



**Cátedra**  
***Proyecto en Ingeniería Mecatrónica***

***Proyecto Final***  
***“Escáner 3D por triangulación Láser”***

***Equipo de cátedra***

*Ezequiel Blanca*

*Cristian Leandro Lukaszewicz*

*Juan Ignacio Szombach*

***Integrantes***

***D.N.I.***

*Alexander Hector Dalle Rive Prieto*

*42.396.441*

*Matías Nicolás Labreñiuk*

*42.422.389*

# Índice

Índice .....	II
Introducción .....	IV
¿Qué es un escáner láser? .....	IV
Principios de funcionamiento.....	IV
Motivación.....	VI
Descripción de la propuesta .....	VI
Alcance .....	VI
Requerimientos .....	VII
Escáner Propuesto.....	VII
Planificación del Proyecto .....	X
Marco teórico .....	XI
Calibración de cámara .....	XI
Parámetros intrínsecos de la cámara .....	XI
Parámetros extrínsecos de la cámara .....	XI
Procesamiento del color.....	XII
Mayado en 3 Dimensiones .....	XIII
Flujograma del proceso de escaneo .....	XIII
Funcionamiento y desarrollo del escáner .....	XIV
Triangulación Láser.....	XIV
Procesamiento de Imagen.....	XIX
Secuencia de Escaneo.....	XXI
Interfaz Gráfica .....	XXIV
Diseño CAD .....	XXVII
Vista Parte .....	XXVII
Vista Explosiónada.....	II
Listado de Planos.....	III
Vista General de Escáner.....	XII
Renderizado.....	II
Diseño CAD de Caja Escáner .....	III
Listado de Planos.....	II
Renderizado.....	VI
Renderizado Conjunto Completo .....	VI
Diseño Electrónico .....	VII
Placa Electrónica.....	IX

Código del software.....	X
Imágenes y Videos.....	X
Imágenes .....	X
Video.....	I
Video funcionamiento .....	I
Testeos y pruebas.....	I
Presupuesto estipulado.....	V
Presupuesto y costos reales .....	VI
Hojas de datos de componentes.....	VII
Conclusiones.....	VII
Consultas realizadas .....	IX
Tiempo invertido .....	IX
Bibliografía.....	XIII

# Introducción

## ¿Qué es un escáner láser?

Los escáneres láser son instrumentos de medición que no requieren de contacto físico y que permiten definir la posición de un objeto en el espacio de una forma muy precisa.

Existen múltiples variantes de escáneres: portátiles, fijos, montados sobre un brazo robótico, drones, trípodes, escáneres móviles, etc.

## Principios de funcionamiento

### 1. Tiempo de vuelo

Este tipo de escáneres, se suele utilizar para medir distancias muy lejanas. Su principio de funcionamiento se basa en emitir un haz de luz láser, y al verse reflejado en el objeto a medir, se calcula el tiempo que tarda en regresar la luz al escáner. Con dicho tiempo, es posible calcular la distancia y con dicha distancia se representa en coordenadas.

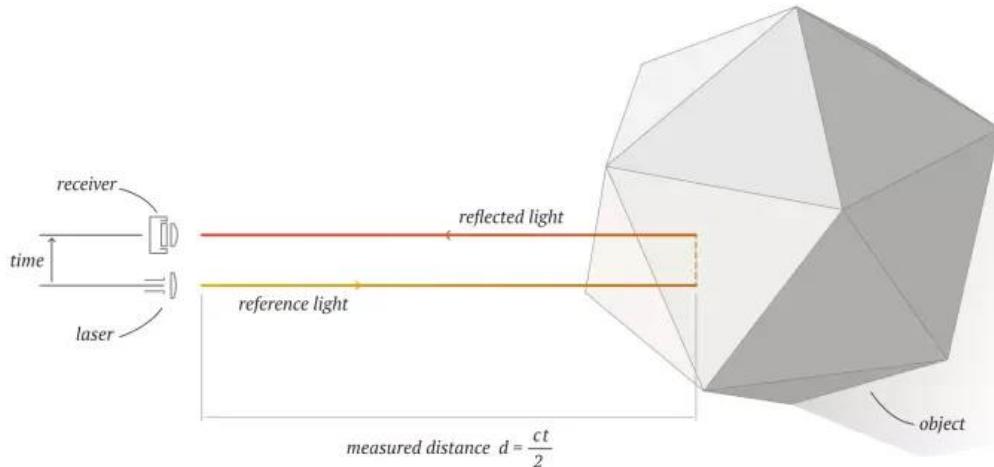


Ilustración 1- Imagen escaneo por tiempo de vuelo

### 2. Fases desplazadas

Este principio está basado en la emisión de varios rayos láser con distintas longitudes de onda. Al rebotar en el objeto y volver al escáner, se comparan las fases de las ondas con las emitidas, y a partir de eso, se puede calcular la distancia al objeto:

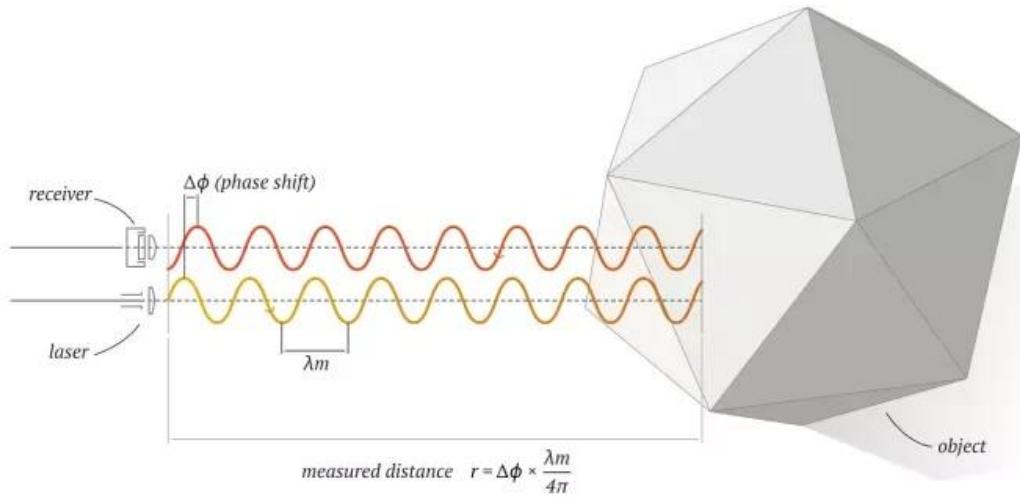


Ilustración 2-Imagen de escaneo por fases desplazadas

### 3.Triangulacion

Este método consiste en una cámara, un láser y un objeto al cual se le proyecta el láser. El ángulo entre la cámara y el láser es constante y conocido. Entonces, mediante trigonometría, es posible calcular la distancia:

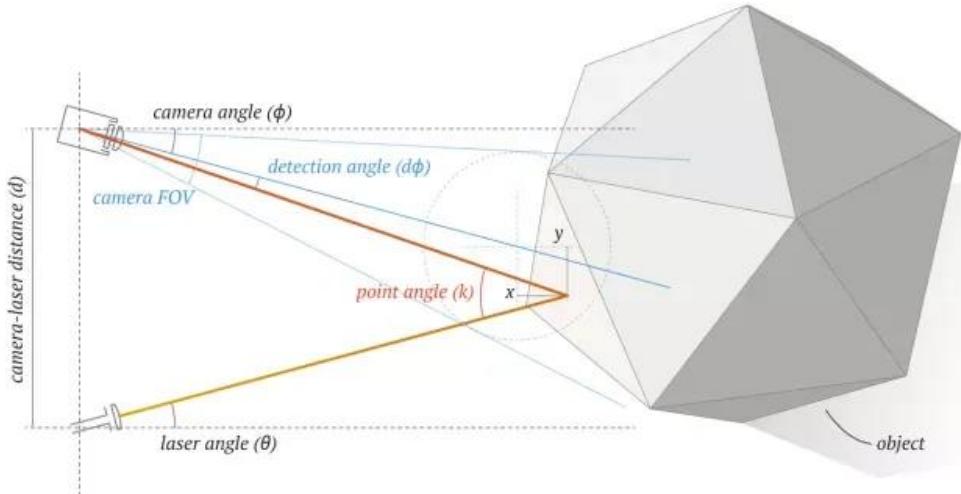


Ilustración 3-Imagen escaneo por triangulación

## **Motivación**

El presente proyecto surge de la necesidad de relevar información geométrica de piezas con superficies complejas, donde la medición se vuelve un problema. El mismo supone como objetivo, obtener el modelado 3D (preferentemente en extensión. .STL) describiendo una nube puntos del objeto escaneado, que luego tendrá como finalidad ser representado en cualquier programa de visualización 3D y/o manufacturado mediante una impresora 3D o CNC.

## **Descripción de la propuesta**

El escáner propuesto, basa su funcionamiento en la teoría de triangulación por láser. Se fija la posición del láser y la cámara. La línea del láser se proyecta sobre el objeto a escanear y la cámara captura imágenes del mismo. El objeto a escanear, se encuentra montado sobre una base rotativa, siendo que, luego de que se capture la imagen, la base, rotará un determinado ángulo para tomar la siguiente imagen. Dicho procedimiento se realizará hasta completar una vuelta completa del objeto (360°).

Debido al conocimiento de la disposición del láser, la cámara y el centro de giro de la pieza a escanear, se podrá estimar la posición de cada punto del haz de luz proyectado, pudiendo así, calcular la posición en el espacio (respecto del centro de giro) de cada punto de la superficie del objeto.

Posteriormente, relevados todos los puntos necesarios de la pieza, se generará mediante programación un archivo de salida con la información deseada.

## **Alcance**

Se pretende desarrollar en su totalidad el proyecto descrito anteriormente, cumpliendo con la funcionalidad y resultados aceptables. La imprecisión o el grado de fidelidad del modelo 3D quedará sujeto a variables tales como la calidad de la cámara, la cantidad de luz que ingrese, la falta de información técnica de la cámara, etc.

El escáner está orientado y sujeto a un tipo de costo económico, pero sin dejar de lado la funcionalidad y la utilidad del prototipo.

El volumen posible de escaneo esta acotado en un valor máximo.

La utilidad del escáner está orientada a ingenieros, diseñadores industriales, hobbistas que deseen agilizar el proceso de diseño o simplemente obtener un modelo digitalizado en 3 dimensiones de algún objeto.

La calidad y tolerancias en los resultados demuestran que no está pensado para un uso profesional de manufactura.

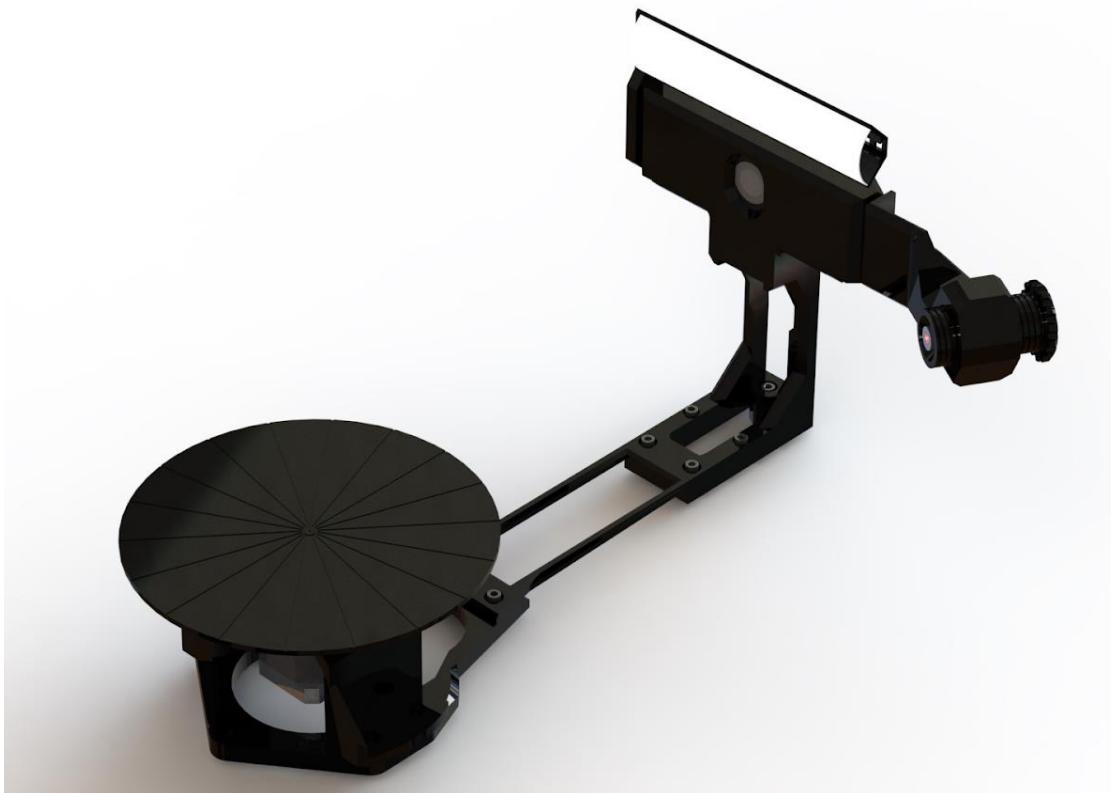
## *Requerimientos*

Los requerimientos funcionales que se le exigen al proyecto requieren que el escáner, logre escanear una pieza de determinado y acotado volumen para lograr obtener un archivo con extensión .STL que sea apropiado como input hacia una impresora 3D.

Toda funcionalidad y agregado estético, o de experiencia de usuario, no será indispensable para el funcionamiento del escáner, pero siempre es bienvenido en medida que se adecúen a los tiempos estipulados del proyecto.

## *Escáner Propuesto*

*Estructura completa*



*Ilustración 4-Modelo renderizado. Elaboración Propia.*



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE LOMAS DE ZAMORA**

*Facultad de ingeniería*



**PROYECTO FINAL  
“Escáner 3D por triangulación láser”**

**2º Cuatrimestre Año: 2023**

**GRUPO -**

**TP: Final**

**Página 7 de 62**

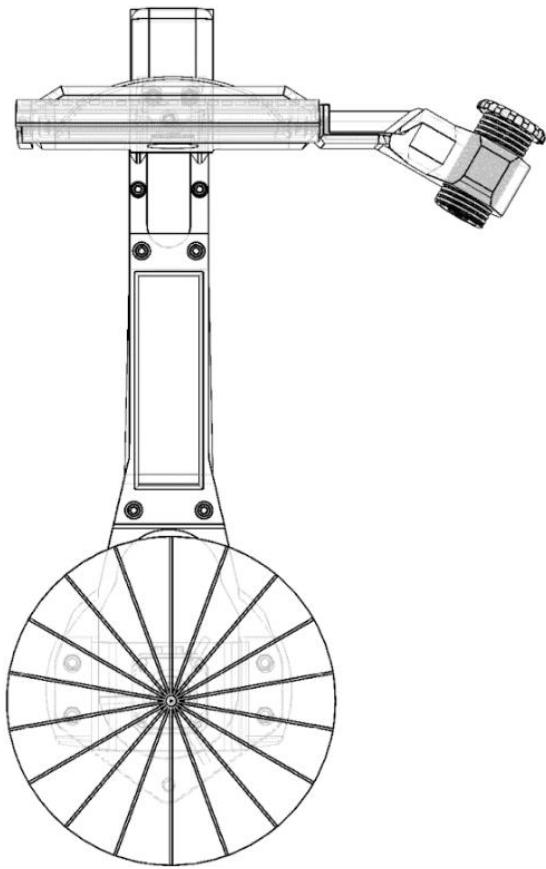


Ilustración 5-Modelo renderizado, vista líneas visibles. Elaboración propia.

### **Base rotativa**



Ilustración 6-Modelo renderizado - Base rotativa

La base rotativa, permite alojar el objeto a escanear encima. La misma, posee un motor paso a paso capaz de rotar la pieza respecto del eje vertical.



### *Soporte de la cámara*

La cámara estará montada y nivelada sobre un soporte que la mantenga en una misma posición. Esta posición está definida respecto del centro de giro de la base. Además, se tendrá en cuenta un ajuste de altura con el fin de captar la mayor cantidad de objeto útil escaneable dentro del marco de la imagen



*Ilustración 7- Modelo renderizado - Soporte de la cámara*

### *Soporte del láser*



Este soporte es desmontable y se encuentra al lado de la cámara. Es posible montar allí el láser, y posee un pequeño mecanismo para rotar el plano del láser y alinearlo con el eje de giro de la base.

*Ilustración 8 - Modelo renderizado - Soporte del láser*

# Planificación del Proyecto

Etapa	ID	Tarea	Tarea Predecesoras	coF	Estipulad	ización	Estipulación	[día]	Duración [horas]	InicioReal	FinalizaciónRe	Detalle	Responsables
Bosquejo	1	Definiciones del proyecto	---	11/8/2023	18/8/2023	7	28	3/8/2023	5/8/2023	Determinación de tipo de scanner		A. Dalle Rive Prieto	
Investigación	2	Relevamiento teórico	1	18/8/2023	1/9/2023	14	56	4/8/2023	16/8/2023	Base teórica de funcionamiento del scanner (conceptos de triangulación, formación de imagen y calibración de cámara, lógica secuencial del funcionamiento y técnicas de programación).		A. Dalle Rive Prieto	
Calibración y Ajuste	3	Calibración de cámara	2	1/9/2023	5/9/2023	4	16	16/8/2023	20/8/2023	Calibración de cámara mediante OpenCv con Python		N. Labreniuk	
Calibración y Ajuste	4	Prueba de imagen	3	5/9/2023	7/9/2023	2	8	21/8/2023	23/8/2023	Aplicación de calibración realizada a imágenes		A. Dalle Rive Prieto	
Diseño Mecánico	5	Diseño Prototipo	2	1/9/2023	6/9/2023	5	20	25/8/2023	5/9/2023	Modelado de prototipo mediante SolidWorks (base, stand de cámara y laser)		A. Dalle Rive Prieto	
Triangulación	6	Intersección espacial de imagen-objeto	5	6/9/2023	13/9/2023	7	28	2/9/2023	8/9/2023	Cálculo de intersección rayo-imagen con plano-laser para determinación de los puntos en el espacio		A. Dalle Rive Prieto	
Diseño Electrónico	7	Construcción circuito electrónico	---	13/9/2023	15/9/2023	2	8	10/9/2023	1/11/2023	Armado de placa PCB		N. Labreniuk	
Programación	8	Secuencia movimiento motor-base	7	15/9/2023	19/9/2023	4	16	12/9/2023	14/9/2023	Comunicación serial python-arduino		N. Labreniuk	
Programación	9	Toma de imágenes y almacenamiento	---	19/9/2023	24/9/2023	5	20	12/9/2023	14/9/2023	Comunicación python-cámara y almacenamiento en carpeta local		A. Dalle Rive Prieto	
Programación	10	Procesamiento imagen y obtención de puntos en el espacio	9	24/9/2023	8/10/2023	14	56	13/9/2023	20/9/2023	Lectura de imágenes almacenadas y obtención de los puntos mediante cálculo de intersección.		A. Dalle Rive Prieto	
Programación	11	Creación de archivo extensión .ply	10	8/10/2023	15/10/2023	7	28	15/9/2023	1/10/2023	Almacenamiento de puntos obtenidos en archivo .ply para posterior mallado.		A. Dalle Rive Prieto	
Modelado	12	Generación de superficies objeto 3D	11	15/10/2023	29/10/2023	14	56	3/10/2023	10/10/2023	Creación de archivo .stl con superficie mallada a partir de nube de puntos		A. Dalle Rive Prieto	
Programación	13	Interfaz gráfica	---	15/10/2023	14/11/2023	30	120	8/11/2023	1/12/2023	Interfaz para control del usuario y visualización.		N. Labreniuk	
Documentación	14	Documentación de Proyecto	---	15/10/2023	9/12/2023	55	220	1/12/2023	8/12/2023	Documentación técnica, desarrollo de cálculos y programación, diseño (planos), etc.		A. Dalle Rive Prieto	
<b>Totalles</b>						<b>198</b>	<b>680</b>						

Ilustración 9 - Diagrama de Gantt - Elaboración propia

 [Link al documento completo](#)



## Marco teórico

### Calibración de cámara

Todas las cámaras poseen cierta distorsión que depende de varios factores intrínsecos y extrínsecos a la misma. Entonces, es necesario encontrar una correcta relación entre un punto del espacio y su representación en el punto de la escena de la cámara.

El modelo lineal (*pin hole*) utilizado para describir la transformación del punto en la escena representado en las coordenadas de la imagen, está modelado a partir de la siguiente expresión:

$$q_i = \lambda \cdot K \cdot [R \ t] \cdot p$$

De donde:

$q_i = [u_i, v_i, h_i]$  → Coordenadas homogéneas en la imagen

$p_i = [x_i, y_i, z_i]$  → Punto correspondiente a la escena

$R$  → Matriz de rotación

$K$  → Matriz de parámetros intrínsecos de la cámara

$t = [t_x, t_y, t_z]$  → Vector de translación

### Parámetros intrínsecos de la cámara

Se trata de una matriz 3x3 que define los parámetros internos de la cámara. Estos parámetros, son propios de cada cámara. Entonces, la matriz intrínseca queda definida por:

$$K = \begin{bmatrix} fk_u & 0 & u_0 \\ 0 & fk_v & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

De donde:

$fk_u$  = distancia focal horizontal [mm]

$fk_v$  = distancia focal vertical [mm]

$(u_0, v_0)$  = centro de la imagen [píxel]

### Parámetros extrínsecos de la cámara

Esta matriz se utiliza para representar el punto del espacio en el plano de la cámara. Está definida por

$$P = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_W \\ Y_W \\ Z_W \\ 1 \end{bmatrix}$$



De donde:

$r_{ij}$  = matriz de rotación

$t = [t_x, t_y, t_z]$  → Vector de traslación

Entonces, la combinación de ambas matrices queda definida:

$$P = \begin{bmatrix} fk_u & 0 & u_0 \\ 0 & fk_v & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix}$$

## Procesamiento del color

### Modelo de color HSV

El método está basado en un mapeo de valores en un determinado rango. Dichos valores, son:

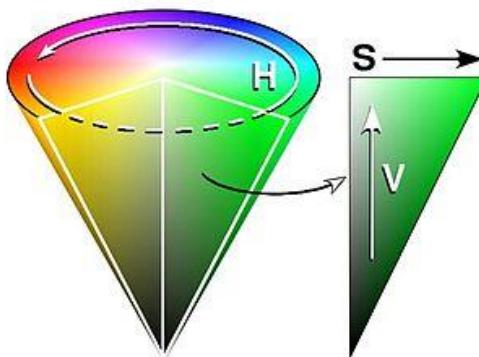


Ilustración 10 - Modelo ilustrativo de concepto HSV

#### ■ H (Hue):

El parámetro H, define un rango el cual representa la gama de matices de los colores.

#### ■ S (Saturation):

El parámetro S, se refiere al nivel de saturación o intensidad para esa gama de color.

#### ■ V (Value):

El parámetro V, define el nivel de brillo.

Entonces combinando estos tres valores, es posible definir un color deseado.

## *Mayado en 3 Dimensiones*

### *Cálculo de vectores normales*

Para la creación de una malla tridimensional, el primer paso es la formación de caras. Estas caras se construyen al unir tres puntos que definen un triángulo. Desde un punto común, se trazan dos vectores hacia los otros dos puntos. El producto vectorial de estos dos vectores resulta en un vector normal que indica la orientación de la cara. La dirección de este vector normal define la orientación de la superficie para la respectiva cara.

### *Método de reconstrucción de superficies por Poisson*

Conforme se detalla en el paper, el método de Poisson se emplea para reconstruir superficies en las cuales las muestras no están distribuidas uniformemente. En este enfoque, se define un campo vectorial, seguido de la resolución de la ecuación de Poisson para obtener la función que mejor se adapte a dicho campo vectorial. Finalmente, se define la superficie y se ajusta para que concuerde con las muestras de la nube de puntos.

## *Flujograma del proceso de escaneo*

En la siguiente figura, se ilustra a modo descriptivo, el proceso general a seguir para cumplir con las expectativas del proyecto:

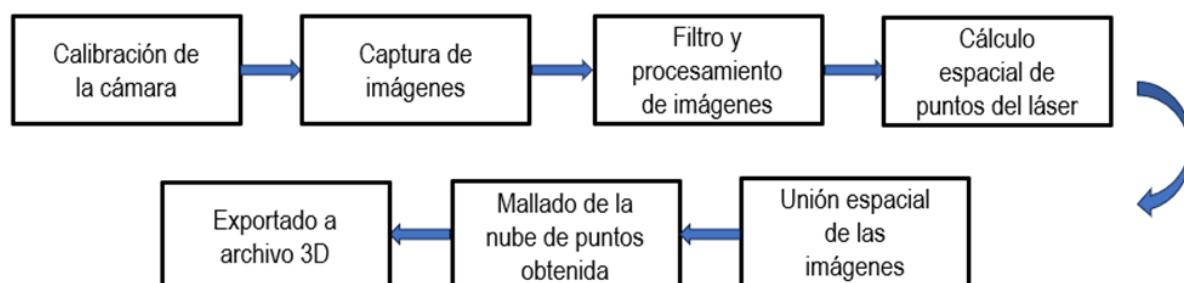


Ilustración 11 - Diagrama de procedimiento - Elaboración propia

# Funcionamiento y desarrollo del escáner

## Triangulación Láser

Para la comprensión del funcionamiento del escáner, es importante establecer antes, algunos detalles respecto a la triangulación láser utilizada en el mismo y, cómo este se puede llevar a cabo mediante implementaciones geométricas espaciales.

Comenzando, la triangulación láser necesita la posición de tres puntos en el espacio:

- ✓ Posición de la Cámara.
- ✓ Posición del centro de la base rotativa.
- ✓ Posición del láser.

Las tres posiciones son fijas respecto de nuestro sistema de referencia, pero lo que será variable, es la posición de nuestro objeto a escanear. El mismo será rotado respecto al Eje Z en cada paso angular de relevamiento.

El sistema de referencia queda:

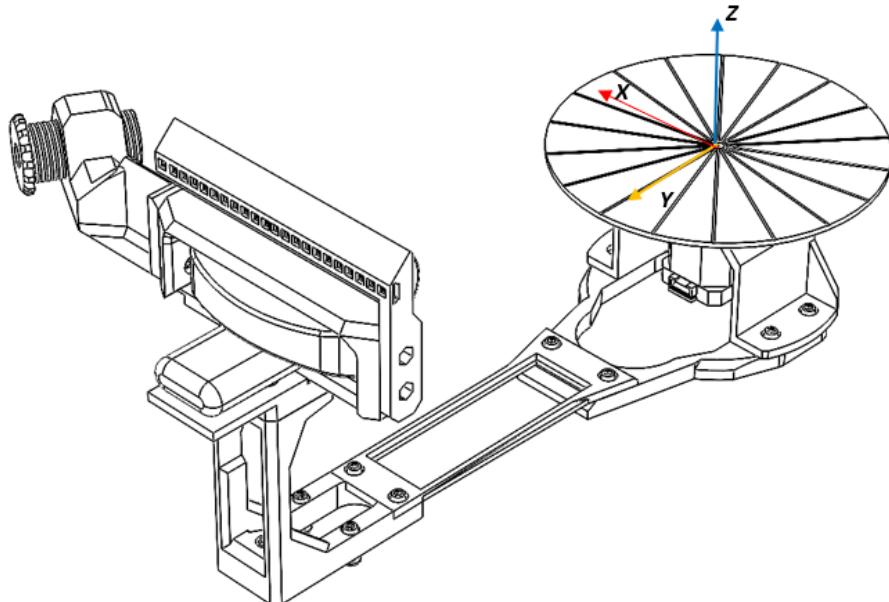


Ilustración 12 - Sistema de referencia – Vista isométrica

La posición de la cámara se encuentra a  $300\text{ mm}$  en el **Eje Y** de nuestro sistema de referencia, y el láser presenta una inclinación de  $30^\circ$  respecto del **Eje Y**, como se muestra a continuación:

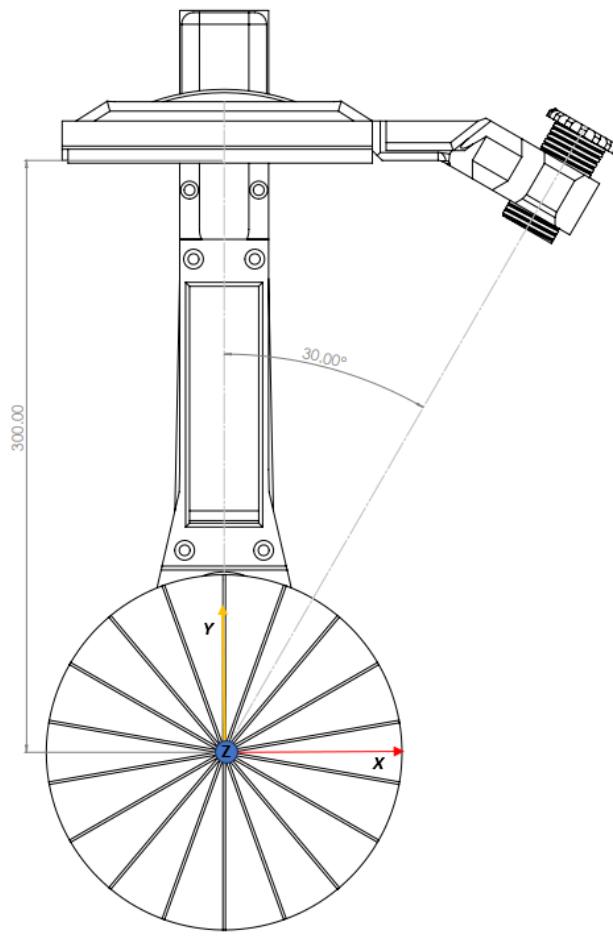


Ilustración 13 - Sistema de referencia - Vista superior

La triangulación se calculará a partir de imágenes que obtenga la cámara en cada rotación de la pieza, por lo tanto, es necesario comprender cómo encontrar una relación entre el láser y la imagen obtenida por la cámara.

Será necesario que el láser sea de tipo “barrera”, lo cual permite generar un “plano de corte” sobre la pieza a escanear. Se ilustra a continuación un ejemplo visual:

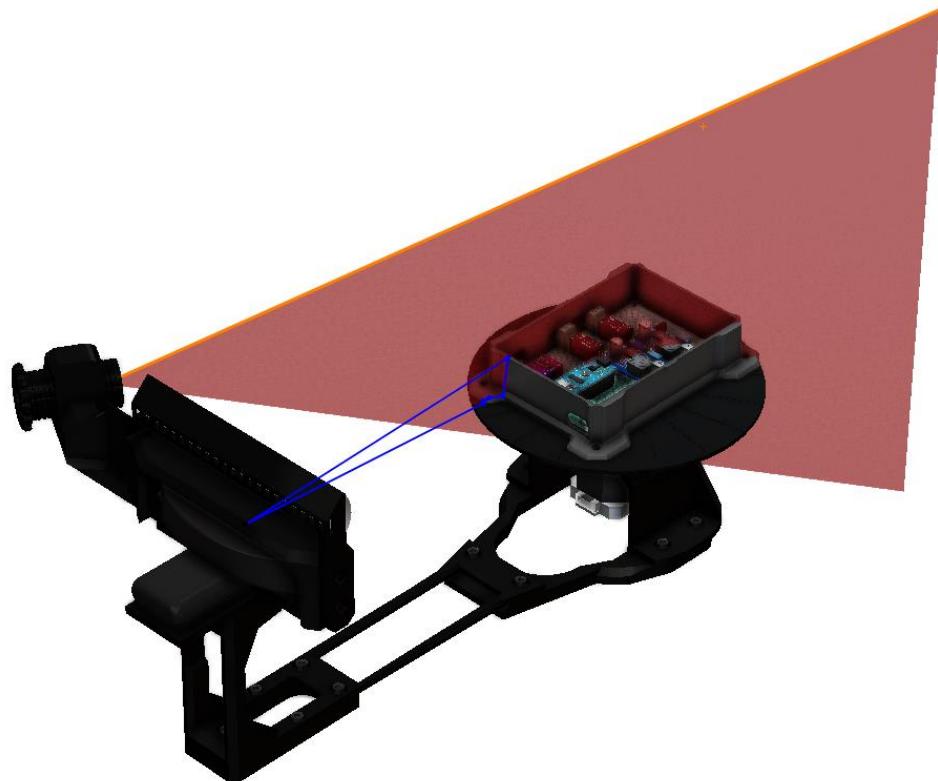


Ilustración 14 - Modelado de proyección del láser

Cada píxel de la imagen iluminado en rojo, será un haz de luz proveniente del impacto del láser sobre la pieza a escanear. Ya que la posición de la cámara y el láser son fijos respecto del centro de la base rotativa, se asegura que ese “plano de corte” se encuentra siempre al ángulo de inclinación del láser respecto al Eje Y (en este caso 30°).

Aplicando conceptos geométricos, dado que tenemos el plano, el punto iluminado sobre la pieza será un punto de ese plano. La recta que pasa por ese punto (y, por lo tanto, corta al plano) será el haz de luz que recibe el sensor de la cámara.

Dicho esto, el punto iluminado sobre la pieza será la intersección entre la recta y el plano.

Ya que la recta debe generarse considerando dos puntos (el primero será el punto focal de la cámara, y el segundo será variable y es el píxel iluminado sobre el sensor de la cámara), cada pixel sobre la imagen será una recta diferente.

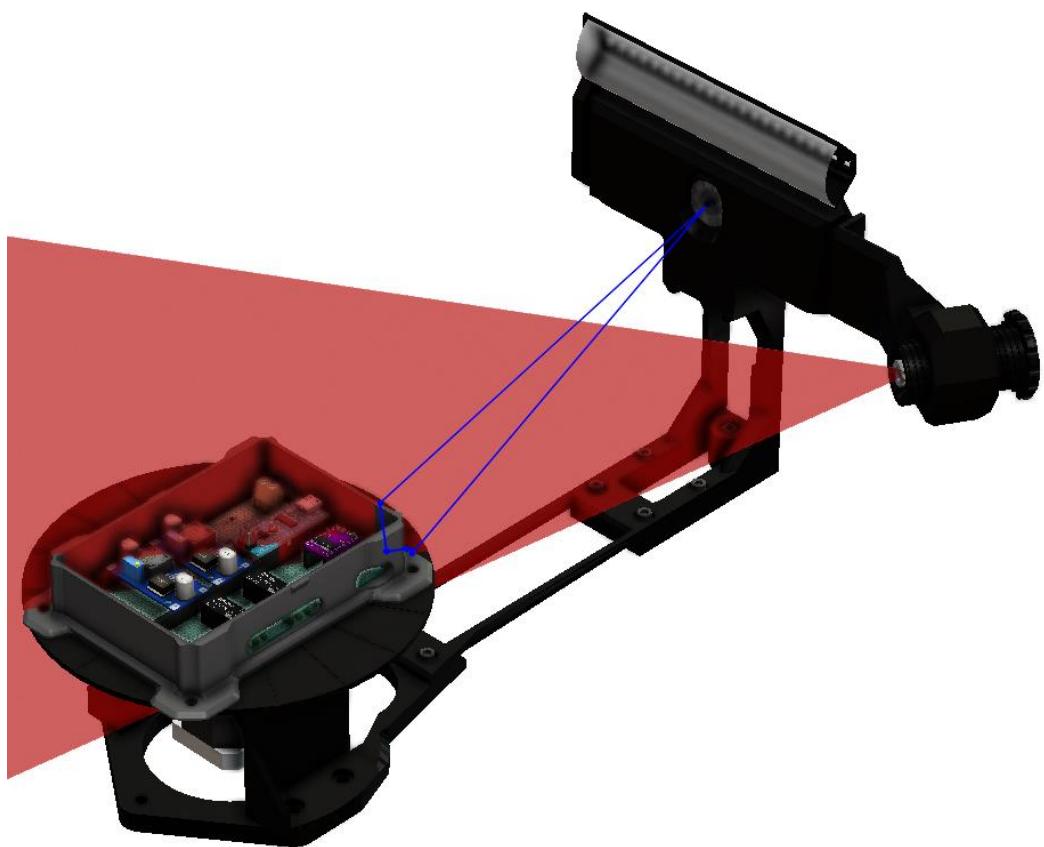


Ilustración 15 - Modelado de proyección del láser

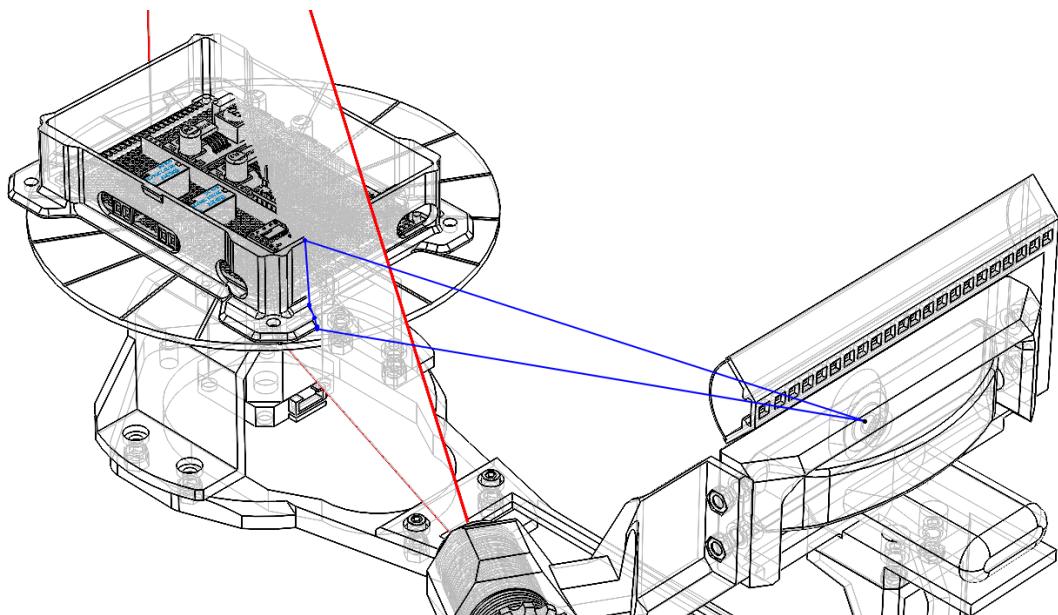


Ilustración 16 - Modelado de proyección del láser

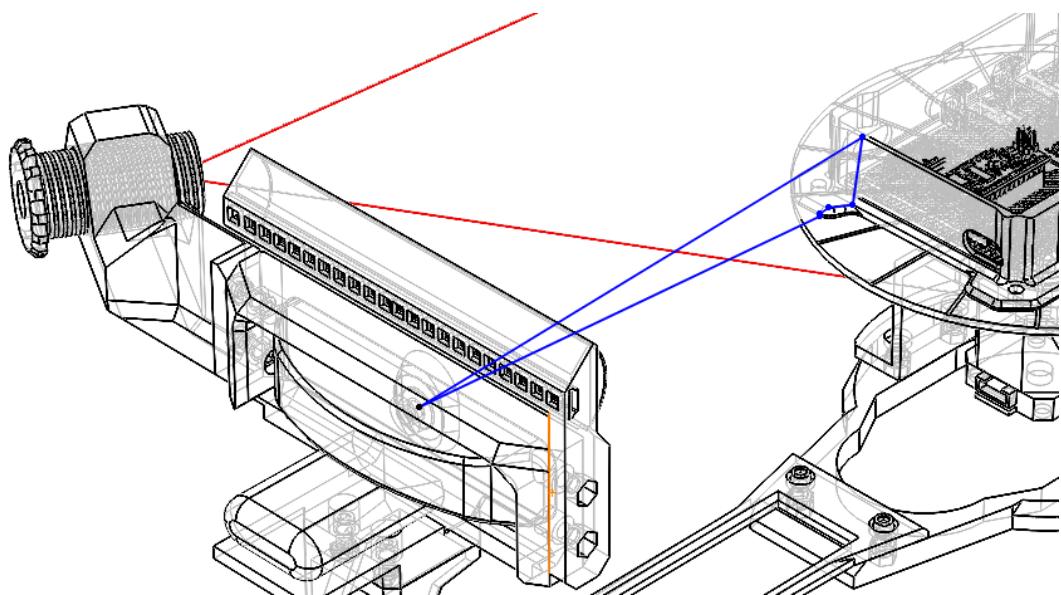


Ilustración 17 - Modelado de proyección del láser

Una de las consideraciones más importantes, es realizar una calibración previa de la imagen debido a las deformaciones generadas por la cámara (donde se aplica la calibración de cámara comentada anteriormente). Cada cámara posee propiedades intrínsecas que deben ser relevadas antes de poder llevar a cabo este proceso de triangulación.

Sabiendo que cada pixel representa una recta diferente (pero invariable en su dirección), es posible calcular para cada uno, la representación del punto de la pieza en el sistema de referencia propuesto.

De esta manera, es posible conocer la posición que “representa” cada píxel de la imagen, en el sistema de referencia si cada uno fuera iluminado por el haz láser proveniente desde el “plano de corte”.

Teniendo en cuenta que cada punto relevado de cada imagen corresponde a un ángulo de giro de la pieza respecto al *Eje Z*, se deberá aplicar una rotación para rotar la posición del mismo.

Siendo:

$$(x_0, y_0, z_0) \rightarrow \text{Punto espacial en el plano de corte}$$

$$(x_i, y_i, z_i) \rightarrow \text{Punto espacial rotado}$$

$$R_Z = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \rightarrow \text{Matriz de rotación respecto al eje Z}$$

Siendo  $\theta$  = ángulo de giro correspondiente a cada imagen obtenida.

Entonces, rotando el punto espacial en el plano de corte, se obtiene el punto espacial rotado:

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix}$$

El escáner permite ajustar la resolución de barrido angular según el control del motor acoplado a la base rotativa. En este caso, el motor puede controlarse mediante el driver 8825, que permite utilizar micro pasos y así, poder reducir el ángulo de giro de cada paso.

Las opciones posibles son:

- *Paso Completo* → Ángulo  $1.8^\circ$
- *Paso  $\frac{1}{2}$*  → Ángulo  $0.9^\circ$
- *Paso  $\frac{1}{4}$*  → Ángulo  $0.45^\circ$
- *Paso  $\frac{1}{8}$*  → Ángulo  $0.225^\circ$
- *Paso  $\frac{1}{16}$*  → Ángulo  $0.1125^\circ$
- *Paso  $\frac{1}{32}$*  → Ángulo  $0.05625^\circ$

Cada imagen relevada, corresponderá a un ángulo de giro respecto al *Eje Z*, y el incremento de ángulo  $d\theta$  entre imagen e imagen corresponde a dicho paso angular del motor.

También, a menor paso angular, mayor cantidad de imágenes a capturar por la cámara y, por lo tanto, mayor tiempo de ejecución y procesamiento.

### Procesamiento de Imagen

Suponiendo que las condiciones de escaneo permiten obtener una imagen totalmente oscura donde sólo se visualiza la línea generada sobre la pieza por el impacto del láser (y que la pieza solo refleja la línea), se deberá identificar los píxeles en color “rojo” (dentro de un rango establecido) y aislar los demás píxeles, ya que no aportan información sobre la pieza escaneada.

Para ello, cada imagen obtenida con el láser encendido, será procesado y se obtendrá un mapa de “*unos y ceros*”, siendo los píxeles en uno los que son válidos para triangular y ceros los que no aportan información.

A continuación, un ejemplo:

Considerando una imagen de 16:9, donde se tienen nueve píxeles de altura y 16 píxeles de ancho

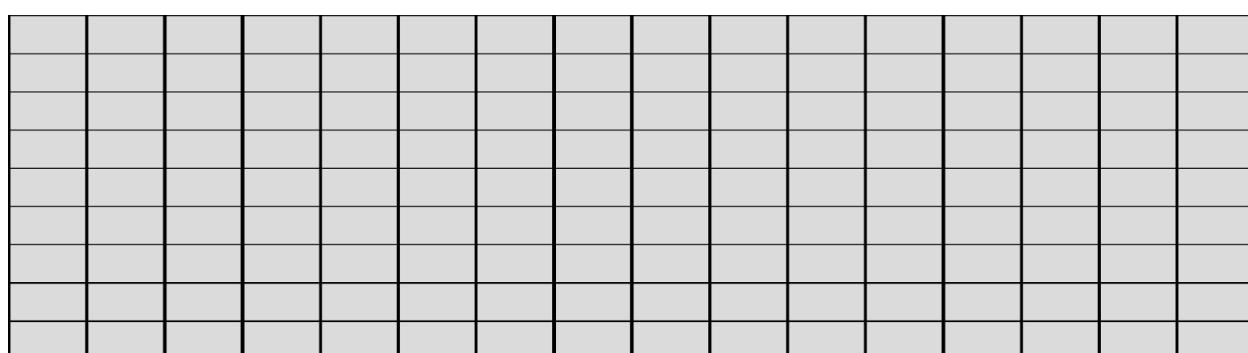


Ilustración 18-Matriz de Imagen



Ilustración 19-Matriz de Imagen con Láser

[0,0,0]	[0,0,0]	<b>[0,100,53]</b>	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]
[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	<b>[0,100,100]</b>	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]
[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	<b>[0,100,100]</b>	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]
[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	<b>[0,100,100]</b>	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]
[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	<b>[0,100,100]</b>	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]
[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	<b>[0,100,53]</b>	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]
[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	<b>[0,100,53]</b>	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]
[0,0,0]	[0,0,0]	<b>[0,100,53]</b>	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]
[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]	[0,0,0]

Ilustración 20-Matriz de valores HSV de la Imagen

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	<b>1</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	<b>1</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	<b>1</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	<b>1</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	<b>1</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	<b>1</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	<b>1</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	<b>1</b>	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>1</b>	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>1</b>	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>1</b>	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>1</b>	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>1</b>	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>1</b>	0	0

Ilustración 21-Matriz filtrada por rango de "rojo"

Quedando finalmente, los píxeles en “uno” aquellos que poseen un valor de “rojo” dentro del rango especificado.

Una vez obtenida la matriz final de la imagen procesada, se puede realizar un procedimiento muy sencillo para obtener los puntos espaciales.

Como se mencionó previamente, cada pixel corresponde a una posición  $(x_0, y_0, z_0)$  para el sistema de referencia establecido, por lo tanto, se tienen tres matrices con la posición espacial de cada pixel:

- *Matrix Posición X → MtX = [12.24 – 32.45 : ∙ : 12.24 … – 32.45]*
- *Matrix Posición Y → MtY = [-10.50 … 182.32 : ∙ : -10.50 … 182.32 ]*
- *Matrix Posición Z → MtZ = [25.30 … 25.30 : ∙ : -53.32 … – 53.32]*

A partir de la matriz de imagen filtrada, para cada pixel en uno, se busca la misma posición [fila, columna] en las tres matrices de posición:

$$(x_0, y_0, z_0) = (MtX[p_x, p_y], MtY[p_x, p_y], MtZ[p_x, p_y])$$

Siendo:

$p_x$  = posición del píxel en la horizontal

$p_y$  = posición del píxel en la vertical

Por último, se aplica la rotación:

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix}$$

### Secuencia de Escaneo

Durante la ejecución, el escáner sigue una iteración de pasos, estos se denominan “secuencias de escaneo”, que son secuencias establecidas para el relevamiento de los puntos de la pieza y posterior creación de la nube de puntos.

Existen dos secuencias de escaneo:

- Secuencia 1 → Escaneo con color
- Secuencia 2 → Escaneo sin color

La secuencia 1 establece:

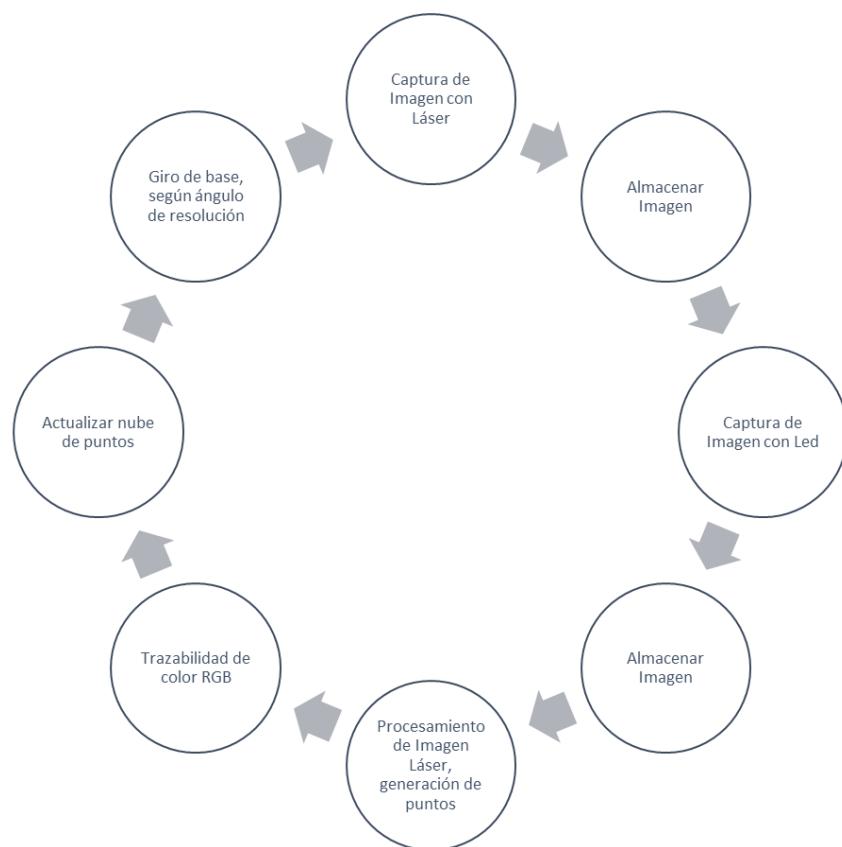


Ilustración 22 - Diagrama de secuencia 1

La secuencia 2 establece:

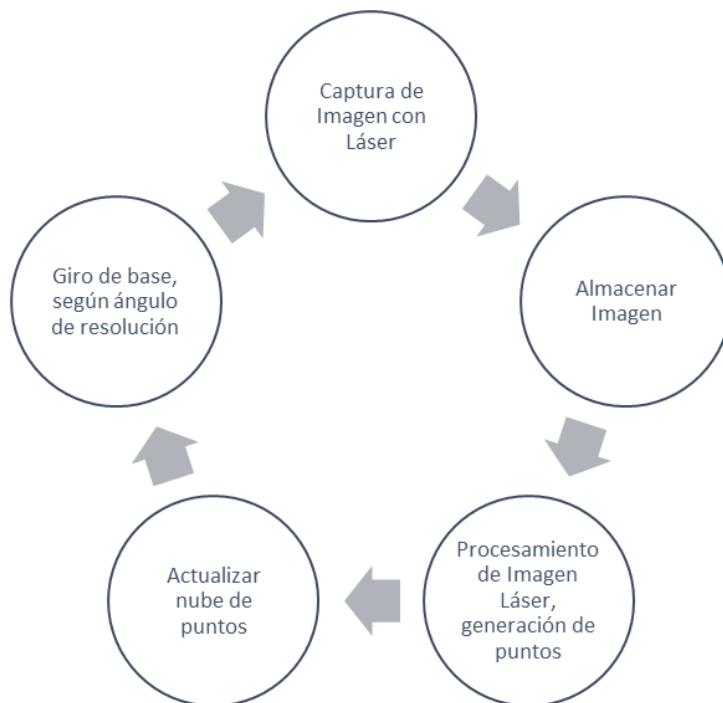


Ilustración 23 - Diagrama de secuencia 2

Para la captura de color, cada pixel correspondiente a la imagen láser, le corresponde el mismo pixel para la imagen led. Con esto, simplemente se debe realizar la búsqueda en la imagen led con la posición del píxel correspondiente a la imagen láser.



Ilustración 24-Imagen Láser



Ilustración 25-Imagen LED

## Interfaz Gráfica

Para el control del escáner, se desarrolló una Interfaz Gráfica que permite seleccionar las opciones de escaneo y ver métricas durante el proceso.

También, posee un apartado para el mallado de la nube de puntos mediante Poisson.

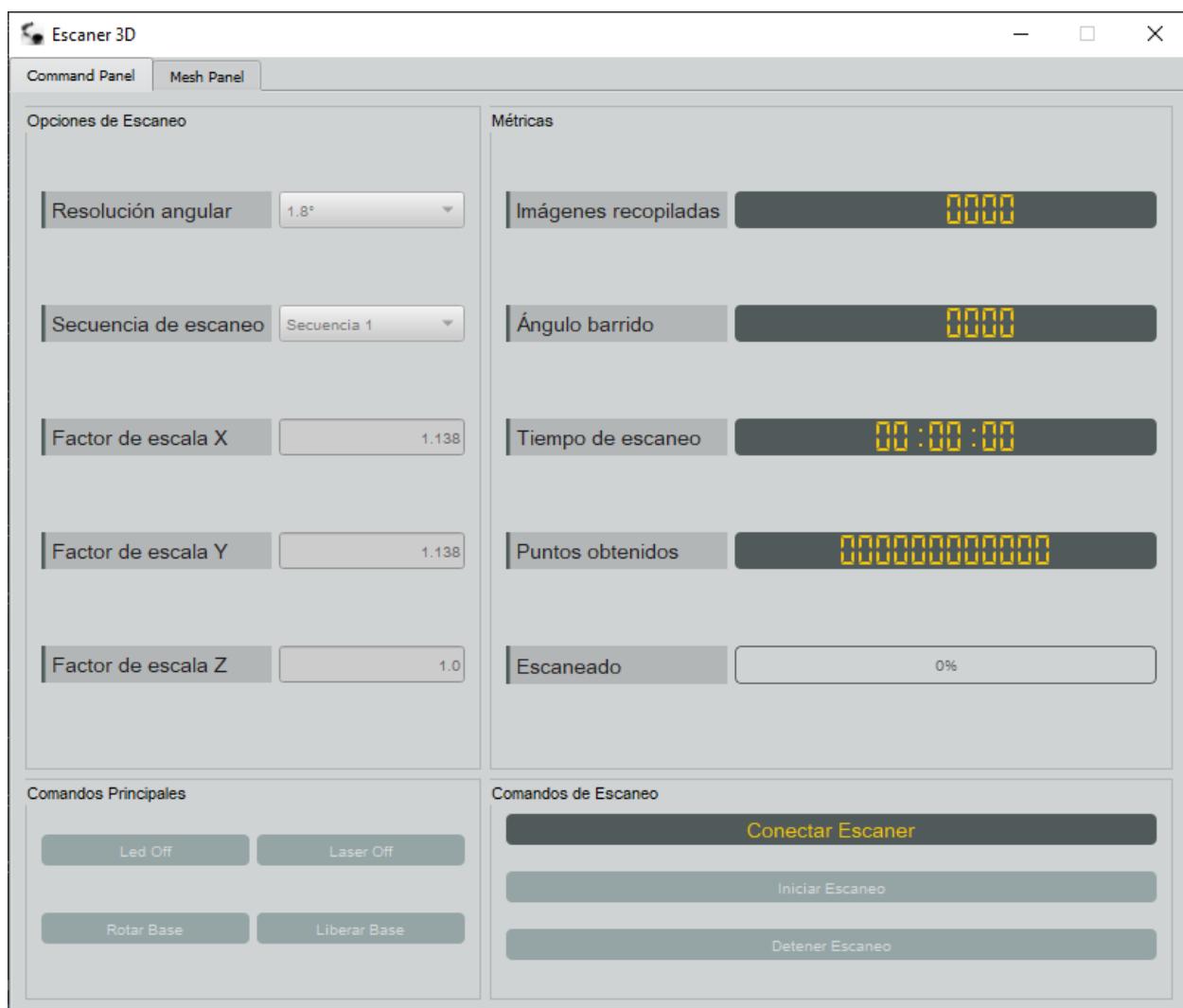


Ilustración 26 - Captura de la interfaz gráfica - Ventana Panel de comandos

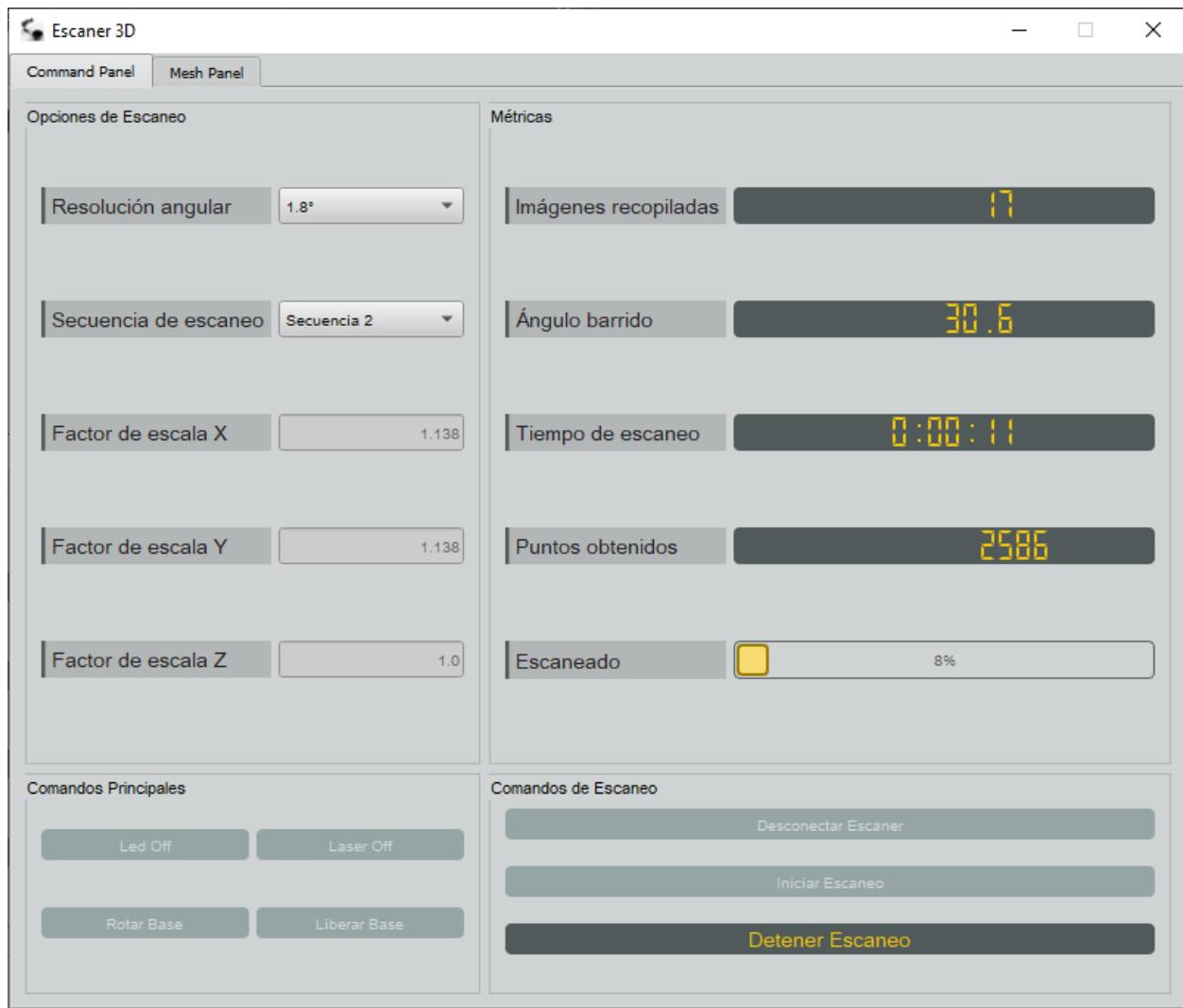


Ilustración 27 - Captura de la interfaz gráfica - Ventana Panel de comandos



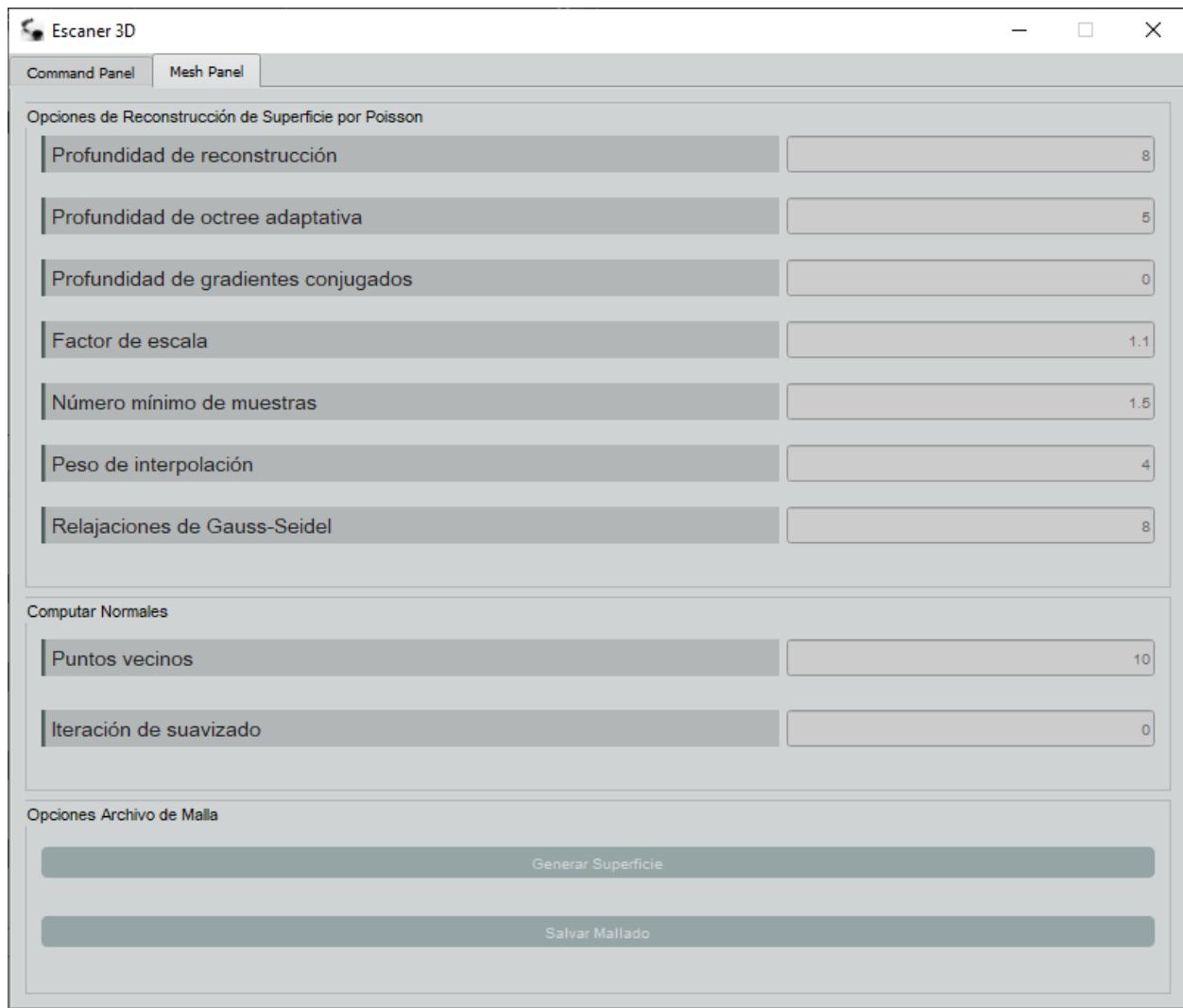


Ilustración 28 - Captura de la interfaz gráfica - Ventana Configuraciones



## Diseño CAD

El prototipo se ha desarrollado en el programa SolidWorks. Todos los modelos CAD están disponibles en el adjunto de este informe, y los respectivos planos.

### Vista Parte

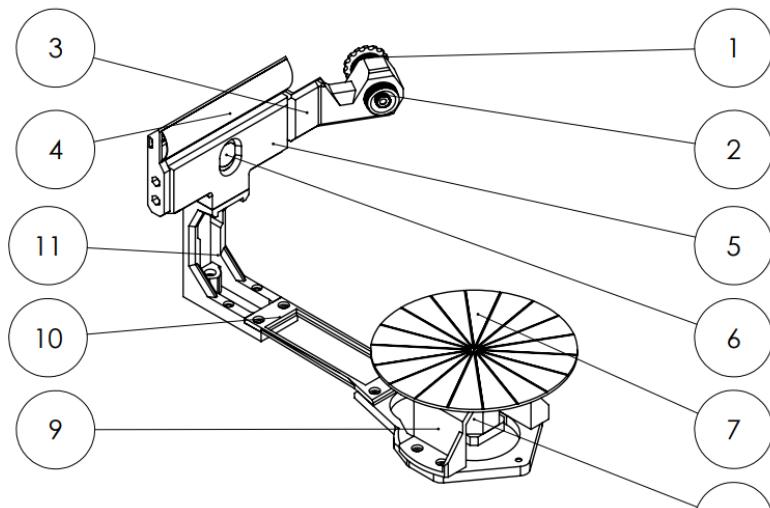


Ilustración 29

Componente	Nombre
1	Marco Laser Rotativo
2	Laser
3	Marco Laser
4	Marco Led
5	Marco Cámara
6	Cámara
7	Base Pieza
8	Motor Nema 17
9	Soporte Motor
10	Unión Bases
11	Soporte Marco Cámara

Ilustración 30

## Vista Explosiónada

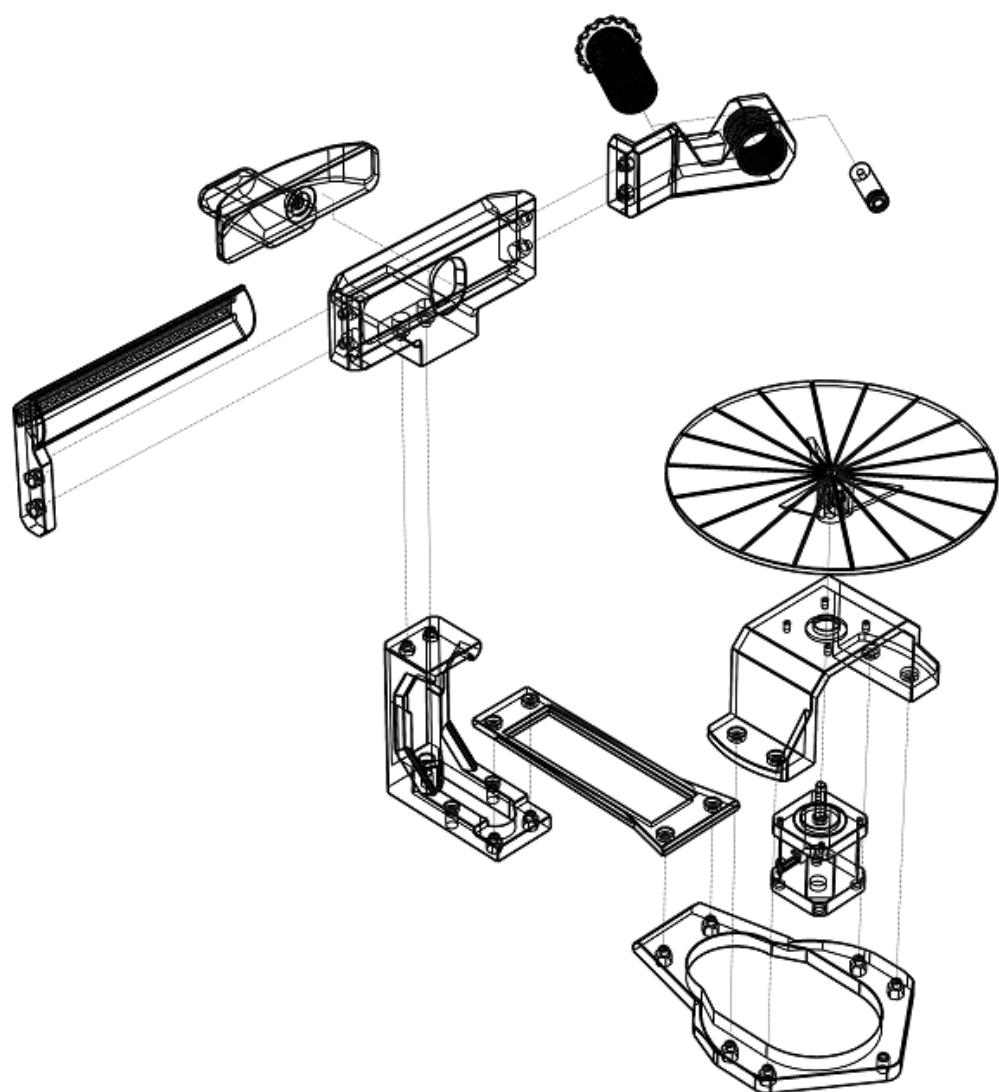
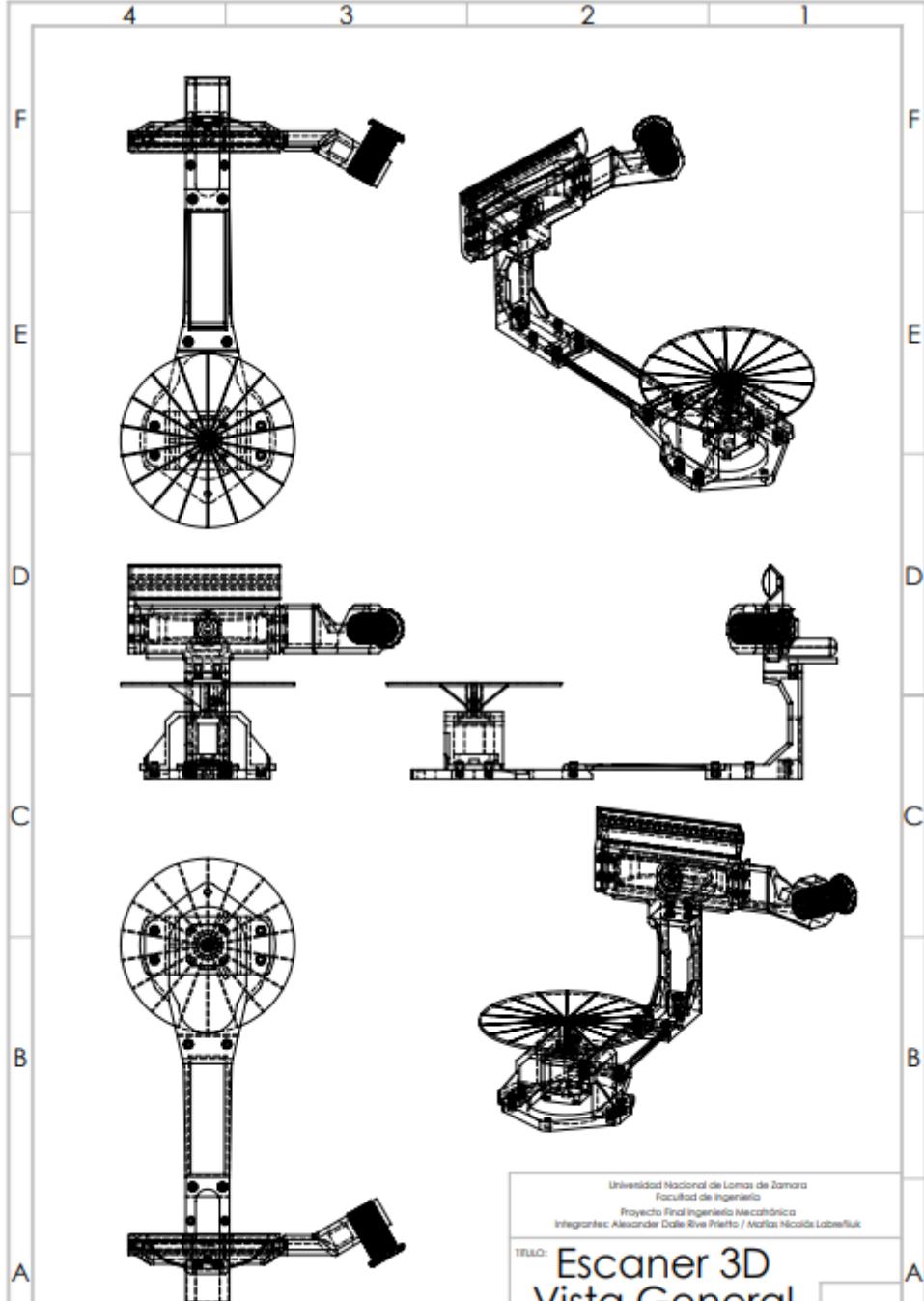


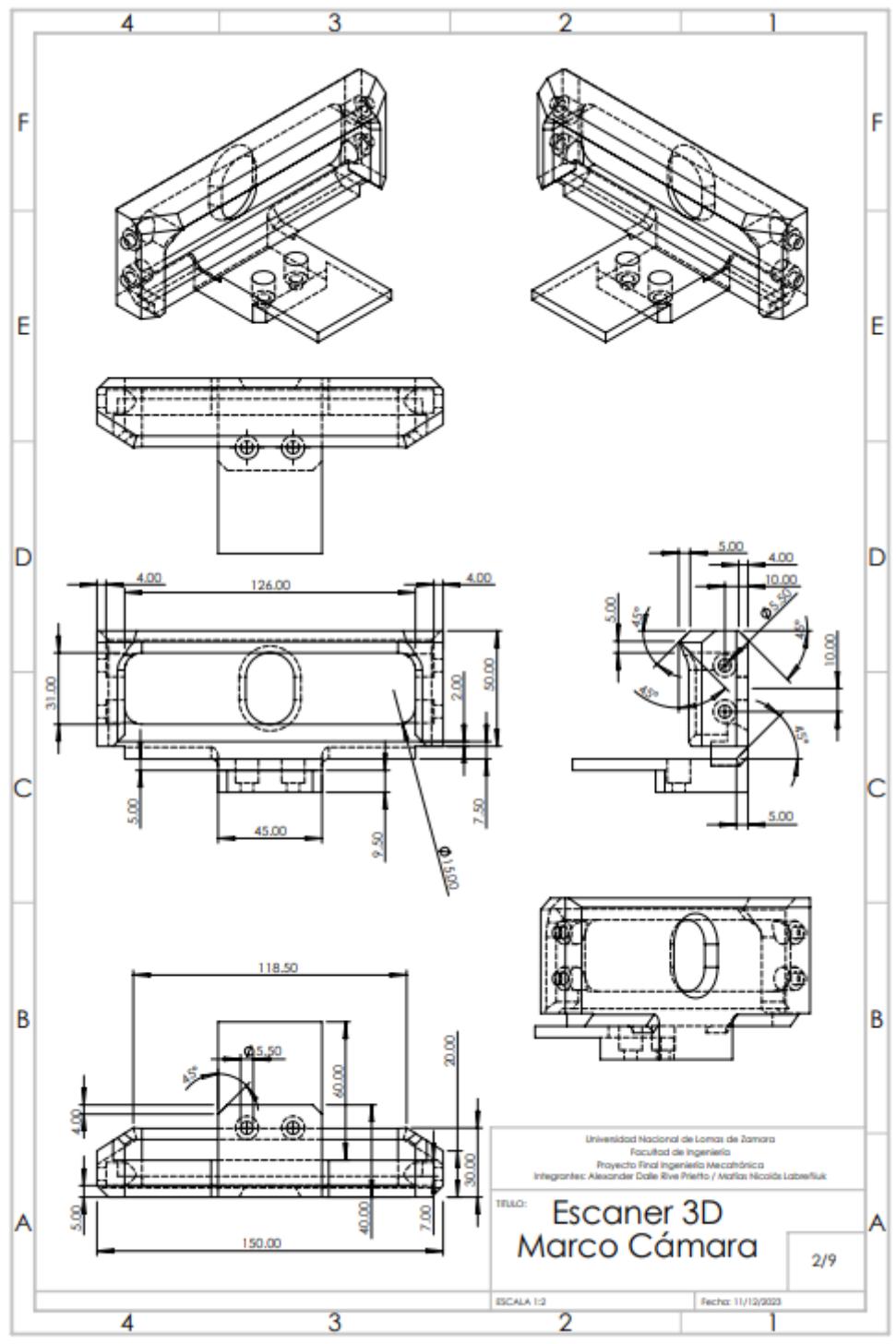
Ilustración 31

## Listado de Planos

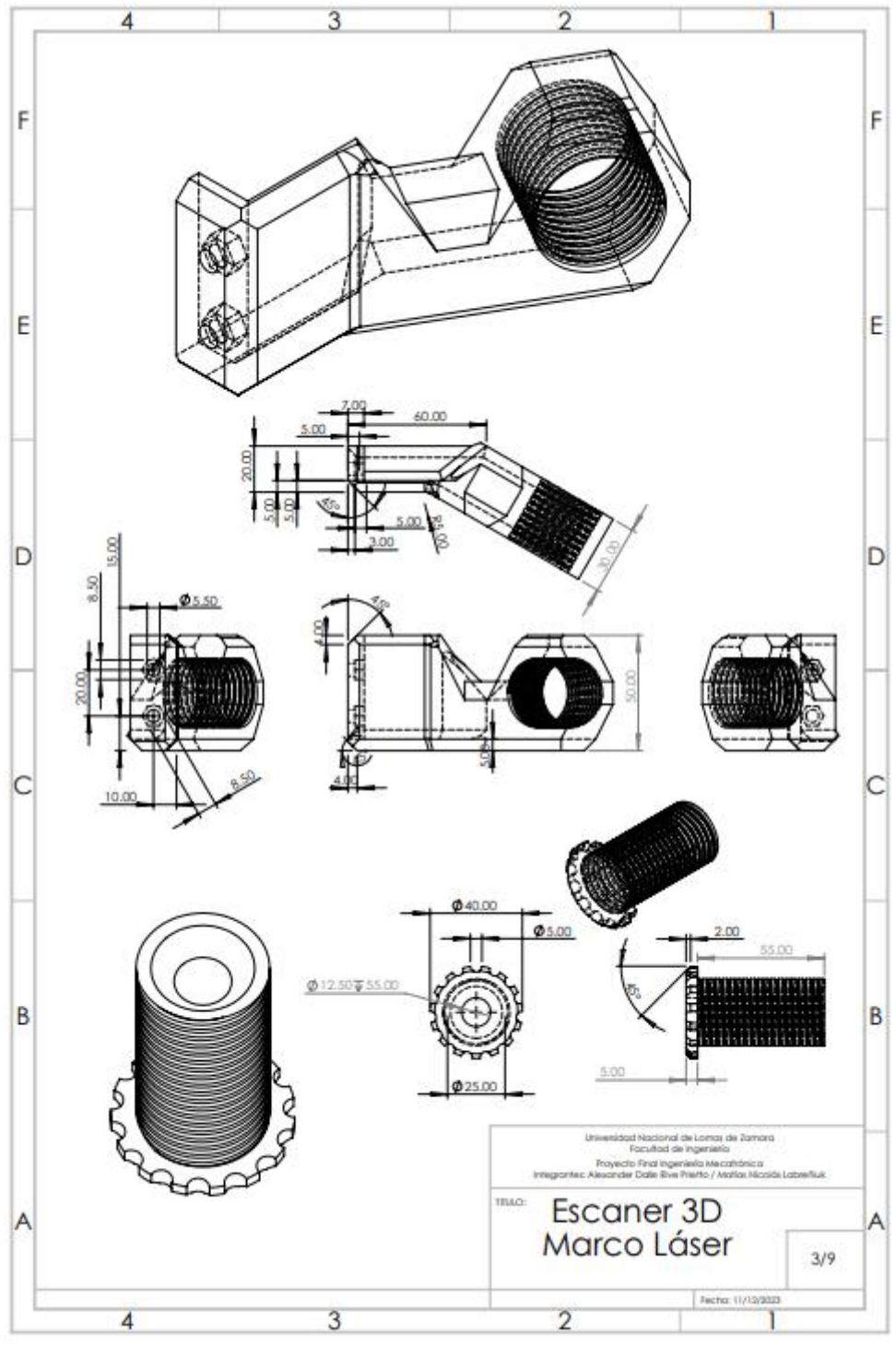
Nombre Plano	Plano
<b>Vista General</b>	 <p>Universidad Nacional de Lomas de Zamora Facultad de Ingeniería Proyecto Final Ingeniería Mecatrónica Integrantes: Alexander Dalle Rive Prieto / Matías Nicolás Laberleuk</p> <p>TÍTULO: Escáner 3D Vista General</p> <p>1/9</p> <p>ESCALA 1:5</p> <p>FECHA: 11/12/2023</p>



**Marco Cámara**



**Marco Láser**



UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE LOMAS DE ZAMORA

Facultad de ingeniería



**PROYECTO FINAL**  
**“Escáner 3D por triangulación láser”**

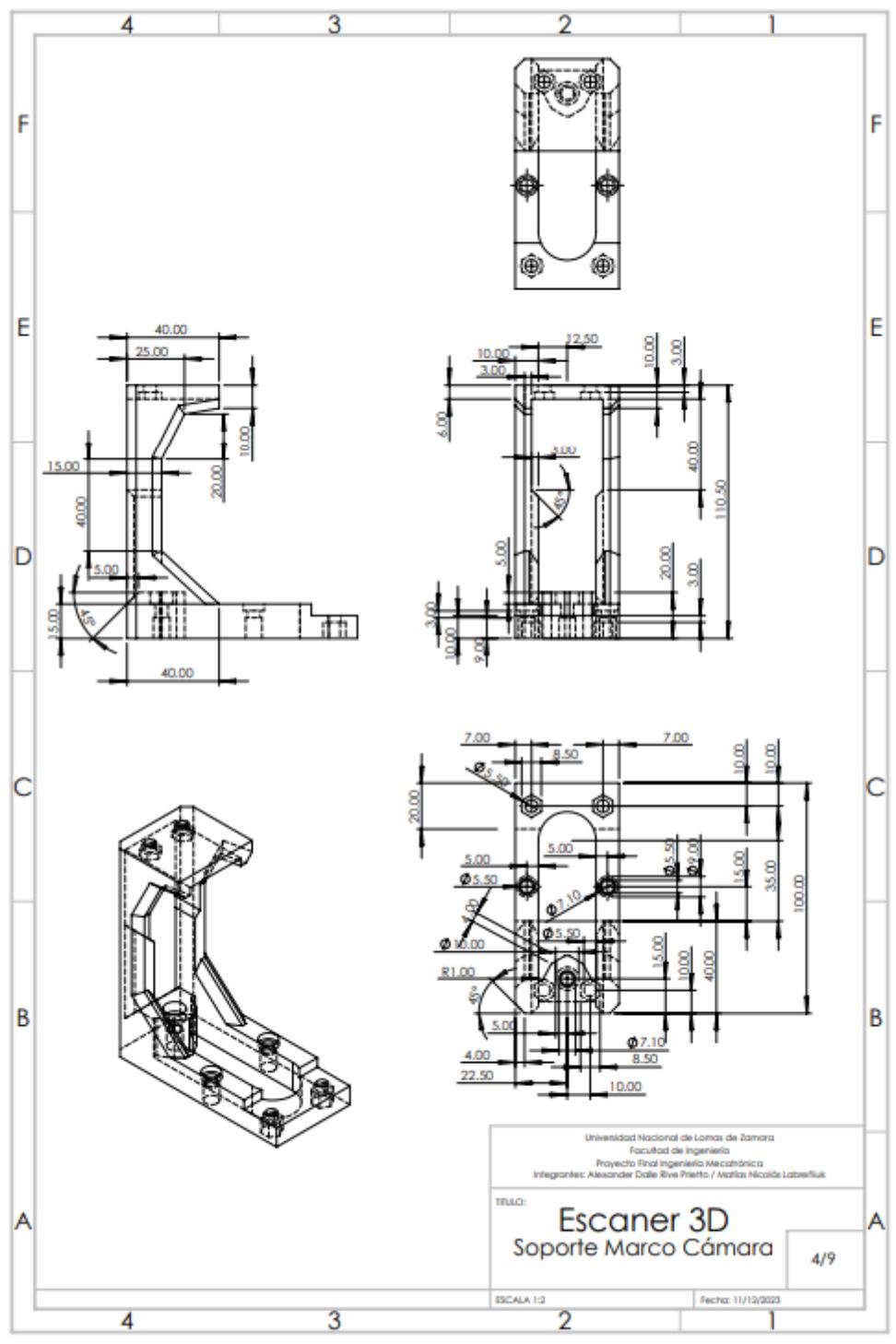
**2º Cuatrimestre Año: 2023**

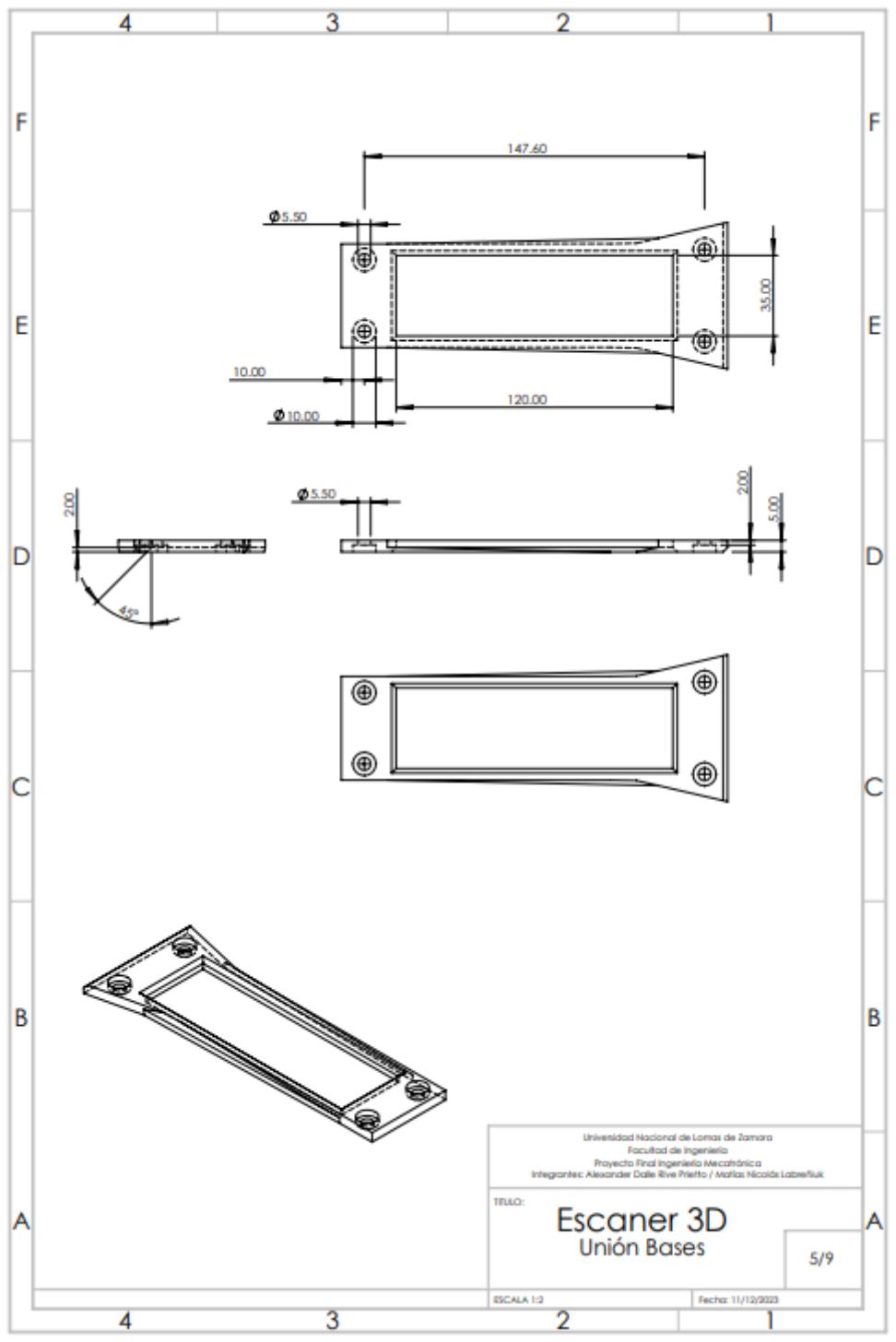
**GRUPO -**

**TP: Final**

**Página 5 de 62**

**Soporte Marco  
Cámara**



**Unión Bases**

UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE LOMAS DE ZAMORA

Facultad de ingeniería



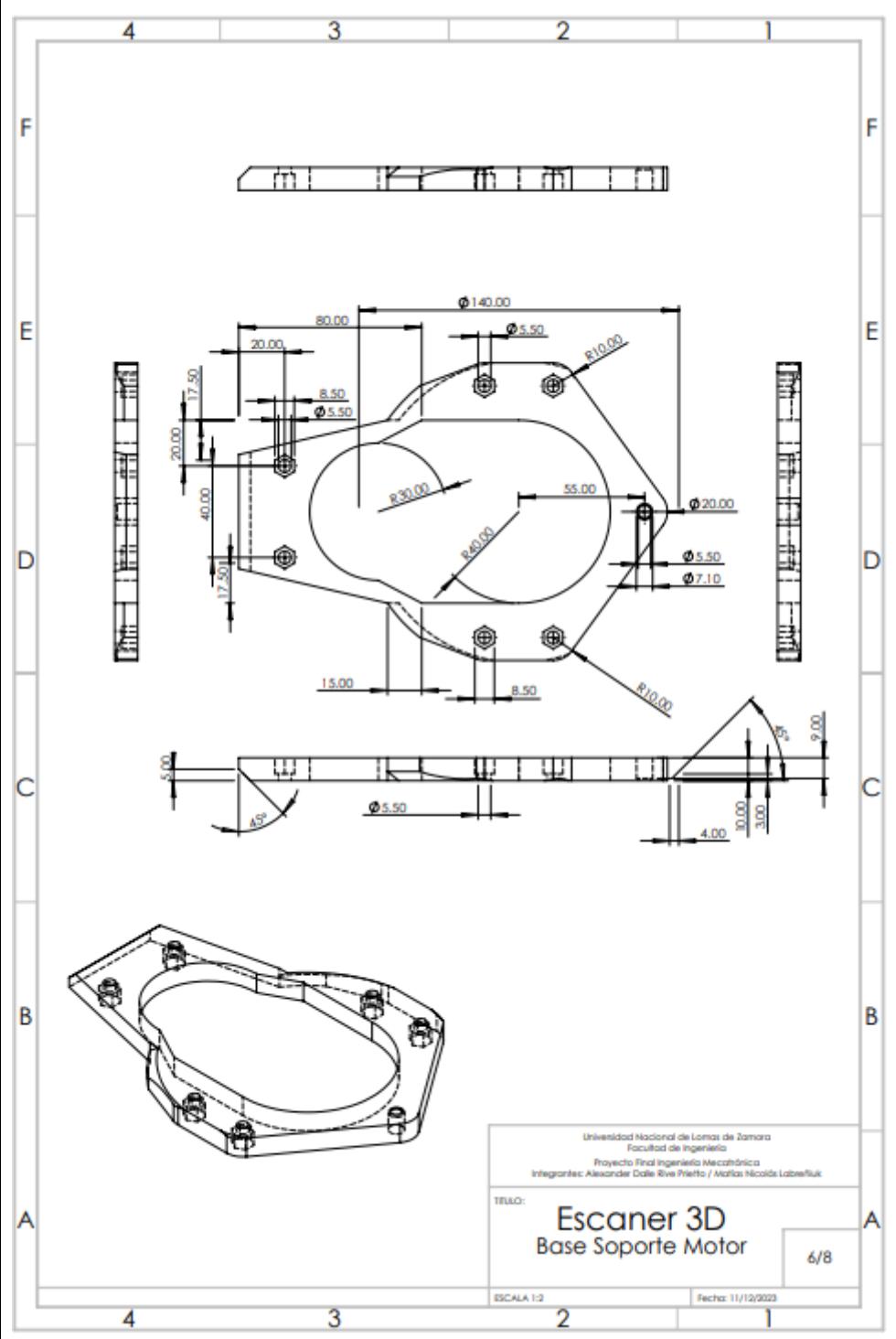
PROYECTO FINAL  
“Escáner 3D por triangulación láser”

2º Cuatrimestre Año: 2023

GRUPO -

TP: Final

Página 7 de 62

**Base Soporte Motor**

UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE LOMAS DE ZAMORA

Facultad de ingeniería



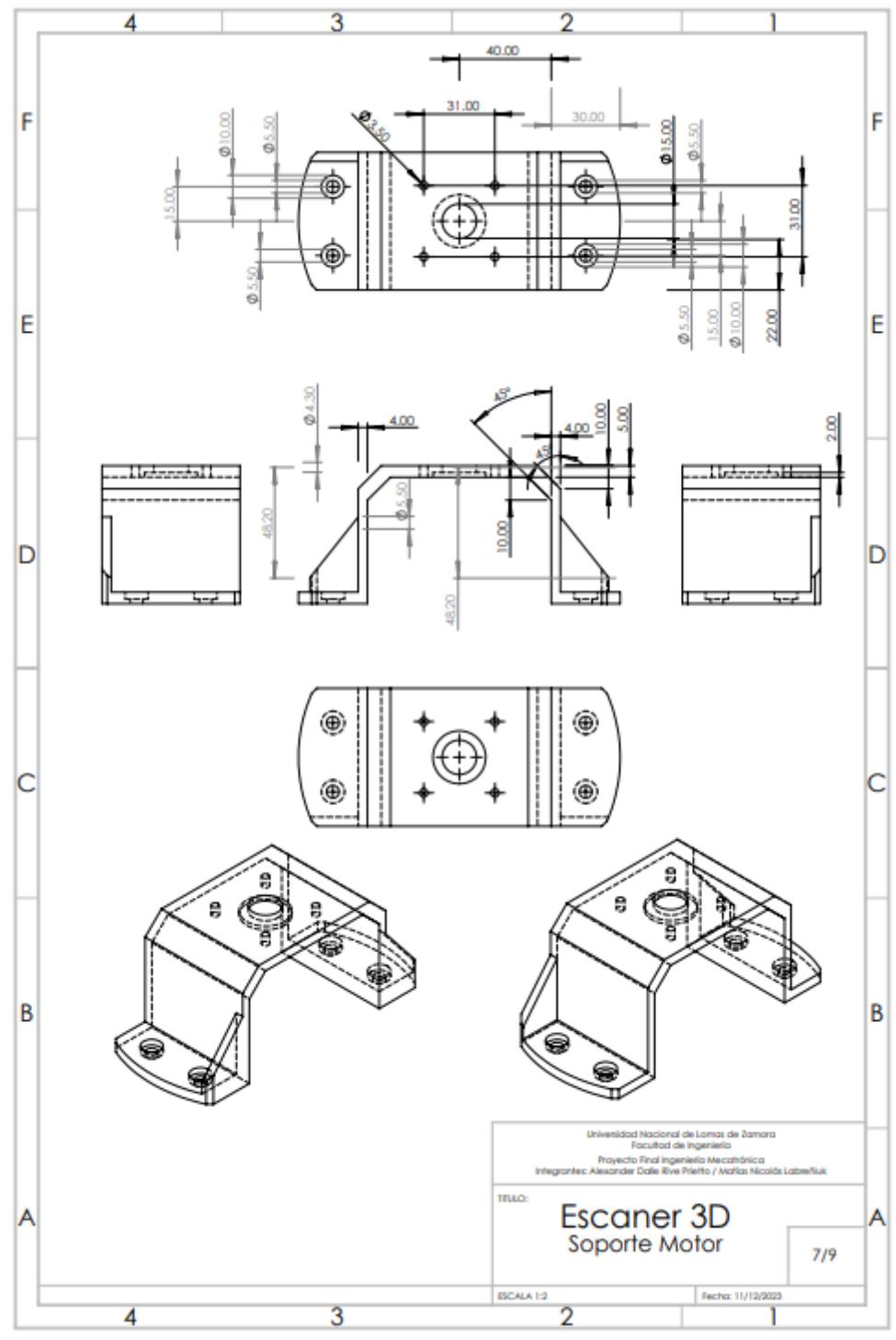
PROYECTO FINAL  
“Escáner 3D por triangulación láser”

2º Cuatrimestre Año: 2023

GRUPO -

TP: Final

Página 8 de 62

**Soporte Motor**

UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE LOMAS DE ZAMORA

Facultad de ingeniería



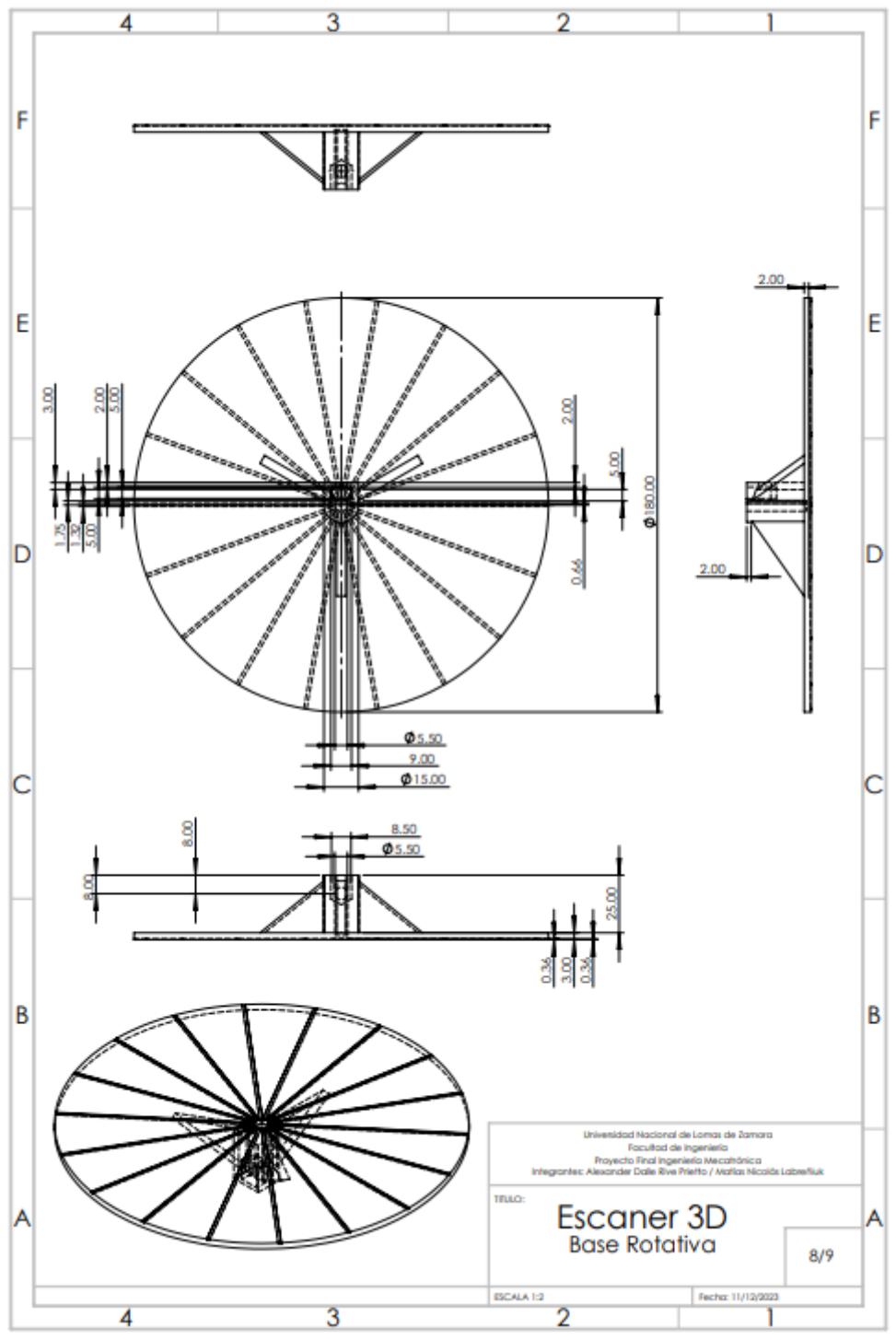
PROYECTO FINAL  
“Escáner 3D por triangulación láser”

2º Cuatrimestre Año: 2023

GRUPO -

TP: Final

Página 9 de 62

**Base Rotativa**

Universidad Nacional de Lomas de Zamora  
Facultad de Ingeniería  
Proyecto Final Ingeniería Mecatrónica  
Integrantes: Alexander Díaz Rive Pierro / Matías Nicolás Laber Rück

TÍTULO:  
**Escaner 3D  
Base Rotativa**

8/9

ESCALA 1:2 Fecha: 11/12/2023



UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE LOMAS DE ZAMORA

Facultad de ingeniería



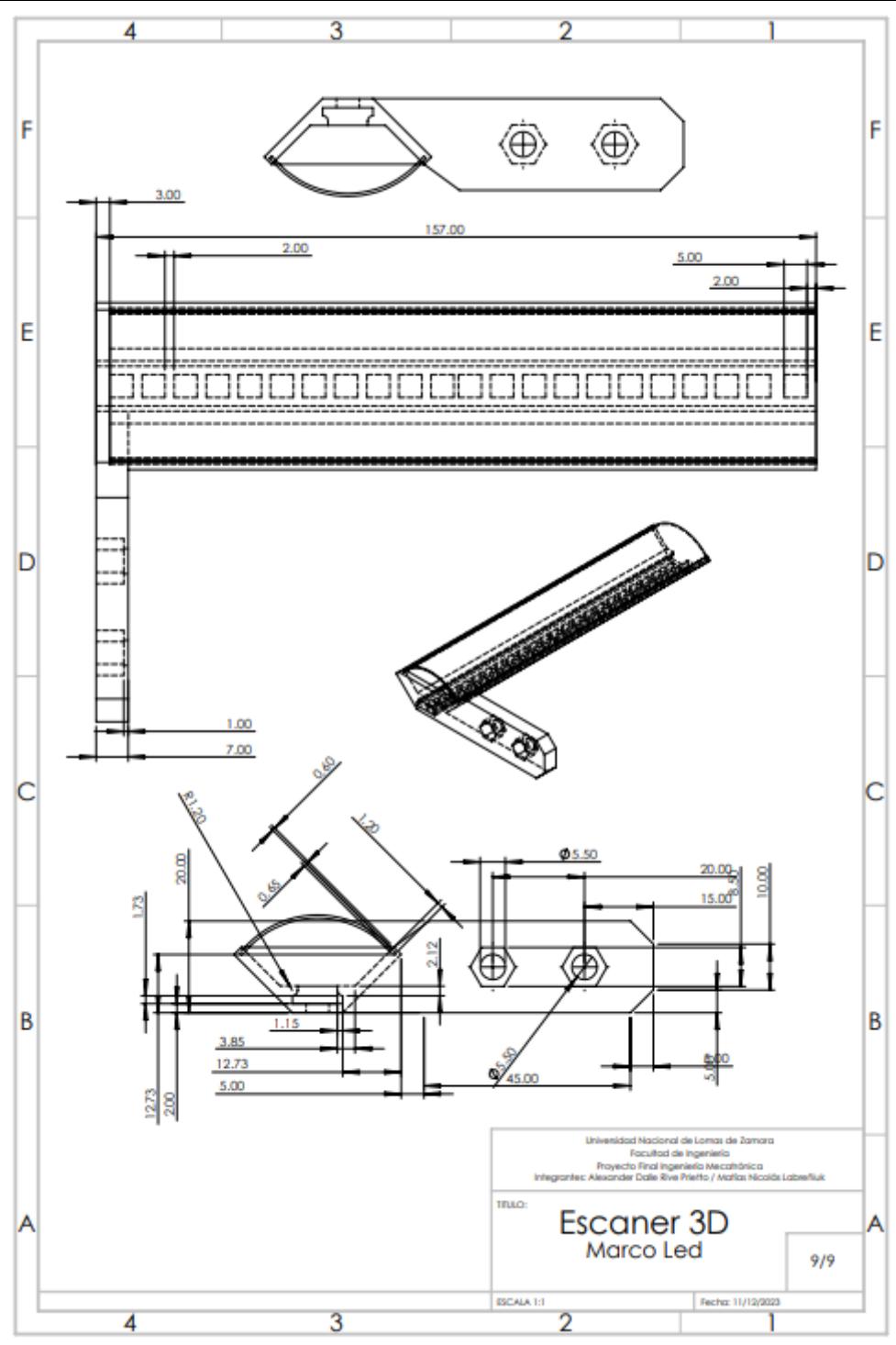
**PROYECTO FINAL**  
“Escaner 3D por triangulación láser”

2º Cuatrimestre Año: 2023

GRUPO -

TP: Final

Página 10 de 62

**Marco Led**

## Vista General de Escáner

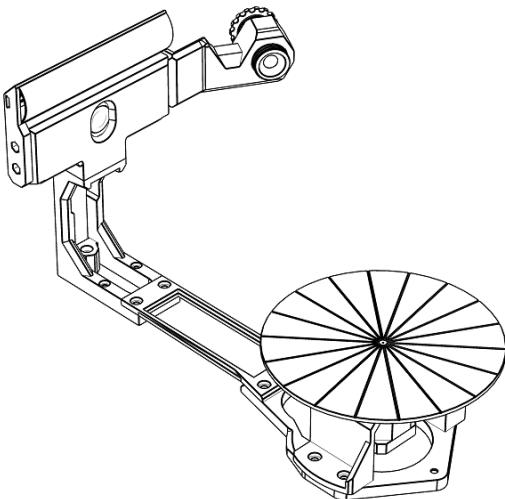


Ilustración 33

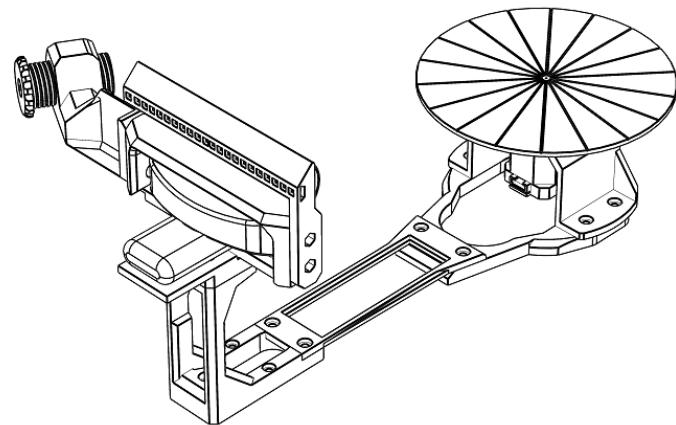


Ilustración 32

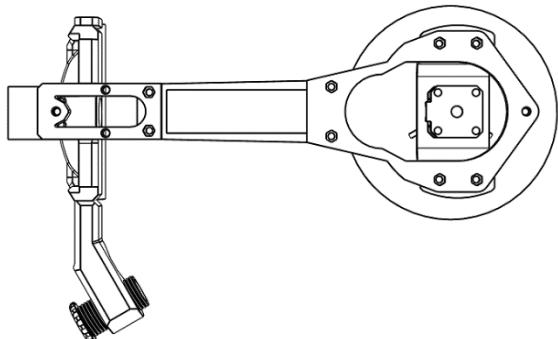


Ilustración 34

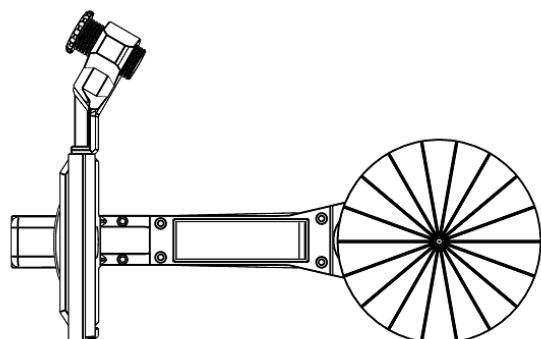


Ilustración 35

*Renderizado*



*Ilustración 36*

## Diseño CAD de Caja Escáner

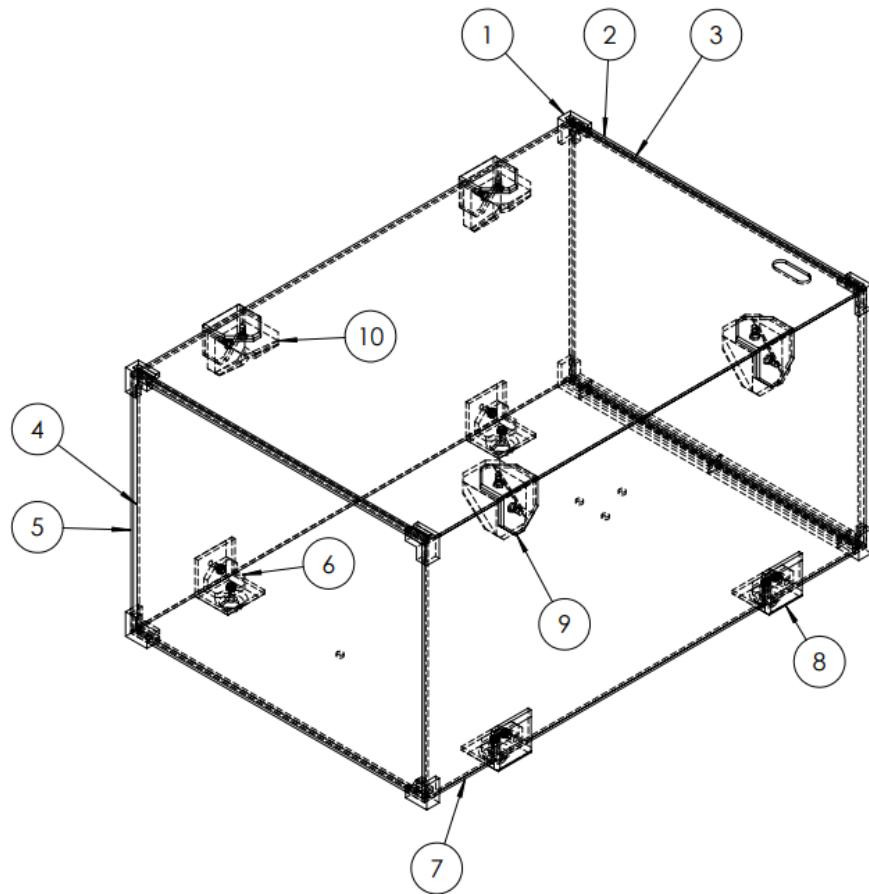
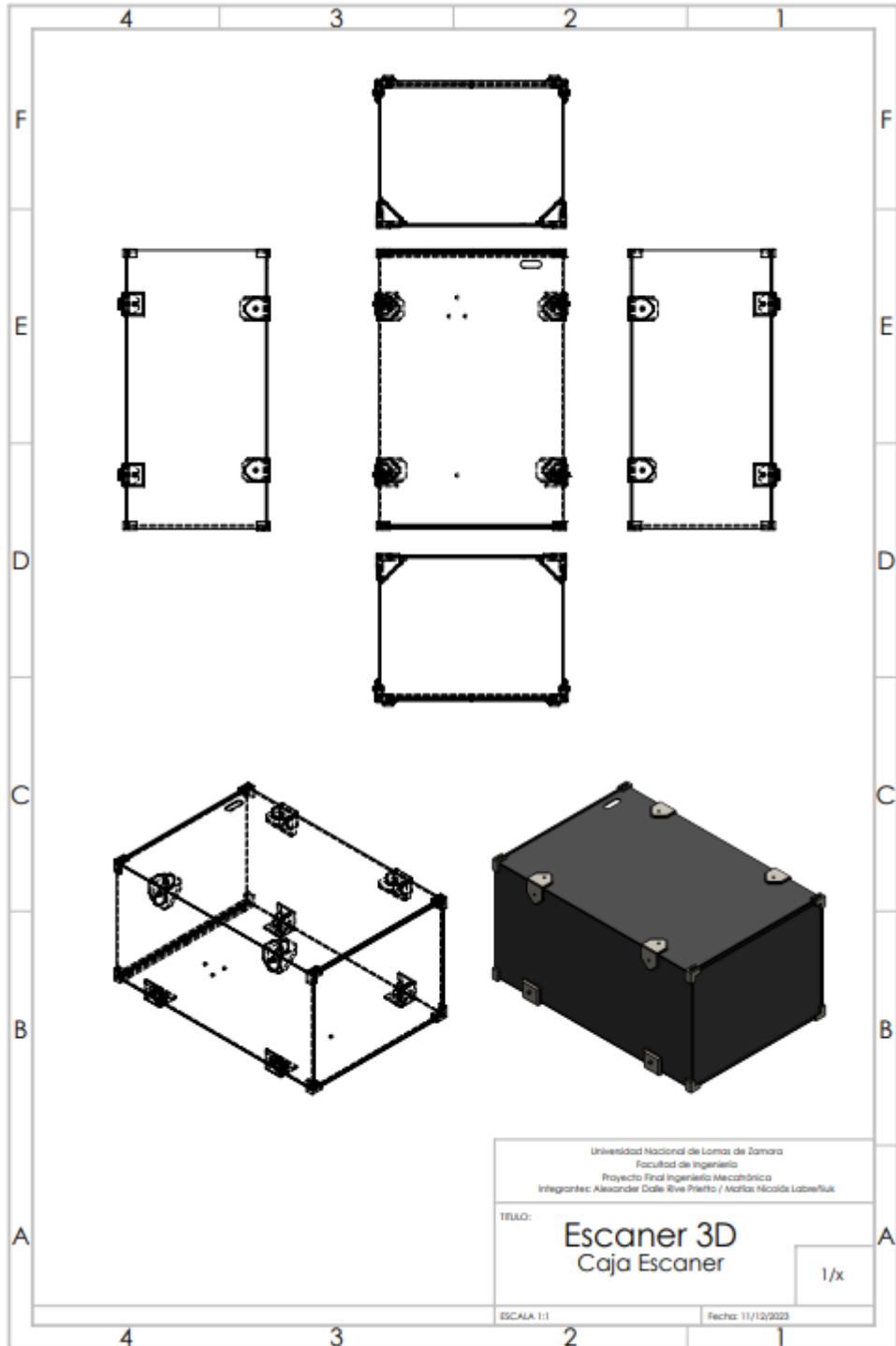


Ilustración 37

Componente	Nombre
1	Esquinero
2	Frente Acrílico
3	Tapa Superior
4	Frente Tapa
5	Lateral Izquierdo
6	Ángulo Interno Inferior
7	Base
8	Ángulo Externo Inferior
9	Ángulo Externo Superior
10	Ángulo Interno Superior

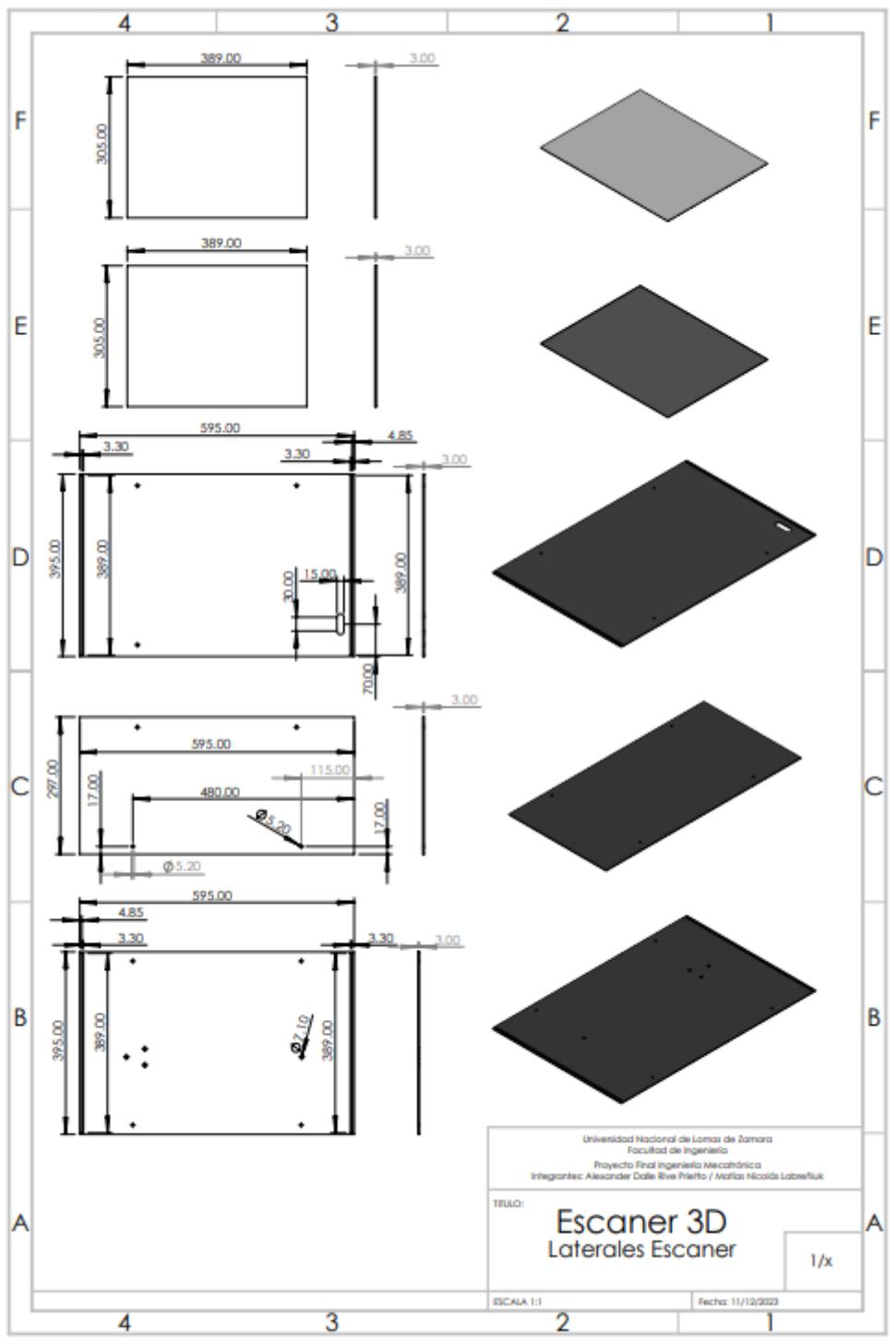
Ilustración 38

## Listado de Planos

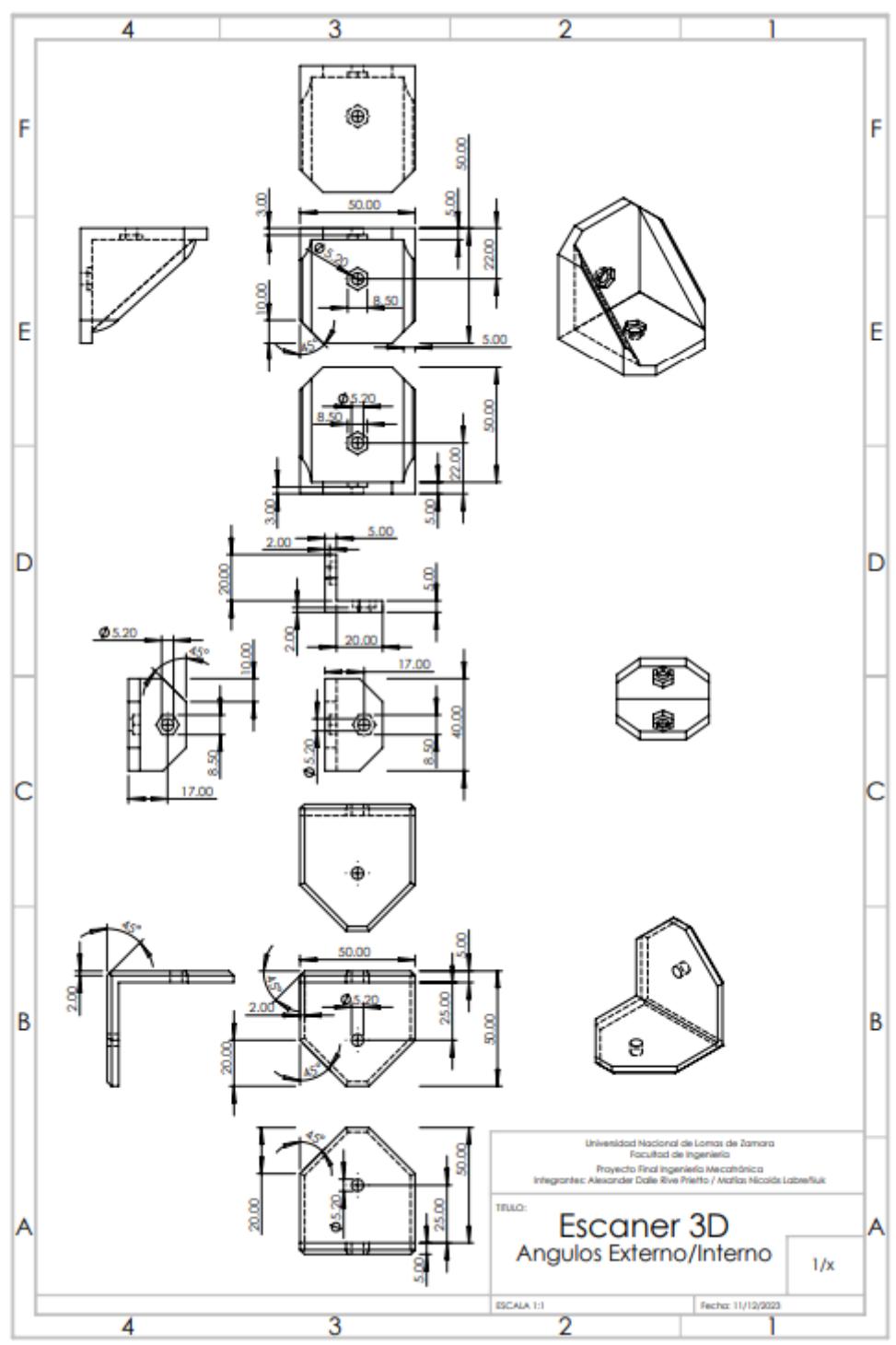
Nombre Plano	Plano
<b>Caja Scanner</b>	 <p><b>Plano</b></p> <p><b>Especificaciones del Plano:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Panel A:</b> Lado frontal con agujeros para tornillos.</li> <li><b>Panel B:</b> Lado trasero con agujeros para tornillos.</li> <li><b>Panel C:</b> Panel superior con agujeros para tornillos.</li> <li><b>Panel D:</b> Panel inferior con agujeros para tornillos.</li> <li><b>Panel E:</b> Panel izquierdo lateral.</li> <li><b>Panel F:</b> Panel derecho lateral.</li> </ul> <p><b>Medidas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Panel A: Ancho ~150mm, Alto ~150mm</li> <li>Panel B: Ancho ~150mm, Alto ~150mm</li> <li>Panel C: Ancho ~150mm, Alto ~150mm</li> <li>Panel D: Ancho ~150mm, Alto ~150mm</li> <li>Panel E: Ancho ~150mm, Alto ~150mm</li> <li>Panel F: Ancho ~150mm, Alto ~150mm</li> </ul> <p><b>Título:</b> Escáner 3D Caja Escáner</p> <p><b>Datos Técnicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Escala: 1:1</li> <li>Fecha: 11/12/2023</li> <li>Página: 1/x</li> </ul>



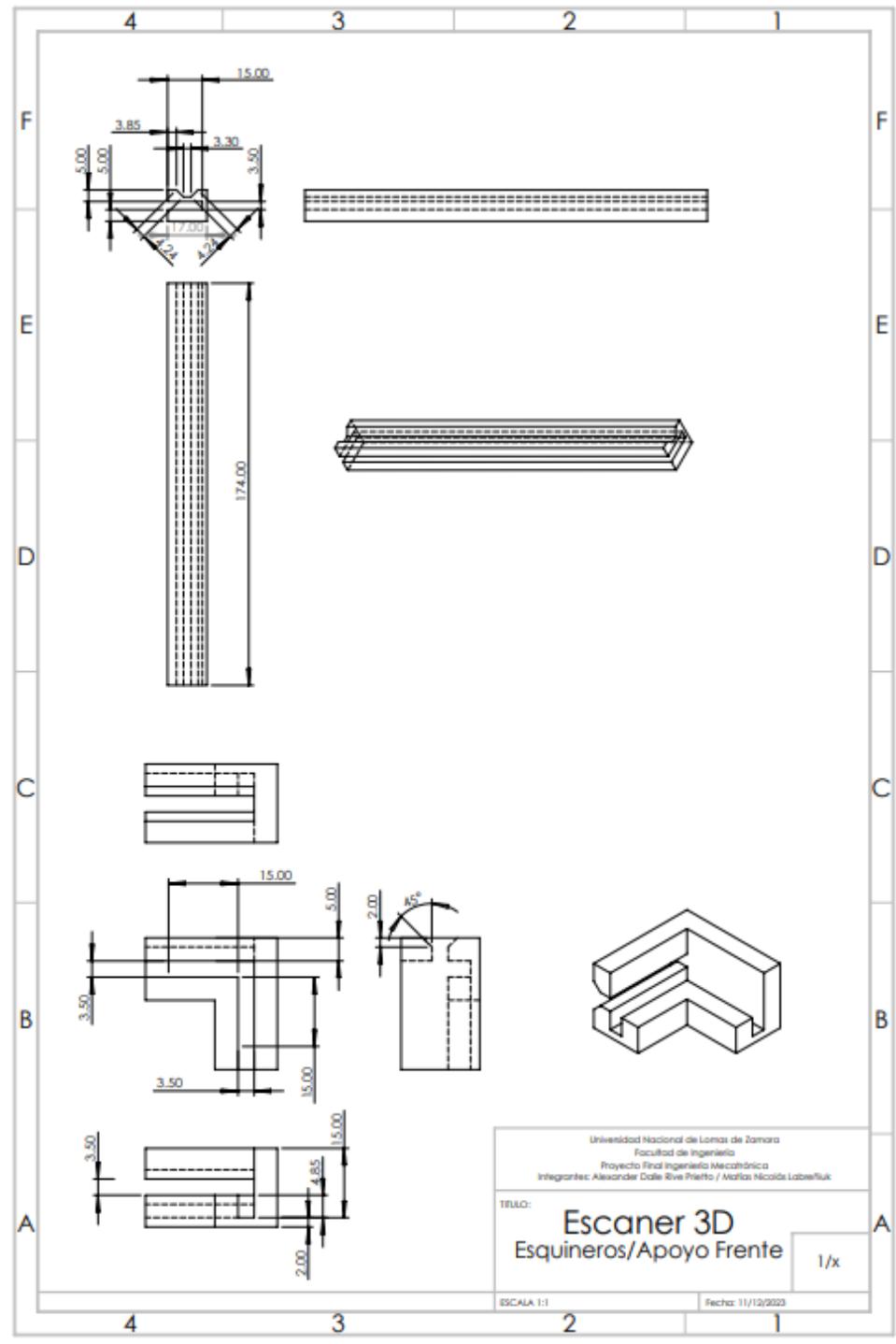
**Laterales Escáner**



**Ángulos  
Externos/Internos**



**Esquineros/Apoyo Frente**



Universidad Nacional de Lomas de Zamora  
Facultad de Ingeniería  
Proyecto Final Ingeniería Mecatrónica  
Integrantes: Alexander Dalle Rive Prieto / Matías Nicolás Laberfluk

TÍTULO:  
**Escaner 3D**  
**Esquineros/Apoyo Frente**  
ESCALA 1:1  
Fecha: 11/12/2023  
1/x



UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE LOMAS DE ZAMORA

Facultad de ingeniería



**PROYECTO FINAL**  
**“Escáner 3D por triangulación láser”**

2º Cuatrimestre Año: 2023

GRUPO -

TP: Final

Página 5 de 62

## *Renderizado*

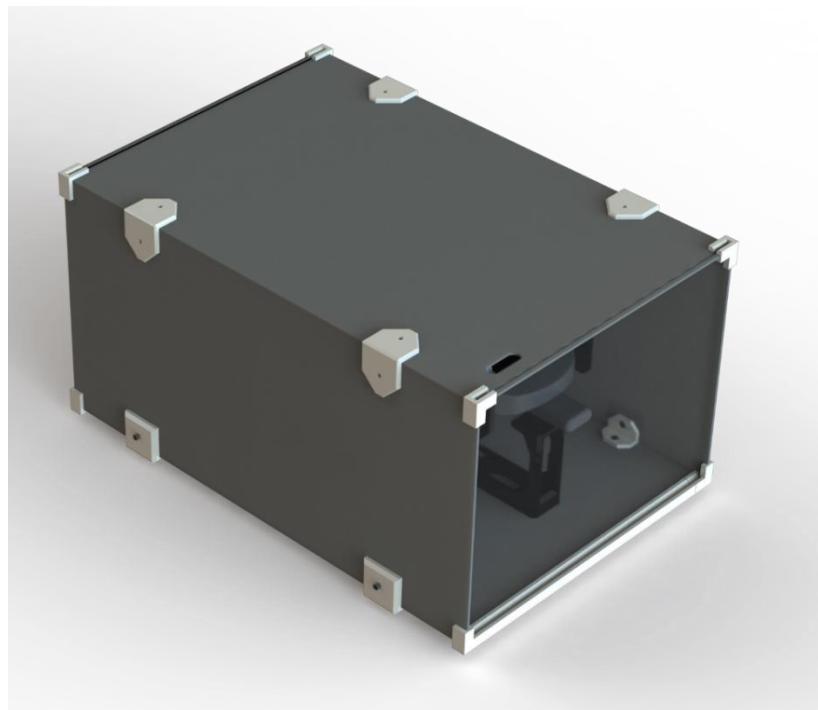


Ilustración 39

## *Renderizado Conjunto Completo*

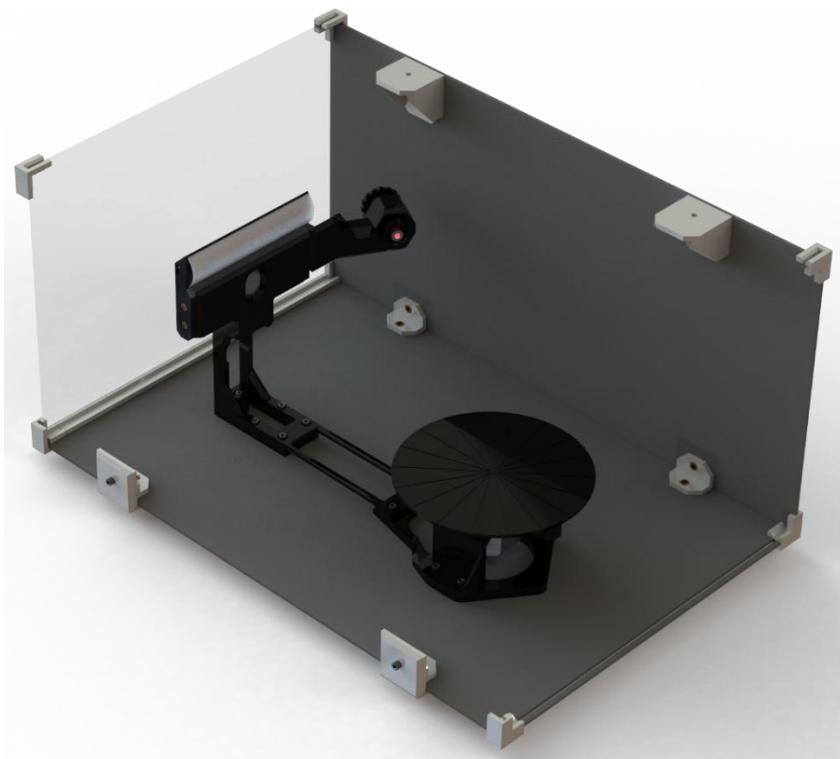


Ilustración 40



UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE LOMAS DE ZAMORA

Facultad de ingeniería



**PROYECTO FINAL**  
**“Escáner 3D por triangulación láser”**

**2º Cuatrimestre Año: 2023**

**GRUPO -**

**TP: Final**

**Página 6 de 62**

## Diseño Electrónico

Para el desarrollo electrónico, se llevó a cabo un diagrama de conexionado para la simplificación del mismo:

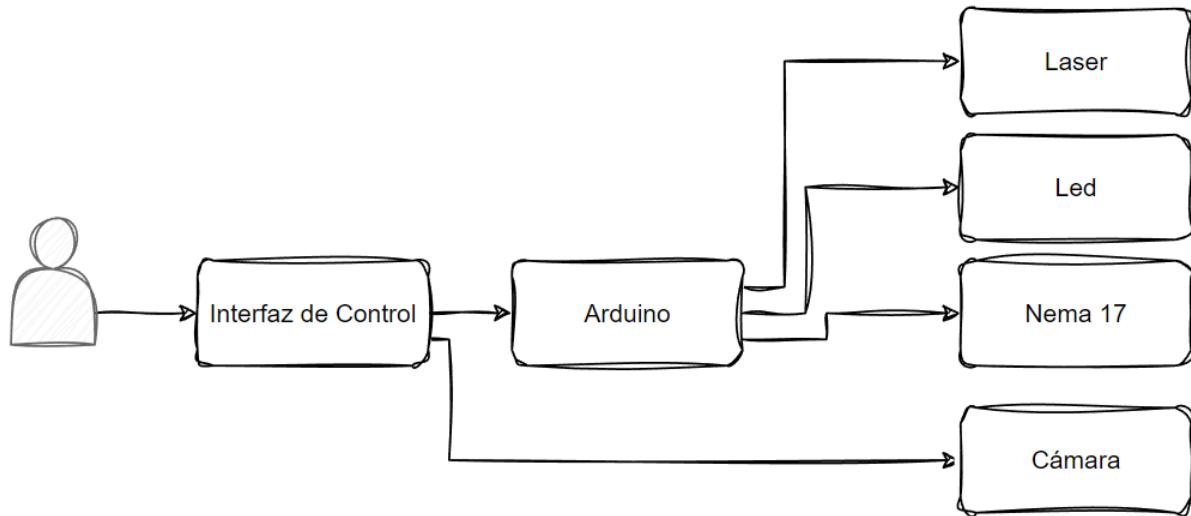


Ilustración 41 - Concepto de desarrollo electrónico

El usuario dará la orden mediante la Interfaz de Control, para ejecutar el escaneo correspondiente.

La interfaz de control establece comunicación con:

- Arduino
- Cámara

El Arduino recibe como instrucciones desde el programa las siguientes órdenes:

- Encender / Apagar Led
- Encender / Apagar Láser
- Mover Motor Nema 17
- Habilitar / Deshabilitar Nema 17

Los componentes electrónicos son:

- Arduino Nano (x1)
- Laser Duaitek MR-5MW-CROSS (x1)
- Tira Led Frío (x1)
- Driver 8825 (x1)
- Nema 17 (x1)

- Step Down LM2596 (x2)
- Bornera 2 Pines (x3)
- Diodo (x1)
- Capacitor 25V 100uf (x1)

La cámara recibe como instrucción directa el tomar la imagen en el momento correspondiente.

El conexionado electrónico será (adjunto además en plano eléctrico):

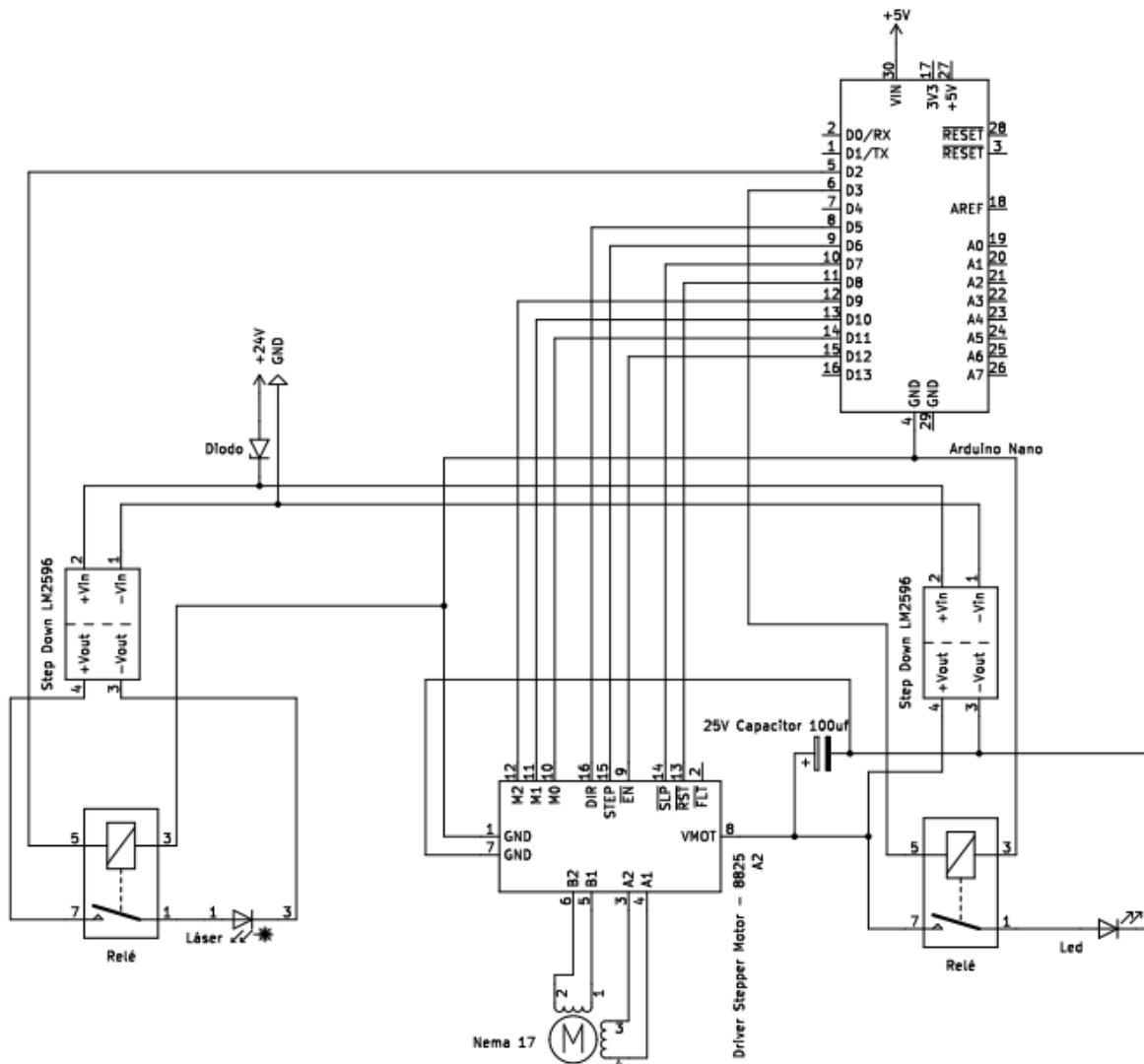


Ilustración 42 - Diagrama de circuito electrónico

## Placa Electrónica

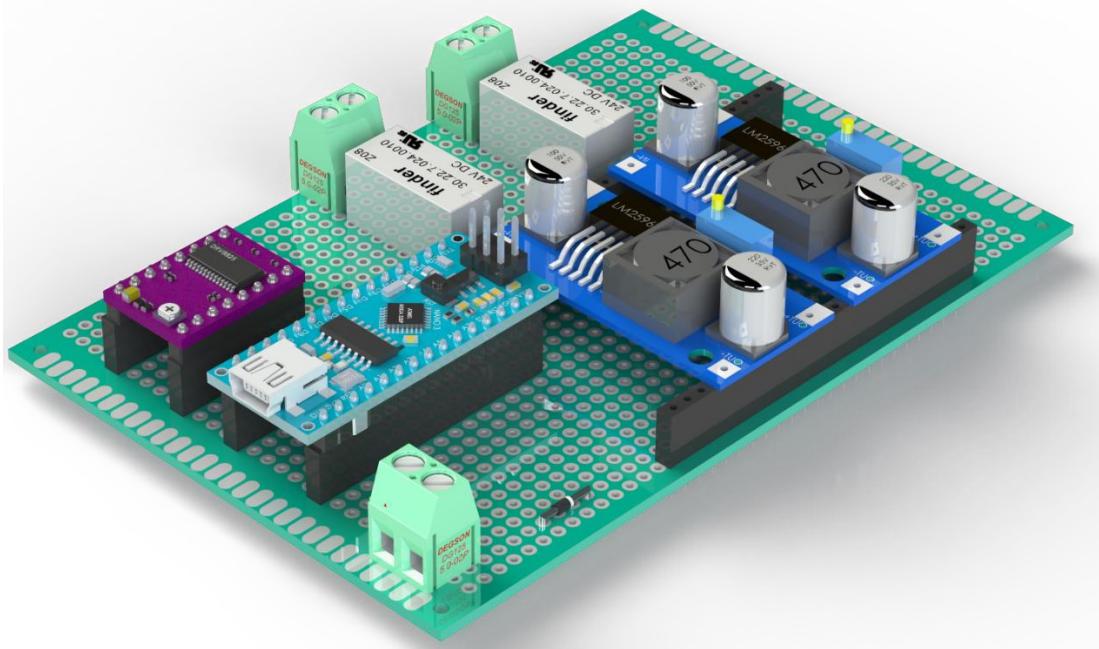


Ilustración 43 - Diagrama de placa electrónica - Vista isométrica

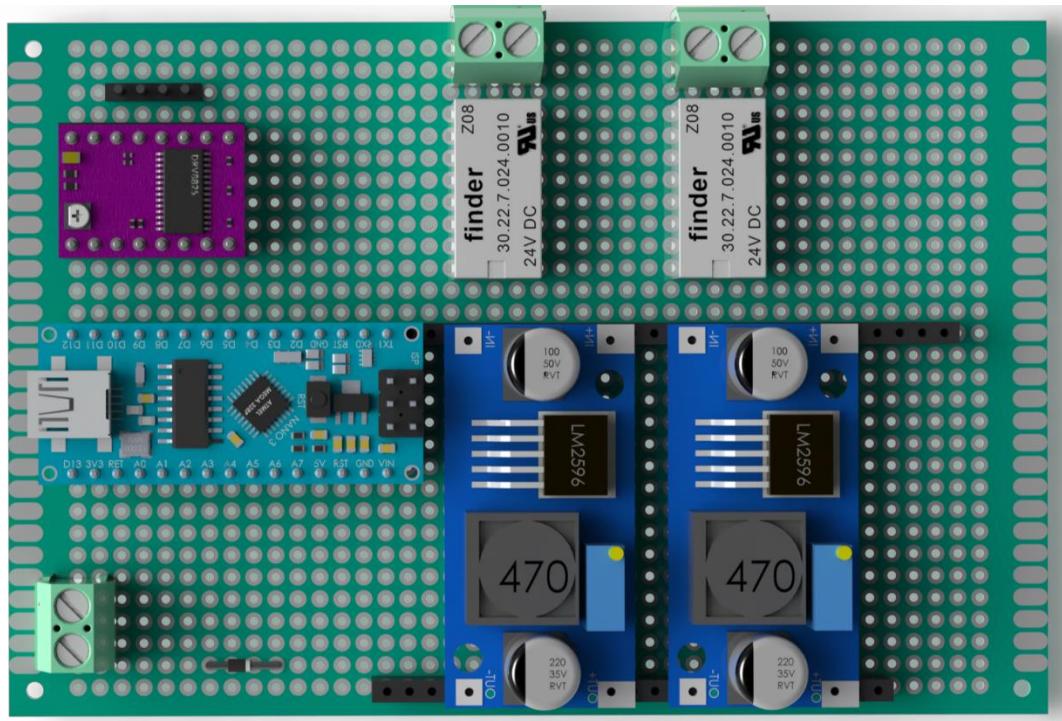


Ilustración 44- Diagrama de placa electrónica - Vista Superior

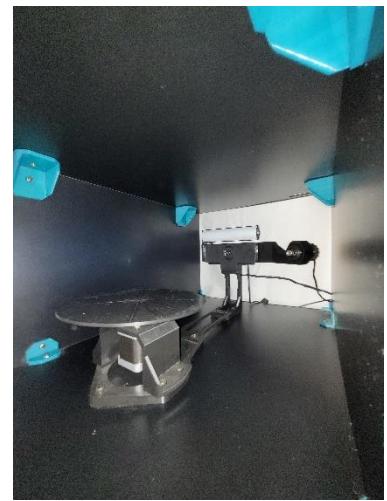
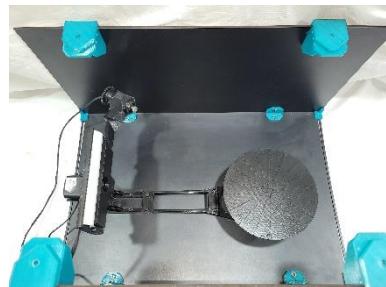
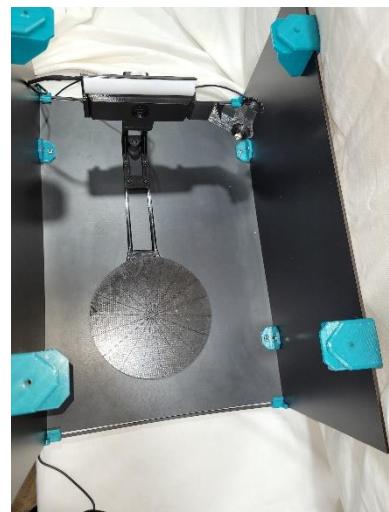
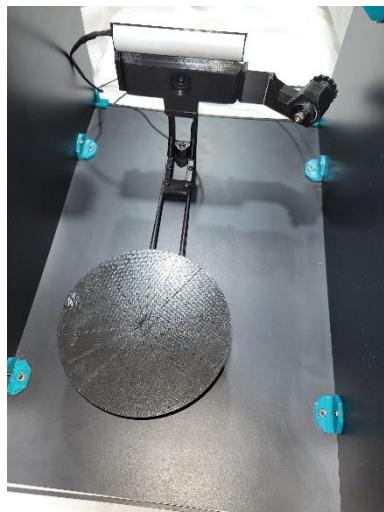
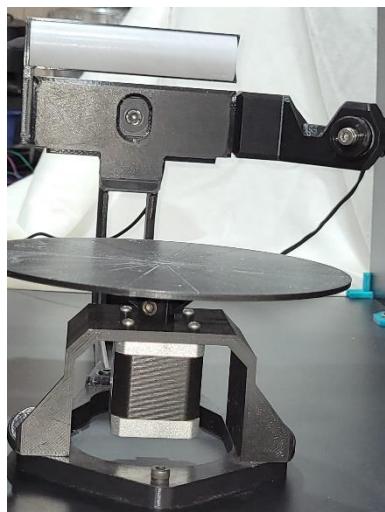
## Código del software

➔ [Click aquí](#) para ir al repositorio del proyecto en GitHub.

## Imágenes y Videos

### Imagenes

A continuación muestran algunas imágenes desde distintas posiciones del escáner:





### ***Video***

Video enfocando distintas partes del escáner y su estructura:

[Paneo General](#)

### ***Video funcionamiento***

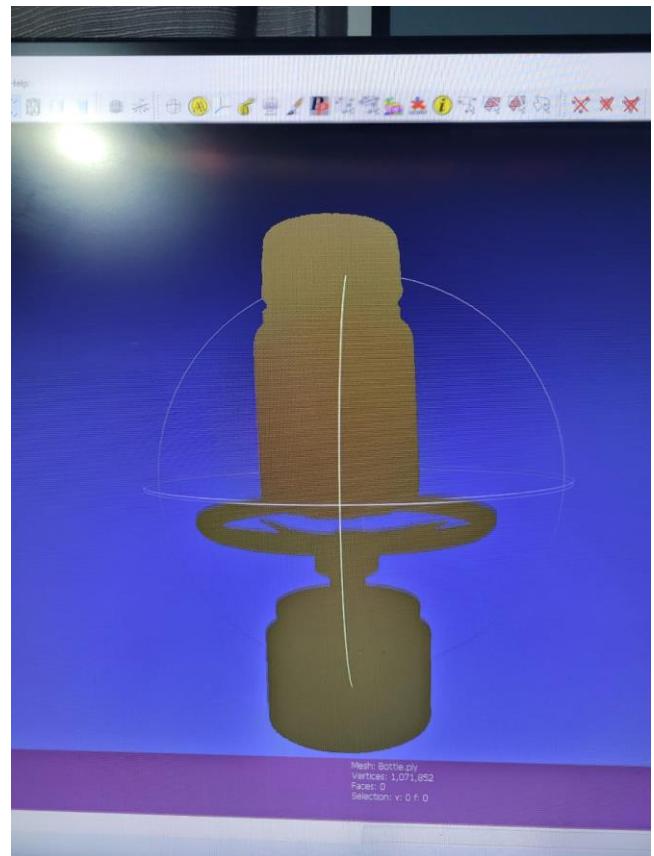
Video time-lapse que muestra el escaneo y el resultado del mismo:

[Funcionamiento Time-Lapse](#)

## ***Testeos y pruebas***

### ***Primer testeo***

En esta primera etapa de testeo se pudo observar que, debido a pequeños juegos en la estructura sumado al arrastre del error de cálculo, las dimensiones del objeto no eran exactamente las esperadas. Entonces se modificó una distorsión en el eje y. Además, se rediseñó la estructura para que ofrezca mayor rigidez y menos juegos. También se agregó un factor de escalamiento para asemejar el objeto a las medidas reales:



### **Segundo testeo**

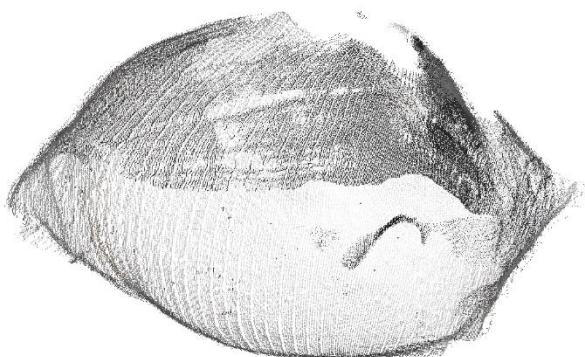
En esta etapa, se realizó el testeo del prototipo en el laboratorio de la facultad. Allí se pudo apreciar que el tiempo que tardaba el software en abrir la cámara era excesivo. Además, al escanearse un objeto con partes metálicas reflectivas, se pudo apreciar que esas pequeñas reflexiones, afectaban el modo en que se captaban los pixeles de la imagen. A continuación, se muestra una imagen ilustrativa:



En relación al tiempo de apertura de la cámara, se modificó el parámetro de selección de drivers para que la cámara se pueda abrir directamente con los drivers de Windows y no con los predeterminados.

### **Tercer testeo**

Para mitigar lo más posible el problema de las reflexiones, se cambió la forma en que se obtenían los pixeles. Anteriormente se obtenían a partir de una imagen en blanco y negro, y aplicando umbralización, se obtenían los píxeles que superaban dicho parámetro. Se migró al procesamiento de colores mediante HSV que concluyó en resultados mucho mejores:





## ***Presupuesto estipulado***

<i><b>Componente</b></i>	<i><b>Precio [ARS]</b></i>	<i><b>Precio [USD]</b></i>
<i>Motor paso a paso Nema 17</i>	\$15,000.00	\$17.05
<i>Laser de barrera industrial</i>	\$4,000.00	\$4.55
<i>1kg filamento PLA negro</i>	\$10,000.00	\$11.36
<i>Webcam Logitech C925e</i>	\$70,000.00	\$79.55
<i>Placa perforada cobre</i>	\$1,000.00	\$1.14
<i>Tornillos y tuercas</i>	\$500.00	\$0.57
<i>Cables</i>	\$1,000.00	\$1.14
<i>Relé</i>	\$3,000.00	\$3.41
<i>Step Down</i>	\$2,000.00	\$2.27
<i>Driver 8825</i>	\$2,500.00	\$2.84
<i>Diodo</i>	\$200.00	\$0.23
<i>Fuente 12V</i>	\$7,300.00	\$8.30
<i>Pines macho hembra</i>	\$2,000.00	\$2.27
<i>Estaño 100 grs</i>	\$5,000.00	\$5.68
<i>Arduino Nano</i>	\$10,000.00	\$10.10
<i>Switch metal</i>	\$1,000.00	\$1.14
<b>Total</b>	<b>\$134,500.00</b>	<b>\$151.60</b>

Tabla 1 - Estimación de presupuesto

## ***Presupuesto y costos reales***

<b>Componente</b>	<b>Unidades</b>	<b>Precio unitario [ARS]</b>	<b>Precio [ARS]</b>	<b>Precio [USD]</b>
<i>Motor paso a paso Nema 17</i>	1.00	\$17,000.00	\$17,000.00	\$17.09
<i>Laser de barrera industrial</i>	1.00	\$4,000.00	\$4,000.00	\$4.02
<i>1kg filamento PLA negro</i>	3.00	\$12,000.00	\$36,000.00	\$36.18
<i>Webcam Logitech C925e</i>	1.00	\$70,000.00	\$70,000.00	\$70.35
<i>Placa perforada cobre</i>	1.00	\$1,200.00	\$1,200.00	\$1.21
<i>Tornillos M5 y tuercas M5</i>	1.00	\$2,000.00	\$2,000.00	\$2.01
<i>Cable 0.25m2 x 1m</i>	2.00	\$1,000.00	\$2,000.00	\$2.01
<i>Relé</i>	2.00	\$3,000.00	\$6,000.00	\$6.03
<i>Step Down LM2596</i>	2.00	\$2,000.00	\$4,000.00	\$4.02
<i>Driver 8825</i>	1.00	\$3,000.00	\$3,000.00	\$3.02
<i>Capacitor 100uF</i>	1.00	\$30.00	\$30.00	\$0.03
<i>Diodo</i>	1.00	\$50.00	\$50.00	\$0.05
<i>Tira led</i>	1.00	\$500.00	\$500.00	\$0.50
<i>Fuente 24V</i>	1.00	\$13,600.00	\$13,600.00	\$13.67
<i>Tira pines macho</i>	2.00	\$1,000.00	\$2,000.00	\$2.01
<i>Tira pines hembra</i>	2.00	\$1,000.00	\$2,000.00	\$2.01
<i>Estaño 100 grs</i>	1.00	\$5,000.00	\$5,000.00	\$5.03
<i>Arduino Nano</i>	1.00	\$14,000.00	\$14,000.00	\$10.05
<i>Caja fibroPlus + Acrílico</i>	1.00	\$45,000.00	\$45,000.00	\$45.23
<i>Borneras</i>	3.00	\$500.00	\$1,500.00	\$1.51
<b>Total</b>	<b>29.00</b>	<b>\$144,500.00</b>	<b>\$228,880.00</b>	<b>\$226.01</b>

Tabla 2 - Costos reales

## Hojas de datos de componentes

Componente	Unidades
<u>Arduino Nano</u>	x1
<u>Capacitor 100 uF</u>	x1
<u>Driver Stepper</u>	x1
<u>Laser</u>	x1
<u>Stepper Nema 17</u>	x1
<u>Relay 6 pines</u>	x1
<u>Tira LED blanco frio</u>	x6 LEDs
<u>Step Down 2596</u>	x1
<u>Webcam Logitech</u>	X1

Tabla 3 - Hojas de datos de los componentes

## Conclusiones

Analizando la cantidad de horas estipuladas, se puede apreciar que el proyecto finalizó antes de los previsto. Siendo que se estipuló que se podían invertir aproximadamente 4 horas por día asignadas a la cantidad de días requeridos por cada tarea:

Horas Estipuladas	Horas Registradas
680	530

Tabla 4 - Desvío de horas

En cuanto a los precios, es posible apreciar que:



Ilustración 45 - Creality Escaner Lizard Premium<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fuente: [https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-1375989116-scanner-creality-3d-cr-scan-lizard-premium-\\_JM#position=4&search\\_layout=stack&type=item&tracking\\_id=67043a23-aa6e-4eb6-8842-f56b70482d17](https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-1375989116-scanner-creality-3d-cr-scan-lizard-premium-_JM#position=4&search_layout=stack&type=item&tracking_id=67043a23-aa6e-4eb6-8842-f56b70482d17)

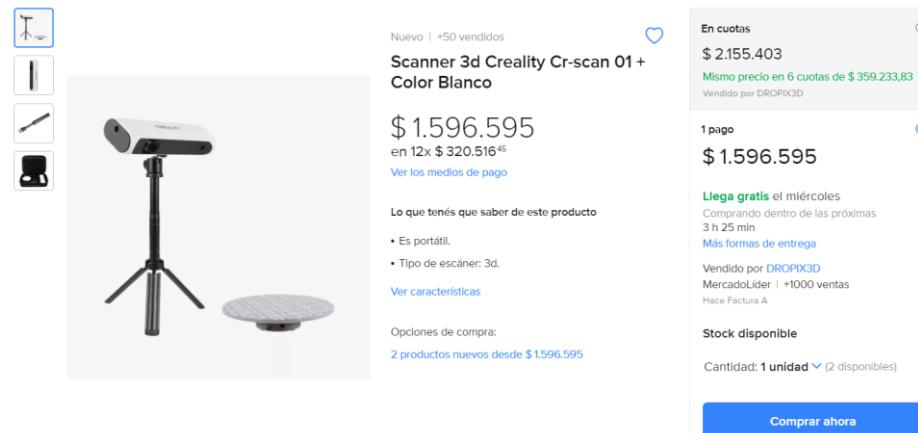


Ilustración 46 - Creality Cr-scan 01<sup>2</sup>

Los escáneres del mercado, tienen un precio de venta bastante elevado. Si bien este proyecto tiene sus limitaciones, se puede conseguir un buen escaneo a un costo bastante bajo. Mientras que el escáner más económico de Creality, su precio de venta, no baja de los USD 1.300 o ARS 1.319.000, en este proyecto, se ha logrado reducir bastante esas cifras (apenas USD 226 o ARS 224.800). Este valor, representa un 17% del precio de venta del escáner mas barato de Creality.

### Aclaración

Dichos escáneres, cuentan con tecnología de luz infrarroja y alcanzan una precisión de aproximadamente 0.05mm.

Luego, existe otro escáner en el mercado, que se encuentra en fase de desarrollo:

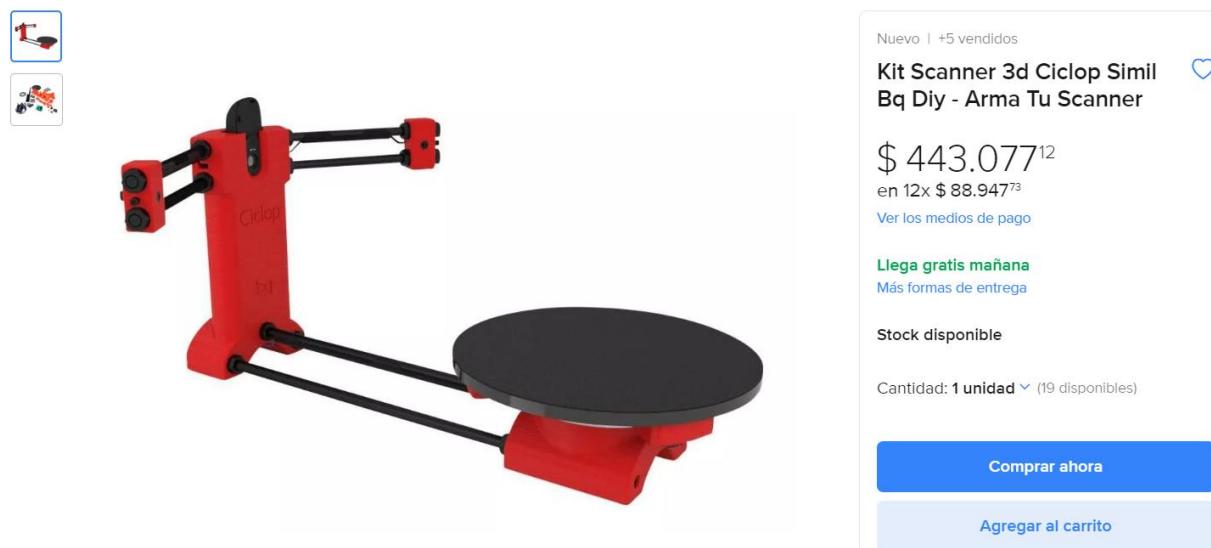


Ilustración 47 - Escáner Ciclop<sup>3</sup>

<sup>2</sup> Fuente: [https://www.mercadolibre.com.ar/scanner-3d-creality-cr-scan-01-color-blanco/p/MLA27237716?pd\\_filters=category:MLA72721#searchVariation=MLA27237716&position=1&search\\_layout=stack&type=product&tracking\\_id=61260f18-bca6-4780-8bac-71f962a42d44](https://www.mercadolibre.com.ar/scanner-3d-creality-cr-scan-01-color-blanco/p/MLA27237716?pd_filters=category:MLA72721#searchVariation=MLA27237716&position=1&search_layout=stack&type=product&tracking_id=61260f18-bca6-4780-8bac-71f962a42d44)

<sup>3</sup> Fuente: [https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-841848703-kit-scanner-3d-ciclop-simil-bq-diy-arma-tu-scanner-\\_JM#position=7&search\\_layout=stack&type=item&tracking\\_id=034d8a5e-729d-4c27-b8d5-2b48ff5468cf](https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-841848703-kit-scanner-3d-ciclop-simil-bq-diy-arma-tu-scanner-_JM#position=7&search_layout=stack&type=item&tracking_id=034d8a5e-729d-4c27-b8d5-2b48ff5468cf)

Utiliza el método de triangulación por láser y, según el testeo y los comentarios de los usuarios, pareciera ser que no posee buenas prestaciones de calidad ni de solidez en el escaneo.

## Consultas realizadas

### Consulta Alejandro Simoncelli - Procesamiento de Señales

Se selecciona a Alejandro Simoncelli debido a sus conocimientos en cuanto a proyectos de investigación de perfilómetros, lo cual suponen ser la teoría básica de funcionamiento del escaneo de superficies mediante triangulación láser.

### Consulta Elvio Heidenreich - Modelado y Simulación de Sistemas Físicos

Se selecciona a Elvio Heidenreich debido a sus conocimientos y experiencia demostrada en modelado y confeccionamiento de mallados de piezas 3D.

### Consulta Diego López - Instrumentación Industrial

Se selecciona a Diego López debido a sus conocimientos en laboratorios de electrónica e instrumentos de medición precisos.

## Tiempo invertido

Integrante	Fecha	Hora Inicio	Hora Fin	Horas Dedicadas
Alexander	16/8/2023	15:00	17:00	2:00:00
Nicolas	17/8/2023	18:30	21:00	2:30:00
Alexander	17/8/2023	18:30	21:00	2:30:00
Nicolas	17/8/2023	21:30	23:00	1:30:00
Nicolas	19/8/2023	11:00	20:00	9:00:00
Alexander	20/8/2023	18:00	20:00	2:00:00
Nicolas	20/8/2023	11:00	20:00	9:00:00
Nicolas	21/8/2023	13:00	20:00	7:00:00
Nicolas	26/8/2023	15:00	21:00	6:00:00
Alexander	27/8/2023	17:00	20:30	3:30:00
Nicolas	27/8/2023	17:00	20:30	3:30:00



Nicolas	30/8/2023	20:30	22:00	1:30:00
Alexander	1/9/2023	18:30	21:00	2:30:00
Nicolas	1/9/2023	17:00	0:00	7:00:00
Alexander	2/9/2023	18:30	20:30	2:00:00
Nicolas	2/9/2023	12:00	14:00	2:00:00
Nicolas	2/9/2023	18:30	20:30	2:00:00
Alexander	3/9/2023	14:00	21:00	7:00:00
Nicolas	3/9/2023	14:00	21:00	7:00:00
Nicolas	9/9/2023	14:00	22:00	8:00:00
Nicolas	10/9/2023	11:00	23:00	12:00:00
Nicolas	12/9/2023	18:00	23:00	5:00:00
Nicolas	13/9/2023	18:00	23:00	5:00:00
Nicolas	14/9/2023	18:00	23:00	5:00:00
Nicolas	16/9/2023	11:00	23:00	12:00:00
Alexander	17/9/2023	14:00	21:00	7:00:00
Nicolas	17/9/2023	11:00	23:00	12:00:00
Nicolas	19/9/2023	18:00	23:00	5:00:00
Nicolas	20/9/2023	18:00	23:00	5:00:00
Nicolas	21/9/2023	18:00	23:00	5:00:00
Nicolas	23/9/2023	11:00	23:00	12:00:00
Nicolas	24/9/2023	11:00	23:00	12:00:00
Nicolas	26/9/2023	18:00	23:00	5:00:00
Nicolas	27/9/2023	18:00	23:00	5:00:00
Nicolas	28/9/2023	18:00	23:00	5:00:00
Nicolas	30/9/2023	11:00	23:00	12:00:00

Nicolas	1/10/2023	11:00	23:00	12:00:00
Nicolas	3/10/2023	18:00	23:00	5:00:00
Nicolas	4/10/2023	18:00	23:00	5:00:00
Nicolas	5/10/2023	18:00	23:00	5:00:00
Nicolas	7/10/2023	11:00	23:00	12:00:00
Alexander	7/10/2023	14:00	21:00	7:00:00
Alexander	8/10/2023	15:00	21:00	6:00:00
Nicolas	8/10/2023	11:00	23:00	12:00:00
Nicolas	10/10/2023	18:00	23:00	5:00:00
Nicolas	11/10/2023	18:00	23:00	5:00:00
Nicolas	12/10/2023	18:00	23:00	5:00:00
Alexander	14/10/2023	15:00	20:00	5:00:00
Nicolas	14/10/2023	11:00	23:00	12:00:00
Alexander	15/10/2023	9:00	18:00	9:00:00
Nicolas	15/10/2023	11:00	23:00	12:00:00
Nicolas	17/10/2023	18:00	23:00	5:00:00
Nicolas	18/10/2023	18:00	23:00	5:00:00
Nicolas	19/10/2023	18:00	23:00	5:00:00
Alexander	20/10/2023	18:30	20:30	2:00:00
Nicolas	21/10/2023	11:00	23:00	12:00:00
Alexander	22/10/2023	14:00	20:30	6:30:00
Nicolas	22/10/2023	11:00	23:00	12:00:00
Nicolas	24/10/2023	18:00	23:00	5:00:00
Nicolas	25/10/2023	18:00	23:00	5:00:00
Nicolas	26/10/2023	18:00	23:00	5:00:00

Nicolas	28/10/2023	11:00	23:00	12:00:00
Nicolas	29/10/2023	11:00	23:00	12:00:00
Nicolas	31/10/2023	18:00	23:00	5:00:00
Nicolas	1/11/2023	18:00	23:00	5:00:00
Nicolas	2/11/2023	18:00	23:00	5:00:00
Nicolas	4/11/2023	11:00	23:00	12:00:00
Nicolas	5/11/2023	11:00	23:00	12:00:00
Alexander	25/11/2023	17:00	19:00	2:00:00
Alexander	26/11/2023	15:00	20:00	5:00:00
Alexander	7/12/2023	20:00	23:00	3:00:00
Alexander	8/12/2023	16:00	20:00	4:00:00
Alexander	9/12/2023	15:00	18:00	3:00:00
Nicolas	5/11/2023	8:00	23:00	15:00:00
Nicolas	6/11/2023	8:00	23:00	15:00:00
Nicolas	7/11/2023	8:00	23:00	15:00:00
Nicolas	8/11/2023	12:00	20:00	8:00:00
Nicolas	9/11/2023	18:00	23:30	5:30:00

Tabla 5 - Cantidad de horas dedicadas

## Bibliografía

- Carlos Ricolfe Viala, A. J. (Enero de 2008). ScienceDirect. doi:[https://doi.org/10.1016/S1697-7912\(08\)70126-2](https://doi.org/10.1016/S1697-7912(08)70126-2)
- Golubeva, S. (24 de Enero de 2022). Artec 3D. Obtenido de <https://www.artec3d.com/es/learning-center/laser-3d-scanning>
- Michael Kazhdan, M. B. (s.f.). <https://hhoppe.com>. Obtenido de <https://hhoppe.com/poissonrecon.pdf>
- P., A. (8 de September de 2017 ). 3DNatives. Obtenido de The Complete Guide to 3D Scanners using Laser Triangulation: <https://www.3dnatives.com/en/3d-scanner-laser-triangulation080920174-99/>
- Pavlidis, G. (2006). Obtenido de Laser scanning using a laser pointing device and a camera: <https://georgepavlides.info/research/LaserScanningAndTriangulation.php>
- Pertuz, S. (10 de Junio de 2020). Proyección perspectiva. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=9hDdzFQY0ng>
- Unipython. (s.f.). Obtenido de CALIBRACIÓN DE LA CÁMARA OPENCV: <https://unipython.com/calibracion-la-camara-opencv/>
- Wikipedia. (s.f.). Wikipedia. Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\\_de\\_color\\_HSV](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_de_color_HSV)

