

Universidad Tecnológica Nacional

Proyecto Final

Escáner Láser 3D

Autor:

- *Tapari Andrés*

Director:

- *Mg. Ing. Burgos Sergio Enrique*

Proyecto final presentado para cumplimentar los requisitos académicos

para acceder al título de Ingeniero Electrónico

en la

Facultad Regional Paraná

Abril de 2021

Declaración de autoría:

Yo declaro que el Proyecto Final "Escáner Láser 3D" y el trabajo realizado son propios.

Declaro:

- Este trabajo fue realizado en su totalidad, o principalmente, para acceder al título de grado de Ingeniero Electrónico, en la Universidad Tecnológica Nacional, Regional Paraná.
- Se establece claramente que el desarrollo realizado y el informe que lo acompaña no han sido previamente utilizados para acceder a otro título de grado o pre-grado.
- Siempre que se ha utilizado trabajo de otros autores, él mismo ha sido correctamente citado. El resto del trabajo es de autoría propia.
- Se ha indicado y agradecido correctamente a todos aquellos que han colaborado con el presente trabajo.
- Cuando el trabajo forma parte de un trabajo de mayores dimensiones donde han participado otras personas, se ha indicado claramente el alcance del trabajo realizado.

Firma:

•



Andres Tapari

Fecha: 12 / 04 / 2021

Reconocimientos:

Quiero reconocer a Mg. Ing. Burgos Sergio, por brindarme un espacio en el laboratorio donde me descubrí como el ingeniero que quiero ser, por apoyarme en mis ideas y ayudarme a realizarlas.

A los docentes de la carrera que, a su modo, contribuyeron en mi formación, mis compañeros estudiantes y amigos con los que transitamos juntos la carrera, que compartimos victorias y derrotas, sepan que hoy soy una parte de todos ustedes, y este logro es también gracias a ustedes.

Agradecimientos:

De mi mayor consideración a mi familia con su apoyo incondicional, mi novia que me acompaña en esta etapa, mis futuros colegas que siempre fueron una referencia a seguir, a mis amigos que la vida puso en mi camino, que me ayudaron a aprender y me formaron como el profesional que hoy soy, para todos ustedes, muchas gracias.

Universidad Tecnológica Nacional

Abstract

Facultad Regional Paraná

Ingeniero en Electrónica

Abstract:

The present work details the design and construction of a 3d Scanner based on laser technology.

This equipment bases its operation on a distance sensor, of the "time of flight" (ToF) type, from which a sensing system was designed and built in order to reveal the shape of the outer surface of objects.

The different constituent parts of the system were either metallic or designed and built using 3D printing techniques based on FDM technology.

This last thing facilitates the reproduction of the design. On the other hand, it was decided to use free software tools on the design of the parts in order to facilitate their modification and to expand the possibility of modifying the design proposed in this work.

Apart from the design and construction of the hardware, some work was also carried out on the implementation of its management software. This allows, from a graphical application, to control different aspects of the model acquisition process.

GuiEditor was used to build the graphical interface and GNU Octave as an interpreter for the execution of the system in order to allow the incorporation of new functionalities and use mathematical algorithms to process the information collected.

Control and communication actions with the scanner were also carried out in GNU Octave, therefore, considering that an Arduino UNO board was used as embedded system, beyond the control actions provided on the implementation presented, it is possible to extend the functionalities of the system to other purposes, purposes or methodologies.

As a result, a 3D scanner was obtained that gets a record of the shape of objects and converts them into a point cloud. These are a set of data where coordinates of points on the surface of the part are detailed that allow the reconstruction of the shape of interest. This process will be carried out at a later stage and with dedicated tools that are beyond the scope considered in this work.

All the construction processes are also detailed in conjunction with the tests to face foundations for future extensions or improvements.

For the same purpose, the internal workings of the Hardware Control API are also detailed.

Keywords:

3D Laser Scanner, 3D Scanner, 3D Design, 3D Printing, 3D Design, Arduino, Arduino UNO, CNC SHIELD, Octave, GNU Octave, MATLAB, FREECAD.

Resumen:

En el presente trabajo se detalla el diseño y la construcción de un escáner 3D basado en tecnología láser. Este equipo basa su funcionamiento en un sensor de distancia, del tipo "tiempo de vuelo" (ToF), alrededor del cual se diseñó y construyó un sistema de sensado a fin de relevar la forma de la superficie exterior de objetos. Las diferentes partes constitutivas del sistema fueron o bien metálicas o diseñadas y construidas utilizando técnicas de impresión 3D basada en tecnología FDM. Esto último, facilita la reproducción del diseño. Por otro lado, se optó por utilizar herramientas de software libre en el diseño de las partes a fin de facilitar la modificación de las mismas y abrir la posibilidad de modificar el diseño propuesto en este trabajo.

Además del diseño y construcción del hardware, también se trabajó en la implementación del software de gestión del mismo. Este permite, desde una aplicación gráfica, controlar diferentes aspectos del proceso de adquisición de los modelos. En este sentido, a fin de permitir la incorporación de nuevas funcionalidades y utilizar algoritmos matemáticos para el procesamiento de la información relevada, se utilizó guiEditor para construir la interfaz gráfica y GNU Octave como intérprete para la ejecución del sistema. Las acciones de control y comunicación con el escáner fueron realizadas también en GNU Octave, por lo que, considerando que se utilizó una placa Arduino UNO como sistema embebido, más allá de las acciones de control previstas en la implementación presentada se tiene la posibilidad de extender las funcionalidades del sistema a otros fines, propósitos y/o metodologías.

Como resultado se obtuvo un escáner 3D que obtiene un registro de la forma de objetos y los convierte en una nube de puntos. Estas son un conjunto de datos donde se detallan coordenadas de puntos sobre la superficie de la pieza que permiten reconstruir la forma de interés. Este proceso se realiza en una etapa posterior y con herramientas dedicadas que que escapan a los alcances considerados en este trabajo.

También se detallan todos los procesos de construcción en conjunto con los ensayos para dejar sentadas las bases de futuras ampliaciones o mejoras.

Con el mismo propósito también se detalla el funcionamiento interno de la API de control de Hardware.

Palabras Clave:

Escáner Láser 3D, Escáner 3D, Diseño 3D, Impresión 3D, Diseño 3D, Arduino, Arduino UNO, CNC SHIELD, Octave, GNU Octave, MATLAB, FREECAD.

Índice

Índice	7
Lista de Figuras	9
Lista de Tablas	10
Lista de ecuaciones	10
Lista de Abreviaciones, Definiciones y Símbolos	10
Anexos:	14
Capítulo 1: Introducción	14
1.1 Tipos de escáneres 3D	14
1.1.a Contacto	14
1.1.b Sin contacto	15
1.1.b.1 Activos	15
TOF	15
Triangulación	15
Diferencia de fase	15
Holografía conoscópica	15
Luz Estructurada	16
Luz Modulada	16
1.1.b.2 Pasivos	16
Estereoscópicos	16
Silueta	16
Con ayuda del usuario (modelado basado en imagen)	16
1.3.1 Descripción del proyecto	16
1.3.2 Principio de funcionamiento	17
1.3.3 GNU Octave	17
1.3.3.a Octave	17
1.3.3.b Gui Editor	18
Capítulo 2: Desarrollo	20
2.1 Flujo de trabajo	20
2.2.1 Diseño del Eje R (bandeja giratoria)	20
2.2.1.a Supuesto	20
2.2.1.b Motores	20
2.2.1.c Implementación	21
2.2.1.d Relación de transmisión	22
2.2.2 Diseño del Eje Z (elevación del sensor)	24
2.2.2.a Supuesto	24
2.2.2.b Carro del sensor	24
2.2.2.c Eje Z	24
2.2.2.d Relación de transmisión	25
2.2.3 Estructura general	26
2.2.2.a Vistas	26

2.2.2.b Características	27
2.3 Principio de funcionamiento	28
2.3.1 Hardware	28
2.3.1.a Controlador de los motores: DRV8825	28
2.3.1.b Sensor Láser: VL53L0Xv2	31
2.3.1.c Placa de desarrollo Arduino Uno	36
2.3.1.d Escáner 3D Shield	37
2.3.2 Software	38
2.3.1. Firmware	39
2.3.2 Serial Protocol Scanner Mod	39
[err]= aScannerSensorInit(obj)	40
aScannerSensorStartContinuousMode(obj,delay_ms)	40
aScannerSensorStopContinuousMode(obj)	40
[dist] = aScannerSensorReadContinuousRange(obj)	41
[dist] = aScannerSensorReadSingleRange(obj)	41
[val] = aScannerSensorReadSingleIterativeRange(obj,iterations)	41
[val] = aScannerSensorReadContinuousIterativeRange(obj,iterations)	41
[val,err] = aScannerAxisHome(obj,delay_step)	42
aScannerAxisStopMotors(obj)	42
[val,error] = aScannerAxisMove(obj,axis_op, newStep, newDir, delayStep)	42
2.3.3 Interfaz de Usuario	42
Botón Scan	44
Botón Exportar	47
Botón Config	47
Capítulo 3: Resultados	48
3.1.1 Resultados generales.	48
Capítulo 4: Análisis de costos	49
4.1.1 Costos del prototipo.	49
4.1.2 Costo de ampliación.	49
Capítulo 5: Discusión y Conclusión	50
5.1.1 Discusión	50
5.1.2 Conclusión	51
5.1.3 Posibles Mejoras	51
5.1.3.a Cambio de sensor	51
5.1.2.b Cambio del principio de funcionamiento, por imágenes.	51
Repositorio del proyecto	53
Software empleado	53
Bibliografía	53
Datasheets	53
Anexo 1	54
Esquemático del SHIELD dedicado para el escáner láser 3D	54
Anexo 2	55

Lista de Figuras

- [Figure 1. Principio de funcionamiento del escáner 3D.](#)
- [Figure 2. Ide de Octave](#)
- [Figure 3. Gui Editor para GNU Octave](#)
- [Figure 4. Flujo de trabajo. primero Freecad, luego Cura y finalmente la Impresora 3D.](#)
- [Figure 5. Características del motor Nema 17.](#)
- [Figure 6. Dimensiones del motor Nema 17.](#)
- [Figure 7. Explosión de la bandeja giratoria.](#)
- [Figure 8. Plato, Piñón y Nema 17.](#)
- [Figure 9. Explosión del ensamble del carro del sensor.](#)
- [Figure 10. Explosion eje Z.](#)
- [Figure 11. Rosca THSL de 4 hélices.](#)
- [Figure 12. Distintas vistas del escáner 3D.](#)
- [Figure 13. Imagen del escáner láser 3D ensamblado.](#)
- [Figure 15. Diagrama de bloqueo del funcionamiento del escáner 3D.](#)
- [Figure 16. Módulo DRV8825](#)
- [Figure 17. Diagrama interno del controlador DRV8825.](#)
- [Figure 18. Configuración de la bobina del motor paso a paso bipolar \(izquierda\) y patrón de accionamiento \(derecha\).](#)
- [Figure 19. Método de calibración de corriente.](#)
- [Figure 20. Diagrama de conexión de los DRV8825](#)
- [Figure 21. CJVL53L0XV2 Sensor Láser de distancia.](#)
- [Figure 22. Diagrama de funcionamiento del Tiempo de Vuelo.](#)
- [Figure 23. Diagrama de funcionamiento interno del sensor.](#)
- [Figure 24. FOV - Campo de visión, emisor y receptor.](#)
- [Figure 26. Conexión entre el microcontrolador y el sensor VL53L0CxV0](#)
- [Figure 27. Ensayos de respuesta del sensor para una serie de lecturas por distancia](#)
- [Figure 28. Ensayos de respuesta del sensor para una serie de lecturas por distancia](#)
- [Figure 29. Ensayo de lecturas de 10 cm a 20 cm con promedio 10 en las muestras.](#)
- [Figure 30. Arduino UNO V3.](#)
- [Figure 31. Arduino UNO v3 pinout.](#)
- [Figure 32. CNC Shield conectado a un Arduino UNO con 4 DRV8825.](#)
- [Figure 33. Esquema electrónico del SHIELD dedicado para el Escáner Láser 3D.](#)
- [Figure 34. Izquierda\) Pistas de cobre posterior. \(Derecha\) Pistas de cobre inferior.](#)
- [Figure 35. Vista desde distintos ángulos del Shield dedicados para el Escáner Láser 3D.](#)
- [Figure 36. Diagrama de funcionamiento del escáner 3D](#)
- [Figure 37. Funcionamiento interno de la aplicación.](#)
- [Figure 38. Interfaz de usuario de la aplicación del Escáner Láser 3D.](#)
- [Figure 39. Imagen de pieza objetivo en el ensayo Scan.](#)
- [Figure 40. Representación gráfica de la matriz de datos](#)
- [Figure 41. Reconstrucción de la nube de puntos. El gradiente representa la profundidad](#)

-
- [Figure 42. Ventana de diálogo para exportar archivos.](#)
 - [Figure 43. Malla generada a partir de un mate de algarrobo \(material madera\).](#)
 - [Figure 44. Malla generada a partir de una pelota tejida \(material madera\).](#)
 - [Figure 45. Malla generada a partir de un tee de rugby \(material plástico\).](#)
 - [Figure 46. Representación gráfica de la mitigación de incertidumbre en la lectura.](#)
 - [Figure 47. Empleo de la región de interés\(ROI\).](#)
 - [Figure 48. Pieza objetivo, y reconstrucción 3D a partir de la detección de formas y rellenado con vóxeles.](#)

Lista de Tablas

- [Table 2. Configuración de la resolución para el DRV8825.](#)
- [Table 3. Funciones disponibles para el protocolo de comunicación.](#)
- [Table 4. Costos del prototipo \(2019\)](#)
- [Table 5. Costos de ampliación \(2019\)](#)

Lista de Ecuaciones

- [Ecuación 1. Relación de transmisión](#)
- [Ecuación 2. Giro del plato por paso del motor.](#)
- [Ecuación 3. Volumen de detección.](#)
- [Ecuación 4. Relación de transmisión eje Z.](#)
- [Ecuación 5. Corriente máxima DRV8825.](#)
- [Ecuación 6. Matriz de datos, dimensiones y valores.](#)
- [Ecuación 7. Matriz de coordenadas.](#)

Lista de Abreviaciones, Definiciones y Símbolos

(Ordenados por primera aparición)

- [TOF](#): (Time of Flight) es una técnica utilizada para estimar distancias de cuerpos calculando el tiempo transcurrido entre la emisión y la recepción de un haz de luz infrarrojo¹.
- [Open Source](#): El software de código abierto es el software cuyo código fuente y otros derechos que normalmente son exclusivos para quienes poseen los derechos de autor, son publicados bajo una licencia de código abierto o forman parte del dominio público.²
- [GUI](#): La interfaz gráfica de usuario, conocida también como GUI (del inglés graphical user interface), es un programa informático que actúa de interfaz de usuario.³
- [Hardware](#): Hardware es la parte física de un ordenador o sistema informático. Está formado por los componentes eléctricos, electrónicos, electromecánicos y mecánicos, tales como circuitos de cables y luz, placas, memorias, discos duros, dispositivos periféricos y cualquier otro material en estado físico que sea necesario para hacer que el equipo funcione.⁴
- [PC](#): (Personal Computer), computadora personal.⁵
- [Matlab](#): MATLAB es un sistema de cómputo numérico que ofrece un entorno de desarrollo integrado con un lenguaje de programación propio.⁶
- [Batch Programming](#): es un modelo de programación que puede ejecutar ciertos comandos automáticamente a nivel de un sistema operativo como DOS o Windows. Si se recupera con la línea de comandos, el sistema ejecutará cada tarea lista sucesivamente.⁷
- [c](#): Es un lenguaje de programación de propósito general.⁸
- [C++](#): La intención de su creación fue extender al lenguaje de programación C mecanismos que permiten la manipulación de objetos.⁹
- [Fortran](#): es un lenguaje de programación de alto nivel de propósito general, procedimental e imperativo, que está especialmente adaptado al cálculo numérico y a la computación científica.¹⁰
- [Shell](#): En informática, el término **shell** se emplea para referirse a aquellos programas que proveen una interfaz de usuario para acceder a los servicios del sistema operativo. Estos pueden ser gráficos o de texto simple, dependiendo del tipo de interfaz que empleen.¹¹
- [.m](#): Dentro del entorno de Matlab, es la extensión de archivos de texto los cuales pueden ser rutina de comandos (script) o funciones.
- [IDE](#): Entorno de desarrollo integrado.¹²

1[TOF](#).

2[Open Source](#).

3[Gui](#).

4[Hardware](#).

5[PC](#).

6[Matlab](#).

7[Batch Programming](#).

8[C](#).

9[C++](#).

10[Fortran](#).

11[Shell](#).

12[IDE](#).

- [GUI Editor](#): editor de interfaz gráfica para Octave.¹³
- [Scripts](#): es un término informal que se usa para designar a un programa relativamente simple. Los scripts regularmente no se compilan con anticipación a código máquina, sino que son ejecutados por un intérprete que lee el archivo de código fuente al momento.¹⁴
- [Qt](#): Qt es un framework multiplataforma orientado a objetos ampliamente usado para desarrollar programas que utilicen interfaz gráfica de usuario.¹⁵
- [FreeCAD](#): es una aplicación de modelado paramétrico 3D. Esta primeramente está hecha para diseño mecánico, pero también sirve a muchos otros usos donde necesitas modelado 3D con precisión y control sobre historial de modelado.¹⁶
- [CAD](#): (Computer Aided Design) Diseño asistido por computadora.¹⁷
- [Cura](#): Es una aplicación diseñada para impresoras 3D, en la que se pueden modificar los parámetros de impresión y después transformarlos a código G.¹⁸
- [gcode](#): También conocido como RS-274, es el nombre que habitualmente recibe el lenguaje de programación más usado en control numérico (CN).¹⁹
- [rodamiento axial](#): El rodamiento axial de rodillos a rótula tiene una hilera de rodillos situados oblicuamente, los cuales, guiados por una pestaña del aro fijo al eje, giran sobre la superficie esférica del aro apoyado en el soporte. En consecuencia, el rodamiento posee una gran capacidad de carga y es de alineación manual.²⁰
- [paso](#): Unidad cuantitativa a la que se refiere la cantidad de grados que girará el motor por una unidad de la misma.²¹
- [USB](#): es un bus de comunicaciones que sigue un estándar que define los cables, conectores y protocolos usados en un bus para conectar, comunicar y proveer de alimentación eléctrica entre computadoras, periféricos y dispositivos electrónicos.²²
- [Periféricos](#): es la denominación genérica para designar al aparato o dispositivo auxiliar e independiente conectado a la unidad central de procesamiento de una computadora.²³
- [Nube de puntos](#): es un conjunto de vértices en un sistema de coordenadas tridimensional. Estos vértices se identifican habitualmente como coordenadas X, Y, y Z y son representaciones de la superficie externa de un objeto.²⁴
- [V](#): (Unidad de Voltaje) La tensión eléctrica o diferencia de potencial es una magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos.²⁵
- [A](#): (Unidad de corriente) La corriente eléctrica es el flujo de carga eléctrica que recorre un material. Se debe al movimiento de las cargas en el interior del mismo. Al caudal de corriente se le denomina intensidad de corriente eléctrica.²⁶
- [Pinout](#): Es un término anglosajón al que se refiere la disposición de pines.²⁷

13 [Gui editor](#) .

14 [Script](#) .

15 [Qt](#) .

16 [Freecad](#) .

17 [CAD](#) .

18 [Cura](#) .

19 [gcode](#)

20 [Rodamiento axial](#)

21 [Paso](#)

22 [USB](#)

23 [Perifericos](#)

24 [Nube de puntos](#)

25 [V](#)

26 [A](#)

27 [Pinout](#)

- [Interfaz](#): Como interfaz designamos, en informática, la conexión física y funcional que se establece entre dos aparatos, dispositivos o sistemas que funcionan independientemente uno del otro.²⁸
- [Pines](#): Se denomina así a la terminal o patilla de cada uno de los contactos metálicos de un conector o de un componente fabricado de un material conductor de la electricidad.²⁹
- [Ω](#): Unidad de resistencia eléctrica, se denomina resistencia eléctrica a la oposición al flujo de corriente eléctrica a través de un conductor.³⁰
- [Infrarrojo](#): es un tipo de radiación electromagnética, de mayor longitud de onda que la luz visible, pero menor que la de las microondas.³¹
- [VCSEL](#): El láser emisor de superficie de cavidad vertical, o VCSEL, es un tipo de diodo láser semiconductor con emisión de rayo láser perpendicular desde la superficie superior.³²
- [SPAD](#): Un diodo de avalancha de un solo fotón es un fotodetector de estado sólido dentro de la misma familia que los fotodiodos y los fotodiodos de avalancha, a la vez que está fundamentalmente relacionado con los comportamientos básicos de los diodos.³³
- [FlightSense](#): Denominación de la Arquitectura Electrónica interna de la familia de sensores ST Flight Sense.³⁴
- [FOV](#): (Field of View) Campo de visión del sensor.³⁵
- [Microcontrolador](#): Un microcontrolador es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria.³⁶
- [i2c](#): (Inter-Integrated Circuit) es un bus serie de datos utilizado principalmente internamente para la comunicación entre diferentes partes de un circuito, por ejemplo, entre un controlador y circuitos periféricos integrados.³⁷
- [SHIELD](#): nombre con el cual se denomina las placas de expansión para los kit de desarrollo Arduino.³⁸
- [CNC](#): Acrónimo de Control Numérico Computarizado.³⁹
- [EDA](#): (Automatización de diseño electrónico) se refiere a una categoría de herramientas de software enfocadas en el proyecto, concepción, y producción de sistemas electrónicos, abarcando desde el proyecto de circuitos integrados hasta el desarrollo de placas de circuito impreso.⁴⁰
- [KiCad](#): es un paquete de software libre para la automatización de circuitos electrónicos.⁴¹
- [PCB](#): (printed circuit board - placa de circuito impreso) es una superficie constituida por caminos, pistas o buses de material conductor laminadas sobre una base no

28 [Interfaz](#)

29 [Pin](#)

30 [Resistencia eléctrica](#)

31 [Infrarrojo](#)

32 [VCSEL](#)

33 [SPAD](#)

34 [FlightSense](#)

35 [FOV](#)

36 [Microcontrolador](#)

37 [i2c](#)

38 [SHIELD](#)

39 [CNC](#)

40 [EDA](#)

41 [KiCad](#)

conductora.⁴²

- [Firmware](#): es un programa informático que establece la lógica de más bajo nivel que controla los circuitos electrónicos de un dispositivo de cualquier tipo.
- [Workspace](#): espacio de trabajo de Octave, en nuestro caso también es la carpeta local de ejecución de los scripts dentro de Octave.
- [Matriz](#): es un arreglo bidimensional de números.⁴³
- [Algoritmo](#): es un conjunto de instrucciones o reglas definidas y no-ambiguas, ordenadas y finitas que permite, típicamente, solucionar un problema, realizar un cómputo, procesar datos y llevar a cabo otras tareas o actividades.⁴⁴
- [ROI](#): Región de interés, capacidad de algunos sensores para cambiar su campo de detección.⁴⁵
- [Vóxel](#): es la unidad cúbica que compone un objeto tridimensional.⁴⁶

Anexos:

- Diagrama electrónico del SHIELD ESCÁNER 3D
- Esquemáticos del Escáner Láser 3D. Piezas y ensamblajes.

42[PCB](#)

43[Matriz](#)

44[Algoritmo](#)

45[ROI](#)

46[Vóxel](#)

Capítulo 1: Introducción

Motivados por el paradigma de la fabricación digital, los programas open source, y el proyecto rep-rap, se propuso el diseño y la creación de un escáner 3D empleando técnicas de impresión 3D, para su fácil fabricación, pudiendo ser, estas piezas, reproducibles con cualquier impresora 3D.

Un escáner 3D es un dispositivo que analiza un objeto o una escena para reunir datos de su forma (y en algunos casos color), para posteriormente construir modelos digitales tridimensionales que se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones. Estas pueden ser desde aplicaciones industriales, como también otras actividades como arqueología, arquitectura, ingeniería y entretenimiento.

A diferencia de un escáner convencional, en donde se registra un patrón de colores de una imagen, en un escáner 3D, a partir del empleo de distintos métodos, se releva la forma de la pieza obteniendo una nube de puntos, donde cada punto representa una coordenada de un punto específico en la superficie de la pieza, quedando así modelada la pieza a partir de este conjunto de coordenadas.

1.1 Tipos de escáneres 3D

Los principios de funcionamiento son muy variados donde podemos destacar dos grupos, con contactos y sin contactos:

1.1.a Contacto

Se examina el objeto apoyando un elemento de medida (palpador) sobre la superficie del mismo, típicamente una punta de acero o zafiro. Una serie de sensores internos permiten determinar la posición espacial del palpador.

1.1.b Sin contacto

1.1.b.1 Activos

Los escáneres activos emiten alguna clase de señal y analizan su retorno para capturar la geometría de un objeto o una escena. Se utilizan radiaciones electromagnéticas (desde ondas de radio hasta rayos x o ultrasonidos).

TOF

Un escáner 3D de tiempo de vuelo determina la distancia a la escena cronometrando el tiempo de viaje de ida y vuelta de un pulso de luz.

Como la velocidad de la luz C es conocida, el tiempo de viaje de ida y vuelta determina el viaje de la luz, que es dos veces la distancia entre el escáner y la superficie. De esta forma las coordenadas de la pieza quedan definidas a través de la distancia medida.

Triangulación

El escáner láser de triangulación 3D es también un escáner activo que usa la luz del láser para examinar el entorno. El haz de luz láser incide en el objeto y se usa una cámara para buscar la ubicación del punto del láser.

Dependiendo de la distancia a la que el láser golpee una superficie, el punto del láser aparece en lugares diferentes en el sensor de la cámara. La longitud de un lado del triángulo definido por la cámara y el emisor del láser es conocida. El ángulo vértice del emisor de láser se sabe también. El ángulo de vértice de la cámara (paralaje) puede ser determinado mirando la ubicación del punto del láser en la cámara. Estos tres valores permiten determinar el resto de las dimensiones del triángulo, y por tanto, la posición de cada punto en el espacio.

Diferencia de fase

Este tipo de escáner mide la diferencia de fase entre la luz emitida y la recibida, y utiliza dicha medida para estimar la distancia al objeto. El haz láser emitido por este tipo de escáner es continuo y de potencia modulada.

Holografía conoscópica

Es una técnica interferométrica por lo que un haz reflejado en una superficie atraviesa un cristal birrefringente, esto es, un cristal que posee dos índices de refracción, uno ordinario y fijo y otro extraordinario que es en función del ángulo de incidencia del rayo en la superficie del cristal.

Como resultado de atravesar el cristal se obtienen dos rayos paralelos que se hacen interferir utilizando para ello una lente cilíndrica, esta interferencia es capturada por el sensor de una cámara convencional obteniendo un patrón de franjas. La frecuencia de esta interferencia determina la distancia del objeto en el que se proyectó el haz.

Luz Estructurada

Estos escáneres proyectan un patrón de luz en el objeto y analizan la deformación del patrón producida por la geometría de la escena. El modelo puede ser unidimensional o de dos dimensiones.

Luz Modulada

Los escáneres de luz modulada emiten una luz continuamente cambiante en el objeto. Generalmente la fuente de luz simplemente cicla su amplitud de un patrón sinusoidal. Una cámara detecta la luz reflejada y la cantidad que el patrón de luz cambia para determinar la distancia viajada por la luz.

1.1.b.2 Pasivos

Los escáneres pasivos no emiten ninguna clase de radiación por sí mismos, pero en lugar se fía de detectar la radiación reflejada del ambiente. La mayoría de los escáneres de este tipo detectan la luz visible porque es una radiación ya disponible en el ambiente. Otros tipos de radiación, tal como el infrarrojo podrían ser utilizados también.

Estereoscópicos

Los sistemas estereoscópicos utilizan el mismo principio de la fotogrametría, utilizando el paralaje entre dos imágenes para determinar la distancia de cada pixel de la imagen.

Emplean generalmente dos cámaras de video, levemente separadas, mirando la

misma escena, calculando la distancia a partir de la diferencia entre estas dos escenas.

Siluetas

Estos tipos de escáneres 3D usan bosquejos creados de una sucesión de fotografías alrededor de un objeto tridimensional contra un fondo muy bien contrastado. Estas siluetas se estiran y son cruzadas para formar la aproximación visual del casco del objeto.

Con ayuda del usuario (modelado basado en imagen)

Hay otros métodos que, basados en la ayuda del usuario para el descubrimiento e identificación de algunas características y formas en un conjunto de retratos diferentes de un objeto, son capaces de construir una aproximación del objeto mismo.

1.3.1 Descripción del proyecto

Este proyecto se trata sobre la investigación y el desarrollo de un escáner 3D, del tipo TOF, y dentro de sus características más importantes se destacan:

- Piezas y software hechos en programas Open Source.
- Piezas impresas en 3D, aplicando criterios de diseño.
- Fácil uso para el usuario, (GUI, simple e intuitiva).
- Fácil reproducción en cualquier otra impresora 3D.
- Empleo de módulos de hardware de fácil adquisición.
- Diseño de hardware dedicado como alternativa.

1.3.2 Principio de funcionamiento

Para el funcionamiento del escáner se plantea un sensor láser de distancia montado en un carro que le provee movilidad a lo largo de un eje vertical, una bandeja giratoria, y conexión a PC para almacenar los datos.

Si nosotros tomamos una lectura de rango hacia la pieza, tendremos la distancia que existe entre el sensor y un punto del objeto. Si conocemos la dimensiones entre el sensor y el centro de la bandeja, entonces por diferencia podremos sacar el radio que existe entre el centro de giro de la pieza y este punto. Si a su vez consideramos la altura a la que fue tomada esta lectura, con este conjunto de datos determinamos una coordenada de un punto de la superficie de la pieza. Girando la misma una cantidad conocida de grados y rehaciendo el proceso obtendremos una coordenada adyacente a la primera. Podemos repetir esto hasta darle un giro completo a la pieza. Una vez hecho esto variamos la altura y repetimos todas las acciones de nuevo.

De esta forma, podemos reconstruir la pieza digitalmente, sumando las secciones horizontales de coordenadas que se obtuvieron a partir del ensayo.

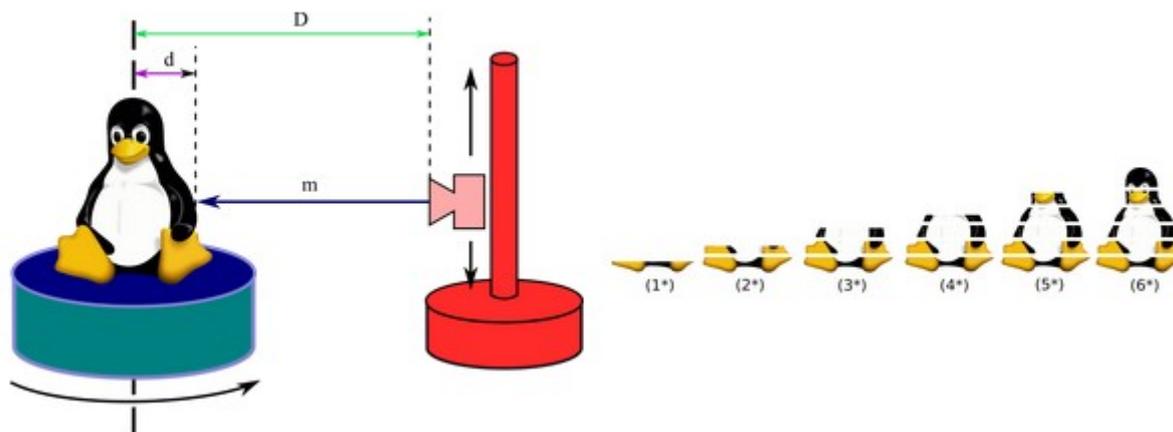


Figure 1. Principio de funcionamiento del escáner 3D.

1.3.3 GNU Octave

1.3.3.a Octave

Octave o GNU Octave es un programa y lenguaje de alto nivel, diseñado principalmente para cálculos numéricos. Proporciona una interfaz de línea de comandos conveniente para resolver numéricamente problemas lineales y no lineales, y para realizar otros experimentos numéricos utilizando un lenguaje que es principalmente compatible con Matlab. También se puede utilizar como lenguaje orientado a lotes (Batch Programming).

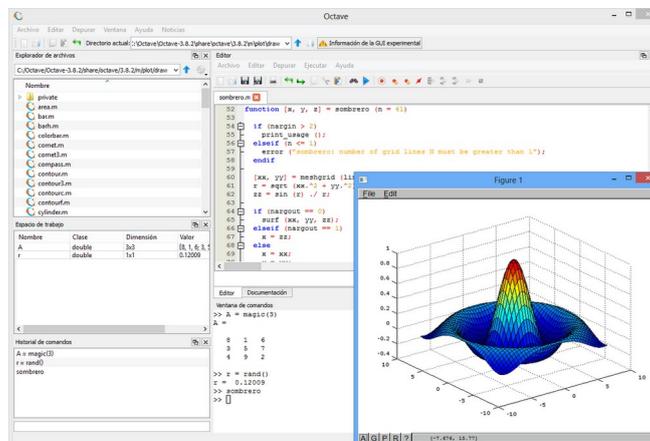


Figure 2. Ide de Octave⁴⁷

Posee herramientas extensas para resolver problemas comunes de álgebra lineal numérica, encontrar las raíces de ecuaciones no lineales, integrar funciones ordinarias, manipular polinomios e integrar ecuaciones diferenciales y algebraicas diferenciales ordinarias. Es fácilmente extensible y personalizable a través de funciones definidas por el usuario escritas en el propio lenguaje de Octave, o usando módulos cargados dinámicamente escritos en C ++, C, Fortran u otros lenguajes.

Entre sus características más importantes consideradas para este proyecto encontramos

47 Fuente de la imagen: <https://mejorsoftware.info/tools/gnu-octave>

- Tiene un intérprete de su propio lenguaje (de sintaxis casi idéntica a Matlab), y permite una ejecución interactiva o por lotes.
- Su lenguaje puede ser extendido con funciones y procedimientos por medio de módulos dinámicos.
- Dentro del lenguaje también se comporta como una consola de órdenes (shell). Esto permite listar contenidos de directorios, por ejemplo.
- Además de correr en plataformas Unix también lo hace en Windows.
- Puede cargar archivos con funciones de Matlab (reconocibles por la extensión *.m*)
- GNU Octave también es un software de libre distribución.

Debido a todo este conjunto de características que se planteó el desarrollo de la interfaz de usuario en Octave.

1.3.3.b Gui Editor

Para el desarrollo de la interfaz gráfica, debido a que Octave de forma nativa no tiene un IDE para esta función, se empleó el software Gui Editor. Este es un editor de interfaz gráfica para GNU Octave. Permite la edición gráfica visual de las interfaces generando scripts que, desde invocaciones hasta funciones nativas de GNU Octave, pueden reproducirse.

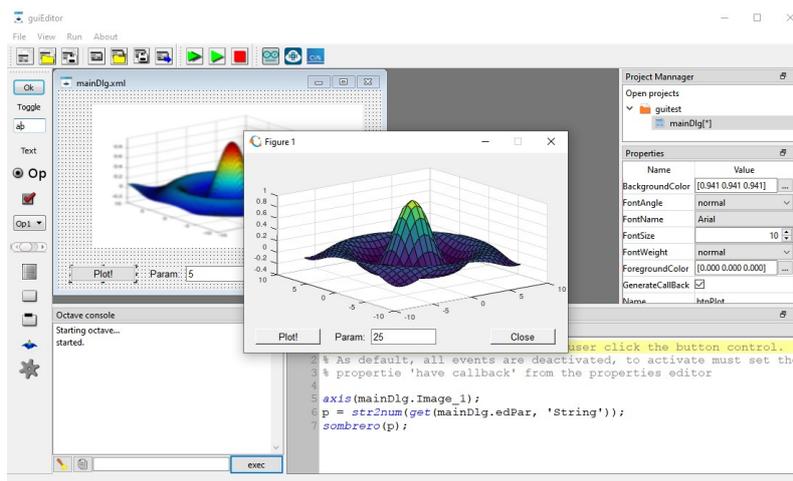


Figure 3. Gui Editor para GNU Octave ⁴⁸

Entre sus características más destacadas tenemos:

- Permite la gestión de proyectos que pueden incorporar múltiples ventanas de diálogo, archivos de script o imágenes.
- Generación automática de paquetes a partir de proyectos, permitiendo distribuir aplicaciones de forma sencilla.
- Además de los controles específicos de las interfaces de usuario como botones o cuadros de edición, incorpora la representación de controles especiales para representar entidades especiales (placas de desarrollo arduino por ejemplo).
- Integración con GNU Octave para simplificar el proceso de depuración de aplicaciones.
- Ha sido desarrollado utilizando el marco Qt, por lo que puede usarse en los sistemas operativos compatibles con este marco.

⁴⁸Fuente de la imagen: <https://gitlab.com/labinformatica/guieditor>

Capítulo 2: Desarrollo

2.1 Flujo de trabajo

Para el diseño y construcción del escáner se trabajó con el siguiente flujo de trabajo, donde las piezas fueron diseñadas en FreeCad, (un programa open source de CAD), luego para poder ser impresas fue necesario convertirlas, por medio de Cura, a un lenguaje que la impresora pueda interpretar. Este mismo se denomina gcode, y es una secuencia de comandos donde están contenidos las trayectorias en coordenadas xyze, en conjunto con otras configuraciones de la impresora. Posteriormente la máquina leerá este archivo y seguirá secuencialmente todos estos comandos dando como resultado la pieza.



Figure 4. Flujo de trabajo. primero FreeCAD, luego Cura y finalmente la Impresora 3D.

2.2.1 Diseño del Eje R (bandeja giratoria)

2.2.1.a Supuesto

Para el diseño de la bandeja se plantearon una serie de situaciones a considerar durante el diseño de la misma:

- Mientras más grande sea la pieza y mayor sea su radio, más espaciados estarán los puntos.
- El punto de apoyo de la bandeja con el resto de la estructura no debe ser el motor que lo acciona.

Con estas consideraciones concluimos que es necesario la existencia de algún tipo de relación de transformación entre el motor y la bandeja para poder dar giros más chicos en piezas con perímetros grandes y a su vez también es necesario la implementación de algún tipo de rodamiento axial donde el peso de la pieza se descansa sobre el resto de la estructura sin generar fricción.

2.2.1.b Motores

Para el accionamiento de este eje R se emplea un motor Nema 17 con las siguientes características:

- Tamaño: 42.3×48 mm, sin incluir el eje.
- Peso: 350 gramos (13 oz)
- Diámetro del eje: 5 mm "D"
- Longitud del eje: 25 mm.
- Pasos por vuelta: 200 (1,8º/paso)
- Corriente: 1.2 [A] por bobinado.
- Tensión: 4 [V].
- Resistencia: 3.3 [Ohm] por bobina.



Figure 5. Características del motor Nema 17.⁴⁹

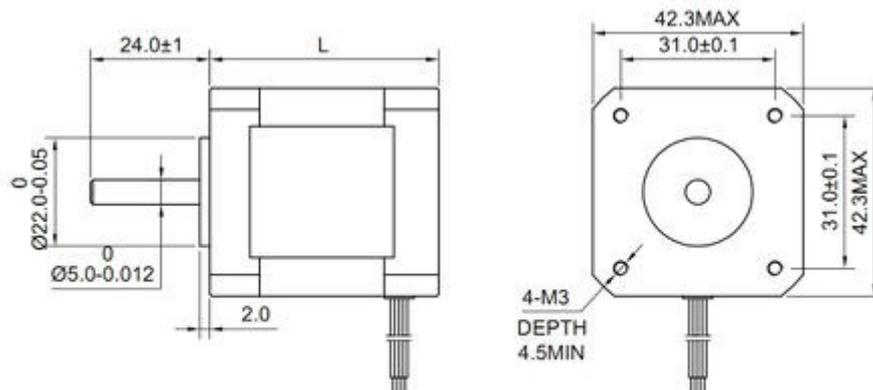


Figure 6. Dimensiones del motor Nema 17.⁵⁰

2.2.1.c Implementación

Para el diseño de la bandeja giratoria se planteó un solo conjunto de partes listadas a continuación.

1. Plato
2. Bolillas de acero de 16 mm de diámetro,
3. Separadores,
4. Base de bandeja,
5. Piñón,
6. Traba del eje.

⁴⁹Fuente de la imagen: [enlace](#)

⁵⁰Fuente de la imagen: https://reprap.org/wiki/NEMA_17_Stepper_motor

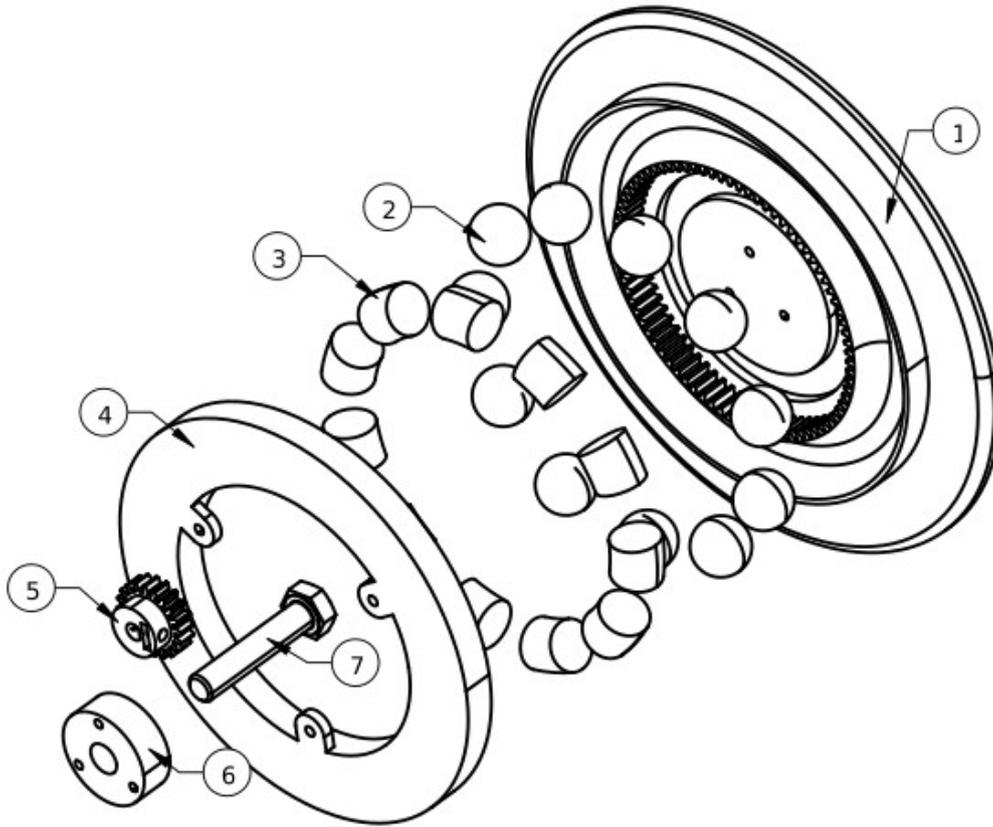


Figure 7. Explosión de la bandeja giratoria.

2.2.1.d Relación de transmisión

De la siguiente imagen tenemos que la relación de transmisión queda definida como la cantidad de dientes que tiene el piñón, dividida la cantidad de dientes del plato, esto es:

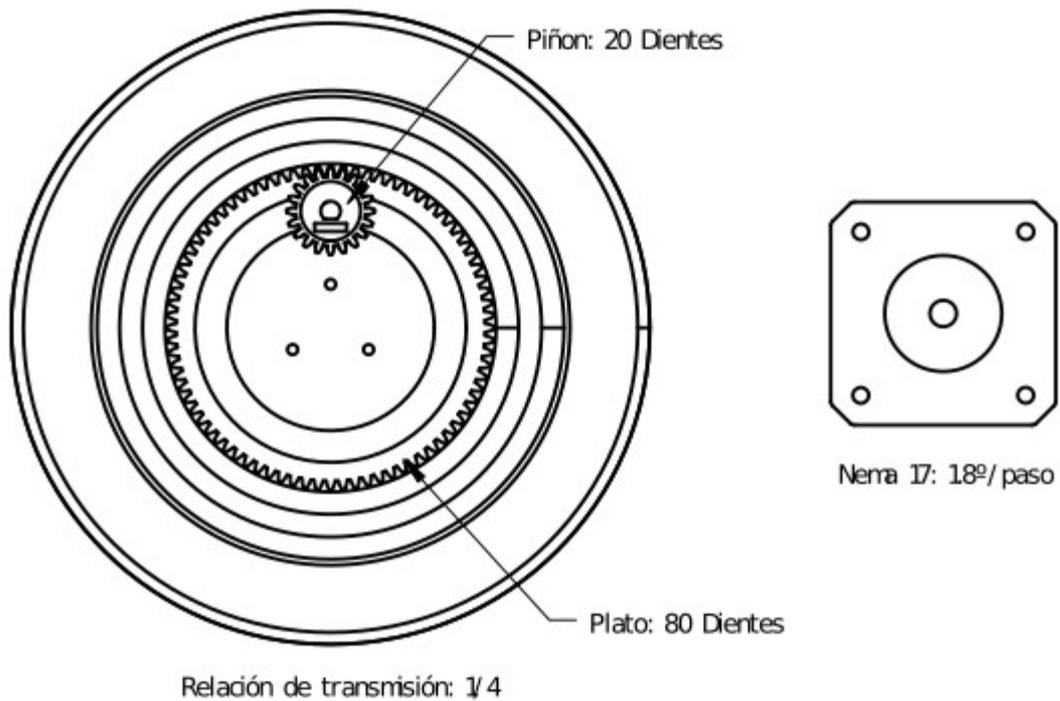


Figure 8. Plato, Piñón y Nema 17.

$$\text{Relacion de Transmisión} = \frac{20[\text{dientes}]}{80[\text{dientes}]} = \frac{1}{4}$$

Ecuación 1. Relación de transmisión

Esto significa que por cada vuelta del piñón tenemos 1/4 de vuelta del plato. El giro del motor está definido como 1.8° por paso, esto es en 360°, 200 pasos por vuelta. Entonces el giro del plato queda definido por la siguiente ecuación:

$$\Delta \theta_{\text{plato}} = \frac{\frac{1}{4} \cdot 360[\text{grad/rev}]}{200[\text{step/rev}]} = \frac{90[\text{grad/rev}]}{200[\text{step/rev}]} = 0,45[\text{grad/step}]$$

Ecuación 2. Giro del plato por paso del motor.

Esto puede interpretarse como que por cada paso que dé el motor, el plato girará 0.45°.

2.2.2 Diseño del Eje Z (elevación del sensor)

2.2.2.a Supuesto

El sensor láser de distancia debe ir montado en un carro el cual lo transportará a lo largo de todo el eje z.

2.2.2.b Carro del sensor

El sensor irá montado en una base móvil denominada carro del sensor, como muestra el siguiente esquema.

1. Visera del sensor
2. Soporte Sensor
3. LMU88,
4. Varilla acerada 8mm
5. Rosca THSL 8mm
6. Tuerca THSL 8mm.

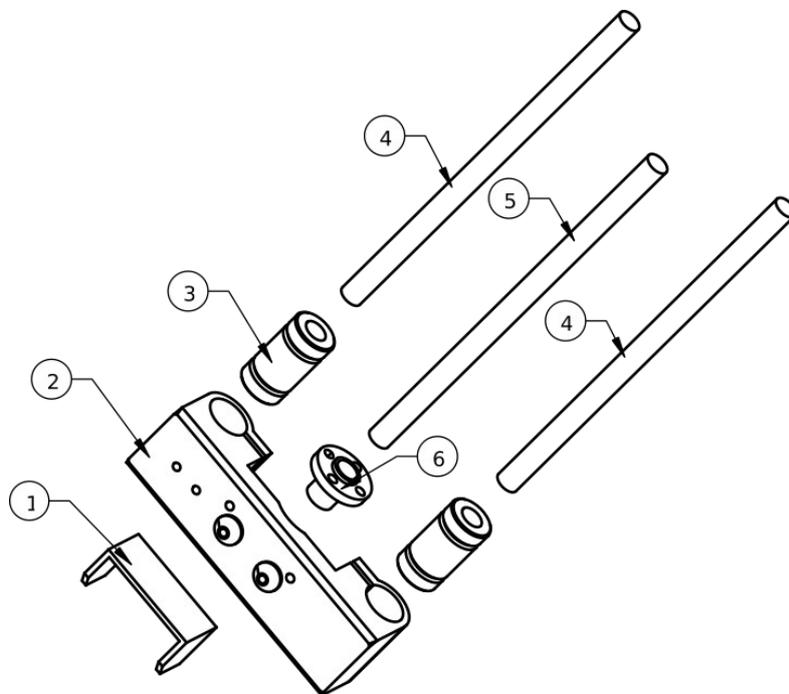


Figure 9. Explosión del ensamble del carro del sensor.

2.2.2.c Eje Z

A continuación se detalla la composición del eje z sobre el cual está montado el resto de la estructura del escáner.

1. Pie de la base del eje z.
2. Motor Nema 17.
3. Base del eje Z.
4. Soporte endstop.
5. Tuerca M8.

- 6. Varilla acerada 8mm.
- 7. Carro del sensor.
- 8. Tope superior.
- 9. Arandela 8mm.
- 10. Varilla roscada THSL.
- 11. Acople 5mm a 8mm aluminio flexible.
- 12. Carcasa de electrónica.
- 13. varilla roscada 8mm.

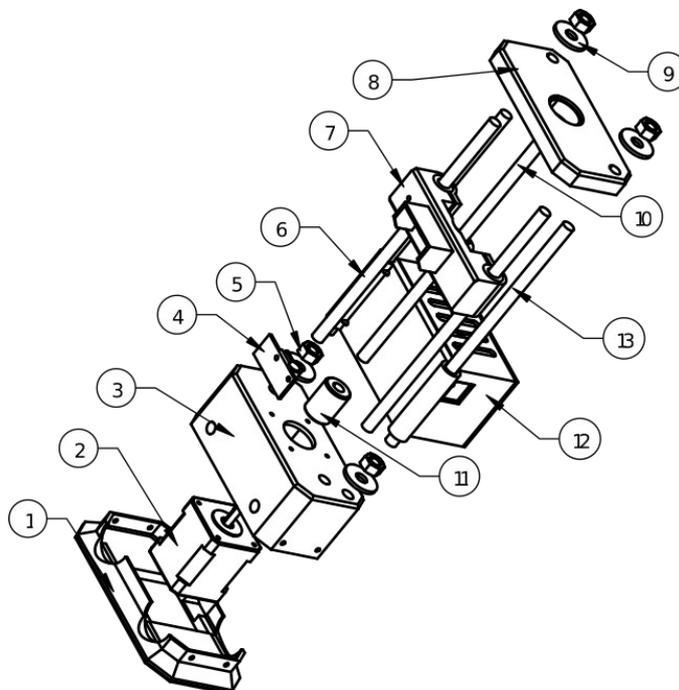


Figure 10. Explosion eje Z.

2.2.2.d Relación de transmisión

Para el accionamiento del eje z se usa una varilla roscada THSL de 4 hélices, con un paso de 2mm, un adelanto de 8mm.



Figure 11. Rosca THSL de 4 hélices.

Recordando que los motores Nema 17 tienen un giro de 1.8° por paso, esto nos da 200 pasos por revolución. Con estos datos podemos definir el avance del carro como:

$$\Delta h = \frac{8 [\text{mm/rev}]}{200 [\text{step/rev}]} = 40 [\mu\text{m/step}]$$

Ecuación 4. Relación de transmisión eje Z.

2.2.3 Estructura general

2.2.2.a Vistas

Teniendo definidos los dos ejes, en la conjunción de ambos queda la estructura general del escáner.

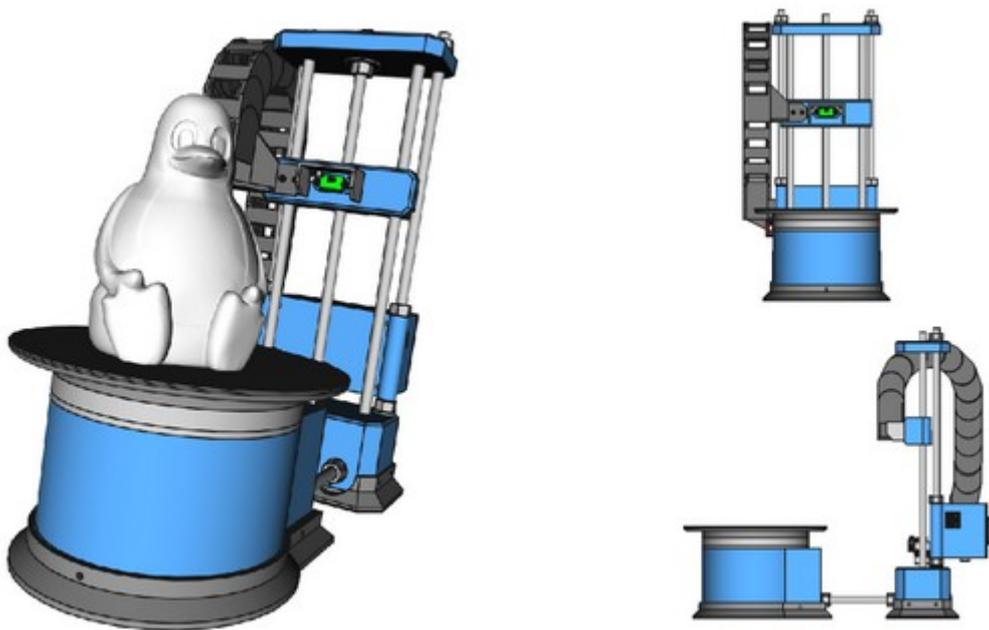


Figure 12. Distintas vistas del escáner 3D.

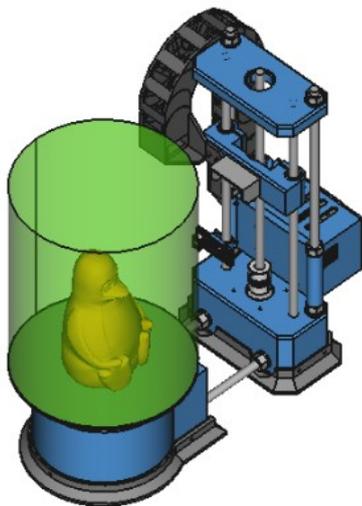


Figure 13. Imagen del escáner láser 3D ensamblado.

2.2.2.b Características

Las dimensiones finales del escáner son:

- Recorrido eje Z = 28 cm
- Diámetro de la bandeja = 16 cm
- Volumen de escaneo:



$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

$$V = \pi \cdot \dot{c}$$

$$V = 5227 \text{ cm}^3 \approx 5 \text{ L}$$

Ecuación 3. Volumen de detección.

Obtenemos más de 5 L volumen que se puede escanear en la pieza.

Figure 14. Volumen de detección.

2.3 Principio de funcionamiento

El funcionamiento del escáner se plantea a partir de una aplicación que corre en

Octave, que se conecta al escáner 3D a través del puerto USB de la PC y accede directamente a los periféricos del mismo, sean estos, el sensor láser de distancia y los controladores de los motores de los ejes. Finalmente toda la información obtenida se procesa para generar una nube de puntos.

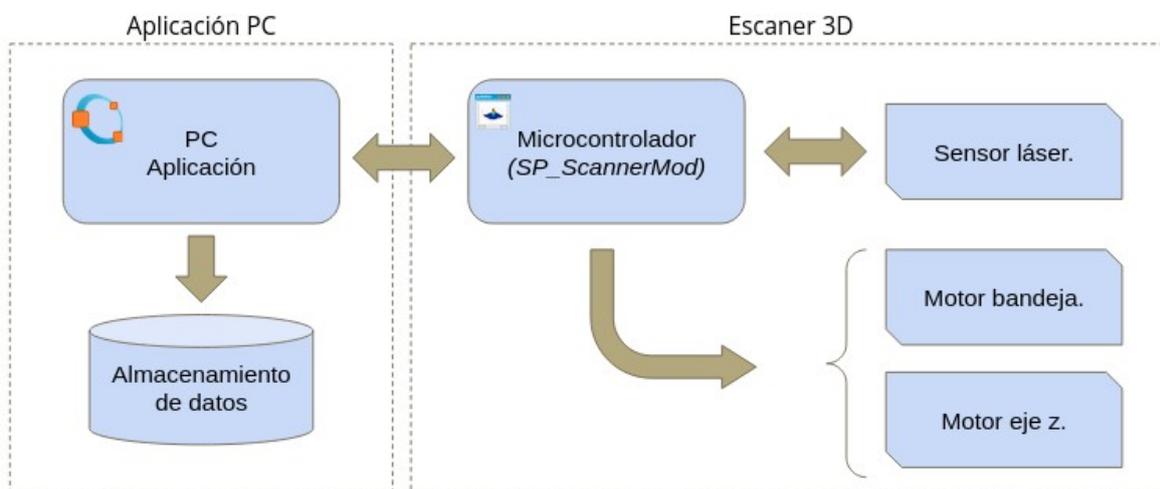


Figure 15. Diagrama de bloqueo del funcionamiento del escáner 3D.

2.3.1 Hardware

2.3.1.a Controlador de los motores: DRV8825

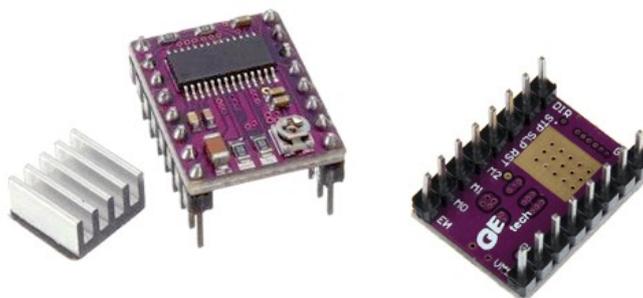


Figure 16. Módulo DRV8825⁵¹

Los motores Nema 17 son controlados por módulos DRV8825. Estos módulos ofrecen limitación de corriente ajustable, protección contra sobrecorriente y sobrecalentamiento, y seis resoluciones de micropasos (hasta 1/32 pasos).

Ópera de 8.2 V a 45 V y puede entregar hasta aproximadamente 1.5 A por fase sin un disipador de calor o flujo de aire forzado (hasta 2.2 A por bobina con suficiente enfriamiento adicional). El controlador tiene un pinout y una interfaz casi idéntica a los controladores de motor paso a paso A4988, por lo que puede usarse como un reemplazo directo de mayor rendimiento para esas placas en muchas aplicaciones.

⁵¹Fuente de la imagen: [enlace](#)

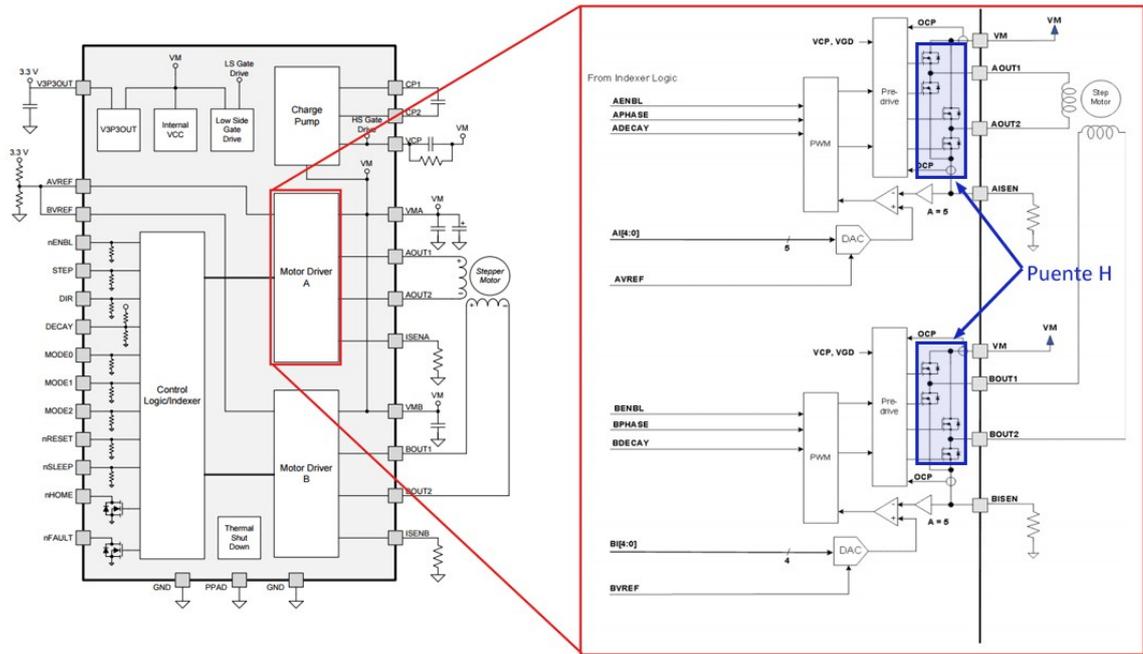


Figure 17. Diagrama interno del controlador DRV8825.⁵²

Los DRV8825 funcionan disparando secuencialmente los polos de los motores, esta secuencia de disparo está asociada a la distribución de polos de los motores. Para los Nema 17 con bobinado bipolar tenemos la siguiente tabla.

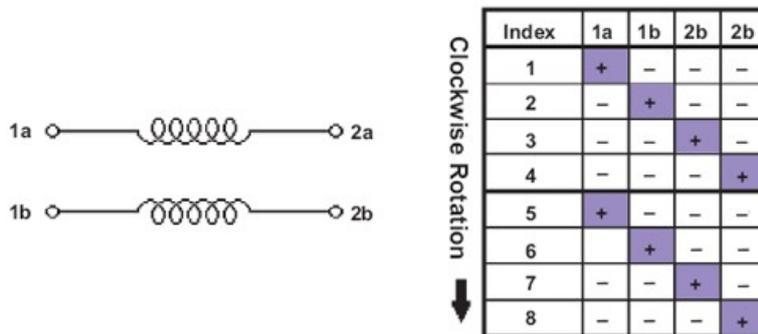


Figure 18. Configuración de la bobina del motor paso a paso bipolar (izquierda) y patrón de accionamiento (derecha).⁵³

Estos controladores para funcionar tienen 3 pines de entrada, y 3 pines de configuración, los pines de configuración sirven para establecer la resolución de los pasos.

Los motores paso a paso suelen tener una especificación de tamaño de paso (por ejemplo, 1,8 ° o 200 pasos por revolución), que se aplica a pasos completos. Estos controladores permiten una resolución de micropasos más alta al permitir ubicaciones de pasos intermedios, que se logran energizando las bobinas con niveles de corriente intermedios. Por ejemplo, conducir un motor en modo de cuarto de paso le dará al motor de 200 pasos por revolución 800 micropasos por revolución usando cuatro niveles de corriente diferentes.

Las entradas del selector de resolución (tamaño de paso) (MODE0, MODE1 y MODE2) permiten la selección de las resoluciones de seis pasos de acuerdo con la tabla siguiente.

⁵² Fuente de la imagen: [enlace](#)

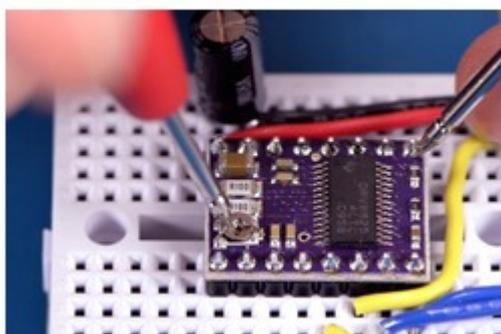
⁵³ Fuente de la imagen: [enlace](#)

DRV8825	MODE0	MODE1	MODE2
Full step	Low	Low	Low
1/2 step	High	Low	Low
1/4 step	Low	High	Low
1/8 step	High	High	Low
1/16 step	Low	Low	High
1/32 step	High	Low	High
1/32 step	Low	High	High
1/32 step	High	High	High

Table 2. Configuración de la resolución para el DRV8825.

Las tres entradas del selector tienen resistencias removibles internas de 100 kΩ, por lo que dejar estos tres pines de selección de micropasos desconectados da como resultado el modo de paso completo. Para que los modos de micropasos funcionen correctamente, el límite de corriente debe establecerse lo suficientemente bajo (ver más abajo) para que se active la limitación de corriente. De lo contrario, los niveles de corriente intermedios no se mantendrán correctamente y el motor saltará micropasos.

El límite de corriente máximo se puede establecer por medio del potenciómetro, midiendo la tensión en el mismo respecto de masa, la corriente máxima se puede establecer a partir de esta tensión siguiendo la siguiente fórmula:



Ecuación para determinar corriente máxima:

$$I_{max} = V_{ref} \cdot 2$$

Figure 19. Método de calibración de corriente.⁵⁴

Ecuación 5. Corriente máxima del DRV8825..

Por otro lado para habilitar el controlador es necesario primero establecer un 0 lógico en el pin EN, la dirección requiere un 1 lógico en el pin DIR, para establecer en el giro en sentido de las agujas del reloj, y el disparo del paso se administra con un pulso lógico en el pin de step. La duración de este pulso es lo que establece la velocidad de giro del motor.

En la siguiente imagen podemos ver la conexión del controlador en el escáner. Las órdenes de habilitar, dirección, paso vienen desde el microcontrolador, entran al controlador, por los pines EN, STEP y DIR.

⁵⁴Fuente de imagen: [enlace](#)

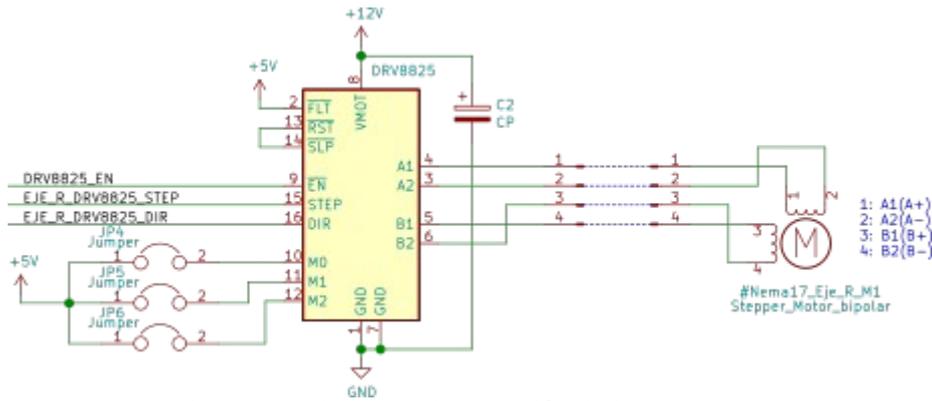


Figure 20. Diagrama de conexión de los DRV8825

2.3.1.b Sensor Láser: VL53L0Xv2

Para las lecturas de distancia hacia el objetivo desde el sensor, para el mismo se optó por usar un VL530Xv2.

Este sensor de distancia láser infrarrojo de alta precisión, permite medir distancias entre 50 mm a 2000 mm de forma precisa.

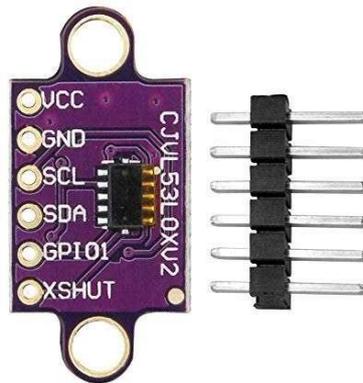


Figure 21. CJVL53L0XV2 Sensor Láser de distancia.⁵⁵

El VL53L0X es un **sensor ToF (Time of flight)**. Su funcionamiento consiste en enviar un pulso láser de luz infrarroja y medir el tiempo necesario en el haz en volver al sensor.

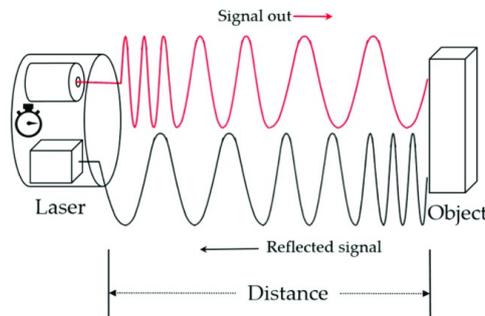


Figure 22. Diagrama de funcionamiento del Tiempo de Vuelo.⁵⁶

El dispositivo incorpora un emisor laser 940nm VCSEL (Vertical Cavity Surface-

⁵⁵Fuente de la imagen: [Enlace](#)

⁵⁶Fuente de la imagen: [fuente](#)

Emitting Laser), un detector SPAD (Single Photon Avalanche Diodes) y la electrónica interna (denominada FlightSense™) que realiza los cálculos necesarios.

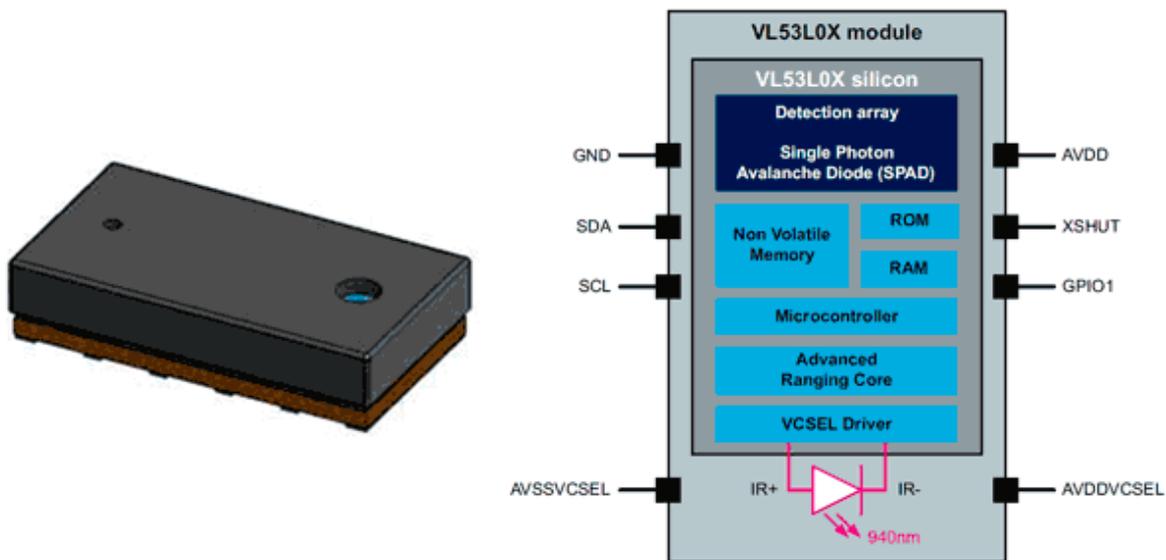


Figure 23. Diagrama de funcionamiento interno del sensor.⁵⁷

El ángulo de medición o FOV (Field of View) es de 25°. Esto se traduce en un área de medición de 0.44m de diámetro a una distancia de 1m.

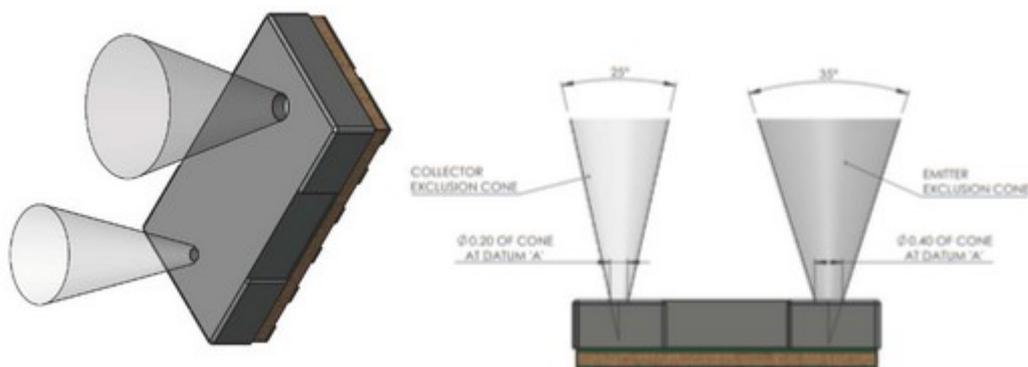


Figure 24. FOV - Campo de visión, emisor y receptor.⁵⁸

⁵⁷Fuente de la imagen: [fuente](#)

⁵⁸Fuente de la imagen: [enlace](#)

- $D=50\text{ mm} - \varnothing 22\text{ mm}$
- $D=100\text{ mm} - \varnothing 44\text{ mm}$
- $D=150\text{ mm} - \varnothing 60\text{ mm}$

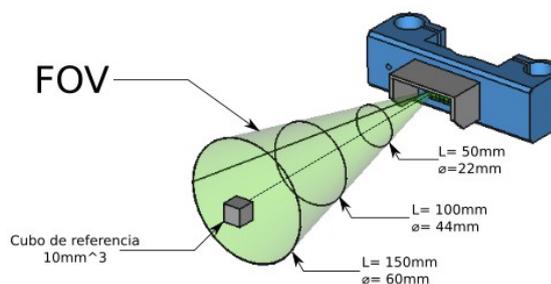


Figure 26. Apertura del FOV para distintas distancias.

La comunicación entre el sensor y el microcontrolador utiliza el protocolo de comunicación i2c. El esquema de conexión es el siguiente:

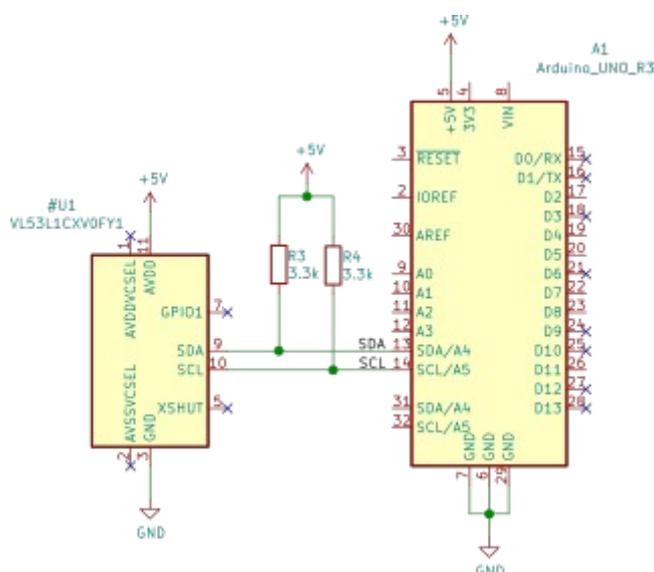


Figure 26. Conexión entre el microcontrolador y el sensor VL53L0CxV0

A fin de evaluar el funcionamiento del sensor, se hicieron ensayos de distintos materiales en una progresión de distancias que comienzan en 5 mm hasta 50 mm.

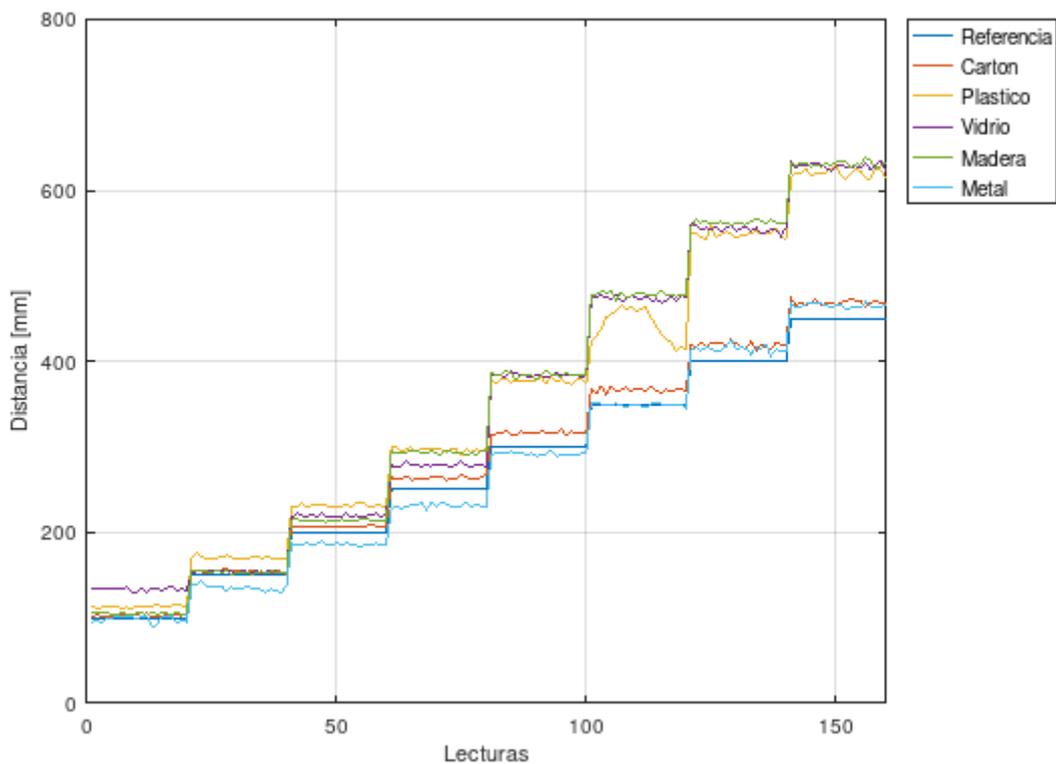


Figure 27. Ensayos de respuesta del sensor para una serie de lecturas por distancia sin promediar las muestras.

Con promedio entre lecturas

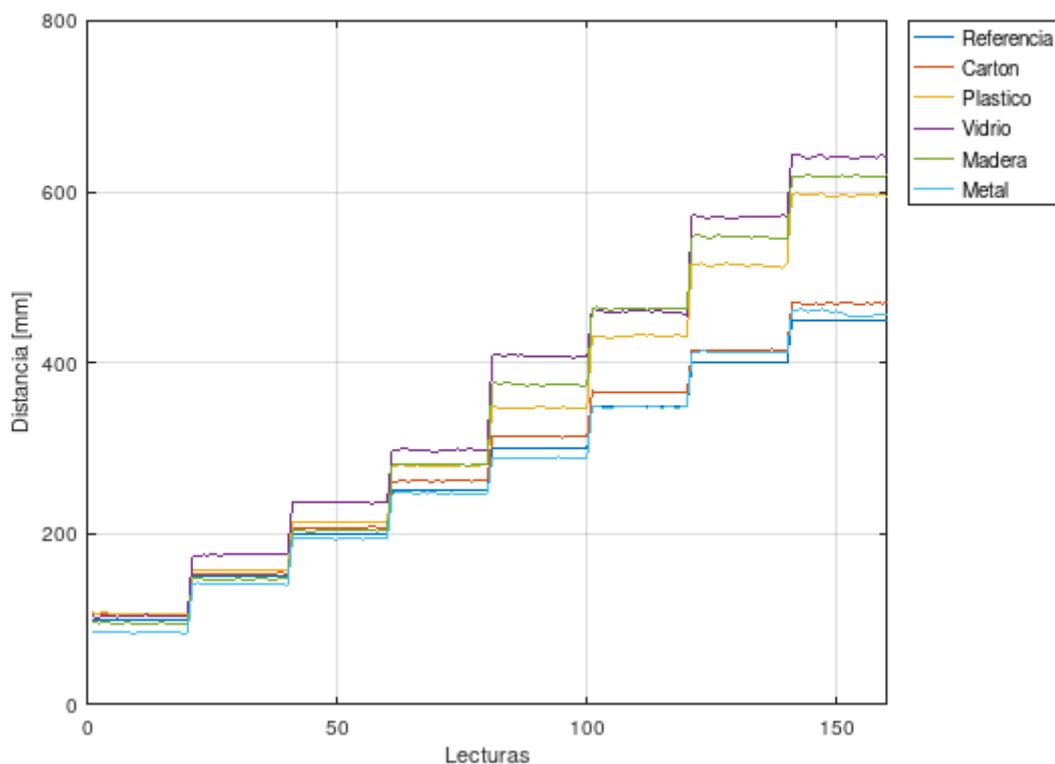


Figure 28. Ensayos de respuesta del sensor para una serie de lecturas por distancia con promedio 10 de las muestras.

De estas gráficas podemos determinar por un lado que la distancia máxima entre el sensor y la pieza objetivo no debe ser superior a 20 cm, puesto que para distancia

superiores, los índices de reflexión para distintos materiales son muy distintos, y se pierde exactitud en la medición, entre piezas de distinta naturaleza. Por otro lado, debido a la dispersión de datos en el proceso de lectura, si tomamos a un solo punto por vez, los datos son muy difusos entre si y debido a esto que deben ser calculados aplicando promedio de lecturas a fin de estabilizar la lectura.

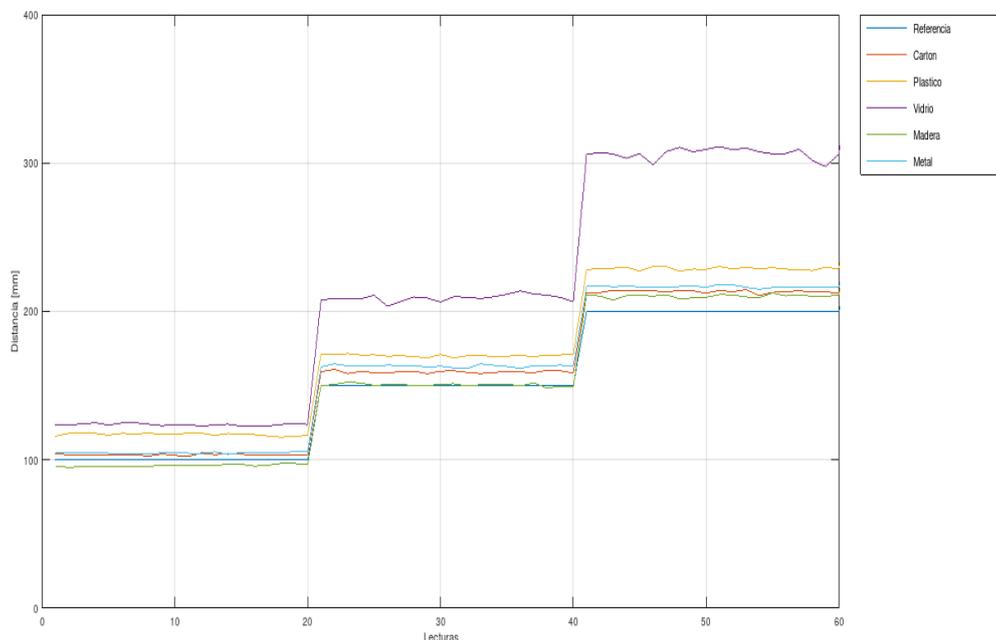


Figure 29. Ensayo de lecturas de 10 cm a 20 cm con promedio 10 en las muestras.

2.3.1.c Placa de desarrollo Arduino Uno

Para administrar los periféricos y a su vez tener una comunicación USB, se usó una placa de desarrollo Arduino Uno. Estas placas proveen una solución rápida en la etapa de prototipado, debido a que cuentan con todo lo necesario para programar el micro desde el puerto usb de cualquier computadora, y a su vez de la electrónica asociada que requiere el microcontrolador para funcionar, y varios zócalos de pines para un fácil acceso de los puertos del micro.



Figure 30. Arduino UNO V3.⁵⁹

El microcontrolador que emplea es un ATmega 328, el cual posee en conjunto con

⁵⁹Fuente de la imagen: [enlace](#)

esta placa, el siguiente pinout.

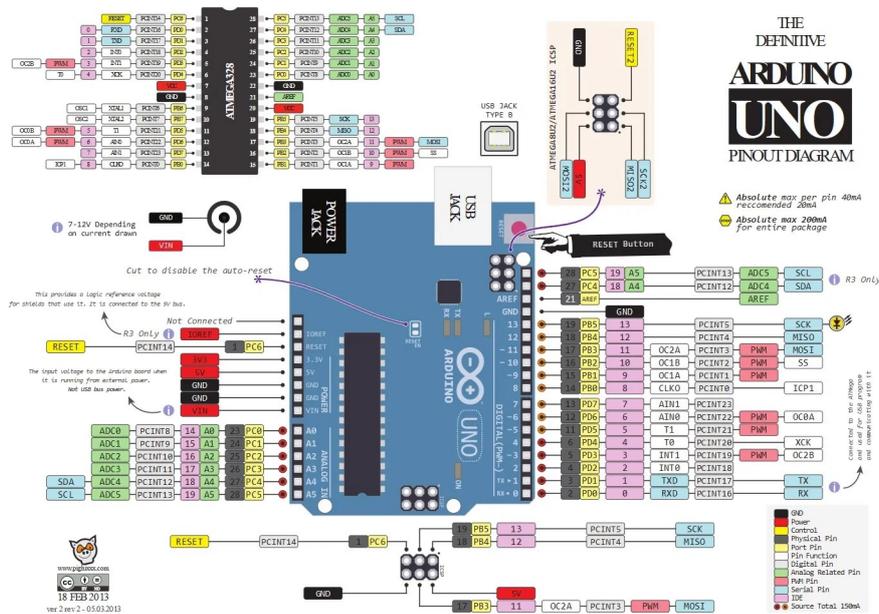


Figure 31. Arduino UNO v3 pinout.⁶⁰

Los SHIELD en Arduino son placas que se conectan directamente a los zócalos de pines del arduino y ofrecen una conexión directa con otros dispositivos o módulos. En nuestro caso se empleó un shield de CNC que resuelve todas las conexiones y electrónica asociada necesarias para el empleo de los DRV8825, la configuración de los mismos, el puerto i2c, etc.

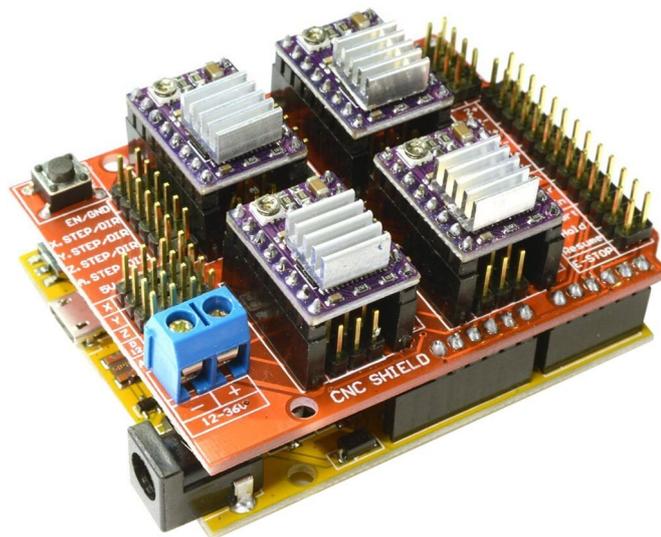


Figure 32. CNC Shield conectado a un Arduino UNO con 4 DRV8825.⁶¹

2.3.1.d Escáner 3D Shield

Siguiendo el conexionado del CNC SHIELD con el Arduino, empleando el software EDA KiCad se planteó el diseño de un shield dedicado para el escáner 3D. El mismo

60Fuente de la imagen: [enlace](#)

61Fuente de la imagen: [enlace](#)

cuenta con el siguiente conexionado, que a su vez respeta la misma disposición de pines del CNC SHIELD. De esta forma podemos usar ambos SHIELDS sin necesidad de cambiar el firmware.

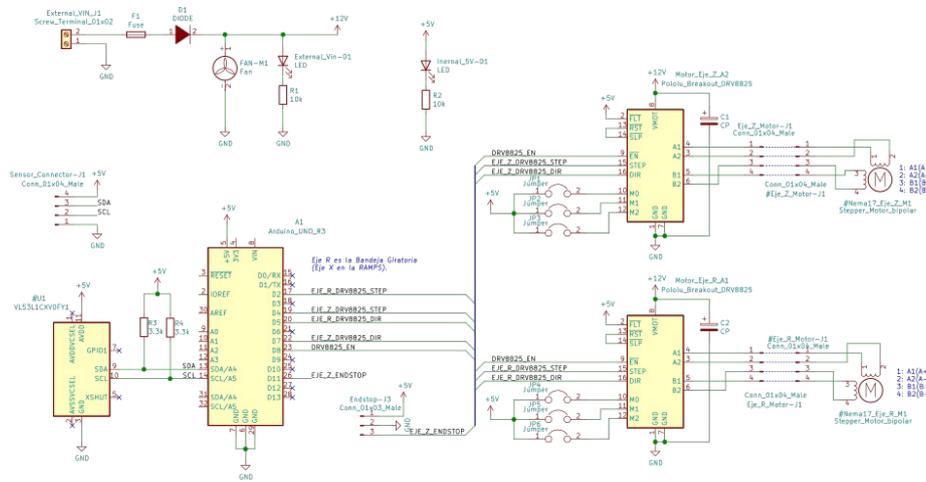


Figure 33. Esquema electrónico del SHIELD dedicado para el Escáner Láser 3D.

A partir de este esquemático se procedió con el diseño del PCB:

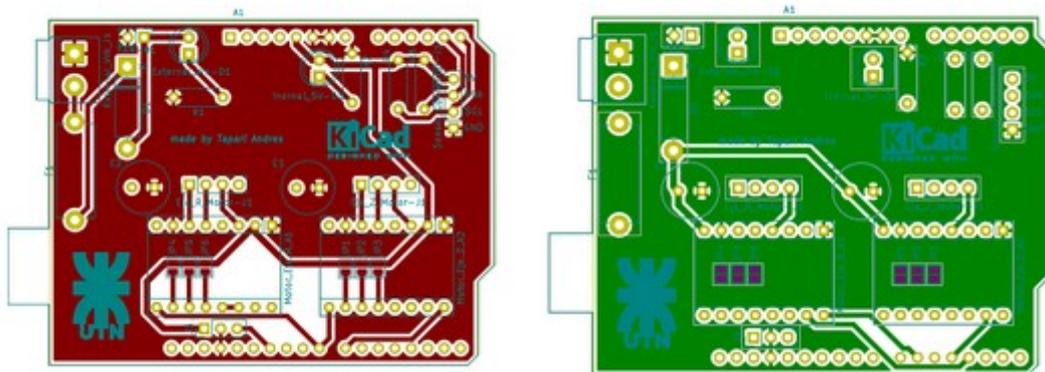


Figure 34. Izquierda) Pistas de cobre posterior. (Derecha) Pistas de cobre inferior.

Finalmente tenemos el render del SHIELD, que es una previsualización en 3D de cómo sería la placa una vez fabricada y con los componentes ya montados.

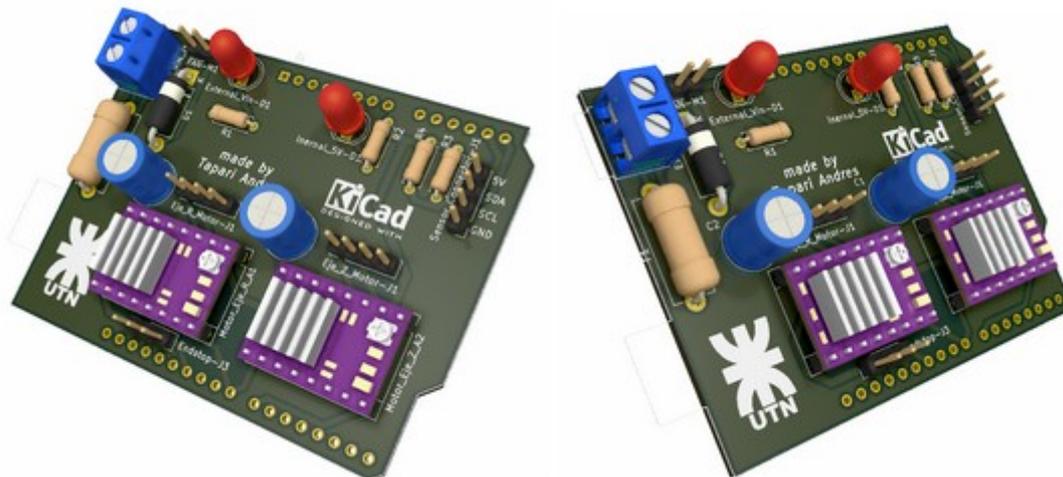


Figure 35. Vista desde distintos ángulos del Shield dedicados para el Escáner Láser 3D.

2.3.2 Software

El software se divide en dos partes. Por un lado tenemos la aplicación PC que ofrece una interfaz gráfica y diversas herramientas para el usuario a fin de lograr el objetivo de escanear y procesar una pieza digitalmente, y por el otro, el firmware que se encarga de administrar los periféricos, y procesar los comandos que la aplicación en PC le envía, y contestarlos.

La implementación realizada utiliza un aplicación script, desarrollada en GNU Octave, que controla el funcionamiento del hardware. La misma fue diseñada en Gui Editor, y se trata de un conjunto de scripts que son ejecutadas a través de una interfaz gráfica, empleando tanto las herramientas que provee el Octave, como también las que fueron implementadas y el procesamiento de los datos obtenidos.

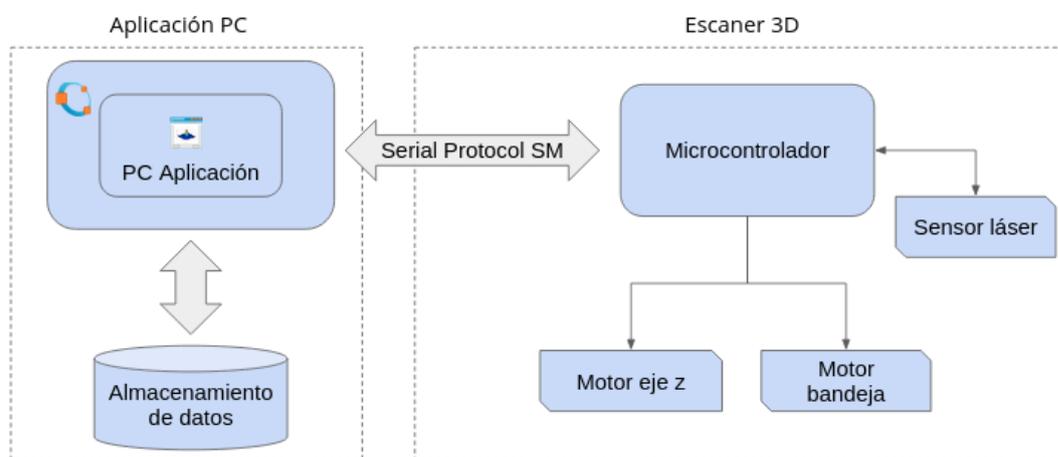


Figure 36. Diagrama de funcionamiento del escáner 3D conectado con la aplicación en PC.

2.3.1. Firmware

La placa de desarrollo Arduino internamente cuenta con distintas funciones que pueden ser invocadas desde la PC a través del puerto serie, y ejecutadas por el microcontrolador. Esta forma de comunicación se denomina Serial Protocol Scanner Mod, que es un protocolo de comunicación serie, modificada para el manejo y funcionamiento del escáner. Este protocolo está basado en el Serial Protocol que trae Gui Editor, el mismo sirve para poder hacer programas desde Octave y comande acciones en el Arduino.

El firmware cuenta con distintas funciones que permiten el manejo de los motores, y del sensor, los mismos son detallados más adelante.

2.3.2 Serial Protocol Scanner Mod

El funcionamiento del protocolo parte de considerar el escáner 3D, no como un solo elemento, sino, un conjunto de periféricos, donde tenemos ejes de movimientos y el sensor láser. Debido a este paradigma, las funciones implementadas no hacen referencia a los atributos o datos del escáner, ya que plantea el escaner como un contenedor de periféricos, y las funciones apuntan directamente contra los mismos, ejecutando órdenes o solicitando datos.

Las funciones poseen un número de comando, su nombre para ser ejecutadas, y

dependiendo el rol que que cumplan en el programa, tendrán más de un argumento.

CMD	Nombre	Argumentos
1	aScannerSensorInit	obj
2	aScannerSensorStartContinuousMode	obj
3	aScannerSensorStopContinuousMode	obj
4	aScannerSensorReadContinuousRange	obj
5	aScannerSensorReadSingleRange	obj
6	aScannerSensorReadSingleIterativeRange	obj,Iterations
7	aScannerSensorReadContinuousIterativeRange	obj,Iterations
10	aScannerAxisHome	obj,delayStep
11	aScannerAxisStopMotors	obj
12,13	aScannerAxisMove	obj, axis_op, newStep, newDir, delayStep

Table 3. Funciones disponibles para el protocolo de comunicación.

[err]= aScannerSensorInit(obj)

Argumentos:

- Obj: Objeto arduino a donde se envían las órdenes.

Retorna:

- Err: Bandera de error.

Función:

Inicializa el sensor VL53L0Xv2. Si no puede inicializarlo retorna una bandera de error que es igual a 1.

aScannerSensorStartContinuousMode(obj,delay_ms)

Argumentos:

- obj: Objeto arduino a donde se envían las órdenes.
- delay_ms: periodo de tiempo en milisegundos.

Función:

Inicia mediciones de rango continuas en el sensor. Si el argumento delay_ms es 0 (el valor predeterminado si no se especifica), se usa el modo continuo adosado (el sensor toma medidas con la mayor frecuencia posible); si es distinto de cero, se utiliza el modo temporizado continuo, con el período de intermedición especificado en milisegundos que determina la frecuencia con la que el sensor toma una medición.

aScannerSensorStopContinuousMode(obj)

Argumentos:

- obj: Objeto arduino a donde se envían las órdenes.

Función:

Detiene el modo de mediciones de rango continuas.

[dist] = aScannerSensorReadContinuousRange(obj)

Argumentos:

- Obj: Objeto arduino a donde se envían las órdenes.

Retorna:

- dist: Distancia en mm hacia el objetivo sensada.

Función:

La función devuelve una lectura de rango en milímetros cuando el modo continuo está activo.

[dist] = aScannerSensorReadSingleRange(obj)

Argumentos:

- Obj: Objeto arduino a donde se envían las órdenes.

Retorna:

- dist: Distancia en mm hacia el objetivo sensada.

Función:

Realiza una medición de rango de un solo disparo y devuelve la lectura en milímetros.

[val] = aScannerSensorReadSingleIterativeRange(obj,iterations)

Argumentos:

- Obj: Objeto arduino a donde se envían las órdenes.
- Iterations: Número de iteraciones a realizar

Retorna:

- dist: Distancia en mm hacia el objetivo sensada.

Función:

Realiza una cantidad establecida de iteraciones de medición de rango de un solo disparo, y devuelve el promedio de estas lecturas.

[val] = aScannerSensorReadContinuousIterativeRange(obj,iterations)

Argumentos:

- Obj: Objeto arduino a donde se envían las órdenes.
- Iterations: Número de iteraciones a realizar

Retorna:

- dist: Distancia en mm hacia el objetivo sensada.

Función:

Realiza una cantidad establecida de iteraciones de medición de rango en modo continuo, y devuelve el promedio de estas lecturas.

[val,err] = aScannerAxisHome(obj,delay_step)

Argumentos:

- Obj: Objeto arduino a donde se envían las órdenes.
- delay_step: delay entre pasos del motor en el orden de los microsegundos

Retorna:

- val: Retorna el valor leído en el endstop
- Err: Bandera de error.

Función:

Lleva el carro al origen de coordenadas, a la velocidad establecida con delay_step. Si después de un tiempo no detecta que el carro del sensor llegó a origen, devuelve un 1 en la bandera de error.

aScannerAxisStopMotors(obj)

Argumentos:

- Obj: Objeto arduino a donde se envían las órdenes.

Función:

- Detiene el accionamiento de los motores.

[val,error] = aScannerAxisMove(obj,axis_op, newStep, newDir, delayStep)

Argumentos:

- Obj: Objeto arduino a donde se envían las órdenes.
- Axis_op: Eje el cual se desea mover, 'z', 'Z', 'r' o 'R'.
- newStep: Cantidad de pasos a mover. Máximo 255
- newDir: Dirección de rotación, 1 o 0.
- delay_step: delay entre pasos del motor en el orden de los microsegundos, máximo 255.

Retorna:

- val: Retorna el valor leído en el endstop
- Err: Bandera de error.

Función:

Mueve el eje establecido en axis_op, la cantidad y la dirección que tenga en newStep y newDir, donde 0 es en sentido de las agujas del reloj, y 1 en sentido contrario.

Este conjunto de funciones provee de una serie completa de herramientas, que permiten controlar el escáner desde Octave, sin necesidad de modificar el firmware grabado dentro del microcontrolador, al momento de agregar nuevas funcionalidades.

2.3.3 Interfaz de Usuario

El funcionamiento interno de la aplicación plantea que por cada acción que se ejecute se guarda un archivo de datos. El mismo es consultado para realizar operaciones posteriores. Estos archivos están alojados en la carpeta de trabajo de la aplicación, la dirección del workspace de Octave en el momento que se ejecute la aplicación, o la

dirección que el usuario desee.

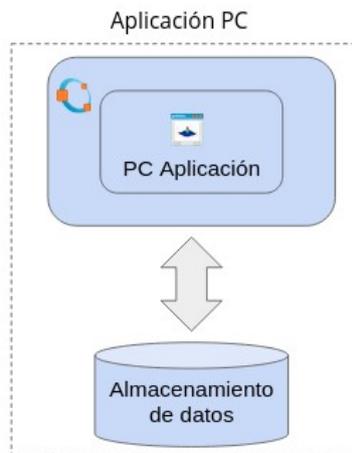


Figure 37. Funcionamiento interno de la aplicación.

Para el fácil manejo del escáner por parte del usuario, se implementó la siguiente interfaz. La misma reúne un conjunto de acciones y parámetros para configurar la puesta en marcha del equipo.

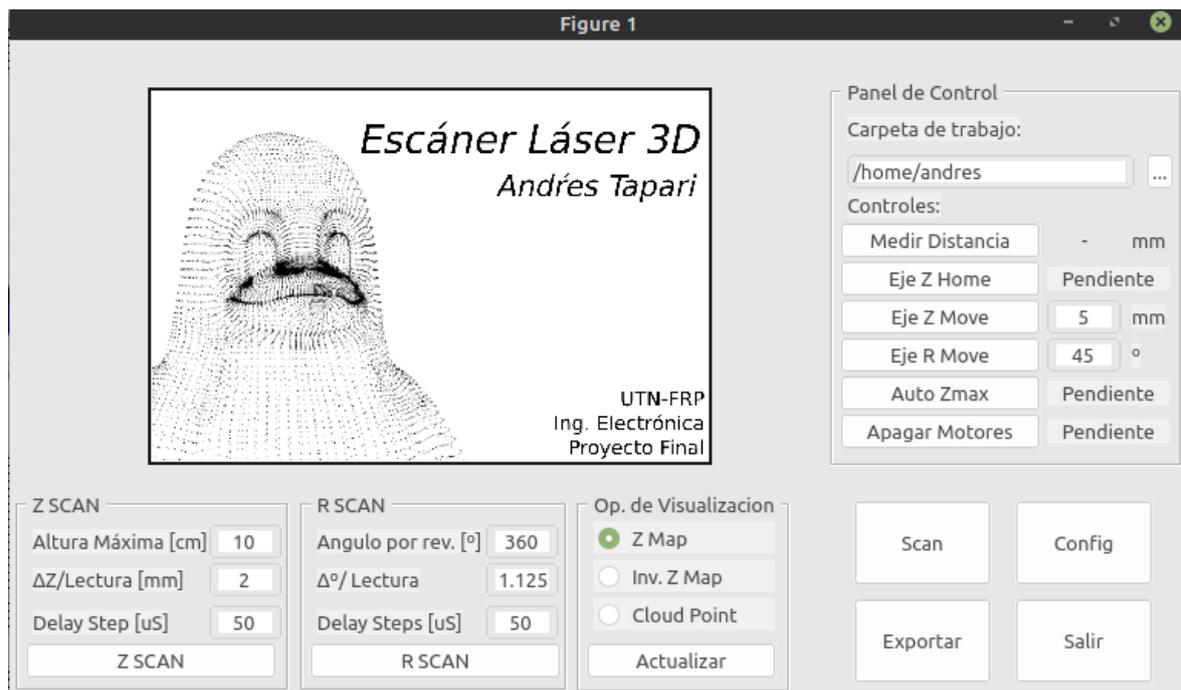


Figure 38. Interfaz de usuario de la aplicación del Escáner Láser 3D.

Tenemos 4 grupos:

- **Panel de control:** Posee botones para ejecutar acciones puntuales sobre el escáner:
 - Medir Distancia: Inicializa el sensor y realiza una lectura de distancia. El resultado de la misma se muestra en la etiqueta junto a este botón en mm.
 - Eje Z Home: Desplaza el carro al origen de coordenadas.
 - Eje Z Move: Desplaza el carro la cantidad establecida en el cuadro de edición junto a este botón en mm.
 - Eje R Move: Gira la bandeja giratoria la cantidad de grados establecido en el cuadro de edición junto a este botón en grados.

- Auto Zmax: Desplaza el carro desde el origen de coordenadas hasta la altura donde deje de detectar la pieza y establece este valor como la Altura Máxima en Z scan.
- Apagar Motores: Apaga los motores permitiendo accionar los ejes con la mano.
- Carpeta de trabajo: Permite establecer la ruta a la carpeta de trabajo o workspace, todos los datos de los distintos ensayos y escaneos realizados serán alojados aquí.
- **Z Scan**: Reúne la configuración que requiere el escáner para realizar un barrido en Z. El resultado de de este ensayo se mostrará en el axis gráfico de la interfaz.
 - Altura Máxima [cm]: Es la distancia más alta a la que el carro viajará durante este ensayo, en centímetros.
 - AZ/Lectura [mm]: Es el intervalo de distancia que el carro se desplazará entre cada lectura.
 - Delay Step [uS]: Son las demoras en microsegundos que el motor del eje z, entre sus pasos, la velocidad de giro es inversa a este parámetro.
- **R Scan**: Reúne la configuración que requiere el escáner para realizar un barrido horizontal. El resultado de de este ensayo se mostrará en el axis gráfico de la interfaz.
 - Grad. de Giro[º]: Es la cantidad de ángulos total que la bandeja girará durante este ensayo.
 - Aº/Lectura: Son los intervalos de giro en grados que la bandeja rotará entre cada lectura.
 - Delay Step [uS]: Son las demoras en microsegundos que el motor del eje z, entre sus pasos, la velocidad de giro es inversa a este parámetro.
- **Op. de Visualización**: La información alojada en la carpeta de trabajo, o workspace de Octave, puede ser visualizada a partir de este panel.
 - Z Map: Gráfica una masha en 3D donde se muestran los relieves de la superficie censada.
 - Z Map Inv.: Gráfica una masha en 3D inversa donde se muestran los relieves de la superficie censada.
 - Cloud Point: Gráfica una nube de puntos en 3D, representando con '.' las coordenadas de los puntos de la superficie censada.

Botón Scan

Colocando una pieza en la bandeja, asegurando la con cinta adhesiva y con todos los parámetros ya establecidos en la interfaz, haremos click en "Scan".



Figure 39. Imagen de pieza objetivo en el ensayo Scan.

Durante este ensayo, el programa tomará los parámetros establecidos en “Z Scan” y “R Scan”, como configuración para realizar el escaneo de la pieza. Primero dará una revolución de la bandeja tomando una muestra de distancia por salto en la rotación y luego cambiará la altura del carro del sensor para volver a tomar datos hasta realizar otra revolución. Esta operación se repetirá hasta que el carro del sensor, haya alcanzado la altura máxima.

Los datos son alojados en una matriz, donde las dimensiones de la misma se calculan a partir de la distancia total que debe girar cada eje dividido el salto que debe hacer por lectura.

Si nuestra matriz de lecturas es A[m,n], entonces m y n se calculan de la siguiente forma.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad \begin{aligned} m &= \frac{\text{Distancia Z total}}{\text{Salto en Z de lectura}} \\ n &= \frac{\text{Grados en R por revolución}}{\text{Saltos de grad. en R por lectura}} \\ a_{mn} &= \text{distancia sensada.} \end{aligned}$$

Ecuación 6. Matriz de datos, dimensiones y valores.

De una matriz de A[200x100], donde se tomaron 200 muestras por revolución y 100 muestras en saltos de 1[mm] donde cada valor contiene la distancia censada, podemos construir la siguiente malla.

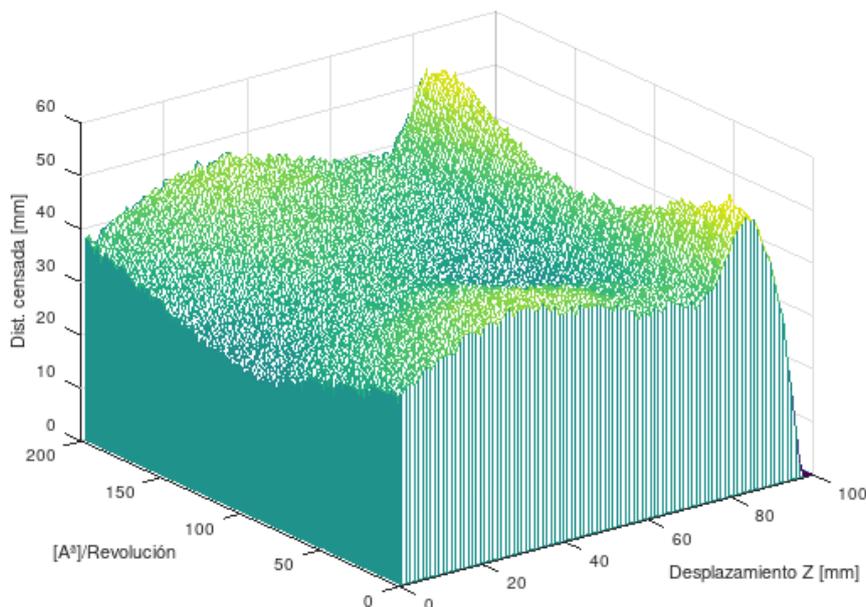


Figure 40. Representación gráfica de la matriz de datos obtenida al procesar 2000 muestras.

Una vez obtenida esta matriz, el programa pasará a calcular la nube puntos. Esto significa que a cada elemento de la matriz en función de su magnitud y posición dentro de la matriz se le asigna una coordenada en el espacio (x, y, z). La forma que lo hace es la siguiente:

$$\text{Si } m = \frac{\text{Distancia Z total}}{\text{Salto en Z por lectura}} \text{ y } n = \frac{\text{Grado R de giro total}}{\text{Salto en grad. R por lectura}}$$

Entonces las coordenadas se calculan de la siguiente forma:

```

for i=1:n
    for j=1:m
        x=A(i,j)*cos(deg2rad(ΔR*i)); //donde ΔR es el salto en grados lectura
        y=A(i,j)*sin(deg2rad(ΔR*i)); //donde ΔR es el salto en grados por lectura.
        z=j*ΔZ; //donde ΔZ es el salto en z por lectura.
        cloud(:,indice + j)=[x,y,z]; // [x,y,z] son almacenados en la matriz cloud
    end
    indice = indice + m; //Se desplaza el índice m espacios para seguir cargando datos.
end
    
```

El resultado de este algoritmo, es una matriz denominada cloud cuyas dimensiones son [3,m.n], donde la distribución de coordenadas es la siguiente:

$$\text{cloud}[3, m \cdot n] = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & \dots & x_{n \cdot m} \\ y_1 & y_2 & y_3 & y_4 & \dots & y_{n \cdot m} \\ z_1 & z_2 & z_3 & z_4 & \dots & z_{n \cdot m} \end{bmatrix}$$

Ecuación 7. Matriz de coordenadas.

Finalmente esta matriz es el objetivo de todo el proyecto. En la misma están contenidas las coordenadas de los puntos medidos, y es lo que posteriormente se usa en conjunto de otros programas para obtener la representación digital de la pieza escaneada.

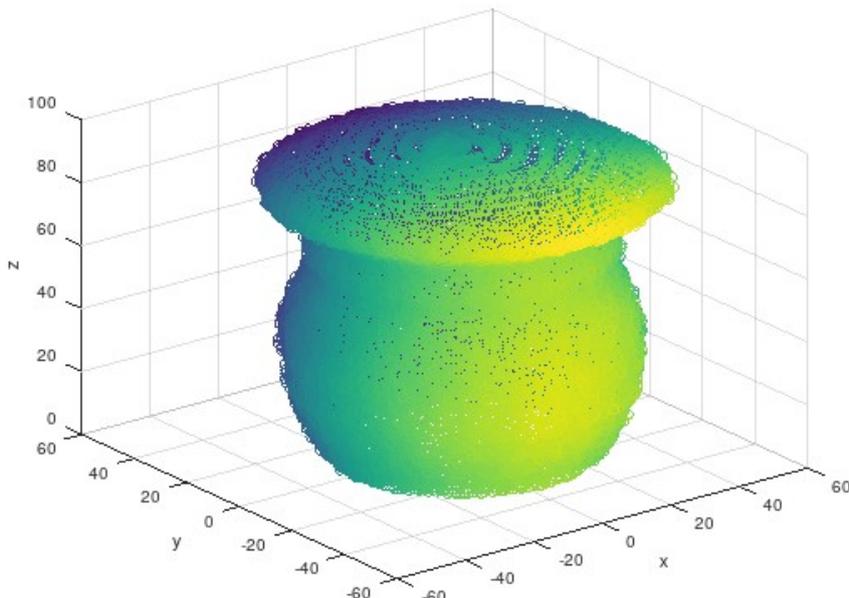


Figure 41. Reconstrucción de la nube de puntos. El gradiente representa la profundidad Respecto el eje y.

Botón Exportar

Figure 42. Ventana de diálogo para exportar archivos.

Una vez obtenida la pieza en la dirección de trabajo se encuentran los dos archivos generados en el paso anterior. Si se desea guardarlos o exportarlos a otra dirección dentro del sistema de archivos de la computadora, se puede usar el botón export, que nos abre una ventana de diálogo, donde podemos establecer la carpeta destino y los tipo de archivo que deseamos exportar, los mismos son los siguientes:

- .mat (matriz de coordenadas de octave).
- .asc (nube de puntos en ASCII).

Botón Config

La aplicación a su vez nos permite establecer algunos parámetros por defecto. Estos serán cargados cada vez que la aplicación inicie. Los parámetros son los que se muestran en la aplicación y también algunos parámetros del sensor, como la iteración de lectura, el distancia hacia el centro de la bandeja y el periodo de lectura, en la inicialización del sensor.

El archivo de configuración se guarda en la carpeta local de la aplicación, si este archivo no existe por que la aplicación nunca antes se había iniciado o si el mismo es borrado, se creará una versión con parámetros por defecto cuando la aplicación inicie.



Figure 39. Ventana de configuración.

Capítulo 3: Resultados

3.1.1 Resultados generales.

Con el presente proyecto, se logró obtener una estructura mecánica con piezas impresas en 3D, diseñada en software libre facilitando su accesibilidad para todo el mundo, y a su vez permitiendo futuras mejoras o modificaciones.

En el software se obtuvo una plataforma de trabajo entre el escáner y Octave, que incluye un firmware, un protocolo de comunicación y la aplicación en Octave. Durante el proceso de desarrollo, dentro de Octave se creó un conjunto de herramientas para procesar los datos y generar las nube de puntos donde se contemplaron filtros y scripts para generar archivos.

Se propuso SHIELD que hace de interfaz entre la placa de desarrollo arduino y los motores del escáner, el cual se puede construir a partir de los planos propuestos en este trabajo.

A continuación se muestran una serie imágenes de las digitalizaciones obtenidas a partir de ensayar con distintos tipos de piezas y materiales.

3.1.1.a Mate de madera:

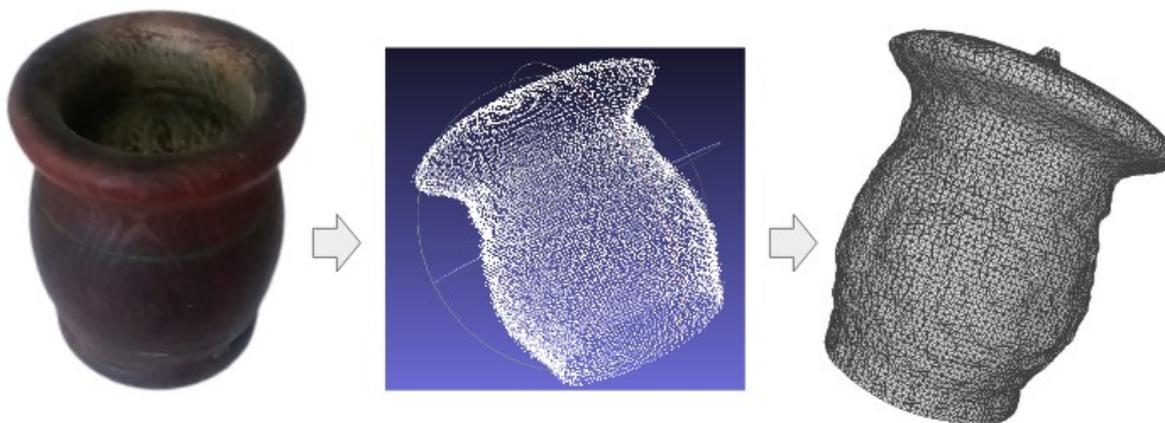


Figure 43. Malla generada a partir de un mate de algarrobo (material madera).

3.1.1.b Pelota tejida

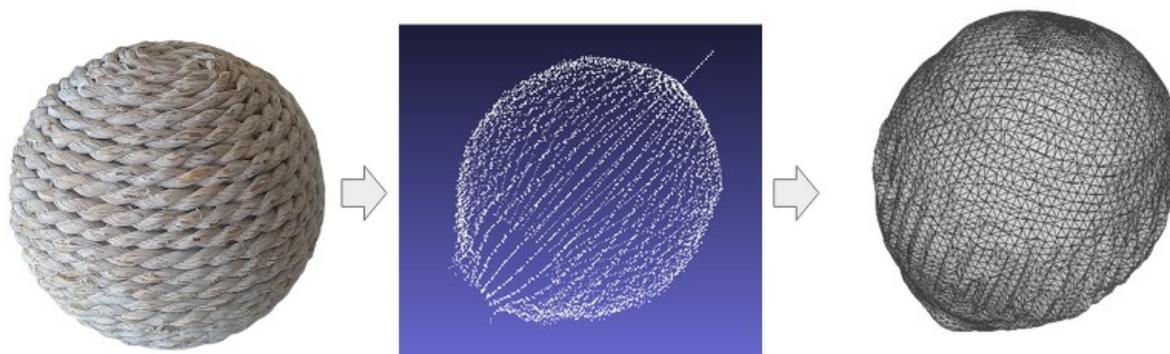


Figure 44. Malla generada a partir de una pelota tejida (material madera).

3.1.1.c Tee de plástico:

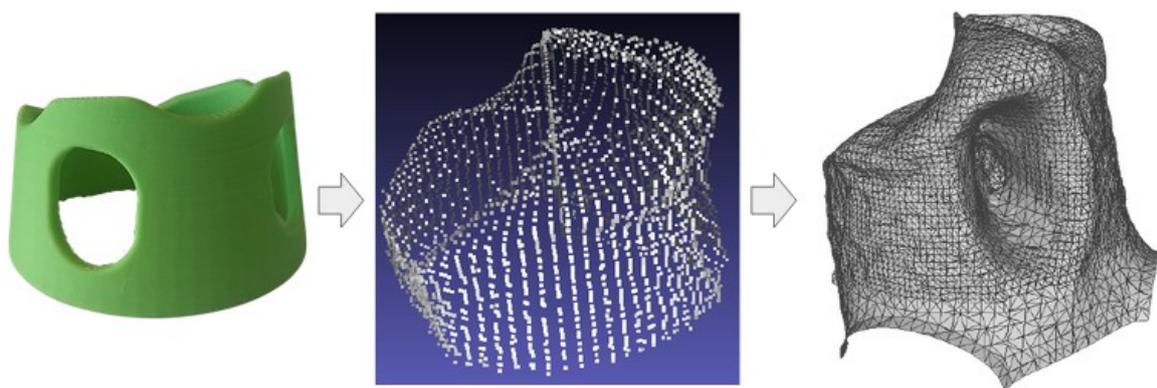


Figure 45. Malla generada a partir de un tee de rugby (material plástico).

Capítulo 4: Análisis de costos

Los costos de este producto se plantean en base a la construcción de un primer prototipo de escáner 3D basado en placa de desarrollo arduino, shields asociados, y software libre. El año en que comenzó la construcción del primer prototipo en el mes de Julio del año 2019.

4.1.1 Costos del prototipo.

Cantidad	Componente	Precio Unitario	Precio por grupo
1	Arduino Uno	\$349	\$349
1	Sensor vI53I0x	\$670	\$670
1	Shield CNC + 4 Pololu	\$369	\$369
2	Bobinas de Plastico	\$750	\$1500
2	Motor Nema 17	\$960	\$1920
1	Acople Flexible 5m A 8m	\$85	\$85
1	Endstop	\$86	\$86
3	Varilla Roscada 1M	\$64	\$192
20	Tuercas 5/8	\$1,25	\$25
11	Esferas de 16mm de diámetro	\$70	\$770
2	Ruleman 608zz	\$22	\$44
Total			\$6008

Table 4. Costos del prototipo (2019)

4.1.2 Costo de ampliación.

Cantidad	Componente	Precio Unitario	Precio por grupo
1	NODEMCU ESP32	\$1200	\$1200
1	LPC4337 EDU-CIAA	\$2000	\$2000
1	Placa Epoxi 20x20	\$50	\$50
Total			\$3250

Table 5. Costos de ampliación (2019)

Capítulo 5: Discusión y Conclusión

5.1.1 Discusión

Una de las dificultades encontradas durante la realización de este trabajo, es la diferencia de forma que aparece entre la digitalización de la pieza y la pieza misma. El problema radica en el campo de visión del sensor. Al tener una superficie de detección tan amplia, pierde la certeza del punto que está censando para diferentes formas, superficies y profundidades. El modo de lectura que se implementó para solucionar esto es calculando el promedio de una serie de lecturas cuyos puntos de medición son desconocidos dentro de una área conocida, a fin de ajustar todas las lecturas que se hacen sobre esta región, a un único valor.

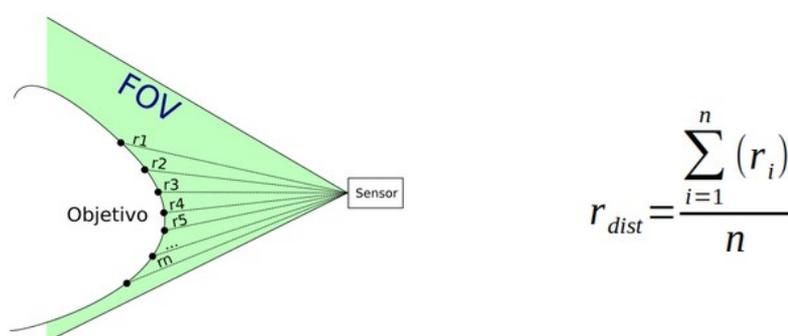


Figure 46. Representación gráfica de la mitigación de incertidumbre en la lectura.
Ecuación 7. Cálculo de distancia de un conjunto de muestras.

Debido a esta forma de implementación de la lectura, las coordenadas censadas no corresponden a puntos sobre la pieza, si no, al promedio del conjunto de puntos en regiones sobre la pieza objetivo, y es debido a esto que las coordenadas obtenidas serán aproximadas a la forma general de la pieza.

Otra dificultad encontrada en este trabajo, es la diferencia del índice de reflexión que tienen distintos materiales. Una pieza que se constituya por distintos materiales, por ejemplo una etiqueta de papel sobre una pieza de plástico, puede provocar una diferencia sustancialmente grande de distancias censadas. Para el funcionamiento del equipo es necesario que las piezas censadas sean de materiales homogéneos, y en el caso que sean compuestos de distintos materiales, deben ser recubiertos (pintura, papel aluminio, etc).

5.1.2 Conclusión

No obstante los problemas encontrados con este sensor, el aporte más significativo e importante que este proyecto tiene, es que establece un punto de partida en los métodos de escaneo 3D, al estar hecho con software libre tanto su lenguaje de programación como el hardware y sus piezas. La reproducibilidad del escáner, su programación e implementación de las mejoras quedan a la completa disposición de quien lo desee.

De esta forma es como el proyecto puede evolucionar, contemplando soluciones y mejoras a los problemas encontrados durante este trabajo.

5.1.3 Posibles Mejoras

Se plantean una serie de mejoras al escáner 3D.

5.1.3.a Cambio de sensor

El principal problema de este sensor para nuestra aplicación es su amplio campo de visión, cuya apertura es de 25 a 27°. La siguiente serie de sensores de esta familia, la VL53L1x, permite poder establecer la región de intereses o ROI. Esto significa que en nuestro caso podemos disminuir la apertura del FOV, de 27° a 15°, haciendo más pequeña la superficie censada, mejorando la precisión del escáner.

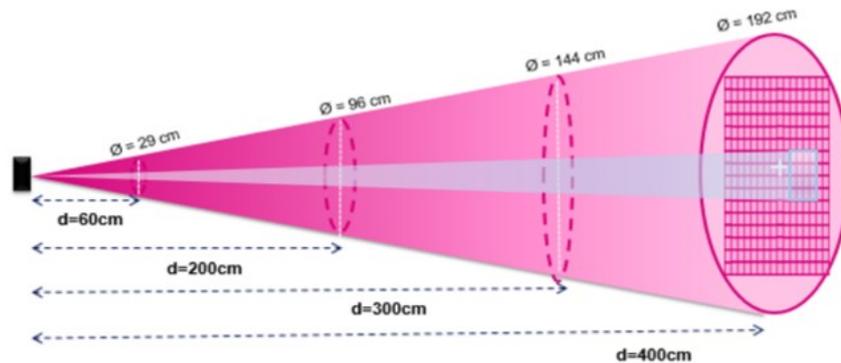


Figure 47. Empleo de la región de interés(ROI).

62

5.1.2.b Cambio del principio de funcionamiento, por imágenes.

Otra forma sería aprovechando la estructura del escáner y sus ejes de movimientos reemplazar el sensor láser de distancia por una cámara, y trabajar el escáner por detección de contornos y relleno de formas.



Figure 48. Pieza objetivo, y reconstrucción 3D a partir de la detección de formas y relleno con vóxeles.⁶³

62Fuente de la imagen: [enlace](#)

63Fuente de la imagen: [enlace](#)

Repositorio del proyecto

https://gitlab.com/Tapa_The_Mighty/escaner_laser_3d

Software empleado

<https://www.freecadweb.org/>

<https://kicad.org/>

<https://gitlab.com/labinformatica/guieditor/>

<https://www.gnu.org/software/octave/index>

<https://www.arduino.cc/en/software>

<https://inkscape.org/es/>

<https://ultimaker.com/es/software/ultimaker-cura>

Datasheets

https://components101.com/asset/sites/default/files/component_datasheet/VL53L0X.pdf

<https://ar.mouser.com/new/stmicroelectronics/stm-tof-proximity-sensor/>

Literatura citada

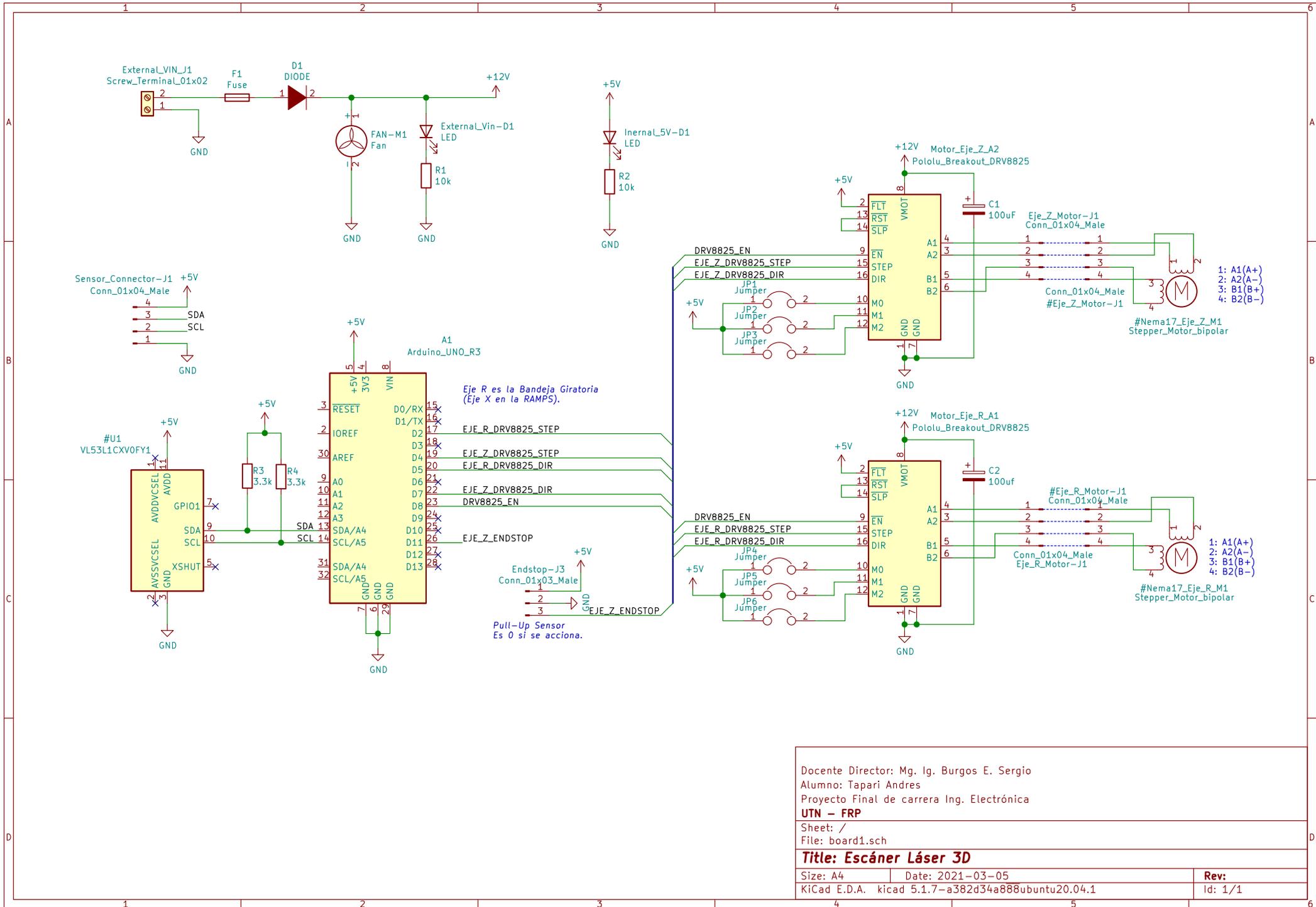
- [1] TOF, disponible: https://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%A1mara_de_tiempo_de_vuelo
- [2] Open Source, disponible: https://es.wikipedia.org/wiki/Software_de_c%C3%B3digo_abierto
- [3] GUI, disponible:
 - https://es.wikipedia.org/wiki/Interfaz_gr%C3%A1fica_de_usuario
- [4] Hardware, disponible: <https://www.significados.com/hardware/>
- [5] PC , disponible: https://es.wikipedia.org/wiki/Computadora_personal
- [6] MATLAB, disponible: <https://es.wikipedia.org/wiki/MATLAB>
- [7] BATCHPROGRAMGIN, disponible: https://es.ryte.com/wiki/Programaci%C3%B3n_en_Lote
- [8] C , disponible: [https://es.wikipedia.org/wiki/C_\(lenguaje_de_programaci%C3%B3n\)](https://es.wikipedia.org/wiki/C_(lenguaje_de_programaci%C3%B3n))
- [9] c++, disponible: <https://es.wikipedia.org/wiki/C%2B%2B>
- [10] FORTRAN, disponible: <https://es.wikipedia.org/wiki/Fortran>
- [11] Shell, disponible: <https://blog.desdelinux.net/que-es-un-shell/>
- [12] IDE, disponible: https://es.wikipedia.org/wiki/Entorno_de_desarrollo_integrado
- [13] GUI editor, disponible: <https://gitlab.com/labinformatica/guieditor>
- [14] Script, disponible: <https://es.wikipedia.org/wiki/Script>
- [15] Qt, disponible: [https://es.wikipedia.org/wiki/Qt_\(biblioteca\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Qt_(biblioteca))
- [16] FreeCAD, disponible: https://wiki.freecadweb.org/Getting_started/es.
- [17] CAD, disponible: https://es.wikipedia.org/wiki/Dise%C3%B1o_asistido_por_computadora
- [18] Cura, disponible: [https://es.wikipedia.org/wiki/Cura_\(software\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Cura_(software))
- [19] Gcode, disponible: <https://es.wikipedia.org/wiki/G-code>
- [20] Rodamiento Axial, disponible: <https://es.wikipedia.org/wiki/Rodamiento>
- [21] Paso, disponible: https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_paso_a_paso
- [22] USB, disponible: https://es.wikipedia.org/wiki/Universal_Serial_Bus
- [23] Perifericos, disponible: [https://es.wikipedia.org/wiki/Perif%C3%A9rico_\(inform%C3%A1tica\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Perif%C3%A9rico_(inform%C3%A1tica))
- [24] Nube de puntos, disponible: https://es.wikipedia.org/wiki/Nube_de_puntos
- [25] Voltaje, disponible: [https://es.wikipedia.org/wiki/Tensi%C3%B3n_\(electricidad\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Tensi%C3%B3n_(electricidad))
- [26] Corriente Eléctrica, disponible: https://es.wikipedia.org/wiki/Corriente_el%C3%A9ctrica
- [27] PinOut, disponible: <https://es.wikipedia.org/wiki/Pinout>
- [28] Interfaz, disponible: <https://www.significados.com/interfaz/>
- [29] Pin, disponible: [https://es.wikipedia.org/wiki/Pin_\(electr%C3%B3nica\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Pin_(electr%C3%B3nica))
- [30] Resistencia eléctrica, disponible: https://es.wikipedia.org/wiki/Resistencia_el%C3%A9ctrica
- [31] Infrarrojo, disponible: https://es.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3n_infrarroja
- [32] VCSEL, disponible: https://en.wikipedia.org/wiki/Vertical-cavity_surface-emitting_laser
- [33] SPAD, disponible: https://en.wikipedia.org/wiki/Single-photon_avalanche_diode
- [34] FlightSense, disponible:
https://www.st.com/content/ccc/resource/sales_and_marketing/presentation/product_presentation/group0/e0/84/0c/fb/11/ec/49/1d/SensorsLive_LiDAR_Chip/

files/SensorsLive_LiDAR_Chip.pdf/jcr:content/translations/
en.SensorsLive_LiDAR_Chip.pdf

- [35] FOV, disponible: https://es.wikipedia.org/wiki/Campo_de_visi%C3%B3n
- [36] Microcontrolador, disponible: <https://es.wikipedia.org/wiki/Microcontrolador>
- [37] i2c, disponible: <https://es.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C>
- [38] SHIELD, disponible: <https://arduino.cl/que-es-un-shield/>
- [39] CNC, disponible: https://es.wikipedia.org/wiki/Control_num%C3%A9rico
- [40] EDA, disponible: https://es.wikipedia.org/wiki/Automatizaci%C3%B3n_de_dise%C3%B1o_electr%C3%B3nico
- [41] KICAD, disponible: <https://es.wikipedia.org/wiki/KiCad>
- [42] PCB, disponible: https://es.wikipedia.org/wiki/Circuito_impreso
- [43] Matriz Numérica, disponible: [https://es.wikipedia.org/wiki/Matriz_\(matem%C3%A1ticas\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Matriz_(matem%C3%A1ticas))
- [44] Algoritmo, disponible: <https://es.wikipedia.org/wiki/Algoritmo>
- [45] ROI, disponible: https://www.st.com/resource/en/application_note/dm00516219-using-the-programmable-region-of-interest-roi-with-the-vl53l1x-stmicroelectronics.pdf
- [46] Voxel <https://es.wikipedia.org/wiki/V%C3%B3xel>

Anexo 1

Esquemático del SHIELD dedicado para el escáner láser 3D



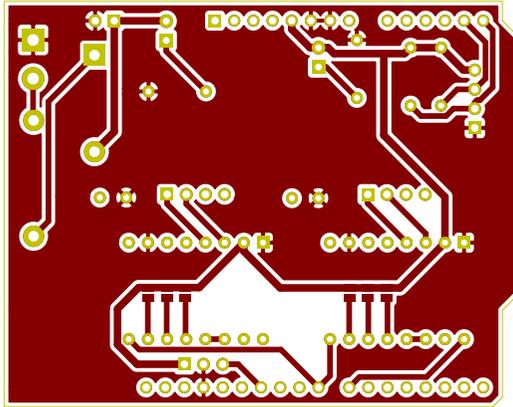
Docente Director: Mg. Ig. Burgos E. Sergio
 Alumno: Tapari Andres
 Proyecto Final de carrera Ing. Electrónica
UTN – FRP

Sheet: /
 File: board1.sch

Title: Escáner Láser 3D

Size: A4 Date: 2021-03-05
 KiCad E.D.A. kicad 5.1.7-a382d34a888ubuntu20.04.1

Rev:
 Id: 1/1



Docente Director: Mg. Ing. Burgos E. Sergio
Alumno: Tapari Andres
Proyecto Final de carrera Ing. Electrónica

UTN - FRP

Sheet:

File: board1.kicad_pcb

Title: Escáner Láser 3D

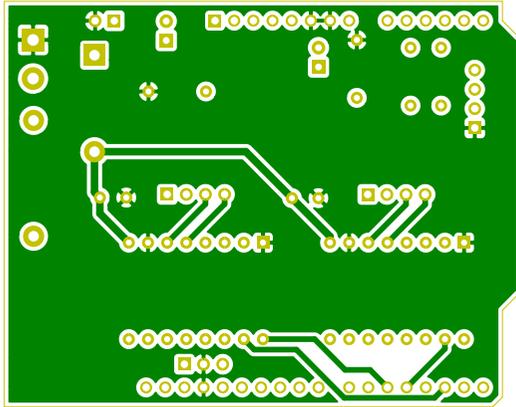
Size: A4

Date: 2021-03-05

Rev:

KiCad E.D.A. kicad 5.1.7-a382d34a888ubuntu20.04.1

Id: 1/1



Docente Director: Mg. Ig. Burgos E. Sergio
Alumno: Tapari Andres
Proyecto Final de carrera Ing. Electrónica

UTN - FRP

Sheet:

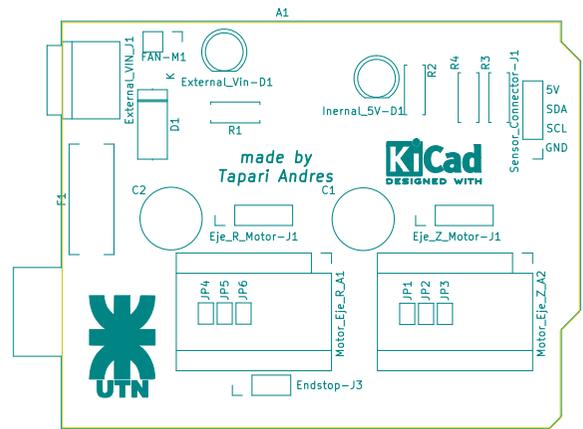
File: board1.kicad_pcb

Title: Escáner Láser 3D

Size: A4 Date: 2021-03-05

KiCad E.D.A. kicad 5.1.7-a382d34a888ubuntu20.04.1

Rev:
Id: 1/1



Docente Director: Mg. Ig. Burgos E. Sergio
 Alumno: Tapari Andres
 Proyecto Final de carrera Ing. Electrónica

UTN - FRP

Sheet:
 File: board1.kicad_pcb

Title: Escáner Láser 3D

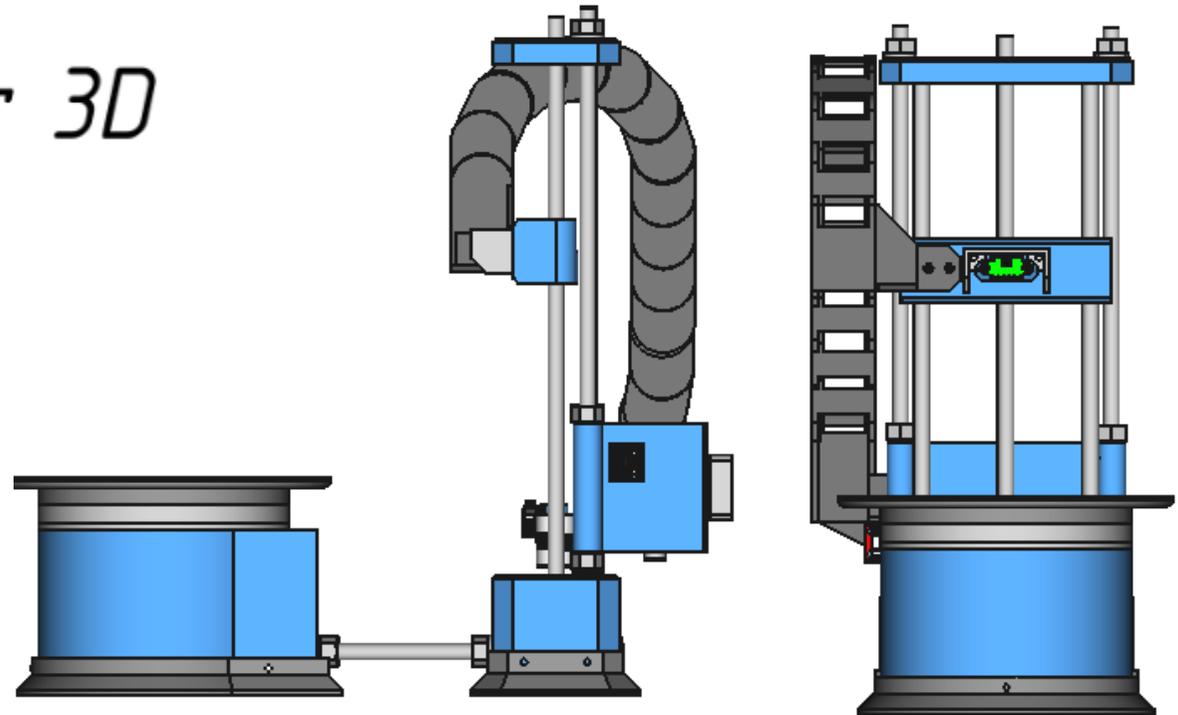
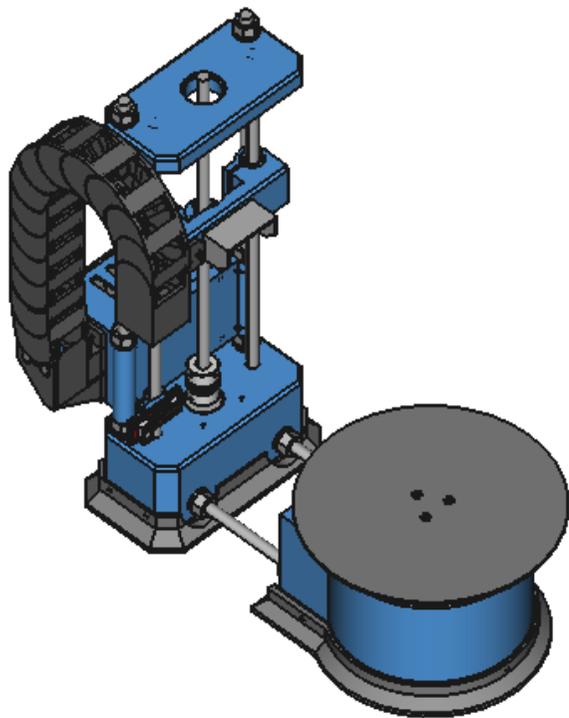
Size: A4
 Date: 2021-03-05
 KiCad E.D.A. kicad 5.1.7-a382d34a888ubuntu20.04.1

Rev:
 Id: 1/1

Anexo 2

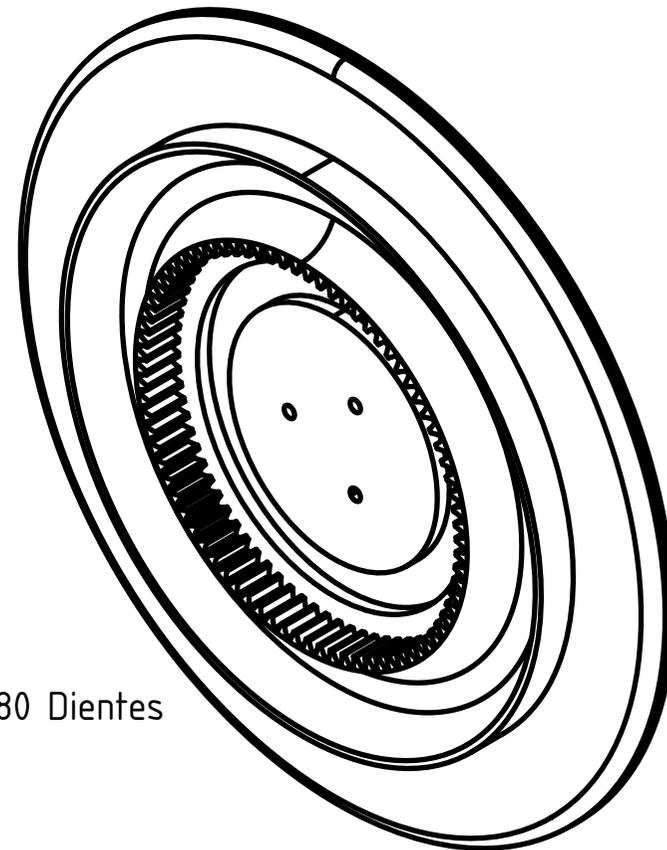
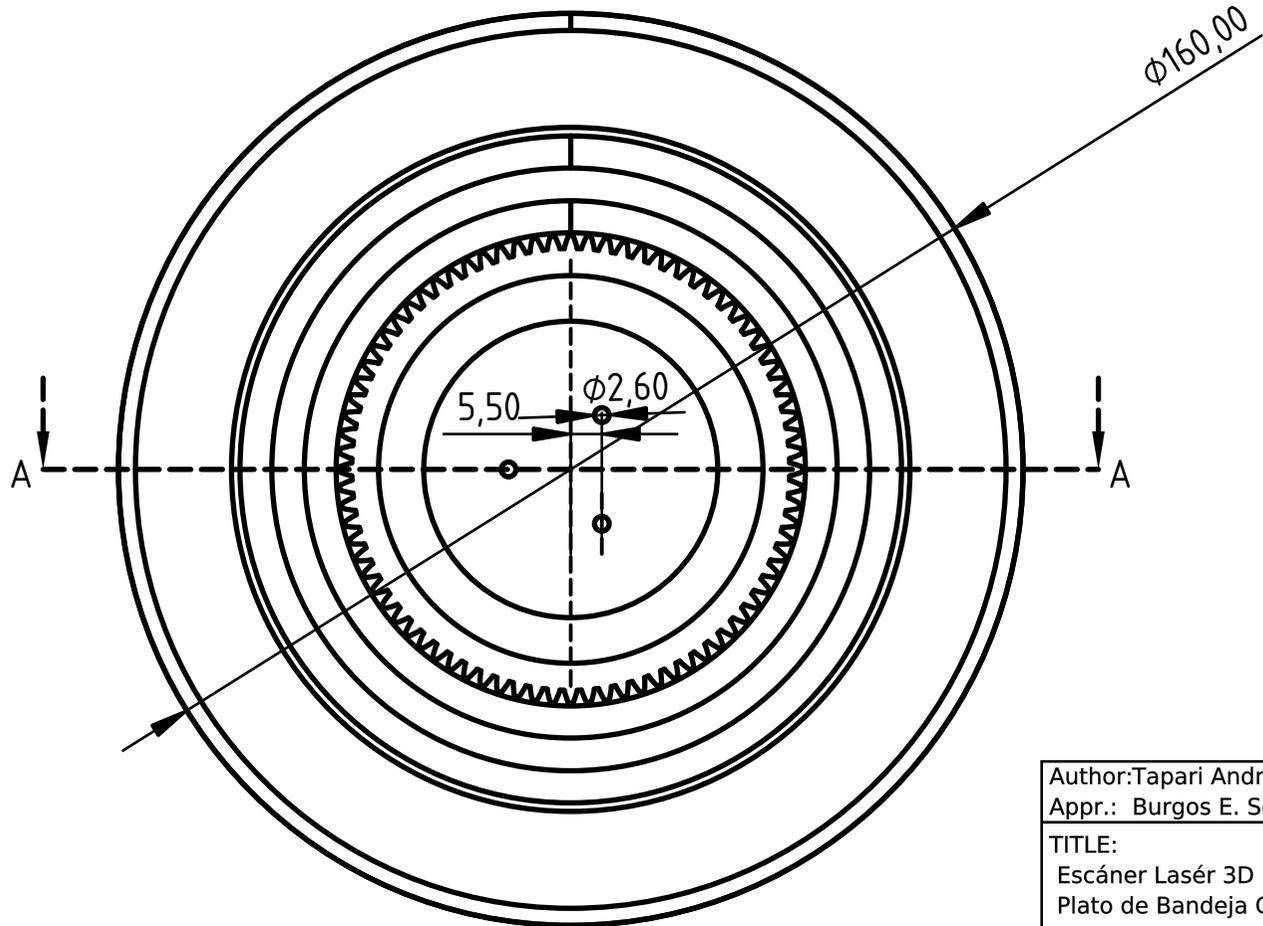
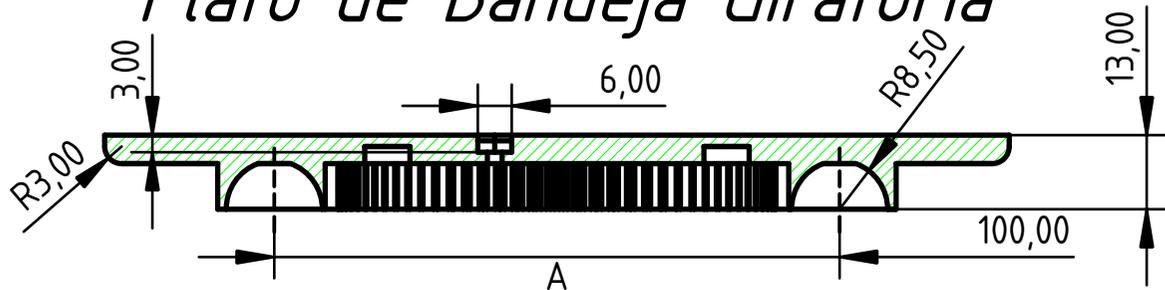
Planos de cotas y ensamblajes

Escáner Láser 3D



Author: Tapari Andres Appr.: Burgos E. Sergio	Legal owner: OWNER NAME	Scale: M -:- Toler.: +/- ?	Sheet: 0 of 20 Size: A4
		Part material: Part number:	
		Drawing no.: 0	
		Date: 01/03/2021	Revision: REV A
Document type: Mechanical assembly drawing			
(R) DO NOT DUPLICATE THIS DRAWING TO THIRD PARTIES WITHOUT OWNER'S PERMISSION			

Plato de Bandeja Giratoria

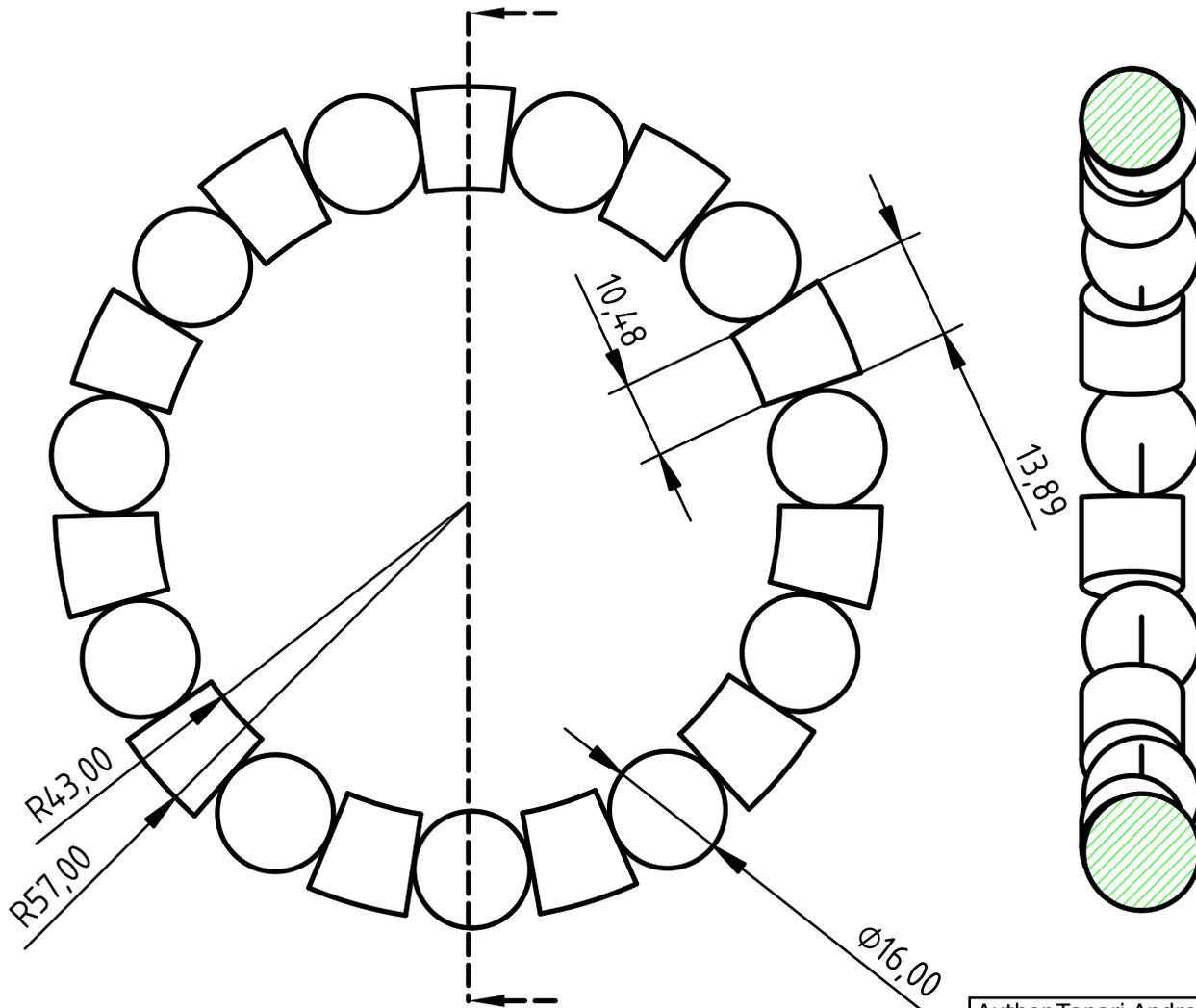


80 Dientes

Author: Tapari Andres	Legal owner:	Scale: M 2:5	Sheet: 1 of 20
Appr.: Burgos E. Sergio		Toler.: +/- 0.5mm	Size: A4
TITLE: Escáner Lasér 3D Plato de Bandeja Giratoria		Part material:	
		Part number:	
		Drawing no.: 1	
		Date:	Revision:
		01/03/2021	REV A
Document type: Mechanical assembly drawing			
(R) DO NOT DUPLICATE THIS DRAWING TO THIRD PARTIES WITHOUT OWNER'S PERMISSION			

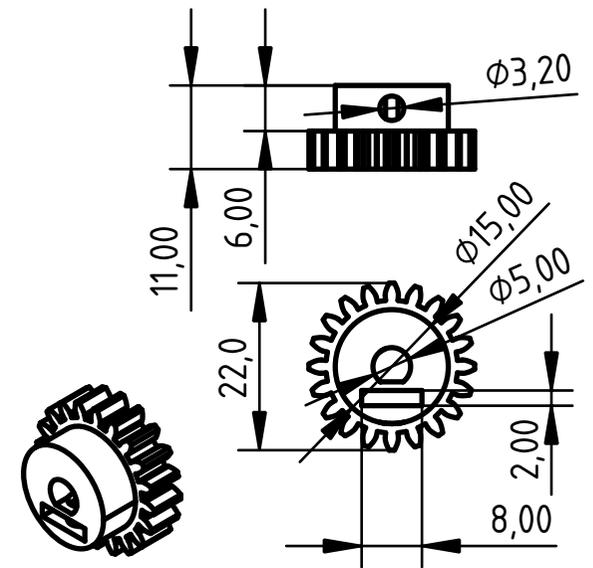


Bolillero y Separadores



11 Bolas de acero de 16mm de diametro.
11 Separadores de plastico impresos en 3D.

Piñón



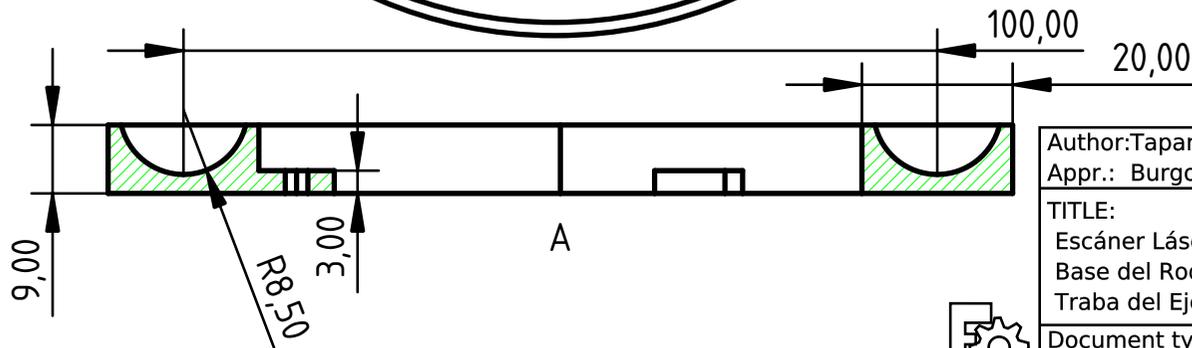
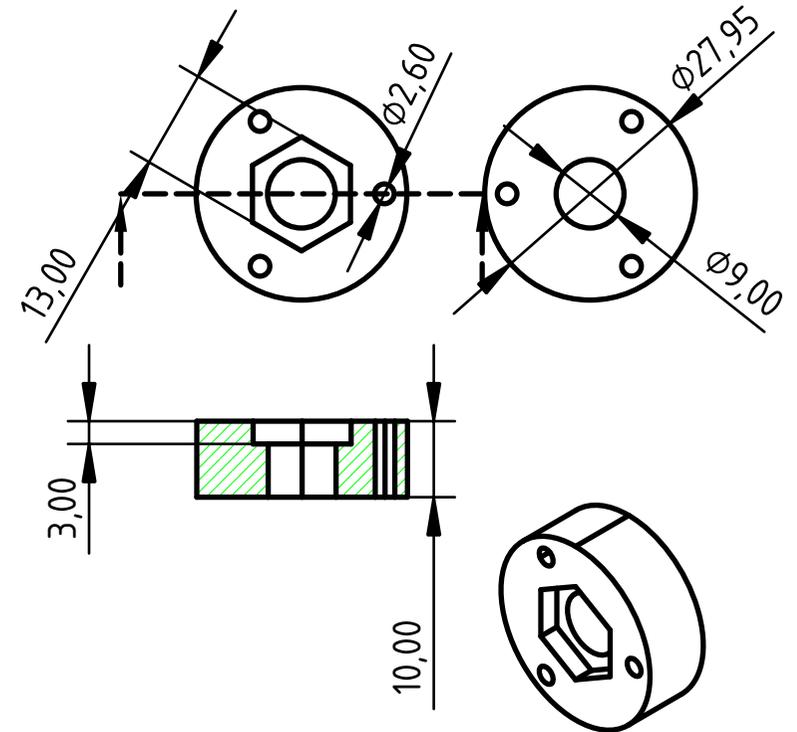
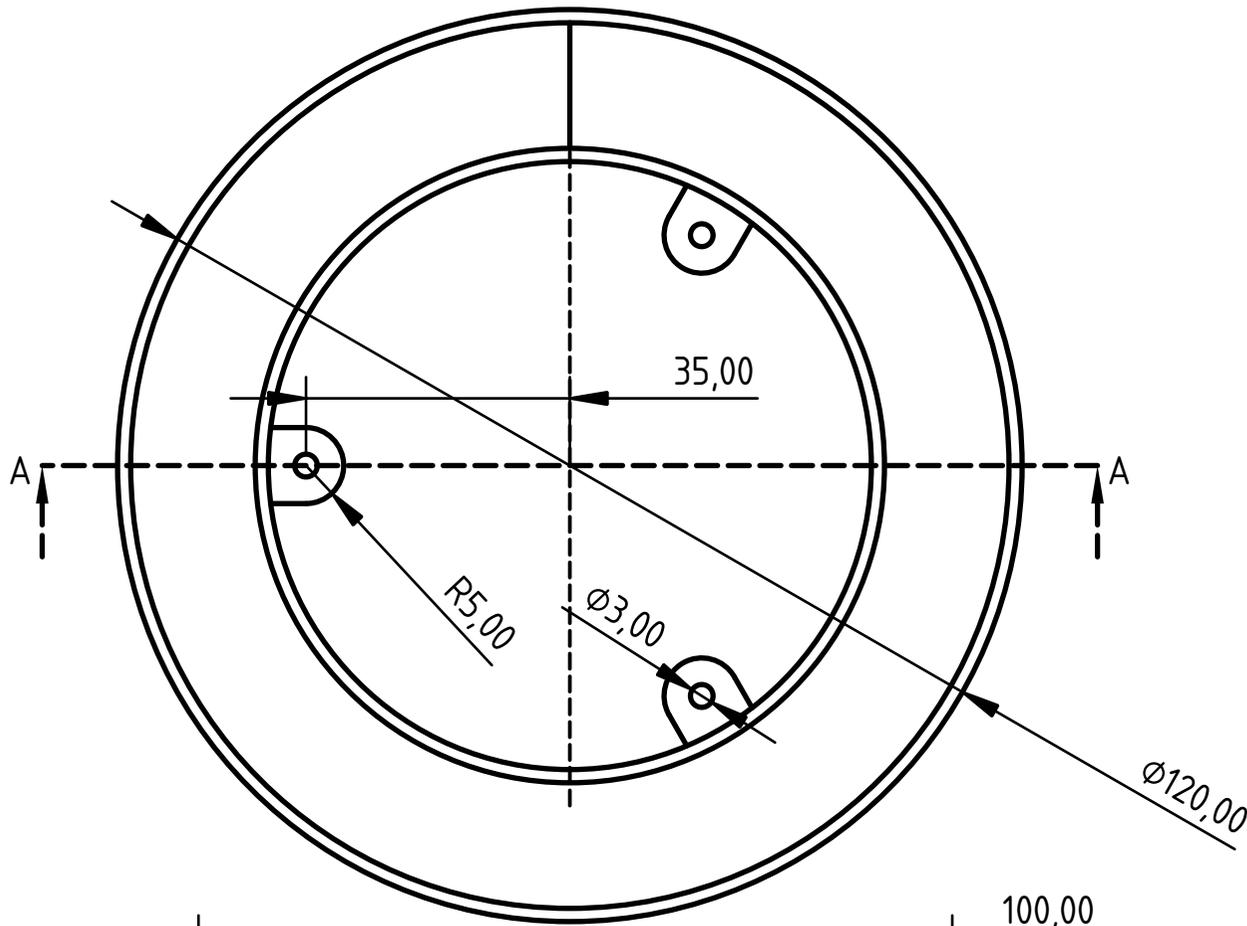
20 Dientes.



Author: Tapari Andres	Legal owner:	Scale: 1:1	Sheet 2 of 20
Appr.: Burgos E. Sergio		Toler.: +/- 0.5mm	Size: A4
TITLE: Escáner Láser 3D Bolillero y Separadores Piñón		Part material: Part number: Drawing no.: 2	
Document type: Mechanical assembly drawing		Date: 01/03/2021	Revision: REV A
(R) DO NOT DUPLICATE THIS DRAWING TO THIRD PARTIES WITHOUT OWNER'S PERMISSION			

Base del Rodamiento Axial

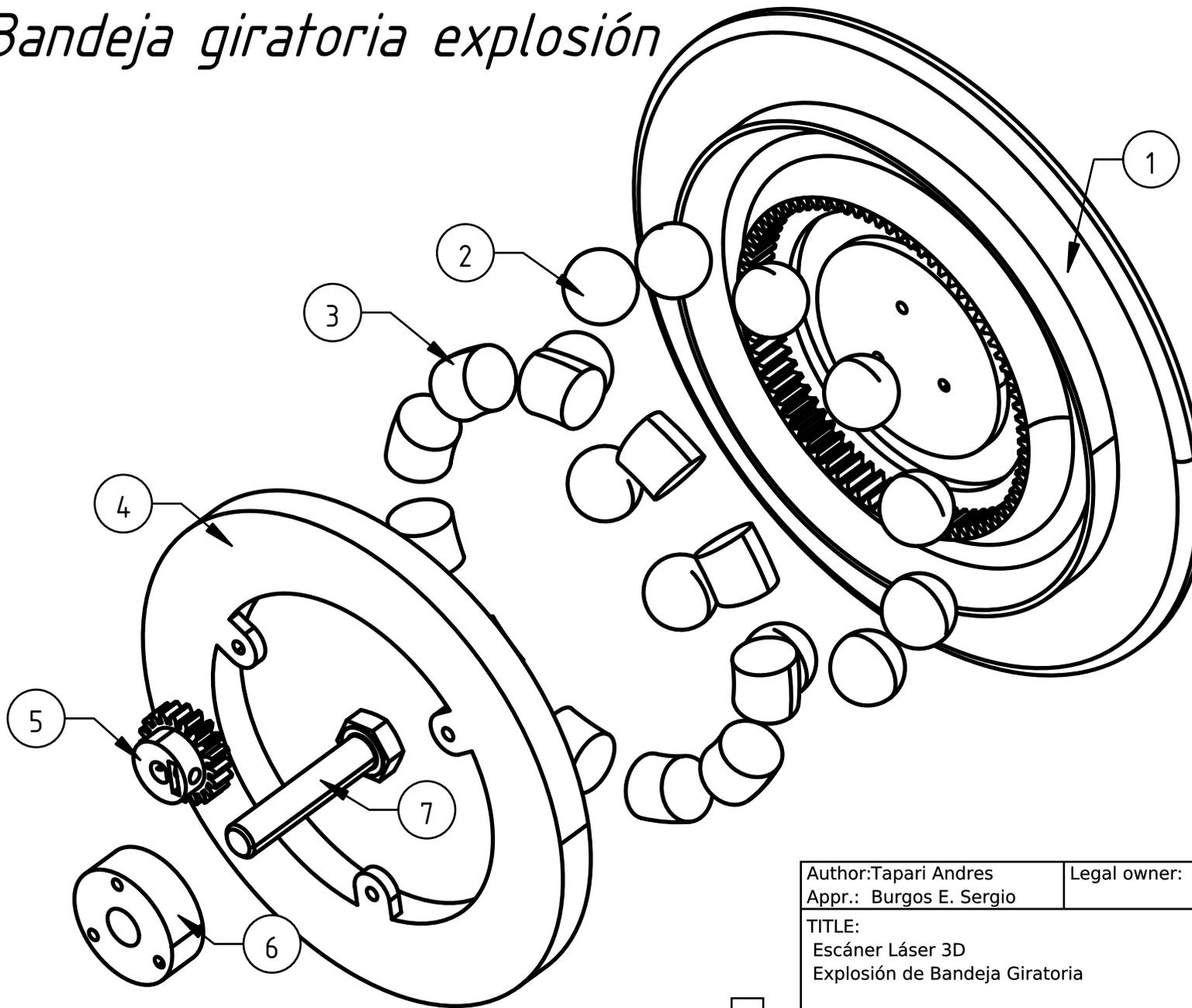
Traba del Eje Rod. Axial



Author: Tapari Andres Appr.: Burgos E. Sergio	Legal owner:	Scale: 1 : 1 Toler.: +/- 0.5mm	Sheet: 3 of 20 Size: A4
TITLE: Escáner Láser 3D Base del Rodamiento Axial Traba del Eje Rod. Axial		Part material: Part number: Drawing no.: 3	
Document type: Mechanical assembly drawing		Date: 01/03/2021	Revision: REV A
(R) DO NOT DUPLICATE THIS DRAWING TO THIRD PARTIES WITHOUT OWNER'S PERMISSION			



Bandeja giratoria explosión

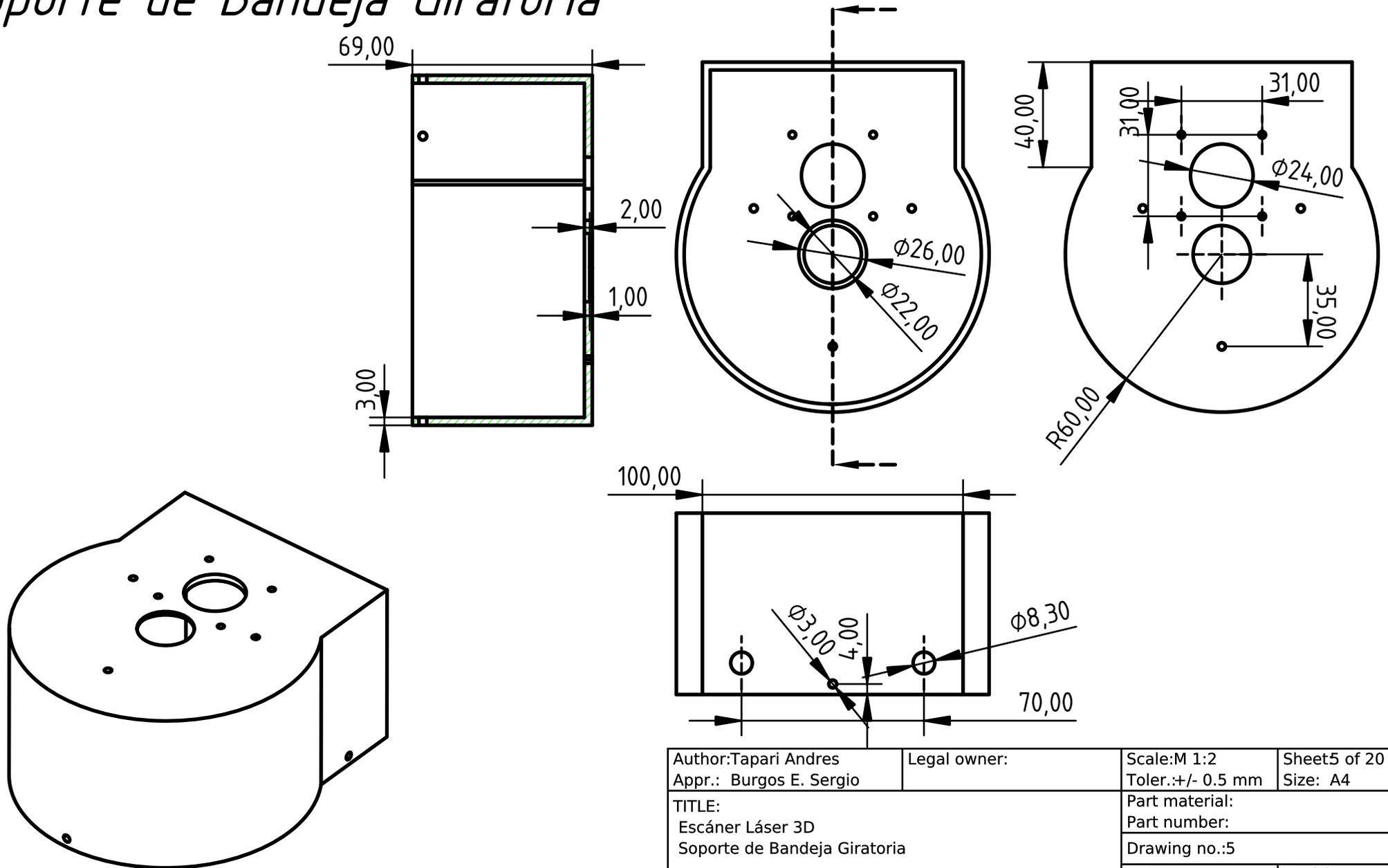


Nº	Parte
-1-	Plato de bandeja giratoria
-2-	Bolas de acero 16 mm
-3-	Separadores
-4-	Base Bandeja
-5-	Piñon 20 dientes
-6-	Traba del eje
-7-	Bulón M8x40

Author: Tapari Andres	Legal owner:	Scale: M 4:5	Sheet: 4 of 20
Appr.: Burgos E. Sergio		Toler.: +/- 0.5mm	Size: A4
TITLE: Escáner Láser 3D Explosión de Bandeja Giratoria		Part material: Part number: Drawing no.: 4	
Document type: Mechanical assembly drawing		Date: 01/03/2021	Revision: REV A
(R) DO NOT DUPLICATE THIS DRAWING TO THIRD PARTIES WITHOUT OWNER'S PERMISSION			



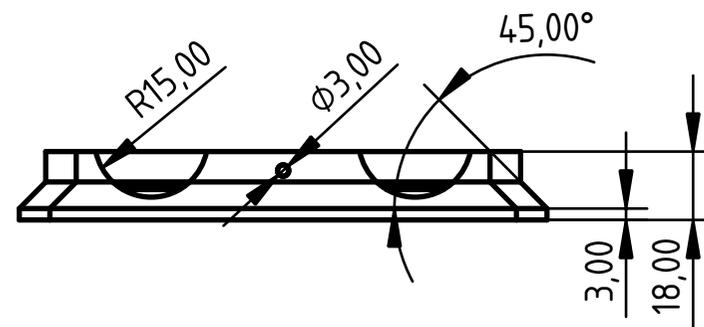
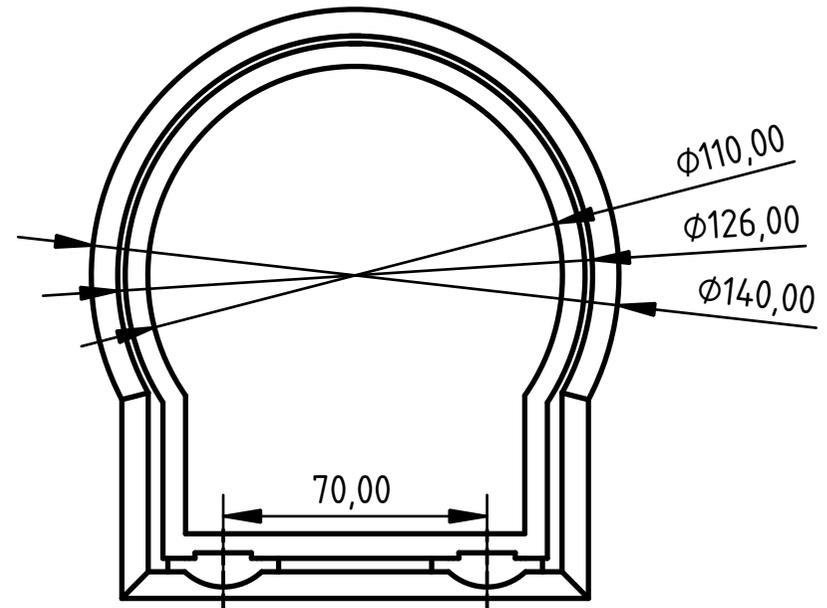
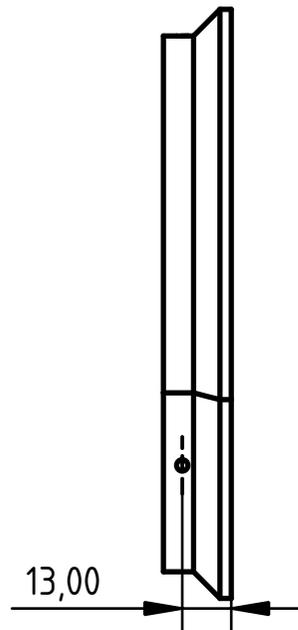
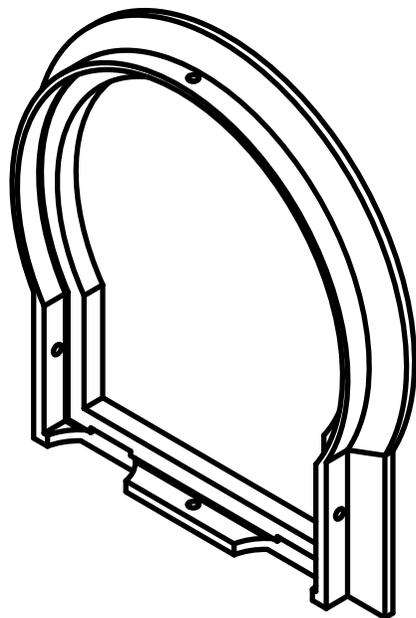
Soporte de Bandeja Giratoria



Author: Tapari Andres Appr.: Burgos E. Sergio	Legal owner:	Scale: M 1:2 Toler.: +/- 0.5 mm	Sheet 5 of 20 Size: A4
TITLE: Escáner Láser 3D Soporte de Bandeja Giratoria		Part material: Part number: Drawing no.: 5	
Document type: Mechanical assembly drawing		Date: 01/03/2021	Revision: REV A
(R) DO NOT DUPLICATE THIS DRAWING TO THIRD PARTIES WITHOUT OWNER'S PERMISSION			



Pie Soporte Bandeja

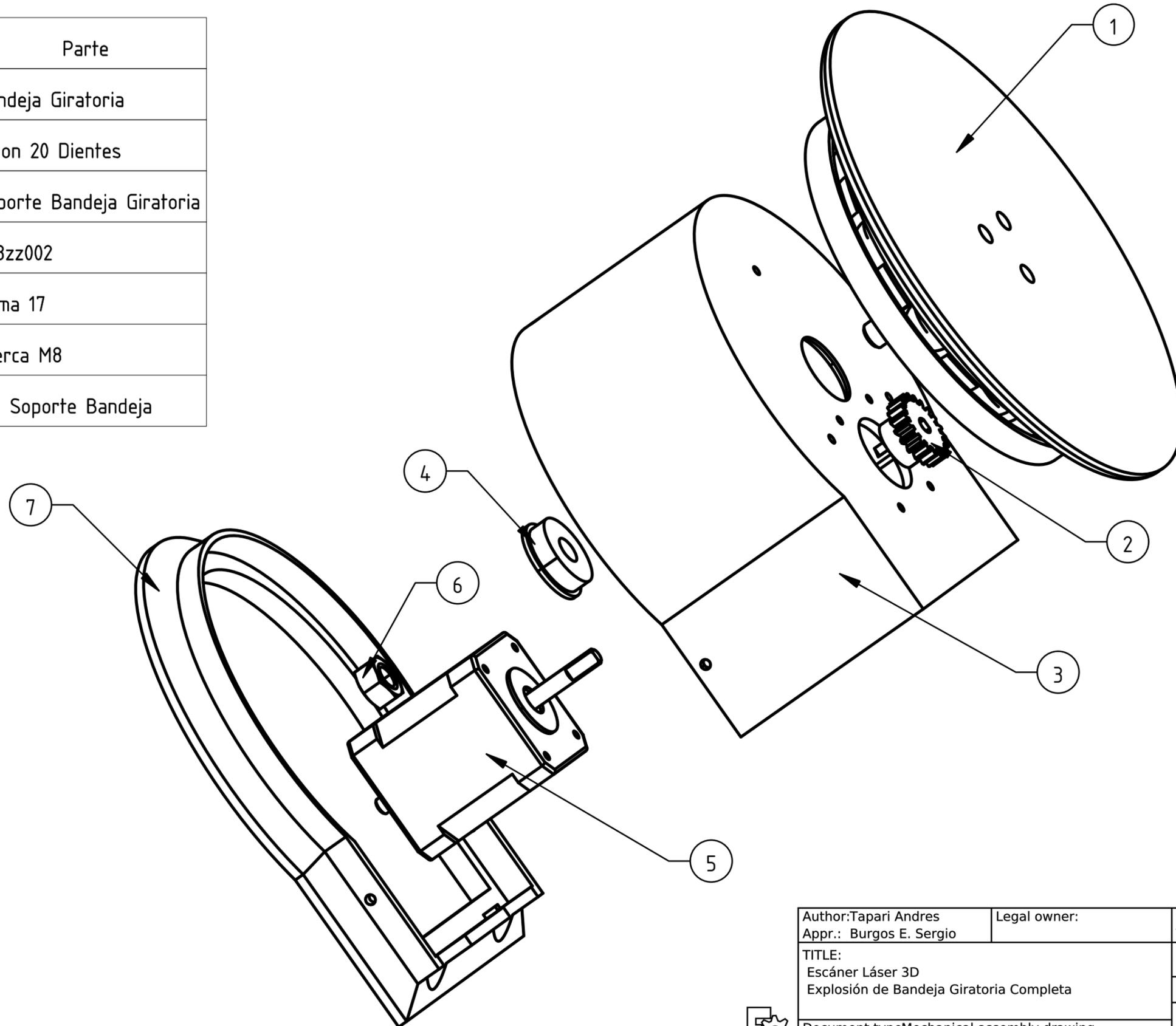


Author: Tapari Andres	Legal owner:	Scale: M 1:2	Sheet 6 of 20
Appr.: Burgos E. Sergio		Toler.: +/- 0.5mm	Size: A4
TITLE: Escáner Láser 3D Pie Soporte Bandeja		Part material: Part number: Drawing no.: 6	
Document type: Mechanical assembly drawing		Date: 01/03/2021	Revision: REV A
(R) DO NOT DUPLICATE THIS DRAWING TO THIRD PARTIES WITHOUT OWNER'S PERMISSION			



Explosión de Bandeja Giratoria Completa

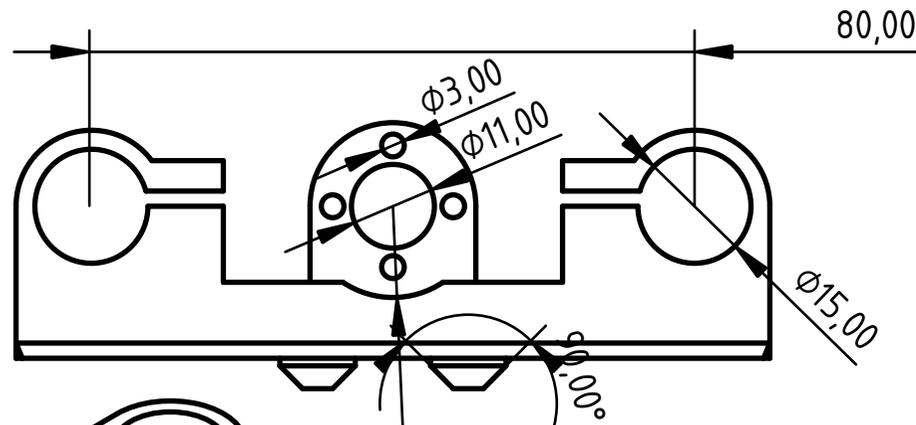
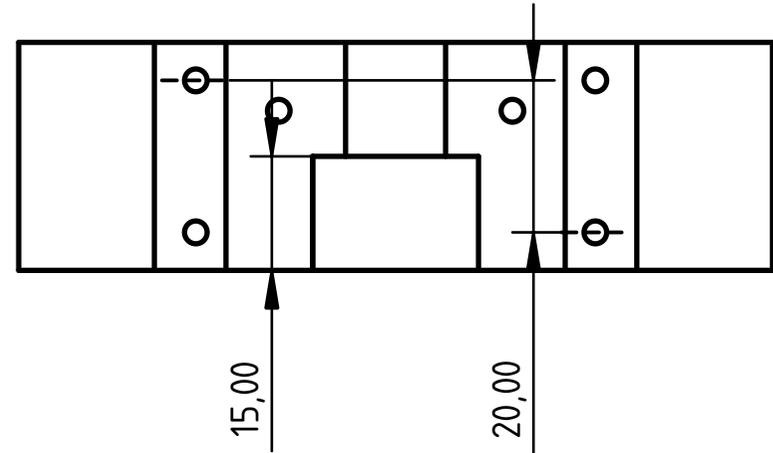
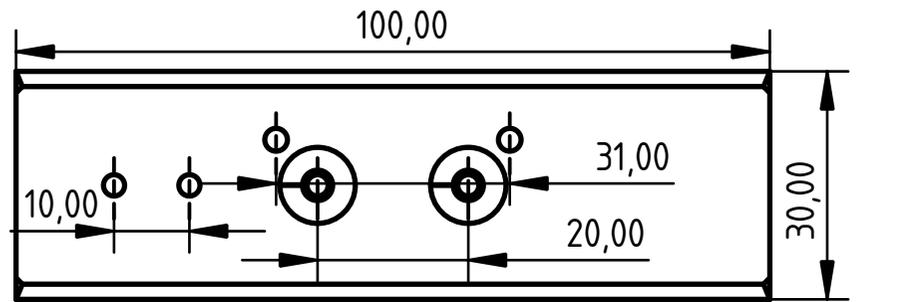
Nº	Parte
-1-	Bandeja Giratoria
-2-	Piñon 20 Dientes
-3-	Soporte Bandeja Giratoria
-4-	608zz002
-5-	Nema 17
-6-	Tuerca M8
-7-	Pie Soporte Bandeja



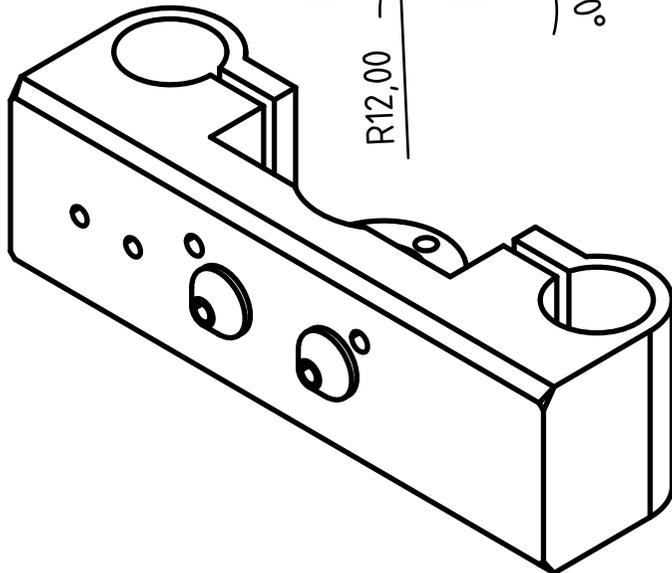
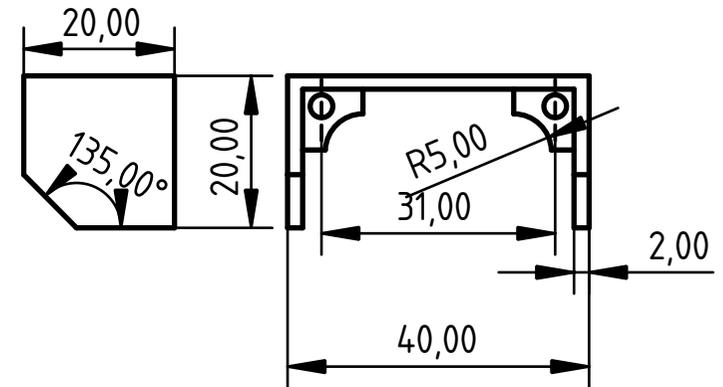
Author: Tapari Andres	Legal owner:	Scale: M 4:5	Sheet: 7 of 20
Appr.: Burgos E. Sergio		Toler.: +/- 0.5mm	Size: A3
TITLE: Escáner Láser 3D Explosión de Bandeja Giratoria Completa		Part material: Part number:	
		Drawing no.: 7	
		Date: 01/03/2021	Revision: REV A
Document type: Mechanical assembly drawing		(R) DO NOT DUPLICATE THIS DRAWING TO THIRD PARTIES WITHOUT OWNER'S PERMISSION	



Carro del Sensor



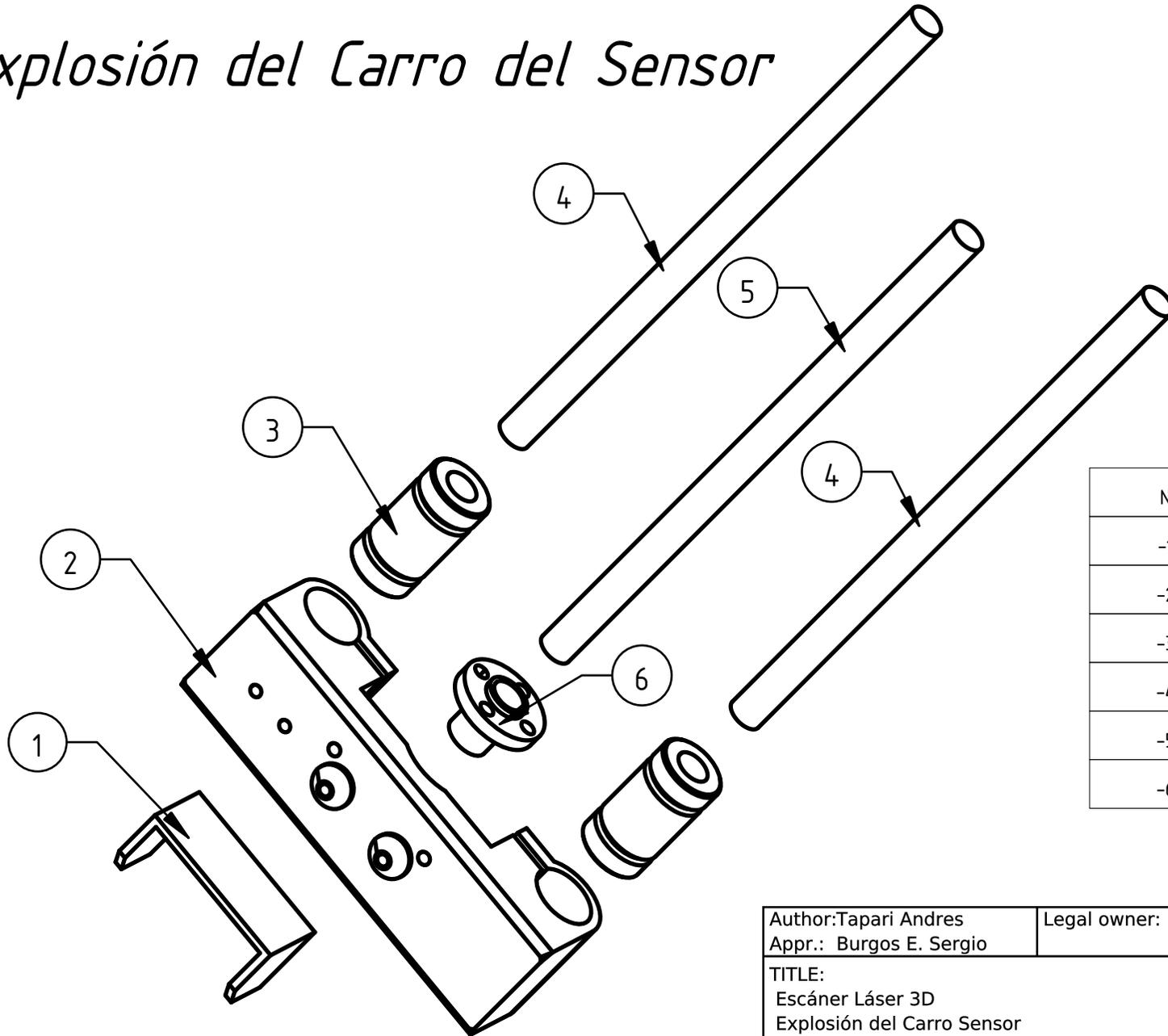
Visera del Sensor



Author: Andres Tapari	Legal owner:	Scale: M 1:1	Sheet 8 of 20
Appr.: Burgos E. Sergio		Toler.: +/- ?	Size: A4
TITLE: Escáner Láser 3D Carro del Sensor Visera del Sensor		Part material: Part number: Drawing no.: 8	
Document type: Mechanical assembly drawing		Date: 01/03/2021	Revision: REV A
(R) DO NOT DUPLICATE THIS DRAWING TO THIRD PARTIES WITHOUT OWNER'S PERMISSION			



Explosión del Carro del Sensor

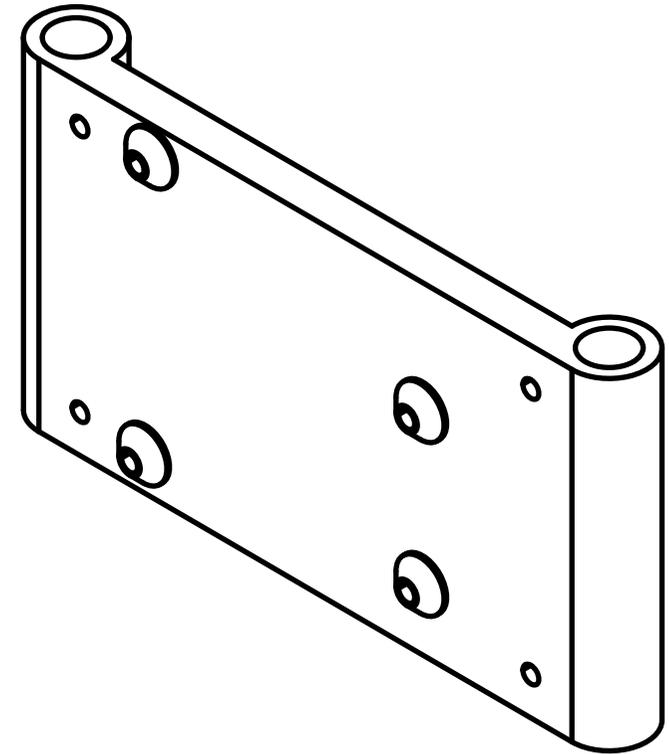
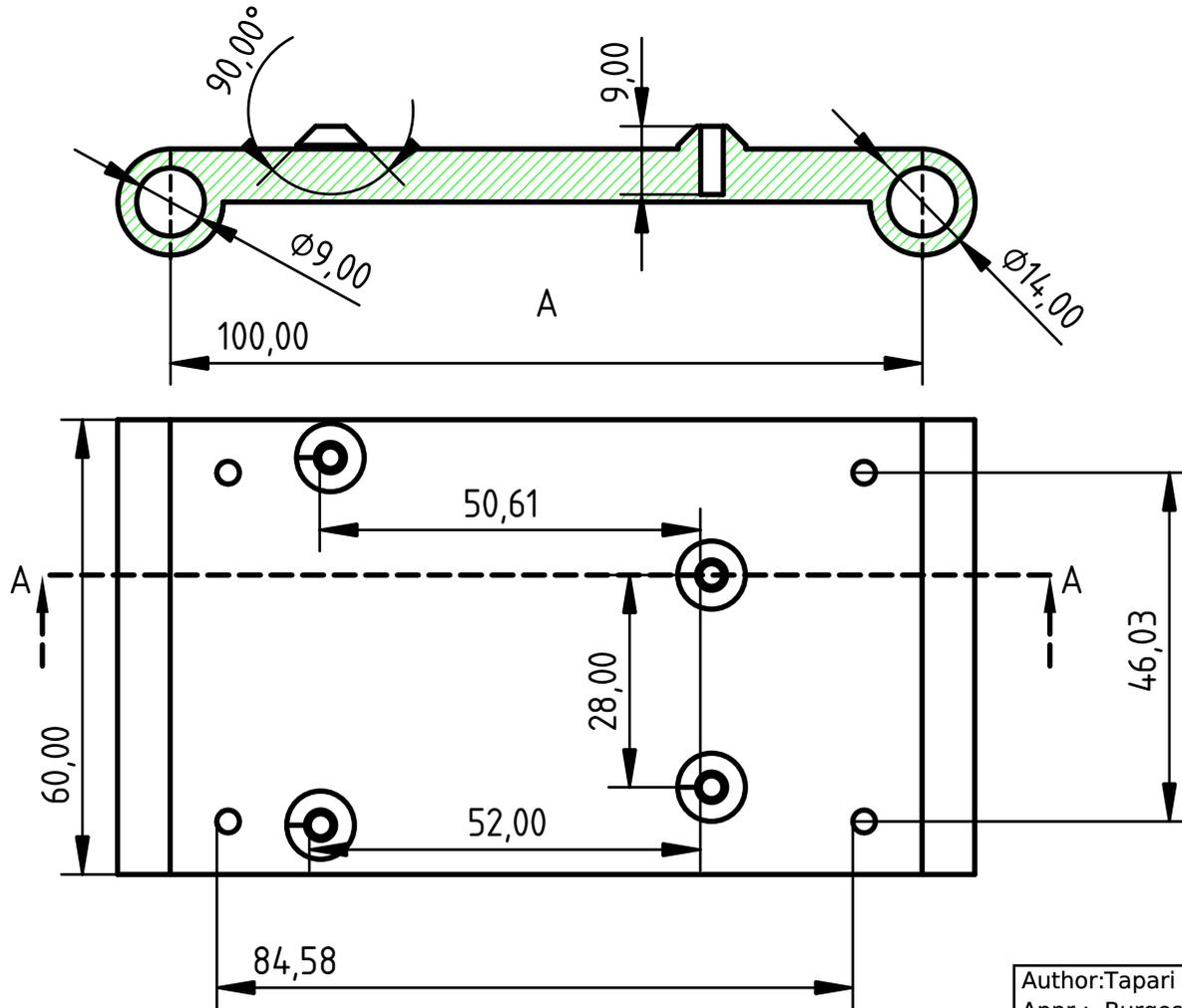


Nº	Parte
-1-	Visera Sensor
-2-	Carro Sensor
-3-	LM8UU
-4-	Varilla Acerada 8x300
-5-	Tornillo THSL 8x300
-6-	Tuerca THSL 8mm

Author: Tapari Andres Appr.: Burgos E. Sergio	Legal owner:	Scale: M 3:4 Toler.: +/- 0.5mm	Sheet 8 of 20 Size: A4
TITLE: Escáner Láser 3D Explosión del Carro Sensor		Part material: Ø Part number: Ø Drawing no.: 8	
Document type: Mechanical assembly drawing		Date: 01/03/2021	Revision: REV A
(R) DO NOT DUPLICATE THIS DRAWING TO THIRD PARTIES WITHOUT OWNER'S PERMISSION			

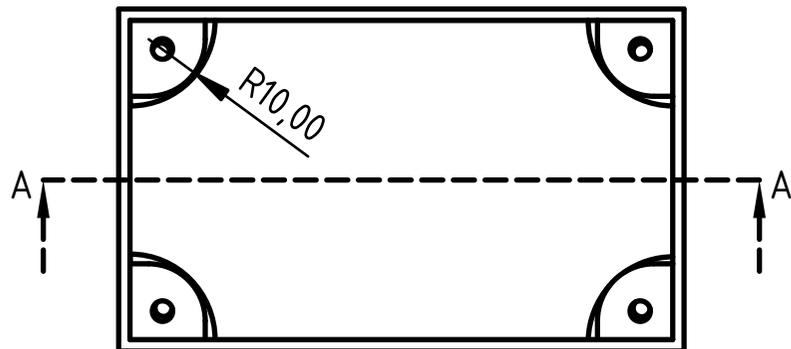
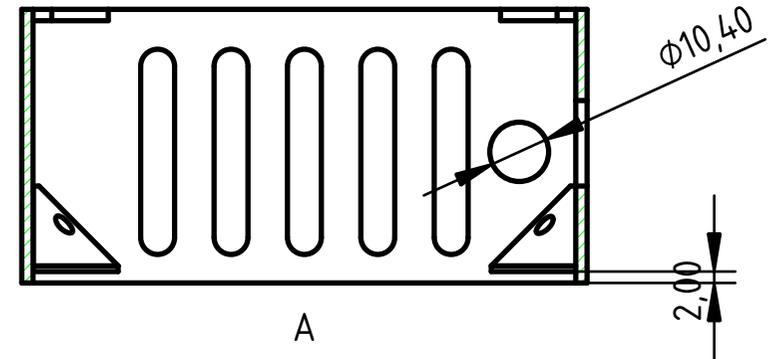
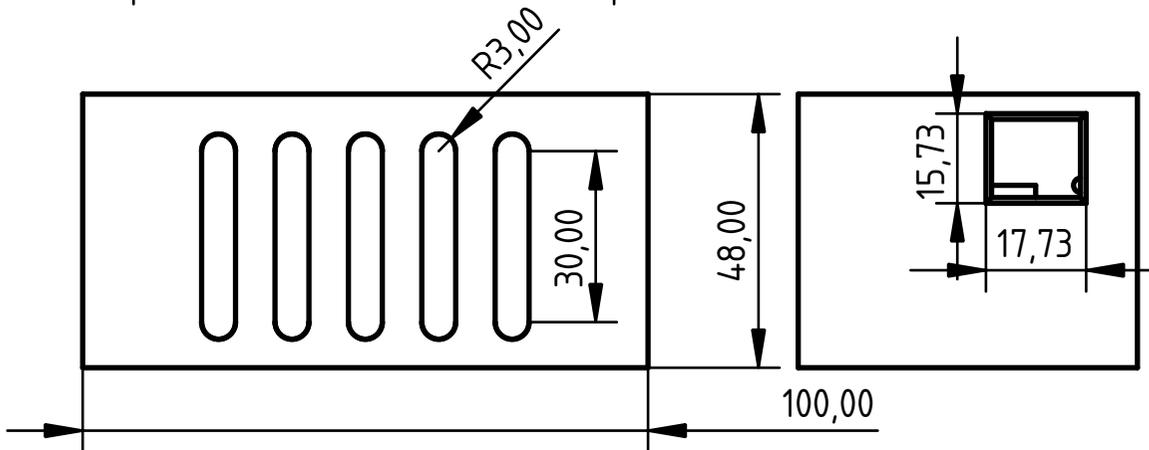
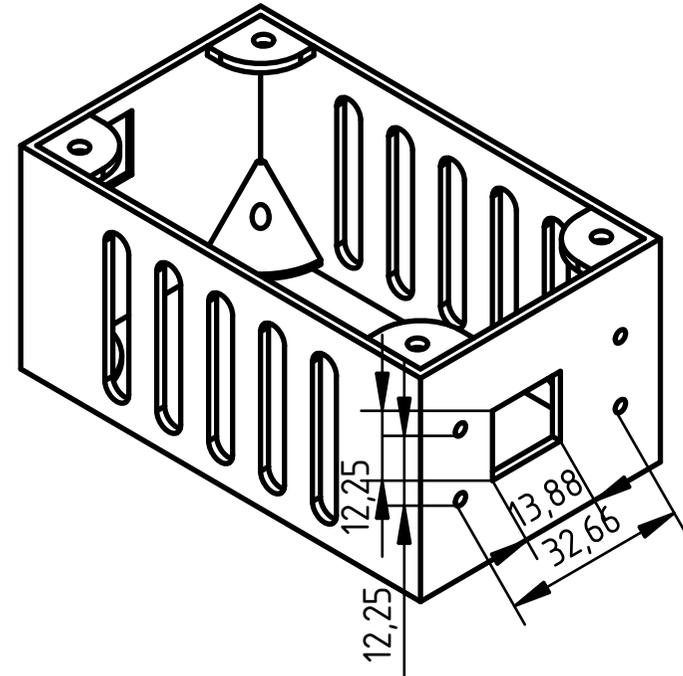
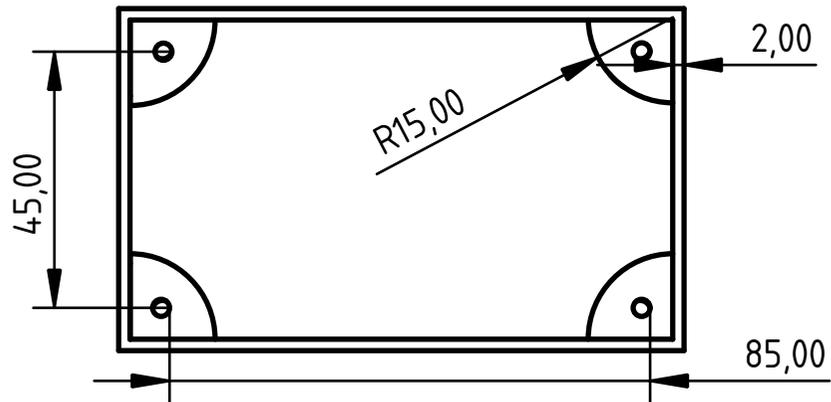


Anclaje de Placa Electrónica



Author: Tapari Andres	Legal owner:	Scale: M 1:1	Sheet 9 of 20
Appr.: Burgos E. Sergio		Toler.: +/- 0.5mm	Size: A4
TITLE: Escáner Láser 3D Anclaje de Placa Electrónica		Part material:	
		Part number:	
		Drawing no.: 9	
Document type: Mechanical assembly drawing		Date: 01/03/2021	Revision: REV A
(R) DO NOT DUPLICATE THIS DRAWING TO THIRD PARTIES WITHOUT OWNER'S PERMISSION			

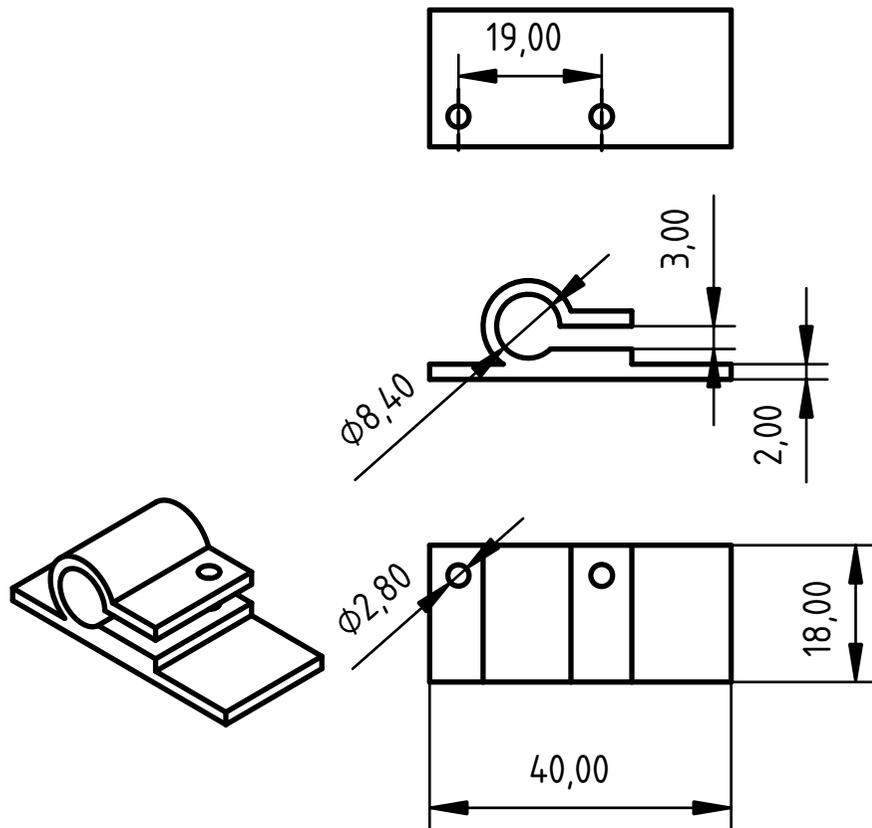
Carcasa de Placa Electrónica



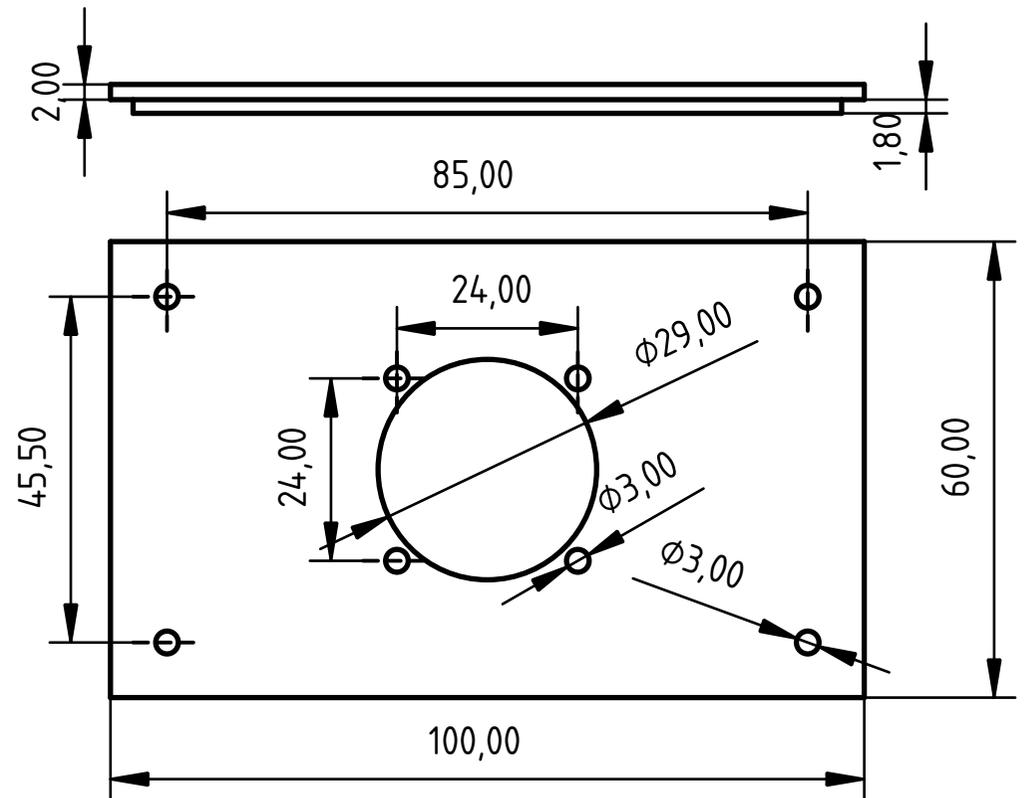
Author: Tapari Andres	Legal owner:	Scale: M 3:4	Sheet: 10 of 20
Appr.: Burgos E. Sergio		Toler.: +/- 0.5mm	Size: A4
TITLE: Escáner Láser 3D Carcasa de Placa Electrónica		Part material: Part number: Drawing no.: 10	
Document type: Mechanical assembly drawing		Date: YYYY-MM-DD	Revision: REV A
(R) DO NOT DUPLICATE THIS DRAWING TO THIRD PARTIES WITHOUT OWNER'S PERMISSION			



Endstop Soporte



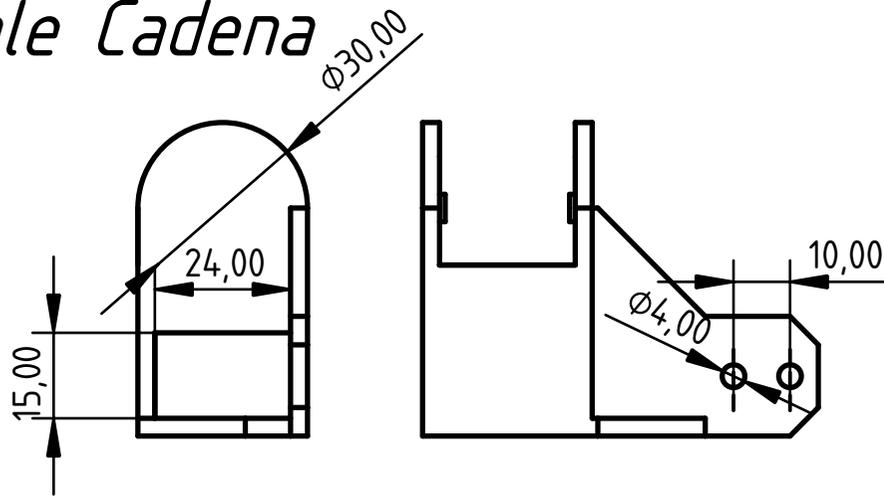
Tapa de Carcaza Electrónica



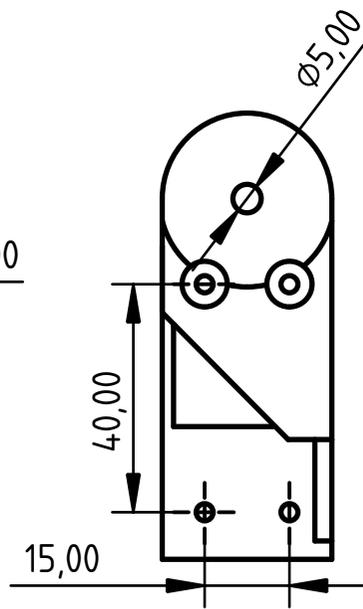
Author: Tapari Andres	Legal owner:	Scale: M 1:1	Sheet: 11 of 20
Appr.: Burgos E. Sergio		Toler.: +/- 0.5mm	Size: A4
TITLE: Escáner Láser 3D Enstop Soporte Tapa de Carcaza Electrónica		Part material: Part number: Drawing no.: 11	
Document type: Mechanical assembly drawing		Date: 01/03/2021	Revision: REV A
(R) DO NOT DUPLICATE THIS DRAWING TO THIRD PARTIES WITHOUT OWNER'S PERMISSION			



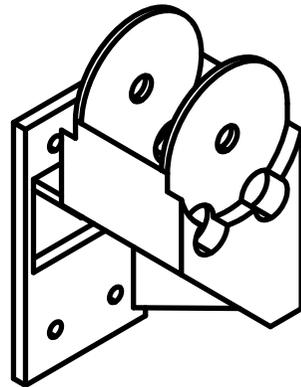
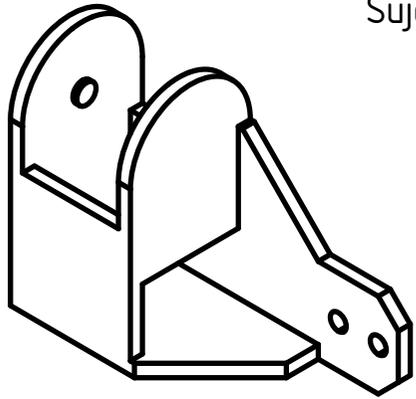
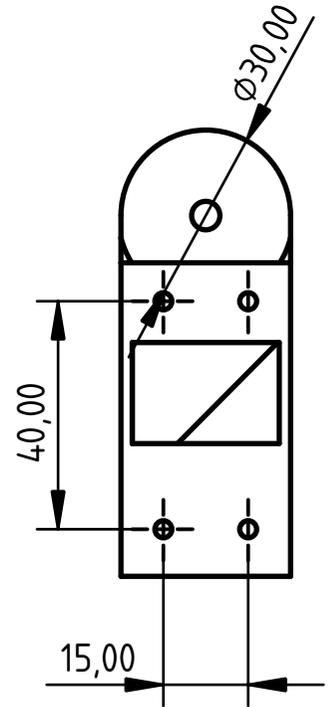
Cable Cadena



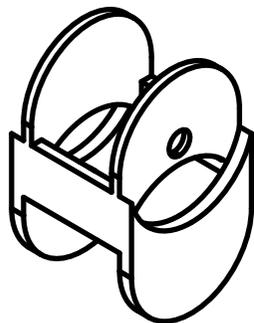
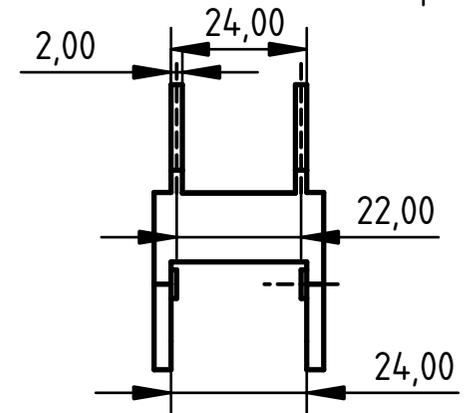
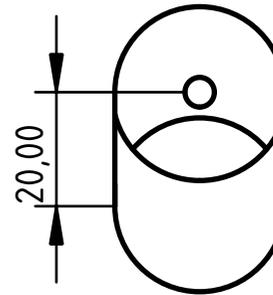
Sujeción Carro



Sujeción Carcaza



Eslabón

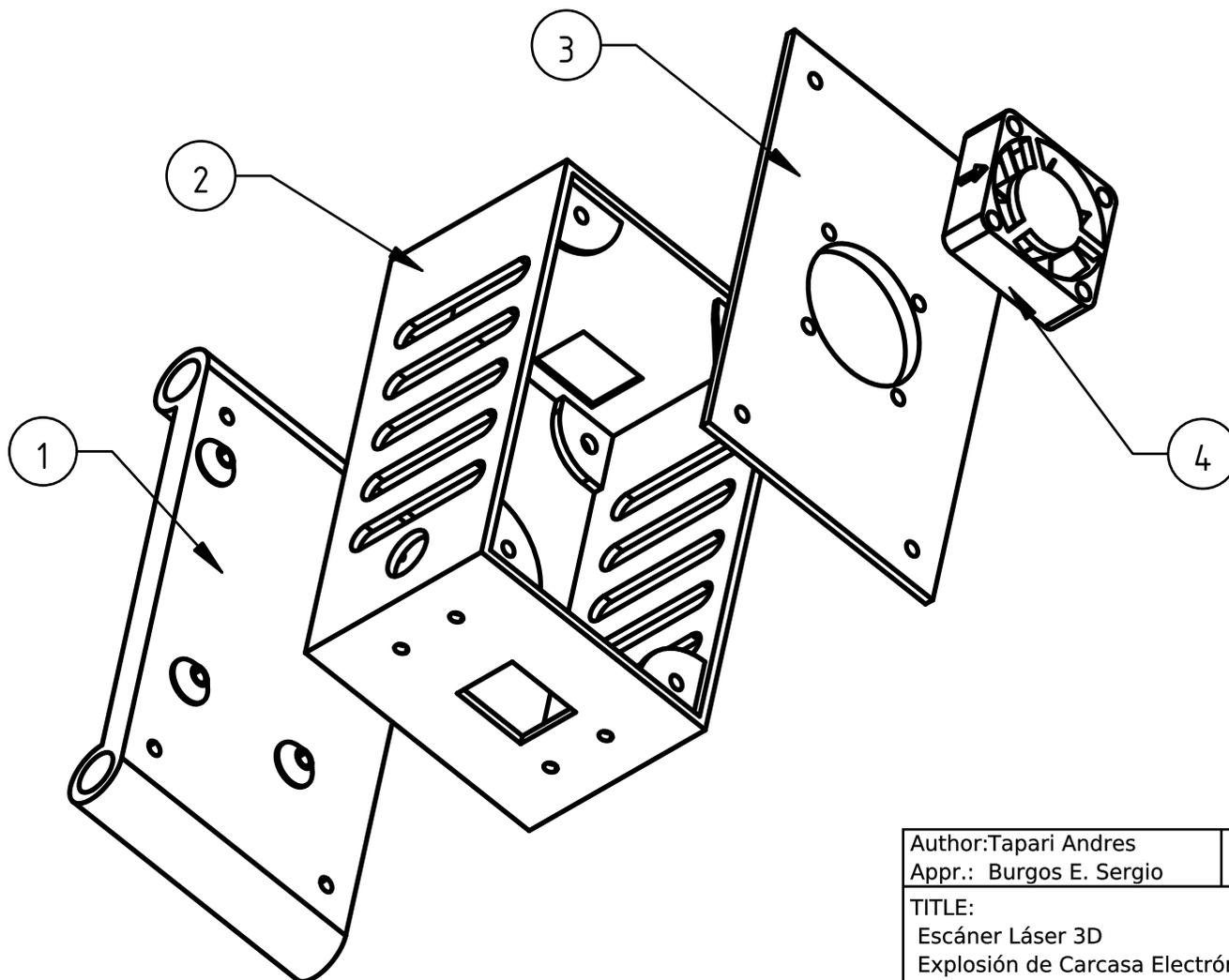


x20 eslabones

Author: Tapari Andres	Legal owner:	Scale: M 3:4	Sheet: 13 of 20
Appr.: Sergio E. Burgos		Toler.: +/- 0.5mm	Size: A4
TITLE: Escaner Láser 3D Cable Cadena Comienzo - Eslabón - Final		Part material: Part number: Drawing no.: 13	
Document type: Mechanical assembly drawing		Date: 01/03/2021	Revision: REV A
(R) DO NOT DUPLICATE THIS DRAWING TO THIRD PARTIES WITHOUT OWNER'S PERMISSION			



Explosión de Carcasa Electrónica

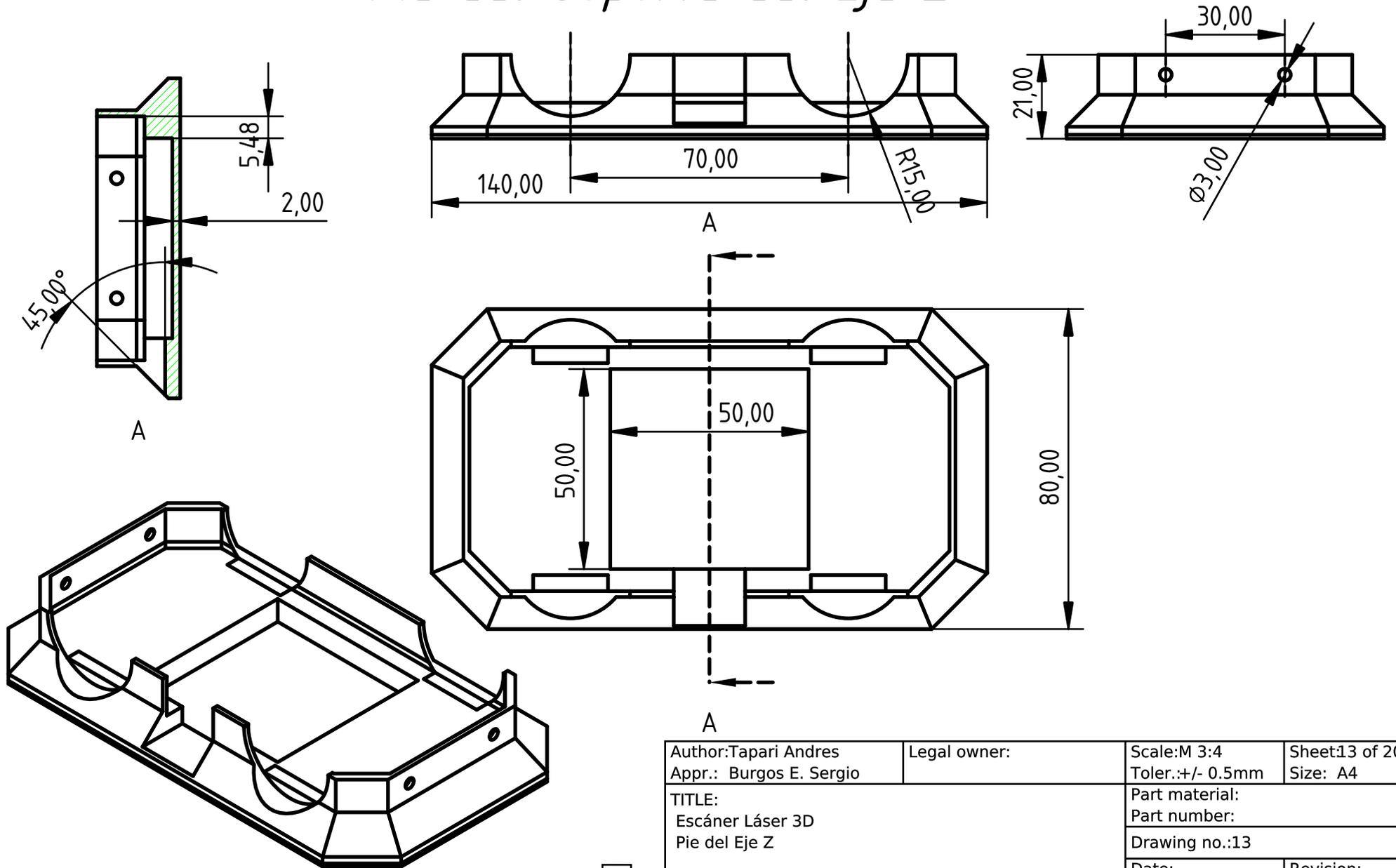


Nº	Parte
-1-	Anclaje de Placa
-2-	Carcasa de Placa ...
-3-	Tapa de Carcasa ...
-4-	Cooler 40mm

Author: Tapari Andres Appr.: Burgos E. Sergio	Legal owner:	Scale: M 3:4 Toler.: +/- 0.5mm	Sheet: 12 of 20 Size: A4
TITLE: Escáner Láser 3D Explosión de Carcasa Electrónica		Part material: Part number: Drawing no.: 12	
Document type: Mechanical assembly drawing		Date: 01/03/2021	Revision: REV A
(R) DO NOT DUPLICATE THIS DRAWING TO THIRD PARTIES WITHOUT OWNER'S PERMISSION			



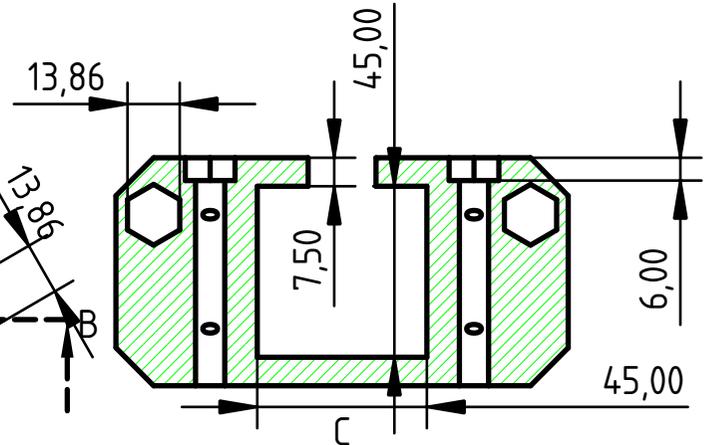
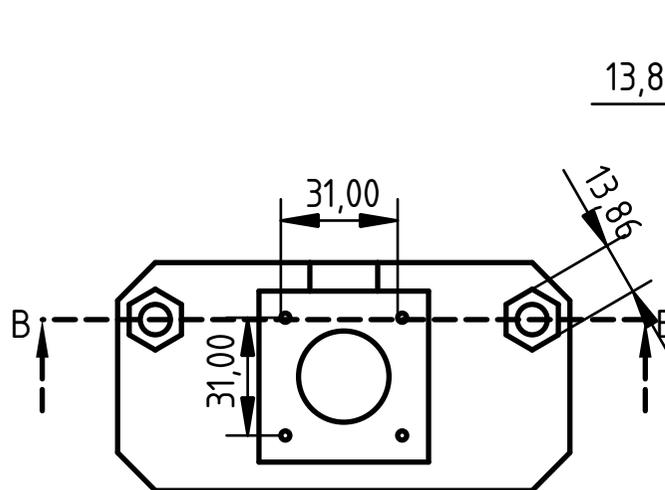
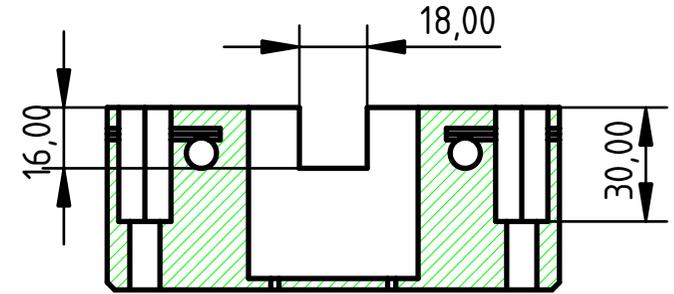
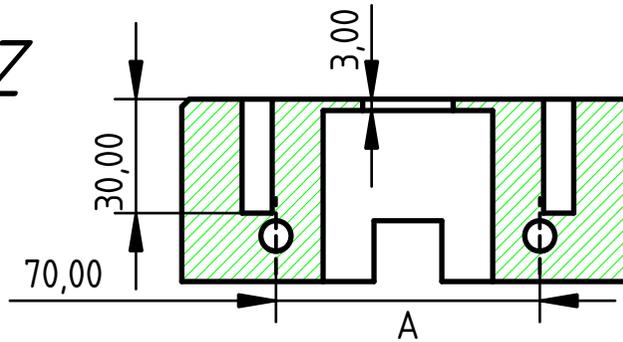
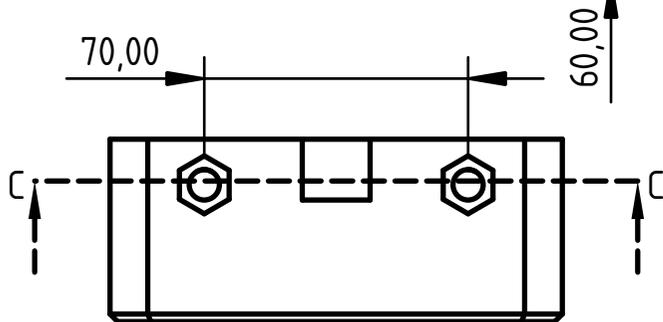
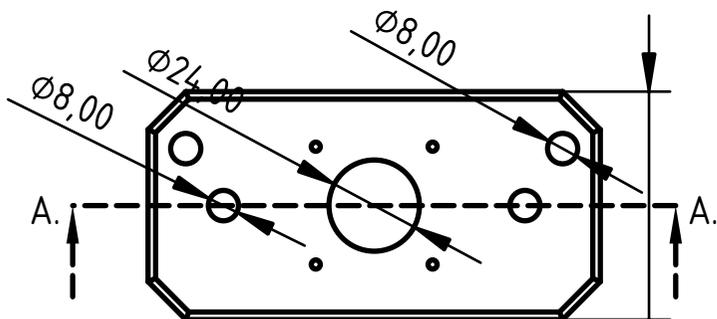
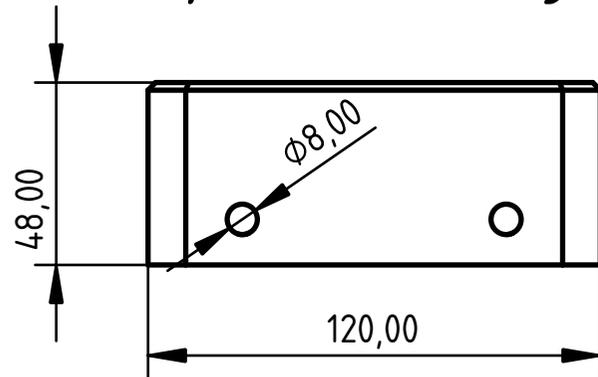
Pie del Soporte del Eje Z



Author: Tapari Andres	Legal owner:	Scale: M 3:4	Sheet: 13 of 20
Appr.: Burgos E. Sergio		Toler.: +/- 0.5mm	Size: A4
TITLE: Escáner Láser 3D Pie del Eje Z		Part material: Part number: Drawing no.: 13	
Document type: Mechanical assembly drawing		Date: 01/03/2021	Revision: REV A
(R) DO NOT DUPLICATE THIS DRAWING TO THIRD PARTIES WITHOUT OWNER'S PERMISSION			



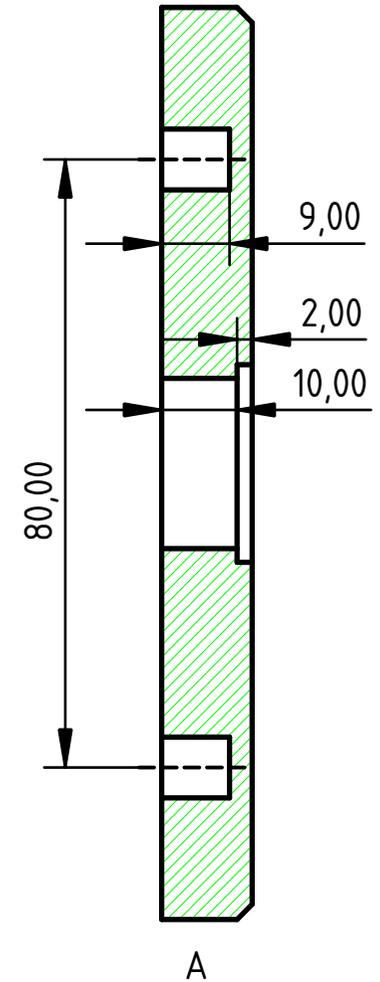
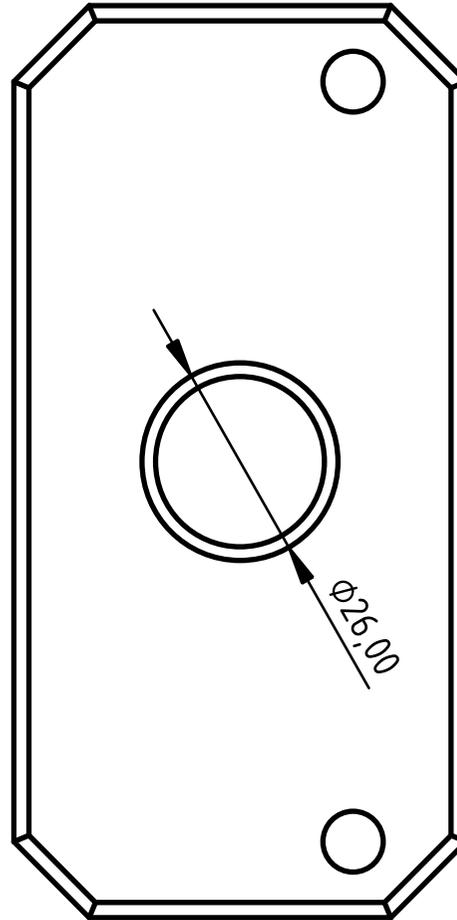
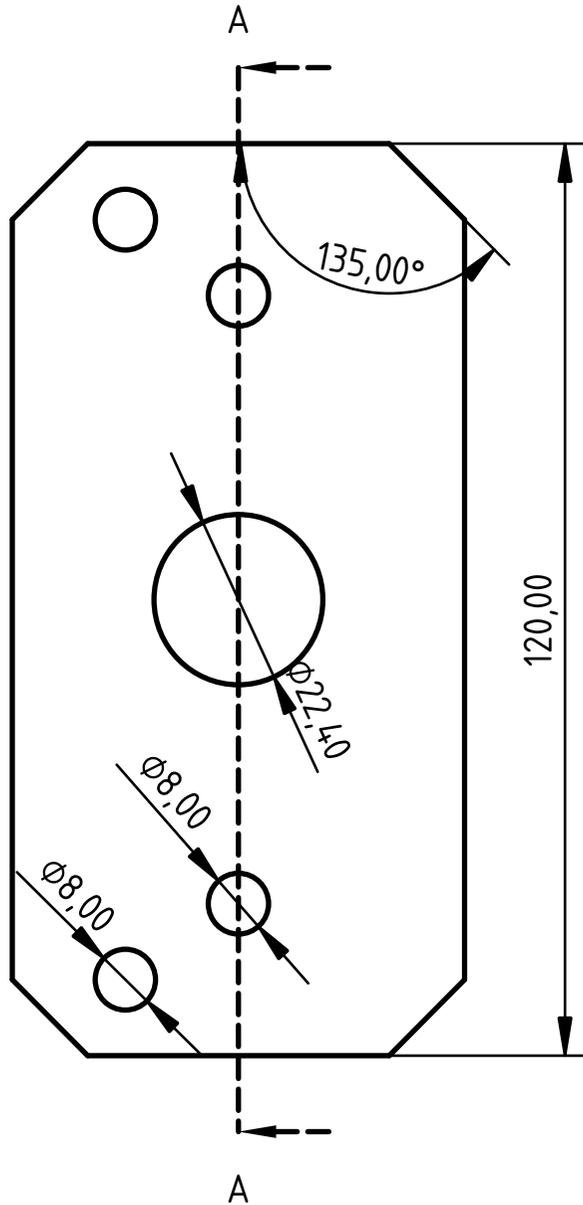
Soporte del Eje Z



Author: Tapari Andres	Legal owner:	Scale: M 2:1	Sheet: 14 of 20
Appr.: Burgos E. Sergio		Toler.: +/- 0.5 mm	Size: A4
TITLE: Escáner Láser 3D Soporte del Eje Z		Part material: Ø Part number: Ø Drawing no.: 14	
Document type: Mechanical assembly drawing		Date: 01/03/2021	Revision: REV A
(R) DO NOT DUPLICATE THIS DRAWING TO THIRD PARTIES WITHOUT OWNER'S PERMISSION			



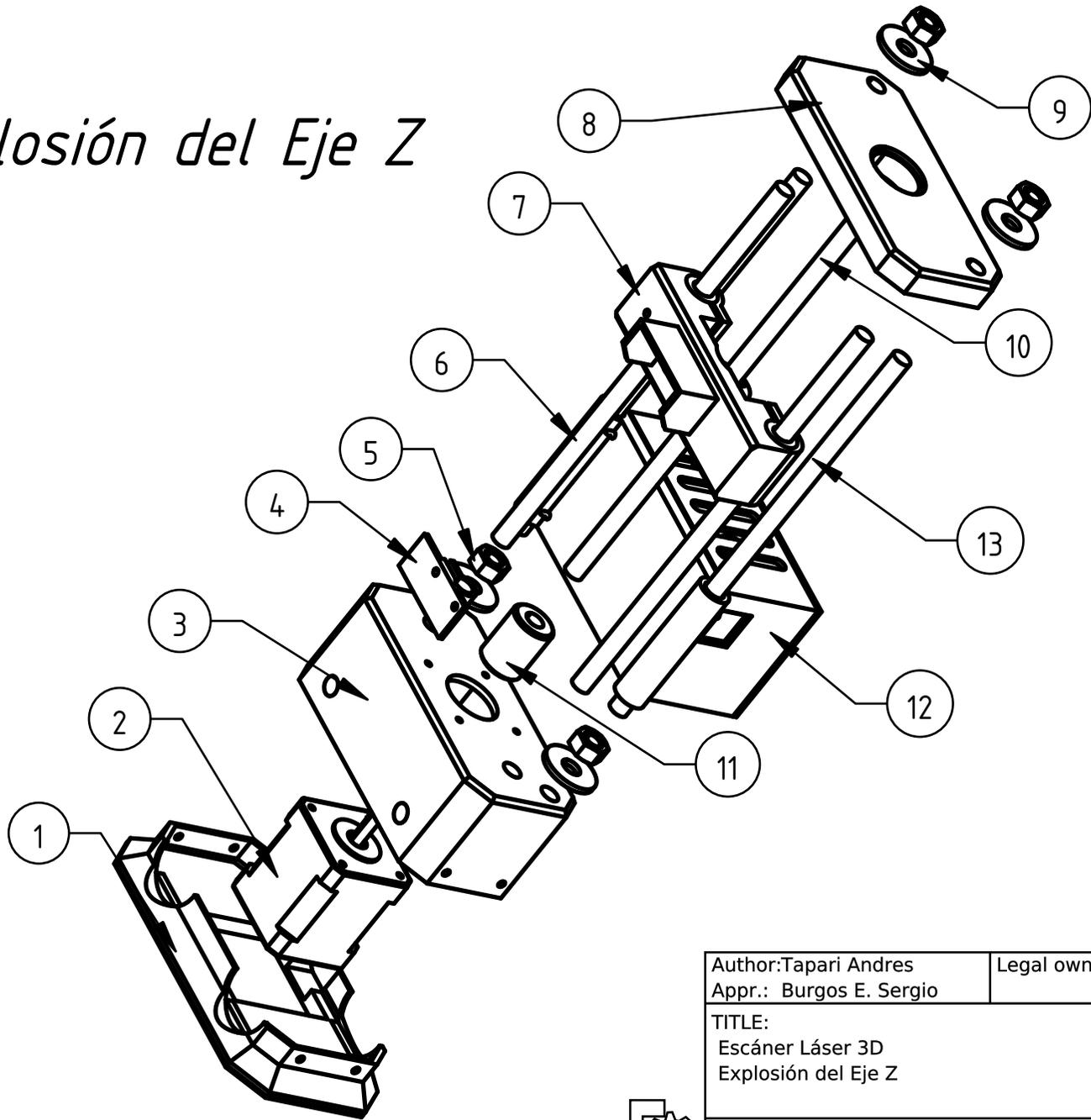
Tope del Eje Z



Author: Tapari Andres	Legal owner:	Scale: M 1:1	Sheet: 15 of 20
Appr.: Burgos E. Sergio		Toler.: +/- ?	Size: A4
TITLE: Escáner Láser 3D Tope del Eje Z		Part material: Part number: Drawing no.: 15	
Document type: Mechanical assembly drawing		Date: YYYY-MM-DD	Revision: REV A
(R) DO NOT DUPLICATE THIS DRAWING TO THIRD PARTIES WITHOUT OWNER'S PERMISSION			



Explosión del Eje Z

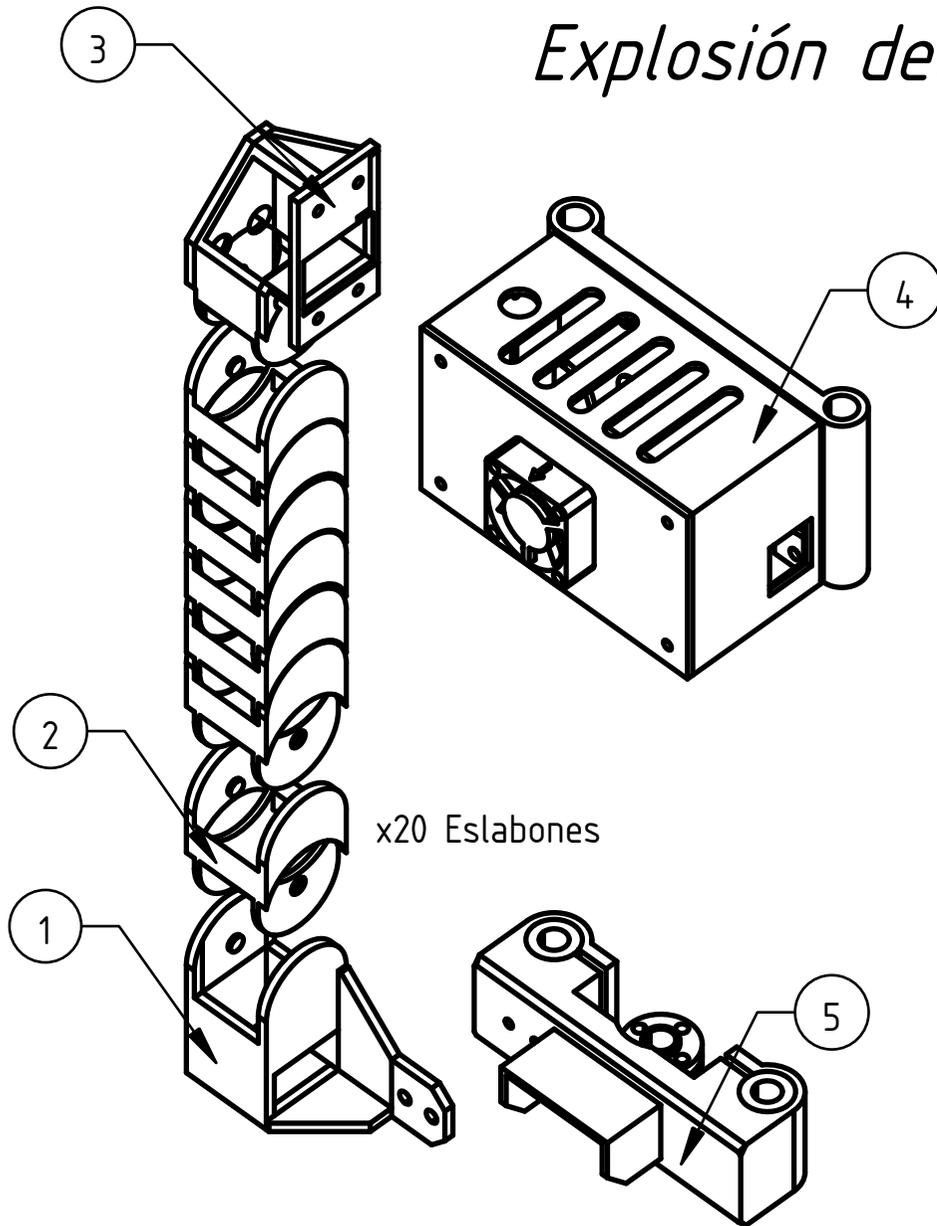


Nº	Parte
-1-	Pie Soporte Eje Z
-2-	Nema 17
-3-	Soporte Eje Z
-4-	Soporte Endstop
-5-	Tuerca M8
-6-	Varilla Acerada 8mm
-7-	Carro Sensor
-8-	Tope de Eje Z
-9-	Arandela M8
-10-	Tornillo THSL 8mm
-11-	Acople Flexible Aluminio 5 a 8mm
-12-	Carcasa Electrónica
-13-	Tornillo Rosca 8mm

Author: Tapari Andres Appr.: Burgos E. Sergio	Legal owner:	Scale: M 2:5 Toler.: +/- ?	Sheet: 16 of 20 Size: A4
TITLE: Escáner Láser 3D Explosión del Eje Z		Part material: Part number: Drawing no.: 16	
Document type: Mechanical assembly drawing		Date: 01/03/2021	Revision: REV A
(R) DO NOT DUPLICATE THIS DRAWING TO THIRD PARTIES WITHOUT OWNER'S PERMISSION			



Explosión del Cable Cadena

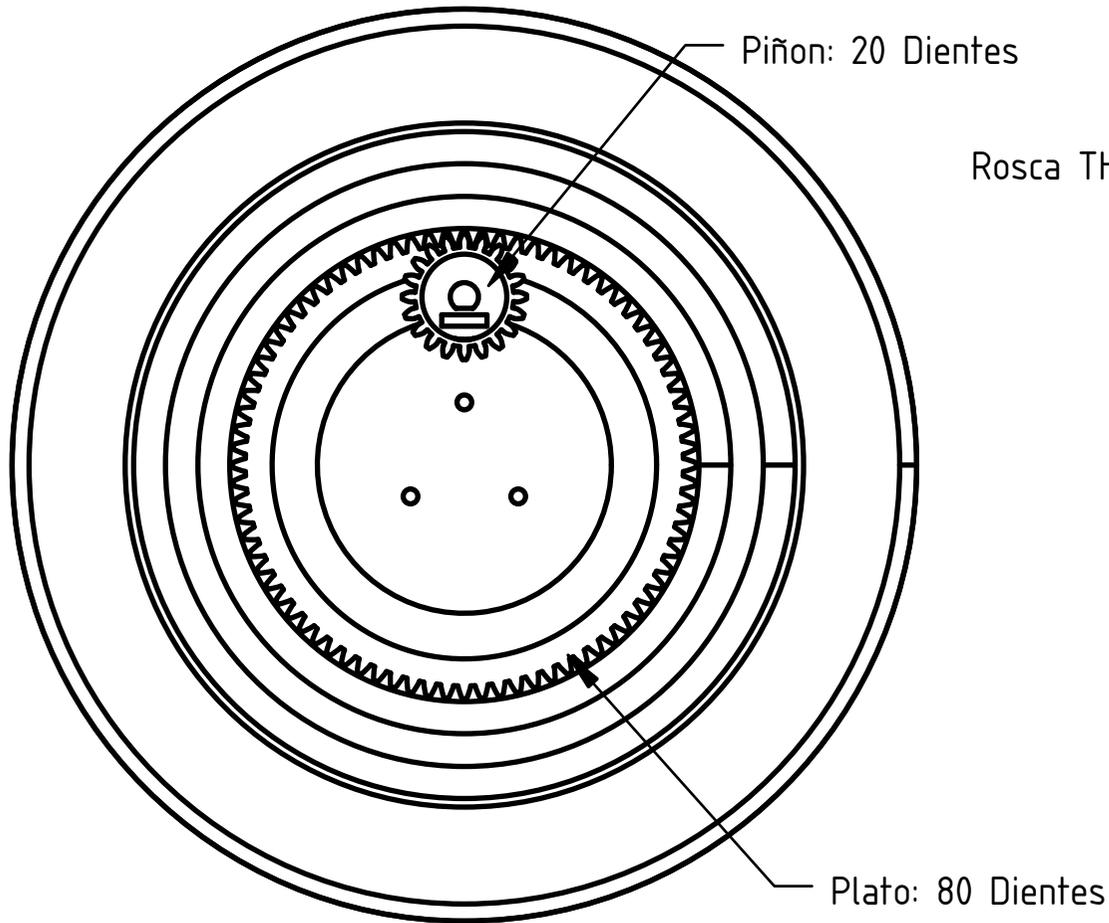


Nº	Parte
-1-	C.C. Comienzo
-2-	C.C. Eslabón
-3-	C.C. Final
-4-	Carcasa Electrónica
-5-	Carro del Sensor

Author: Tapari Andres	Legal owner:	Scale: M 1:2	Sheet: 18 of 20
Appr.: Burgos E. Sergio		Toler.: +/- 0.5	Size: A4
TITLE: Escáner Láser 3D Explosión del Cable Cadena		Part material: Part number: Drawing no.: 18	
Document type: Mechanical assembly drawing		Date: 01/03/2021	Revision: REV A
(R) DO NOT DUPLICATE THIS DRAWING TO THIRD PARTIES WITHOUT OWNER'S PERMISSION			

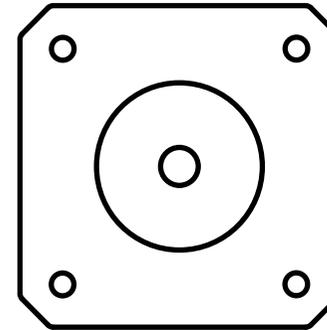


Misceláneas

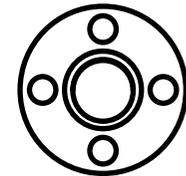
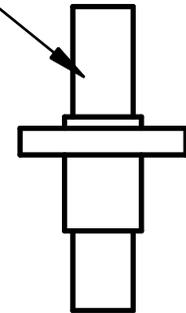


Relación de transmisión: 1/4

Rosca THSL 8x300mm, P:2mm L:8mm



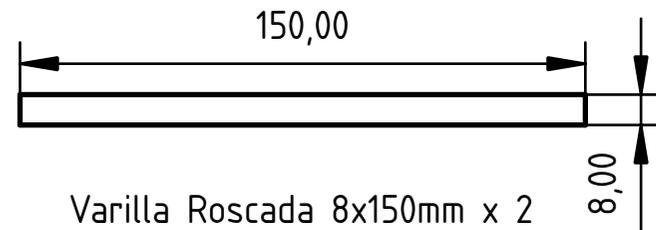
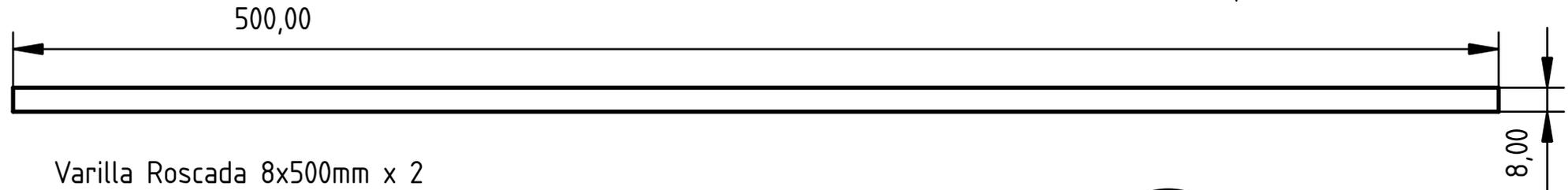
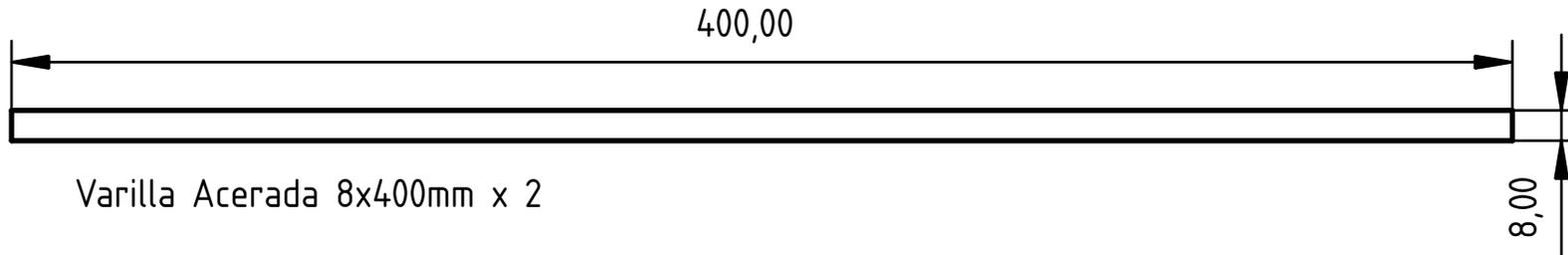
Nema 17: 1.8º/paso



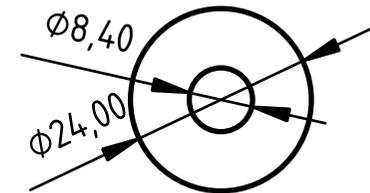
Author: Tapari Andres	Legal owner:	Scale: M 1:2	Sheet: 19 of 20
Appr.: Burgos Sergio		Toler.: +/- ?	Size: A4
TITLE: Escáner Láser 3D Miscelaneas		Part material: Part number:	
		Drawing no.:	
		Date: 01/03/2021	Revision: REV A
Document type: Mechanical assembly drawing			
(R) DO NOT DUPLICATE THIS DRAWING TO THIRD PARTIES WITHOUT OWNER'S PERMISSION			



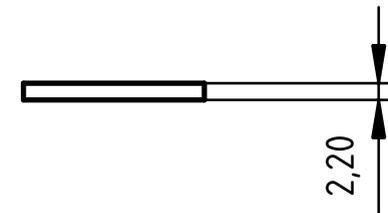
Misceláneas



16 Tuercas M8



14 Arandelas



Author: Tapari Andres	Legal owner:	Scale: M 1:2	Sheet: 20 of 20
Appr.: Burgos E. Sergio		Toler.: +/- ?	Size: A4
TITLE: Escáner Láser 3D Misceláneas		Part material: Part number: Drawing no.: 20	
Document type: Mechanical assembly drawing		Date: 01/03/2021	Revision: REV A
(R) DO NOT DUPLICATE THIS DRAWING TO THIRD PARTIES WITHOUT OWNER'S PERMISSION			

