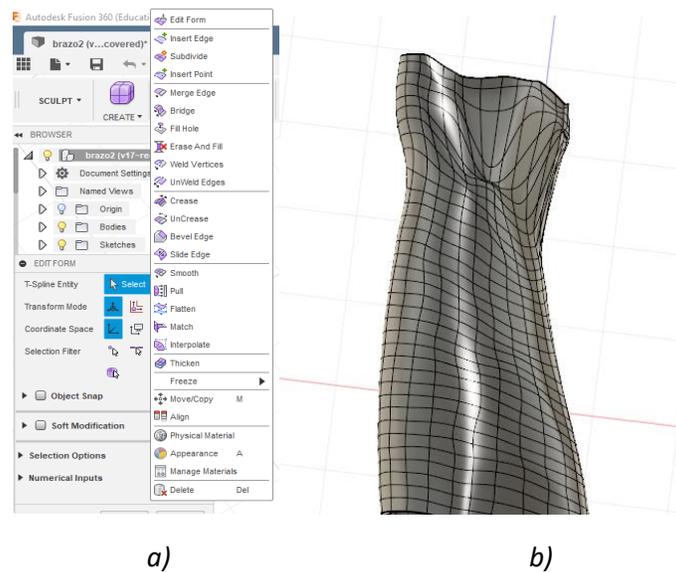


Figura 5.8: a) Herramientas de modificación de cuerpo “spline”. b) Aproximación de cuerpo “spline” para apegarse al cuerpo “mesh” existente.

- La aproximación de éste nuevo “cuerpo” creado es defectuosa, por lo que se corrige Manualmente arrastrando cada punto necesario para apegarse a la forma y contorno del “mesh” original (ver figura 5.9).

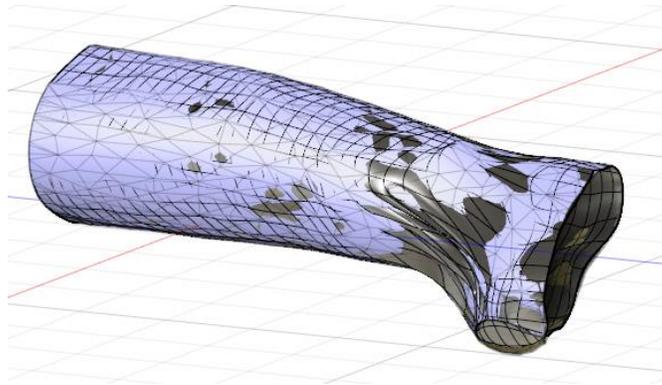


Figura 5.9: Corrección de cuerpo “spline” al “mesh” original.

Notamos en la figura 5.9 que la corrección no es 100% exacta, siempre hay desviación. Sin embargo, esta deformación es de fracciones de mm. Es despreciable para nuestros efectos. Luego, la herramienta “thicken” de modificación de “spline” para dar el espesor uniforme que necesitamos al cuerpo. El resultado fue el siguiente:

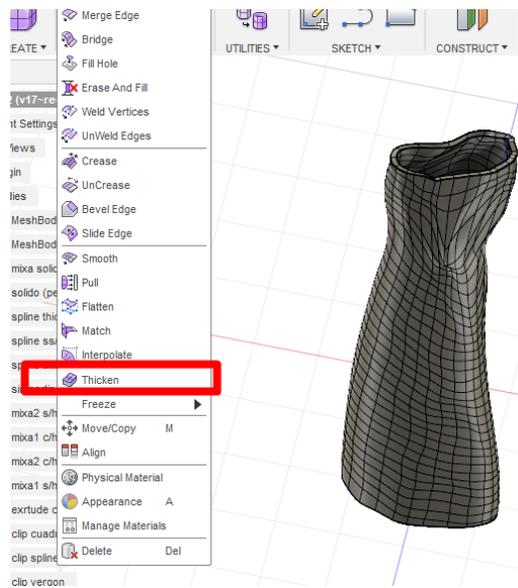


Figura 5.10: Cuerpo “spline” con espesor de 5mm aplicado.

- A éste punto, tenemos una aproximación de una férula que ya se considera como “sólido”. Un “sólido” es llamado, dentro del entorno de Fusion 360, “BRep”. Convirtiendo nuestro “spline” a “BRep”, tenemos:

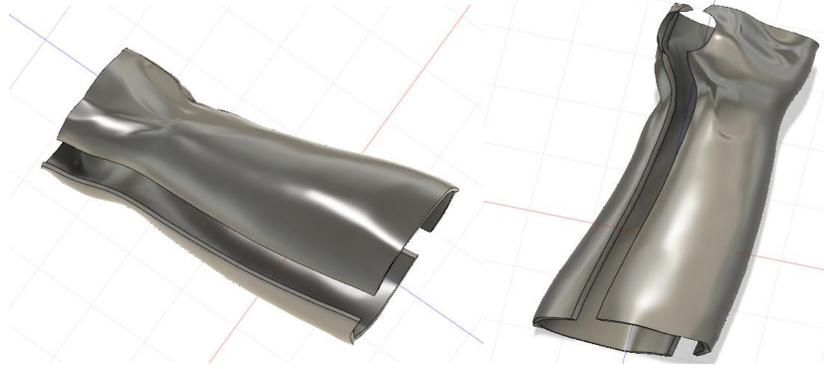


Figura 5.11: Creación de sólido “BRep” en Fusion 360. Nótese que seccionamos a la mitad el cuerpo para comenzar a dar forma a la férula como tal.

- Teniendo éste “sólido” formado, solo resta modificar el diseño que deseamos darle a la férula, desde las opciones de modificar, como hemos explicado antes. El modelo terminado es el siguiente:

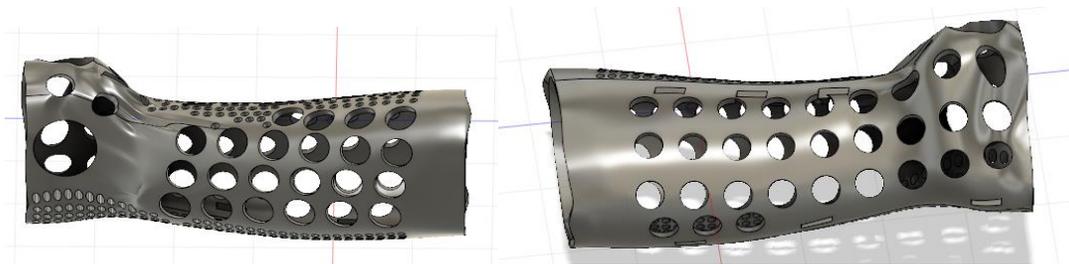


Figura 5.12: Vistas anterior y posterior de férula con diseño terminado.

- Ahora, únicamente nos resta imprimir. Dado el tamaño de la impresión, no fue necesaria una impresora 3D de tamaño no-convencional. La impresión se realizó en el Laboratorio de Fabricación Digital de la Escuela de Ingeniería Industrial, FIA, UES.



Figura 5.13: Férula imprimiéndose.



Figura 5.14: Férula terminada e impresa.

El resultado del primer escaneo es satisfactorio. Obteniendo un resultado aceptable, pero complicando para el usuario.

5.1.2 ESCANEADO CON LA INTERFAZ

El proceso anterior se modifica para poder extraer del modelo de Skanect la mayor cantidad de polígonos usando Matlab y generando aquí el modelo en formato stl para exportarlo a fusión 360.

Escaneo realizado a: David Carcamo.

Los pasos en este caso se usa la interfaz creada para facilitar aperturas del software a utilizar esto es generado en Matlab (ver capítulo 4, interfaz creada) en figura 5.15 se muestra el escaneo realizado:

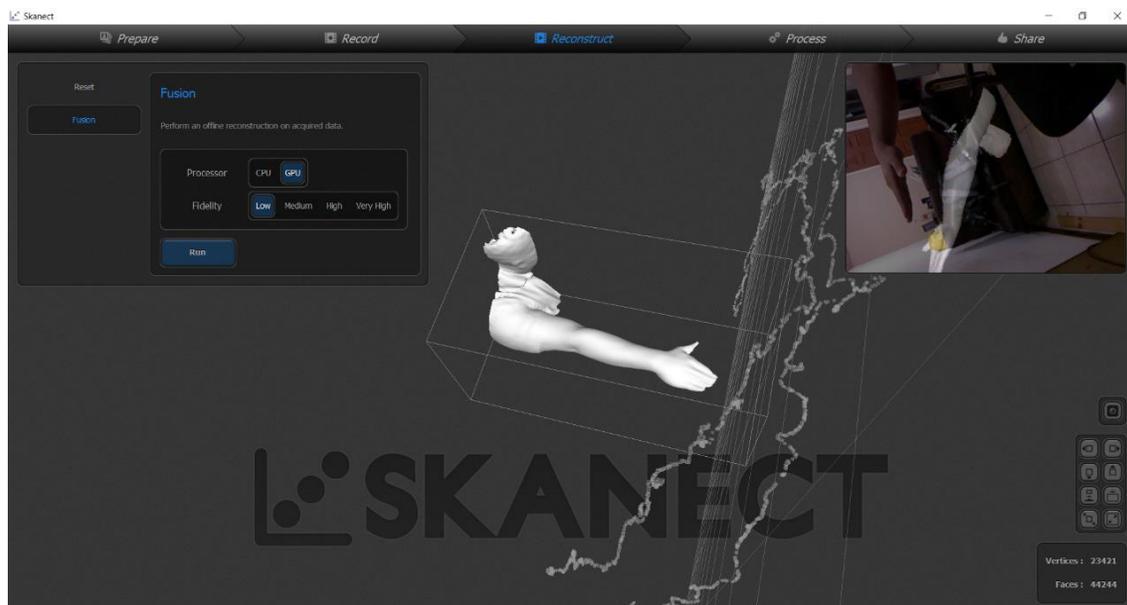


Figura 5.15: Escaneo de prueba para la interfaz.

En la figura 5.15 se observa el escaneo el cual es satisfactorio a simple pero no se puede exportar completamente ya que Skanect solo deja exportar 5000 polígonos por lo cual se hace un recorte solo en la muñeca como un guante (ver figura 5.16):

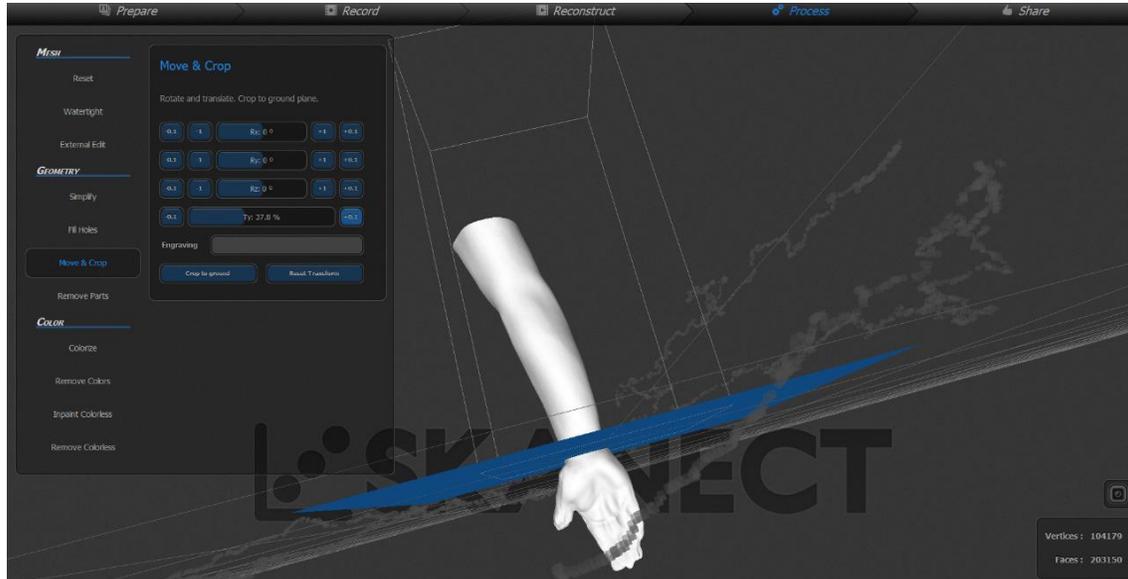


Figura 5.16: recorte de muñeca para exportación de los 5000 polígonos en una superficie menor

En la figura 5.16 se observa como se hizo el recorte lo recomendable es hacer ese recorte cercano a donde se desea hacer la férula ya que Skanect oculta lo demás del modelo, pero en el entorno de Matlab se obtienen todos los polígonos del escaneo lo cual nos ayuda a saltar esa limitante solo que se observa que hay cambio en el área que se recortó (ver figura 5.17):

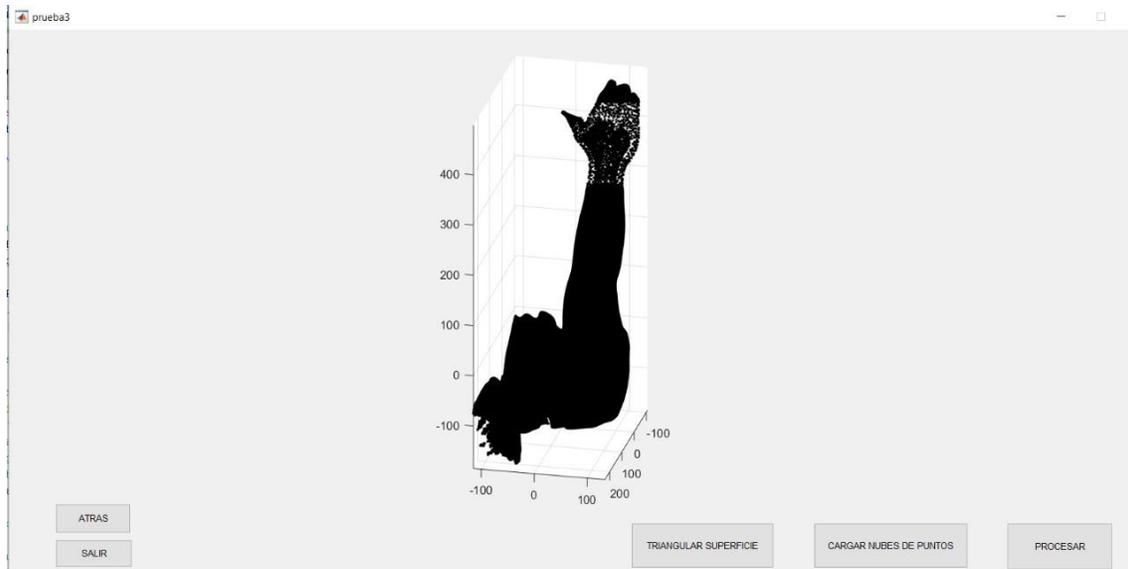


Figura 5.17: exportación de escaneo a Matlab se observa que se han recreado todos los puntos.

Este escaneo y tratamientos de datos es satisfactorio lo que demuestra que la interfaz para evitar la limitante de polígonos por Skanect se solventa con programación la importancia de usar el software es en caso se desee hacer más de una férula y evitamos tener que hacer mas de un escaneo.

5.1.3 ERRORES DE ESCANEO CON LA INTERFAZ

Par este caso escanearemos a: Wilbert Aguilar

En la figura 5.18 se presenta un escaneo que se tomó en un área reducida para la persona que manejaba el escáner se obtuvo un resultado satisfactorio a simple vista:



Figura 5.18: escaneo en un área reducida.

A simple vista parece normal el escaneo, pero se ve una clara afectación en Matlab a la reconstrucción de puntos ya que se obtuvieron puntos de otras partes del cuerpo que no se fijaron al brazo que era de interés (ver figura 5.19):

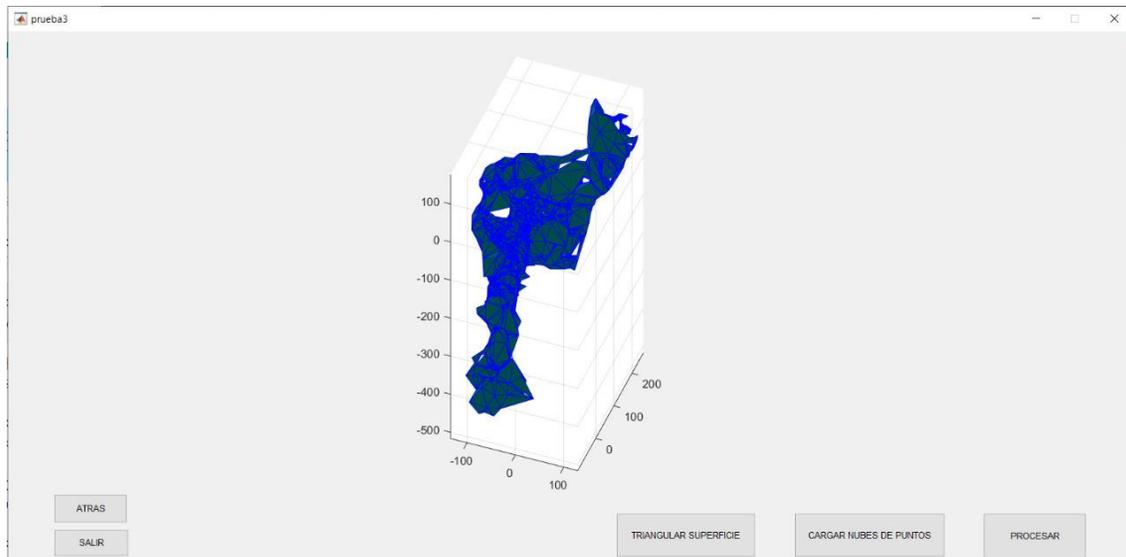


Figura 5.19: resultado erróneo en Matlab al reconstruir el escaneo en espacio reducido.

Se observa que en Matlab presento demasiados puntos deformando el modelo porque al realizar el escaneo el Kinect se movía de manera circular alrededor del paciente por lo cual este captó parte de la cara en un espacio reducido e incómodo por lo cual es necesario una máquina que realice el escaneo de manera más precisa y se empieza la construcción en base a lo visto en el capítulo 3.

5.1.4 CORRECCIÓN DE ERRORES AL REALIZAR FÉRULAS DENTRO DE LA INTERFAZ

Escaneo realizado a: Moisés Bonilla.

El modelo obtenido es (ver figura 5.20) usando la máquina de escaneo con una clara toma de datos:



Figura 5.20: escaneo satisfactorio usando la máquina para el escaneo con una toma de datos de gran precisión.

Para este caso se recortó como para hacer una férula de antebrazo y pasándolo a matlab el resultado es el siguiente (ver figura 5.21):

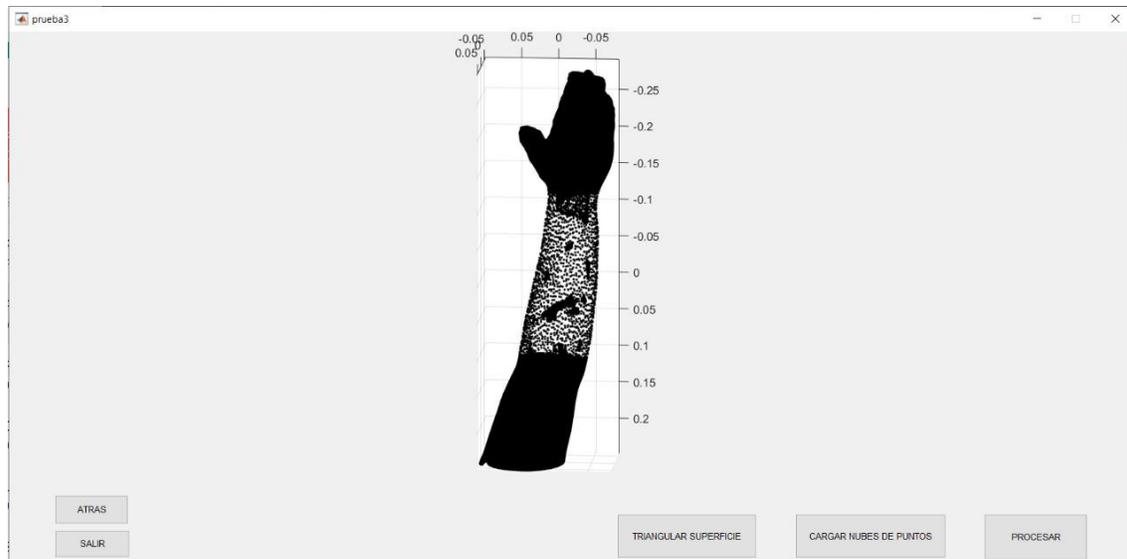


Figura 5.21: extracción de totalidad de puntos se observa en el antebrazo el despliegue de los 5000 polígonos hecho en skanect.

Al exportar el stl en fusión360 con la finalidad de hacer 2 férulas diferentes usando el mismo modelo completo (ver figura 5.22):

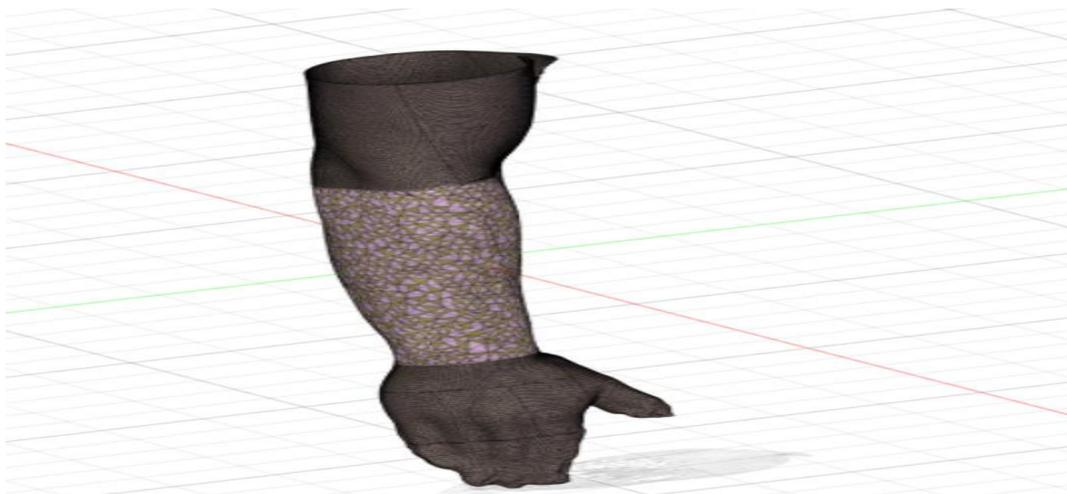


Figura 5.22: exportación del archivo stl a fusión 360.

En fusión 360 hacemos los mismos pasos que en la sección 5.1.1 con este modelo se realizan 2 férulas una para codo ya que es de gran interés por lo complicado de escaneo de esta pieza (ver figura 5.23), del mismo escaneo se obtiene otro modelo solo para muñeca el cual se imprimirá por carácter de tiempo de impresión (ver figura 5.24).

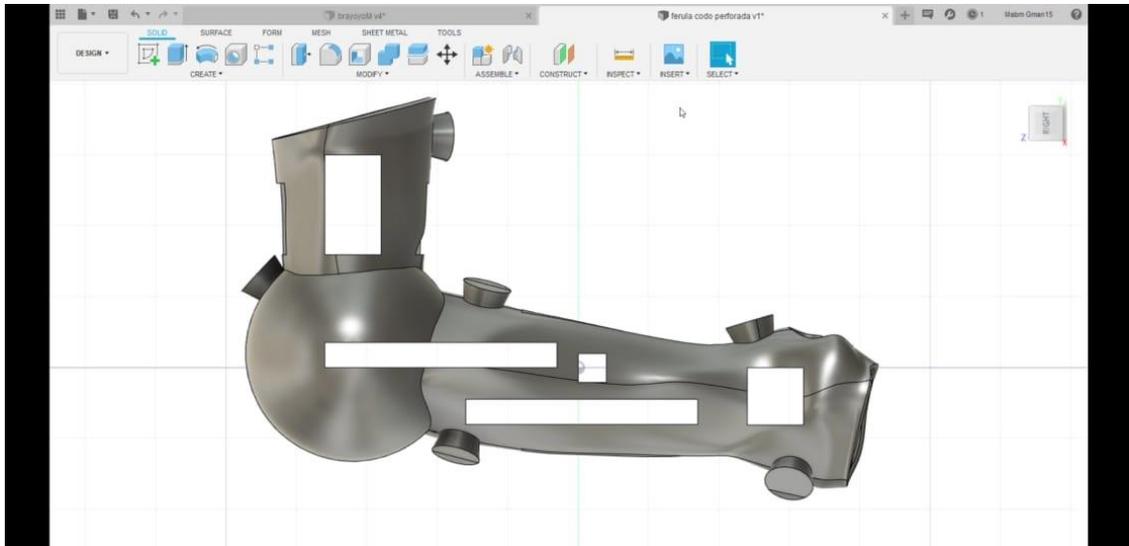


Figura 5.23: diseño en fusión 360 de una férula de codo.

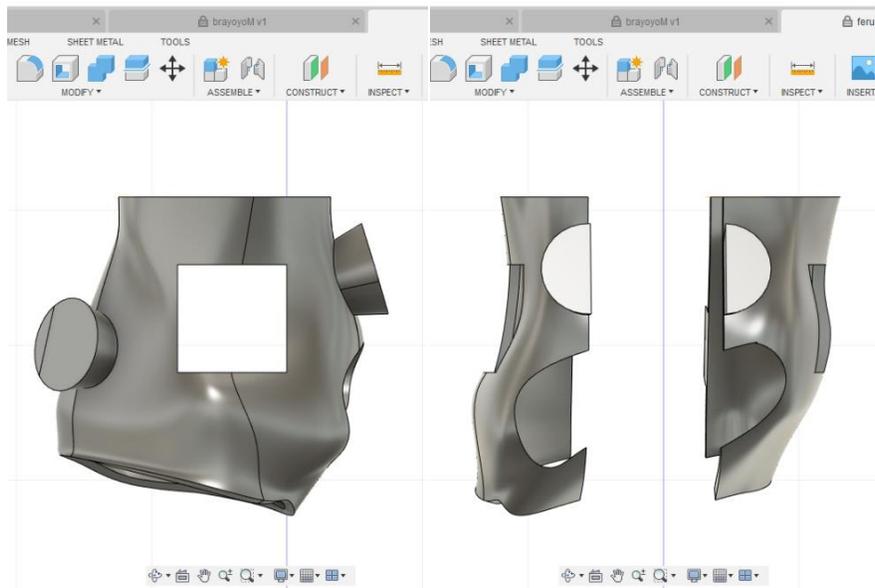


Figura 5.24: diseño en fusión 360 de una férula de muñeca.

En Repetier-Host vemos el tiempo de impresión de ambas mitades de la férula de muñeca (ver figura 5.25):

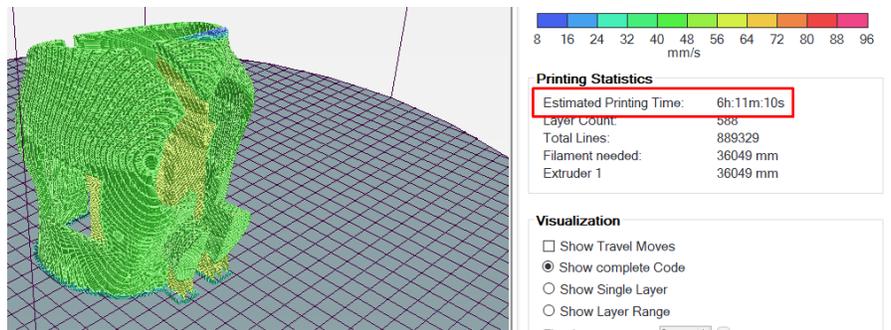


Figura 5.25: tiempo de impresión de férula de muñeca completa.

Con esta mitad se puede hacer un estimado que esta férula, en 6 horas 11 minutos estaría terminada consumiendo 36m de filamento. Cabe aclarar que el tiempo de impresión real fue de 7 horas y 8 minutos.

5.2 CONFIGURACIÓN DE IMPRESORA HE3D K280

Como se observa en la figura 5.26, el espacio efectivo de impresión tiene como dimensiones estimadas, una altura de 60cm y un diámetro de base de 28cm. El armado de la impresora se realizó de acuerdo a tutoriales e instructivos escuetos tanto provistos dentro del paquete, como en repositorios digitales en internet.

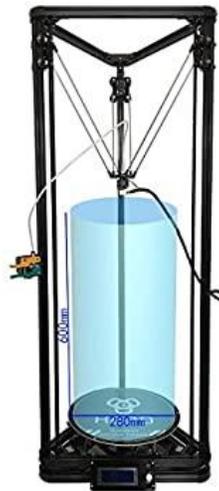


Figura 5.26: fotografía editada de impresora comprada modelo HE3D K280.

De fábrica se debe configurar la impresora debido a que las placas madres cambian no son las mismas en todas las impresoras también se debe actualizar la versión de los sistemas ya que generan incompatibilidad con cura al estar desactualizado por lo cual se carga el programa de marlín 1.1.9 y se configura como especifica el fabricante.

Las principales características que se especifican inicialmente, son el modelo de la placa, velocidad de comunicación (depende del driver de la impresora), dimensiones del volumen de impresión (altura y radio), largo de los brazos que están desde los carriles a la boquilla, altura de la boquilla a la cama (para

que no tope y el material salga con facilidad), modelo de controlador de motores, modelo de la lcd, velocidad del paso a paso y calibración en la temperatura factores k_p , k_i , k_d (cama y nozzle)

Luego de este detalle se debe hacer correcciones de calibración en el entorno de cura como se explica en capítulo 5, pero también se hacen correcciones de calibración física porque por el tipo de boquilla el material se atasca seguido por lo cual se debe meter hasta la boquilla el tubo PTFE que guía el filamento PLA ya que si no se hace en la zona donde se genera el cambio de temperatura este se hace una bomba que impide el ingreso al nozzle Y el material se funda, se sugiere poner pasta térmica en las uniones mecánicas del tubo guía que va en el disipador en el nozzle, además de echar un poco de aceite de oliva para evitar el PLA genere ese atasco y que este tiende a dilatarse al secarse y el aceite evita que se genere este molesto problema.

En la figura 5.26 se observa lo que sucede al no configurar bien la impresora



Figura 5.26: errores de impresión por descalibración y atascos de material.

CONCLUSIONES

- A través de la interfaz denominada FERULA2020, se proporciona una manera sencilla y amigable al usuario dentro de MatLab de acceder a los programas requeridos para la adquisición o lectura de datos, el tratamiento digital de la información para el modelaje de la órtesis, así como también los cálculos necesarios para trazar la superficie sobre los puntos clave necesarios. Todo lo anterior permite un proceso fluido sin cálculos ni comandos engorrosos para el usuario menos experimentado, facilitando también así, la capacitación del operador.
- Con la construcción de la máquina de escaneo por brazo giratorio con eje fijo, se permite, como se vaticinaba anteriormente, obtener una lectura confiable de los puntos clave de la extremidad del paciente para su propia digitalización, en un tiempo no mayor a 3 minutos, lo que lo hace tanto eficiente, como cómodo para el pronto inicio del tratamiento del paciente
- La selección de la impresora marca KOSSEL modelo HE3D K280 se debe a su sobredimensión y rapidez de operación. Dadas sus medidas (diámetro de base ~28cm y altura de cilindro ~60cm), la impresión de una órtesis de extremidad superior (brazo + codo + parte de antebrazo) resulta en cualquier caso promedio o regular, holgada y sin necesidad de separar la impresión en 2 sesiones. Es importante agregar también que por sus cualidades físicas y la naturaleza matemática de los cálculos de posición en su *firmware*, la impresión resulta notablemente más eficiente con el tiempo. Haciendo la comparación con una impresión de una ortesis brazo y muñeca efectuada en un proyecto previo al presente, dicha impresión tomó ~24h por cada mitad de la órtesis (1 mitad por sesión) en una impresora tipo cartesiana. Los movimientos de la impresora tipo Delta, a la vez que son más rápidos debido al movimiento consecutivo de 3 brazos, permite comenzar la siguiente capa a imprimir desde cualquier punto de ella, mientras que las de tipo cartesiana, tienen que comenzar desde su origen, por lo que una capa con pocas líneas de impresión lejos del origen, toman un exceso muchas veces innecesario de tiempo.
- Mediante la implementación del sistema completo, se ha logrado un método para la fabricación de una órtesis estática para el tratamiento de lesiones traumáticas en extremidades superiores, de manera eficiente en recursos (tiempo, instalaciones y materiales). Aplicando conocimientos teóricos ortopédicos para el tratamiento de una lesión traumática, se ha diseñado e implementado dicho sistema, tal que dentro de la misma habitación, puede efectuarse el escaneo, la digitalización y la impresión de la férula en un tiempo que permitiría al paciente esperar la órtesis mientras utiliza un cabestrillo simple, como máximo, para la inmovilización del miembro; todo lo anterior con utilización mínima de recursos y con el trabajo de un operador al que se daría una capacitación sencilla y accesible.

RECOMENDACIONES

-
-

BIBLIOGRAFÍA

1. Arqlogo. José Antonio Reyes Solís, Dr. Diego Jiménez Badillo. TECNICAS PARA EL MODELADO TRIDIMENSIONAL DE ARTEFACTOS ARQUEOLOGICOS - RMA Red Mexicana de Arqueología. <http://remarq.ning.com/page/tecnicas-para-el-modelado-tridimensional-de-artefactos-arqueologi>
2. Fonda C. Guía Práctica para tu Primera Impresión 3D. Trieste, Italia; 2014.
3. Janssen R. 3D printing vs. the supply chain. 2016; 1-72. URL: <https://www.slideshare.net/janssengr/3d-printing-vs-the-supply-chain-tno-robbert-janssen>
4. Fernando Bordignon, Alejandro A. Iglesias, Ángela Hahn. DISEÑO E IMPRESIÓN DE OBJETOS 3D. UNIPE: Editorial Universitaria, 2018.
5. URL: <https://www.anatomiatopografica.com>
6. J. W. Rohen, C. Yokochi, E. Lutjen-Drecol. Atlas de anatomia humana “Estudio fotografico del cuerpo humano”. Quinta edición. Editorial Mediterraneo. 2003.
7. Guías Clínicas de Ortopedia. Del Ministerio de Salud de la Republica de El Salvador. URL: www.asp.salud.gob.sv
8. Fracturas. Universidad Complutense Madrid. URL: www.ucm.es
9. Michelle M. Lusardi, Milagros “Millee” Jorge, Caroline Nielsen. ORTHOTICS & PROSTHETICS IN REHABILITATION. Tercera edición. Elsevier. 2013.
10. Mónica Ruiz-Alba Gómez. M^a Jose Robles Molina y Rafael Carlos Gómez Sánchez. Inmovilizaciones rígidas y elásticas en traumatología. Hospital Clínico San Cecilio, Granada. URL: www.academica.edu
11. Lic. Jesica López. Manual de férulas, ayudas técnicas y adaptaciones. 1^a edición. Universidad de El salvador. 2019.
12. Ing. Byron Cusco. Desarrollo de un sistema electrónico para controlar la trayectoria en el escaneo 3D de extremidades del cuerpo humano con una cámara Kinect. trabajo de titulación. Universidad Politécnica salesiana sede cuenca. 2018.
13. Msc. Edwin Duque. Diferencias entre Kinect V1 y Kinect V2. URL: <https://edwinnui.wordpress.com/2015/02/05/diferencias-entre-kinect-v1-y-kinect-v2-2/>
14. Escáner 3d, fotogrametría. Garma Z. URL: <http://www.garmaz.es/inicio/escaner-3d-fotogrametriagarma-z/>
15. Ing. Juan Eduardo Salvatore, Ing. Jorge Osio, Ing. Martin Morales. Detección de objetos utilizando el sensor Kinect. UNAJ. Guayaquil, Ecuador. 2014
16. BOXBYTE. Especificaciones técnicas Kinect. URL: <https://www.fayerwayer.com/2010/06/especificaciones-tecnicas-de-kinect/>
17. IAFSTORE. Cálculo de medidas corporales ideales. URL: <https://blog.iafstore.com/es/calculo-de-las-medidas-corporales-ideales-a238>
18. Centro de ayuda de Matlab. “pointCloud Class”. URL: <https://www.mathworks.com/help/vision/ref/pointcloud.html>
19. Centro de ayuda de Matlab. “trisurf”. URL: <https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/trisurf.html>
20. Centro de ayuda de Matlab. “patch”. URL: <https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/patch.html>

**MANUAL DE USUARIO DE SISTEMA
FABRICACION DE ÓRTESIS ESTÁTICAS
PARA MIEMBROS SUPERIORES POR MEDIO
DE ESCANEADO DIGITAL E IMPRESIÓN 3D**



GENERALIDADES

El sistema de creación de modelo de órtesis para miembros superiores viene a revolucionar la medicina, dado que es un sistema innovador, económico y fácil de utilizar.

El software "Ferula2020", el cual es el nombre de archivo .exe o ejecutable, se divide en 5 partes o actividades:

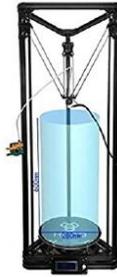
- Bienvenida: Es la pantalla de inicio del Software.
- Escáner (toma de datos): Su función es abrir el software "Scanect". para el escaneo efectivo de la parte dañada del usuario.
- Proceso Digital: Esta parte del software realiza:
 - ✓ Muestra de la nube de puntos adquirida en el paso anterior (Escáner).
 - ✓ Convierte la nube de puntos en una superficie (triangulación de puntos).
 - ✓ Guarda en un archivo .stl, la superficie adquirida como nube de puntos en la toma de datos para la creación de sólido.
 - ✓ Abre el software "Fusion 360" para la creación del sólido (la creación del sólido se realizara de forma manual) a imprimir.
- Impresión: Es la encargada de:
 - ✓ Mostrar el sólido o modelo digital de órtesis a imprimir. El modelo se mostrara en dos partes, ya que es necesario partirlo a la mitad para la implementación del mismo.
 - ✓ Abrirá el software que realizara la impresión del sólido, en este caso abrirá "Ultimaker CURA"
- Finalización: se finaliza el software.

Componentes del sistema:

1. Software de instalación: este software llamado "Ferula2020" aparte de guiarlo pasó a paso, contiene los softwares complementarios para el uso eficiente del sistema. Así como también le mostrara resultados finales del modelo a crear.
2. Escáner: este dispositivo es una maquina giratoria, que en el extremo giratorio posee un escáner tridimensional de bajo costo, llamado "Kinect", el cual permite el escaneado de manera eficiente y exacta.



3. Impresora 3D Delta: esta impresora le permite tener sus resultados de manera física en menor tiempo, aproximadamente la mitad del tiempo que tomaría con impresoras 3D comunes, su sistema de impresión en coordenadas polares, permite el aprovechamiento del recurso "tiempo".



PROCEDIMIENTO:

1 BIENVENIDA.

En esta parte el software muestra una pantalla de bienvenida (ver figura 1) la cual consta del nombre del sistema, la imagen de portada y dos botones, uno llamado "SALIR" por si desea abandonar la sesión y otro "COMENZAR" es el encargado de dar inicio al proceso de creación del modelo digital de órtesis estática para miembro superior.

Al dar clic en "SALIR" el software preguntara "Desea Salir del Programa?" al dar clic en "SI" cerrara el software al dar clic en "NO" se mantendrá en la ventana que se encuentre, tal mensaje se muestra en la figura 4.7



Figura 1: BIENVENIDA.

Al dar clic en "COMENZAR" pasara a la siguiente sección de Escáner.

2 ESCÁNER O TOMA DE DATOS.

Como se mencionó anteriormente en esta parte el software lo que realiza es básicamente la toma de datos, dando clic en el botón "ESCANEAR" abrirá el programa "SKANECT" (ver figura 2 y 3).



Figura 2: Escáner o toma de datos.

A la misma vez abrirá la siguiente parte "PROCESADO DE DATOS" (sección 3) pero no podrá realizarse ninguna acción si no se cierra o culminan acciones en "SKANECT"; al dar clic en el botón atrás volverá al paso anterior (sección 2) y dando clic en el botón salir saldrá del programa.



Figura 3: software SKANECT para la toma de datos.

En el entorno de "Skanect" es necesario realizar la configuración para un adecuado "espacio de grabación" (como el mostrado en la figura 5), la configuración adecuada es la mostrada en la figura 4

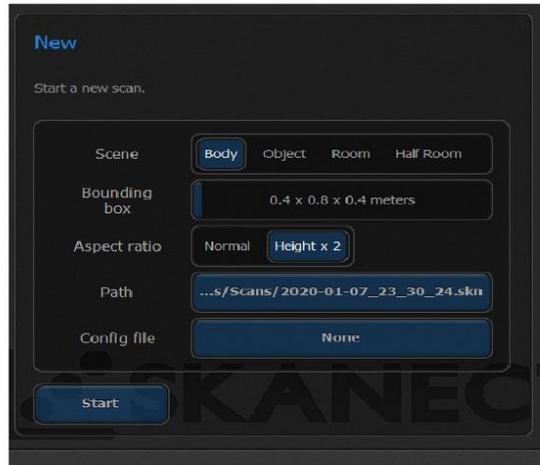


Figura 4: Parámetros para "Espacio de grabación".

Esta configuración de parámetros permite modificar el "espacio de grabación" (el rectángulo o frontera mostrado en la figura 5), el cual forma parte de pasos posteriores.

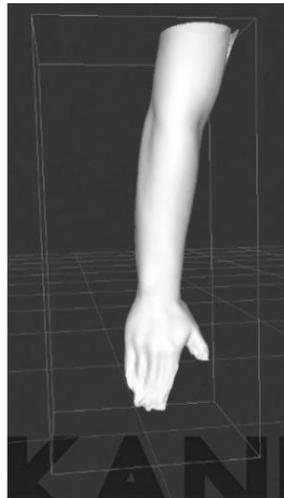


Figura 5: Espacio de grabación.

Finalmente dar clic en "START".

Se abrirá paso para la parte de "RECORD" la cual es básicamente una grabación en 3D de la captura de datos (nube de puntos). Este proceso se muestra en la figura 6, donde un detalle a tomar en cuenta es que necesitamos, para que se capturen exitosamente puntos clave en la superficie escaneada, capturar la superficie lentamente y de manera uniforme, tal como lo hace la máquina de escaneo, es necesario colocar el miembro dañado como se muestra en la figura 6 para una efectiva toma de datos. El software nos muestra la captura exitosa gráficamente, mostrando en color verde la captura que va siendo exitosa. Si no lo es, los puntos que no son capturados se muestran en color rojo (figura 7).



Figura 6: colocación de miembro en máquina de escáner.

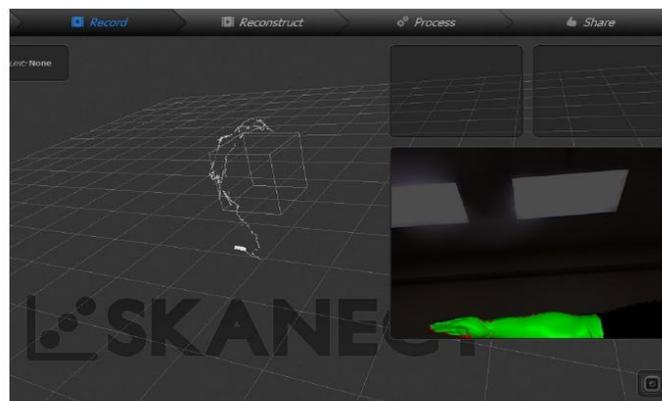


Figura 7: Proceso de "RECORD" en SKANECT.

Luego de procesar los datos obtenidos en "record", en "reconstruct" (figura 8), podemos ver inicios de un modelo digital de lo escaneado, siempre limitándose al espacio de captura definido al inicio (figura 4).

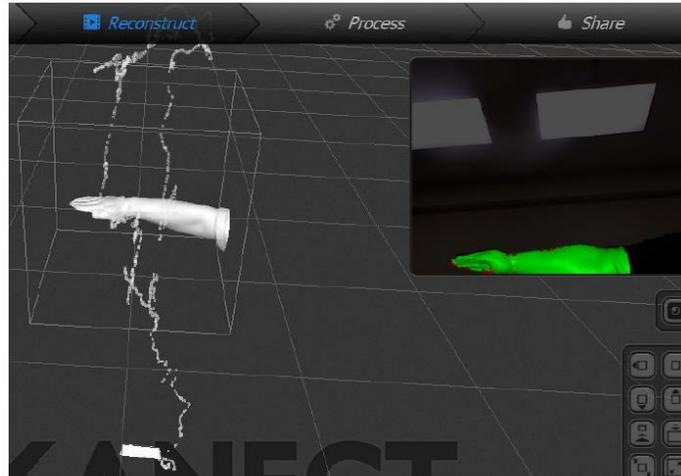


Figura 8: Proceso "RECONSTRUCT", inicio del modelo digital.

Seguidamente, en el paso "PROCESS", se verifica el proceso de escaneado, donde se puede modificar (color, tamaño, recortar, etc.) los datos adquiridos como se muestra en la figura 9, si el usuario desea modificarlo.



Figura 9: Proceso "PROCESS".

En el siguiente paso "SHARE" se exportar el modelo con una extensión *.PLY. Así, podemos editarlo en una variedad inmensa de programas dedicados, dicho paso se muestra en la figura 10.

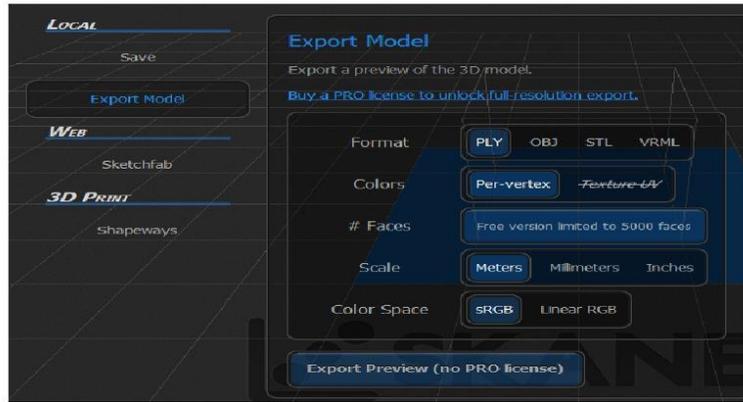


Figura 10: Proceso "SHARE".

Se guarda la captura de datos en la carpeta que desea, aunque se recomienda que se guarde en la misma dirección donde se encuentra el software "FERULA2020.exe" y a la vez se cierra "SKCANET". Seguidamente se continúa con la siguiente sección de "Proceso Digital" (sección 3).

3. PROCESO DIGITAL.

En esta sección la pantalla inicial mostrada, es la figura 11, donde como primer punto damos clic en "CARGAR NUBE DE PUNTOS", tal acción abrirá un cuadro de dialogo para buscar la dirección y el archivo con extensión .PLY creado en la sección anterior según la figura 12.

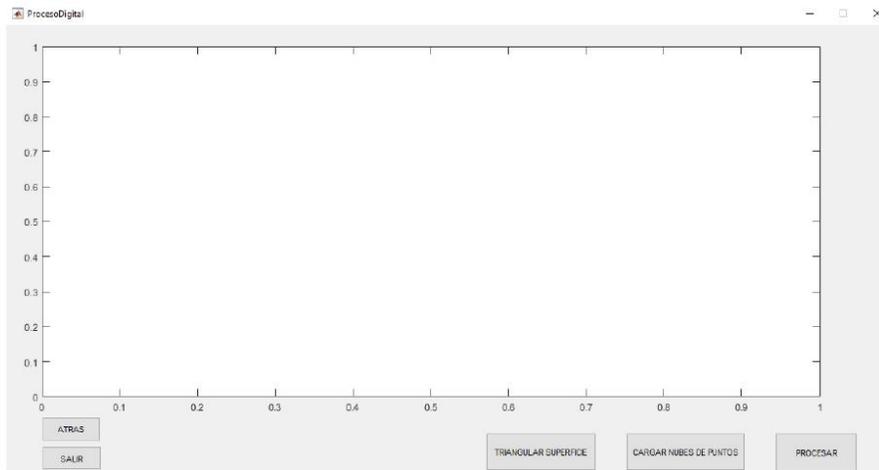


Figura 11: Pantalla inicial de "ProcesoDigital".

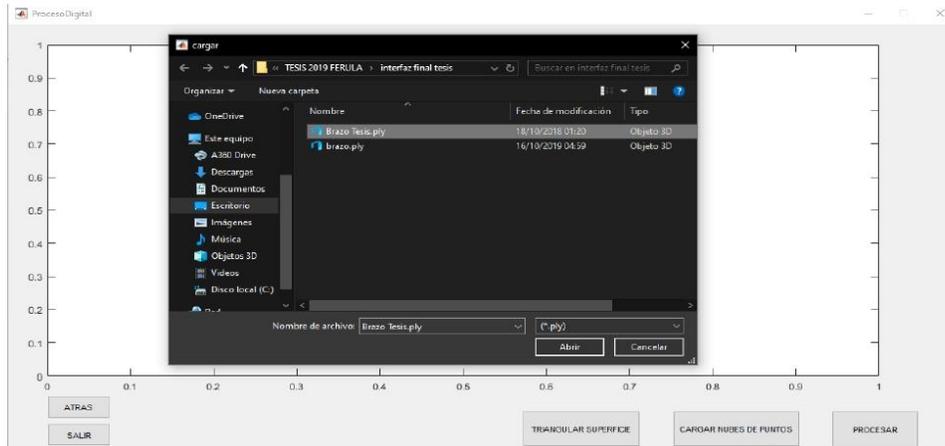


Figura 12: Carga de nube de puntos al Software "FERULA2020".

La cual al dar clic en "abrir" nos mostrara la vista preliminar del modelo digital como nube de puntos adquirida en la sección de "ESCANER" (ver figura 13).

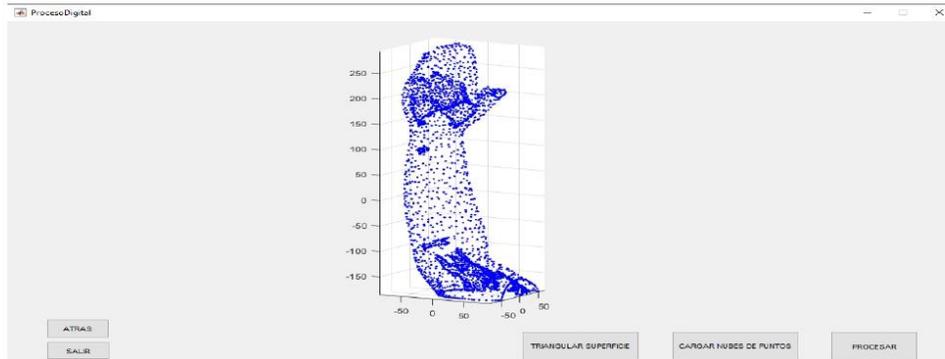


Figura 13: Vista preliminar del Modelo Digital.

Posteriormente dar clic en el botón "TRIANGULAR SUPERFICIE" el cual nos mostrara un modelo hecho superficie, es decir, la unión o "triangulación de puntos adyacentes" según se muestra en la figura 14, a través de la función o algoritmo que comanda dicho botón, el software nos permite volver a verificar la calidad de la toma de datos. Cabe mencionar que hasta este punto sigue siendo una vista preliminar del modelo digital, ya que no es el modelo final y ni se aproxima a un "cuerpo sólido".

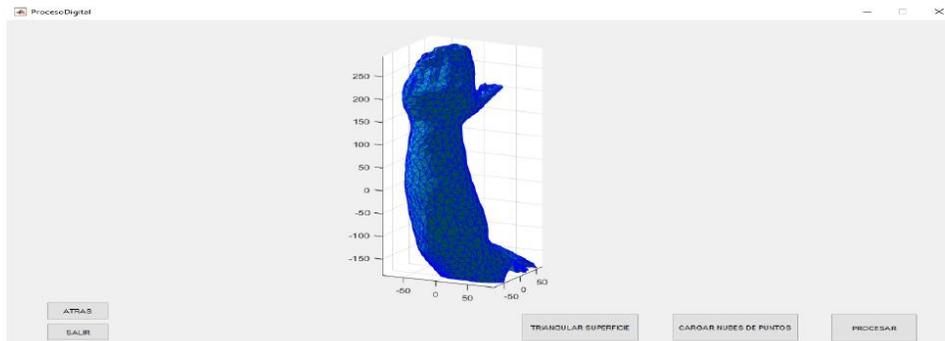


Figura 14: Triangulación de superficie.

Finalmente dar clic en "PROCESAR", esta acción abrirá un pequeño cuadro de dialogo, en el cual se guardara el archivo con extensión .STL para su edición en FUSION 360 (ver figura 15), el software "FERULA2020" automáticamente lo guarda con el nombre que el usuario le asigne, en la dirección donde está ubicado el archivo "FERULA2020.exe".



Figura 15: Nombre del archivo con extensión .STL.

Colocar nombre deseado y finalmente dar clic en "OK", posteriormente de manera automática abrirá el software "FUSION 360" para la edición y creación del modelo digital final, según la necesidad o tipo de fractura a tratar.

Siguiendo con el ejemplo que hasta ahora se ha mostrado y asumiendo que se tratara como "fractura de cúbito o radio distal y muñeca", el proceso correspondiente después de abrir "FUSION 360" es el siguiente:

El modelo, como se observa, tiene mucho que depurar. Ésa depuración consta, en este caso particular, solamente de recortar del modelo en nube de puntos lo que no se necesita.

El modelo a diseñar será tratada como se mencionó anteriormente como "fractura de cúbito o radio distal y muñeca", es decir, será de brazo (desde muñeca) sin incluir codo. Dicho modelo se podría usar en un caso de múltiples fracturas en muñeca, radio y/o cúbito, valga la aclaración.

Por lo anterior, se corta el codo y dedos en *Fusion 360*. Originalmente, se importa el modelo que se obtuvo antes.

Fusion 360 trabaja con varios tipos de "cuerpos". El que se importa es del tipo "Mesh". Éste tipo de cuerpo es básico, incluye los puntos clave del modelo y los planos que forman. Para cortarlo, se utiliza la función "plane cut" (ver figura 16a), que crea un plano de corte que se puede arrastrar para seccionar lo que se necesita. Luego de haber depurado el modelo, en la figura 16b se observa el cuerpo tipo "Mesh" que será el editable en *Fusion 360* listo.

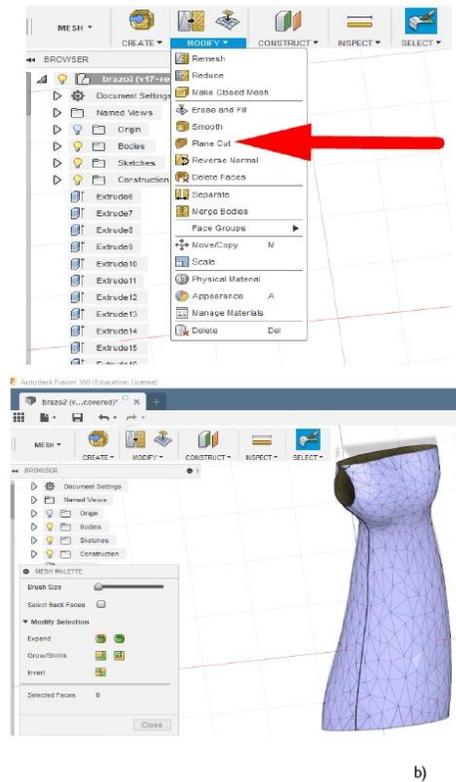


Figura 16: a) Herramientas de modificación para un "cuerpo" tipo "Mesh" dentro de Fusion 360. Selecciona "plane cut" para seccionar mediante un plano que se dibuja. b) Cuerpo "mesh" listo para editar como férula dentro del entorno de Fusion 360.

Ahora, se necesita un cuerpo que no se conforme de puntos, sino que de curvas.

Esto es, convertir el cuerpo tipo "Mesh" en un tipo de cuerpo que no se conforme de planos formados por rectas, sino que por curvas. El tipo de cuerpo que se necesita entonces en el entorno de Fusion 360 se llama "spline" (ver figura 17). El programa, en este tipo de cuerpos, busca una regresión lineal de las rectas formadas por puntos. La necesidad de este tipo de cuerpos es porque se necesita dar al cuerpo, para efectos de hacer un sólido él, un espesor específico (se considera adecuado un espesor de 5 mm).

La figura 18a muestra las herramientas de modificación de un cuerpo tipo "spline", mientras que en la figura 18b, el cuerpo nuevo del brazo como "spline". Dado que es una aproximación de curvas desde puntos, se observa cómo se distorsiona del original. Habrá entonces que corregirlo.

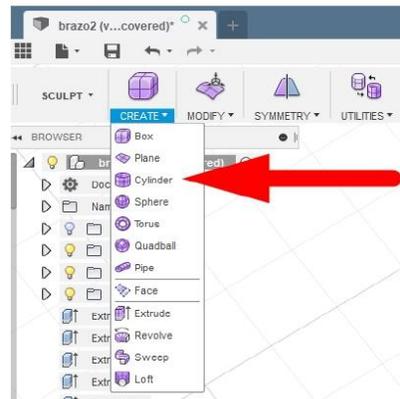


Figura 17: Herramientas de creación de cuerpo "spline" en Fusion 360. Optamos por aproximar un cilindro a nuestro cuerpo "Mesh" por conveniencia geométrica evidente.

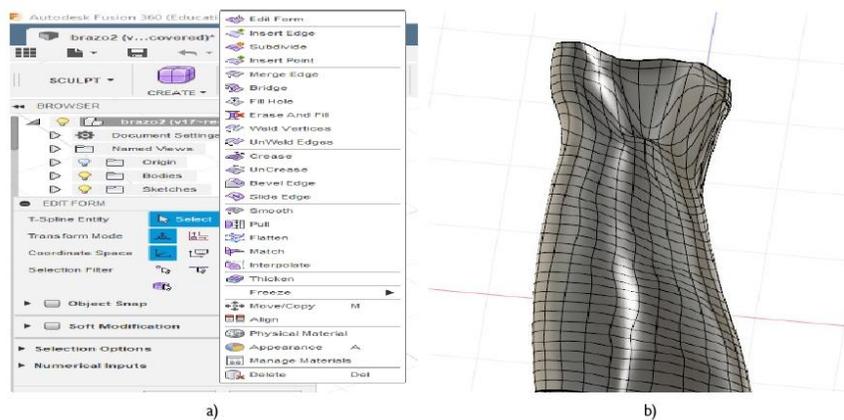


Figura 18: a) Herramientas de modificación de cuerpo "spline". b) Aproximación de cuerpo "spline" para apegarse al cuerpo "mesh" existente.

Ahora, como se mencionó anteriormente, la aproximación de éste nuevo "cuerpo" creado es defectuosa, por lo que tenemos que corregirla. Manualmente se arrastra cada punto necesario para apegarse a la forma y contorno del "mesh" original (ver figura 19).

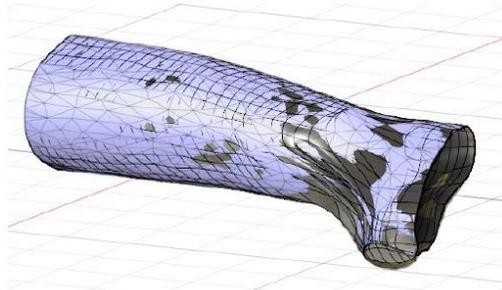


Figura 19. Corrección de cuerpo "spline" al "mesh" original.

Nótese en la figura 19 que la corrección no es 100% exacta, siempre hay desviación. Sin embargo, esta deformación es de fracciones de mm. Es despreciable para tales efectos. Luego, se utiliza la herramienta "thicken" de modificación de "spline" para dar el espesor uniforme necesario al cuerpo. El resultado es el mostrado en la figura 20:

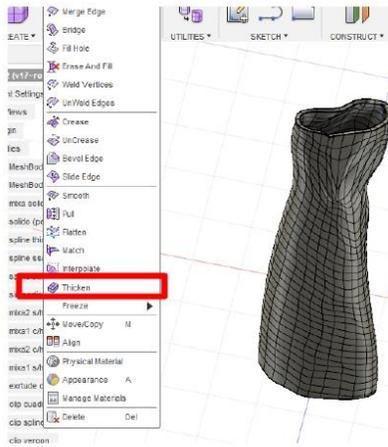


Figura 20: Cuerpo "spline" con espesor de 5mm aplicado.

A éste punto, se obtiene una aproximación de un modelo digital de ortesis que ya se puede considerar como "sólido". Un "sólido" es llamado, dentro del entorno de Fusion 360, "BRep". Convirtiendo nuestro "spline" a "BRep", como se muestra en la figura 21, Nótese que es necesario seccionar a la mitad el cuerpo para comenzar a dar forma al modelo digital de ortesis como tal.

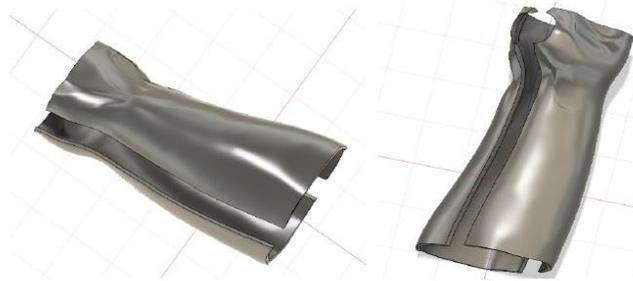


Figura 21: Creación de sólido "BRep" en Fusion 360.

Teniendo éste "sólido" formado, solo resta modificar el diseño que se desee darle al modelo digital de ortésis, desde las opciones de modificar, como se ha explicado antes. El modelo terminado es el mostrado en la figura 22.

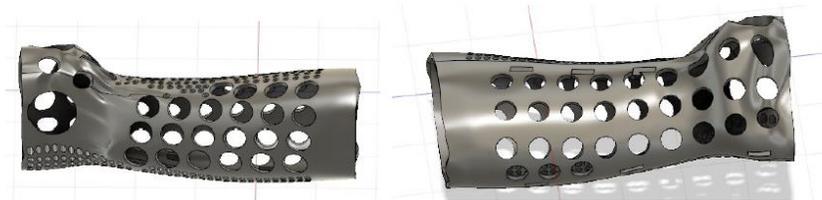


Figura 22. Vistas anterior y posterior de modelo digital con diseño terminado.

Finalmente el software "FERULA2020", abrirá la ventana correspondiente a la sección "IMPRIMIR".

4. IMPRIMIR.

En esta sección solo resta mostrar el modelo digital de ortésis final para su impresión 3D, para lo cual la ventana de esta sección se muestra en la figura 23, donde se observan dos planos, en los cuales se mostraran las dos partes de dicho modelo. Dando clic en el botón "MODELO", abrirá un cuadro de dialogo (ver figura 29), donde se tendrá que abrir uno de los dos archivos del modelo digital de ortésis terminado, creado en la sección anterior, por lo cual de manera automática el software "ferula2020" hará la acción anterior dos veces, donde el usuario tendrá que elegir uno en cada opción.

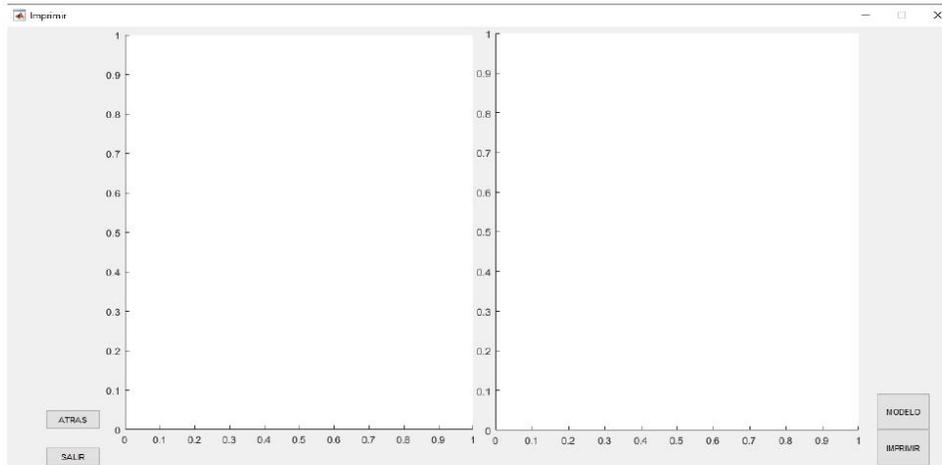


Figura 4.28: Sección "IMPRIMIR".

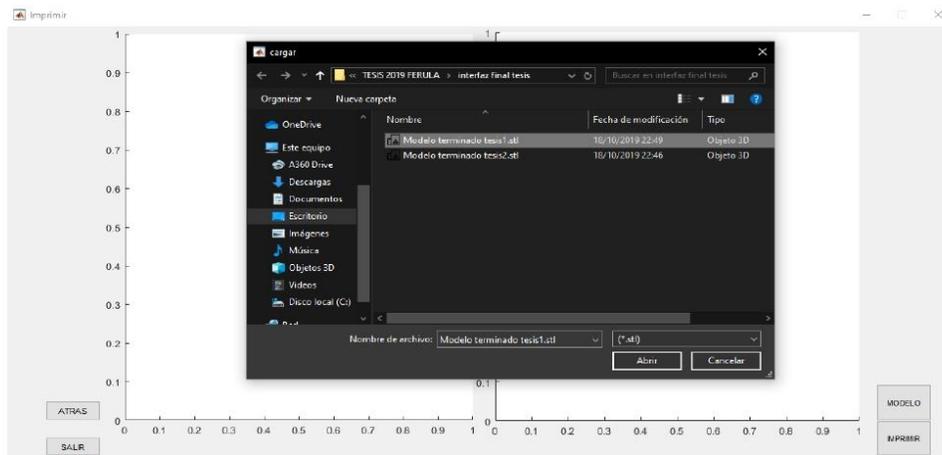


Figura 29: Proceso para mostrar el modelo digital de ortésis terminado.

Después de abrir cada parte del modelo, el software "FERULA2020" muestra ambas partes (figura 30). Cabe mencionar que al momento de mostrar los resultados el software "FERULA2020", permite girar cada modelo (rotación 3D) para observar cada detalle, debido a que es un cuerpo en 3 dimensiones.

Como siguiente paso en esta sección, se da clic en "IMPRIMIR" y el software "FERULA2020", abre el programa "Ultimaker CURA" para impresión del modelo.

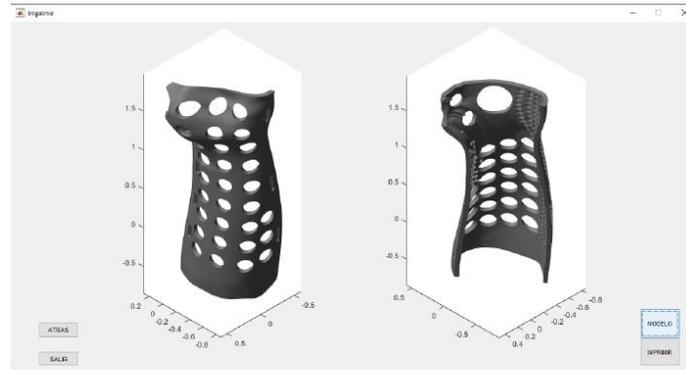


Figura 30: Muestra de modelo digital de ortésis terminado.

Al ejecutarse "Repetier-Host" da clic en la imagen de folder ubicado en la parte superior izquierda tal como se muestra en la figura 31, para abrir el archivo .STL creado en pasos anteriores.



Figura 31: Cargar un archivo STL en interfaz "Repetier-Host".

Seguidamente se configura el tipo de impresora 3D a utilizar para la impresión, como se muestra en la figura 32.

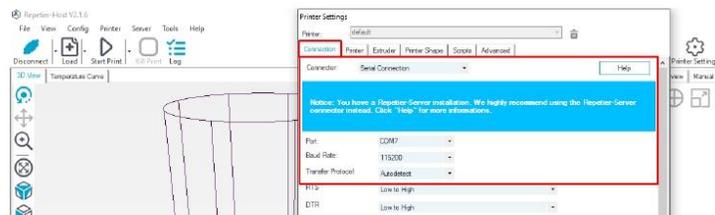


Figura 32: Configuración del tipo de impresora.

Elegir impresora "DELTA" Rostock Printer (circular shape) ya que tiene la particularidad de brindar una mayor longitud en el "eje Z", tomado como referencia Z lo largo del brazo.

Al dar clic en la opción "Printer Settings" en la barra de opciones, de la figura 32 y 33, se obtiene la configuración de la impresora tanto para cada eje (x, y, z), es decir, las dimensiones o longitudes máximas para cada eje, así como cargar el firmware, donde todos estos parámetros, y el puerto serial (USB) donde se conecta la impresora (COM7 para este caso). Al guardarse, deberían de ser automáticas al conectar la impresora la ordenador. Tales configuraciones se muestran en la figura 33:

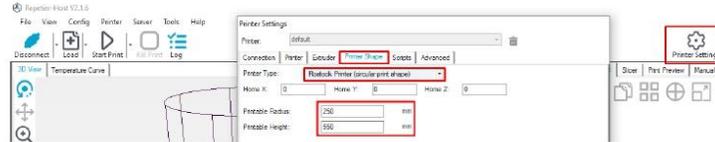


Figura 33: Parámetros de impresora 3D.

Posteriormente se configura el extrusor para el tipo de material y el grosor del mismo para el tipo de extrusor que posea la impresora, según se muestra la figura 34, el material elegido en PLA. Se accede a esta opción mediante el botón *Configuration* de la pestaña *Slicer* dentro de Repetier-Host. CuraEngine se deja establecido como el software capeador por defecto.

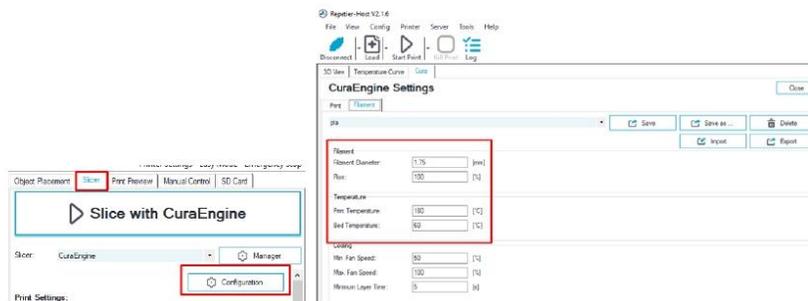


Figura 34: Elección del tipo y grosor para material PLA.

Seguidamente se realiza los últimos ajustes para la impresión, la figura 35 muestra los parámetros a definir que son:

- **QUALITY:** Referido a la altura entre capas generadas en el modelo.
- **INFILL DENSITY:** Es la cantidad o porcentaje de relleno a suministrar a la impresión, un relleno con porcentaje alto, radica en mayor inversión de material, por lo cual mayor rigidez en la impresión de igual manera un bajo porcentaje de relleno, implica menos material invertido y menor rigidez en la impresión.
- **SUPPORT:** Es el soporte que se incluirá en la impresión para el balance del cuerpo a imprimir, este es material que sostiene las partes donde se considera según el algoritmo de impresión, este en desequilibrio, al final este material se retirará del cuerpo impreso.
- **ADHESION:** Brim (falda o alero) o Raft (balsa, capa inferior adicional). Incluye una base que fija a la base de la impresora el cuerpo a imprimir, así evitar el deslizamiento entre el cuerpo y la base de la impresora a la hora de impresión.

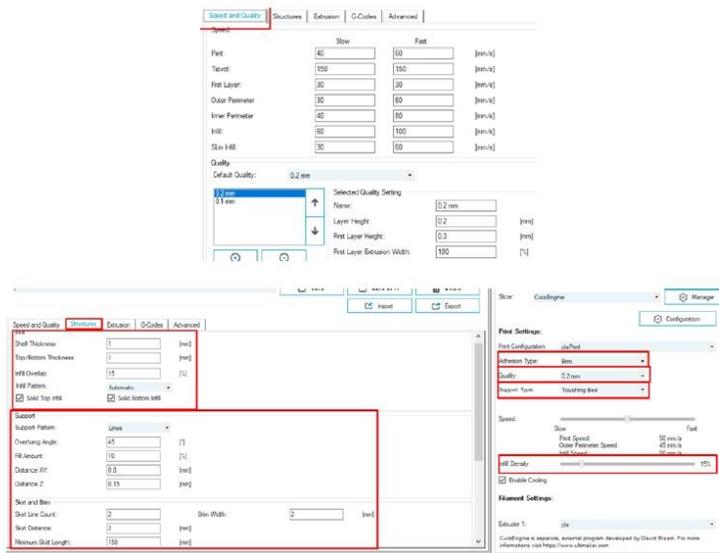


Figura 35: Ajustes de calidad impresión.

Finalmente se tiene los parámetros listos para la impresión, por lo que se procede a la impresión, la figura 36 muestra la vista previa del software “Repetier-Host” previa a la impresión.

Estos pasos antes mencionados en el programa “Repetier-Host” se realizan cada vez que se desea imprimir para verificar los parámetros. Para obtener un modelo imprimible (archivo con extensión GCODE), se hace clic en la opción *Slice with CuraEngine*. Las líneas gruesas adicionales verticales en la figura 36, son el material de soporte que se agrega a la hora de configurar los parámetros de impresión antes mencionados.

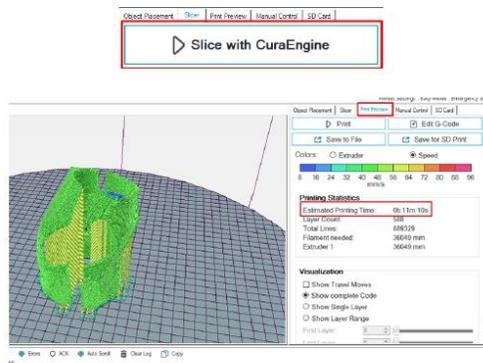


Figura 36: Vista previa antes de la impresión en el software “Repetier-Host”.

Siguientemente la impresora empeará su trabajo tal como lo muestra la figura 37, dicho trabajo podría tomar entre 12-15 horas dependiendo el tamaño del modelo y/o la calidad de impresión que se eleja.

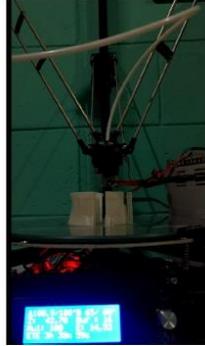


Figura 37: Impresión de modelo en impresora 3D DELTA.

Al cerrar "Repetier-Host", se da el paso para la última sección "FINALIZACIÓN".

5. FINALIZACIÓN.

Esta sección básicamente es la despedida del software "FERULA2020" la figura 38 muestra el cuadro de dialogo generado para esta sección, que contiene un botón finalizar donde al dar clic en él, se abre un cuadro de dialogo de "SALIR" de la misma naturaleza que el de la figura 4.7.



Figura 38: Sección "FINALIZACIÓN".

La figura 39 muestra el producto terminado, donde ya se puede llamar Modelo de Órtésis.



Figura 39: Modelo de órtesis por medio de impresión 3D.