



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Jaén

Trabajo Fin de Grado

FABRICACIÓN, MONTAJE Y CALIBRACIÓN DE SCANNER 3D

Alumno: David López Martínez

Tutor: Prof. D. Gustavo Medina Sánchez
Dpto: Ingeniería de los Procesos de Fabricación

Septiembre, 2021



Universidad de Jaén
Escuela Politécnica Superior de Jaén
Departamento de Informática

Don Gustavo Medina Sánchez , tutor del Proyecto Fin de Carrera titulado:
Fabricación, montaje y calibración de scanner 3D, que presenta David López
Martínez, autoriza su presentación para defensa y evaluación en la Escuela
Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, Septiembre de 2021

El alumno:

Los tutores:

David López Martínez

Gustavo Medina Sánchez

ÍNDICE

1.	INTRODUCCION	10
1.1.	ANTECEDENTES	10
1.2.	OBJETIVOS Y MOTIVACIONES.....	11
1.3.	OPENSCAN.....	12
2.	ESTADO DEL ARTE	13
2.1.	TECNOLOGÍAS DE ESCANEEO 3D.....	13
2.1.1.	ESCÁNER CON CONTACTO O SIN CONTACTO	13
2.1.2.	ESCÁNER SIN CONTACTO ACTIVO O PASIVO.....	13
2.1.3.	ESCÁNER POR CONTACTO	14
2.1.4.	ESCÁNER POR TRIANGULACIÓN LÁSER	14
2.1.5.	ESCÁNER DE TIEMPO DE VUELO O LÁSER DE PULSO	16
2.1.6.	ESCÁNER LÁSER DE CAMBIO DE FASE	17
2.1.7.	ESCÁNER LÁSER DE LUZ ESTRUCTURADA.....	18
2.1.8.	ESCÁNER LÁSER DE LUZ MODULADA	19
2.1.9.	ESCÁNER LÁSER DE HOLOGRAFÍA CONOSCÓPICA	20
2.1.10.	ESCÁNER POR SILUETA.....	21
2.1.11.	ESCÁNER POR FOTOGRAMETRÍA	22
2.1.12.	ESCÁNER POR ESTEREOSCÓPICOS.....	23
2.2.	APLICACIONES ESCÁNER 3D	24
2.2.1.	CONTROL DE CALIDAD.....	24
2.2.2.	INGENIERÍA INVERSA.....	24
2.2.3.	PATRIMONIO CULTURAL	25
2.2.4.	DOCUMENTACIÓN “AS BUILT”	25
2.2.5.	MODELOS DIGITALES DEL TERRENO Y/O ELEVACIÓN	25
2.2.6.	ENTRETENIMIENTO	25
2.2.7.	CUIDADO DE LA SALUD	25
2.3.	RECONSTRUCCIÓN Y MODELADO	26
2.3.1.	MODELOS DE MALLA DE POLÍGONOS.....	26
2.3.2.	MODELOS DE SUPERFICIES.....	26
2.3.3.	MODELOS SÓLIDOS CAD	27
3.	CONFIGURACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL ESCÁNER	28
3.1.	CONFIGURACIÓN DE CADA COMPONENTE DEL ESCÁNER	28
3.2.	FUNCIONALIDAD DE CADA COMPONENTE DEL ESCÁNER	30

4.	ELECCIÓN DE HARDWARE	34
4.1.	RASPBERRY PI	34
4.2.	ARDUINO	34
4.3.	ELECCIÓN ENTRE RASPBERRY PI Y ARDUINO	34
4.3.1.	DIFERENCIAS ENTRE RASPBERRY PI Y ARDUINO	35
4.3.2.	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE ARDUINO FRENTE A RASPBERRY PI	36
5.	ARQUITECTURA, PROGRAMACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE LA PLACA ELECTRÓNICA.....	37
5.1.	MONTAJE DEL CIRCUITO IMPRESO	37
5.2.	PROGRAMACIÓN DE LA PLACA ARDUINO.....	43
5.3.	OPCIONES DE CONFIGURACIÓN DEL ESCÁNER	63
6.	FABRICACIÓN Y DIGITALIZACIÓN DE COMPONENTES	70
6.1.	PROCESO DE FABRICACIÓN	70
6.2.	PARÁMETROS DE IMPRESIÓN	77
6.3.	RESULTADOS DE IMPRESIÓN.....	81
6.4.	DIGITALIZACIÓN DE COMPONENTES	81
7.	VALORACIÓN ECONÓMICA Y COMPRA DE COMPONENTES	89
7.1.	COMPARACIÓN DE PRECIOS DE LOS COMPONENTES ELECTRÓNICOS	89
7.2.	COSTE DE FABRICACIÓN DE COMPONENTES	90
7.3.	COSTE DE FABRICACIÓN DE LAS PIEZAS DE PRUEBA	93
7.4.	VALORACIÓN ECONÓMICA	96
8.	OBTENCIÓN DE RESULTADOS.....	97
8.1.	ESFERAS DE DIÁMETRO 40, 80 Y 20 mm	101
8.1.1.	ESFERA DE DIÁMETRO 40 mm.....	102
8.1.2.	ESFERA DE DIÁMETRO 80 mm.....	103
8.1.3.	ESFERA DE DIÁMETRO 20 mm.....	106
8.2.	CUBOS DE LADO 40, 80 Y 20 mm	107
8.2.1.	CUBO DE LADO 40 mm	108
8.2.2.	CUBO DE LADO 80 mm.....	109
8.2.3.	CUBO DE LADO 20 mm.....	111
8.3.	CUBOS DE LADO 40 mm Y RADIOS DE REDONDEO 5 Y 10 mm	112
8.3.1.	CUBO DE LADO 40 mm Y RADIO DE REDONDEO 5 mm	113
8.3.2.	CUBO DE LADO 40 mm Y RADIO DE REDONDEO 10 mm	115
8.4.	CUBOS DE LADO 40 mm CON ORIFICIOS DE FIGURAS DE PROFUNDIDAD 2 Y 5 mm	116
8.4.1.	CUBO DE LADO 40 mm CON ORIFICIOS DE FIGURAS DE PROFUNDIDAD 2 mm	117
8.4.2.	CUBO DE LADO 40 mm CON ORIFICIOS DE FIGURAS DE PROFUNDIDAD 5 mm	119
8.5.	CONO DE BASE CUADRADA DE LADO 40 mm Y ALTURA 80 mm	121

8.6.	CONO DE BASE CIRCULAR DE DIAMETRO 40 mm Y ALTURA 80 mm	123
8.7.	FIGURAS DE ANIMALES	125
8.7.1.	PERRO.....	126
8.7.2.	CIERVO.....	128
8.7.3.	LEÓN.....	129
8.8.	COMPONENTE DE UNA PINZA DE LA ROPA	130
9.	CONCLUSIONES	134
10.	TRABAJOS A FUTURO	135
11.	BIBLIOGRAFÍA.....	136
ANEXO 1: PLANOS DE COMPONENTES DEL ESCÁNER.....		137
ANEXO 2: PLANOS DE OBJETOS DE PRUEBA		138
ANEXO 3: INSTRUCCIONES PARA UTILIZAR EL ESCÁNER		139

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1: Evolución del Escáner 3D	11
Ilustración 2: Tipos de escáneres 3D	13
Ilustración 3: Escáner por contacto [6]	14
Ilustración 4: Cálculos trigonométricos de escáner por triangulación láser	15
Ilustración 5: Escáner por triangulación láser [8]	16
Ilustración 6: Funcionamiento escáner de tiempo de vuelo [9]	16
Ilustración 7: Escáner de tiempo de vuelo [10]	17
Ilustración 8: Escáner láser de cambio de fase [12]	18
Ilustración 9: Escáner láser de luz estructurada [13]	19
Ilustración 10: Escáner láser de luz modulada [14]	20
Ilustración 11: Escáner láser de holografía conoscópica [15]	21
Ilustración 12: Escáner por silueta [16]	22
Ilustración 13: Escáner por fotogrametría [17]	23
Ilustración 14: Escáner por estereoscópicos [18]	24
Ilustración 15: Tipos de mallas poligonales [27]	26
Ilustración 16: Tipo de superficie NURBS [28]	27
Ilustración 17: Componentes electrónicos del escáner 3D	28
Ilustración 18: Componentes estructurales del escáner 3D	29
Ilustración 19: Escáner 3D montado con componentes electrónicos marcados	30
Ilustración 20: Escáner 3D montado con componentes estructurales marcados	31
Ilustración 21: Montaje en placa board	37
Ilustración 22: Montaje en circuito impreso	38
Ilustración 23: Montaje en circuito impreso detalle condensador	40
Ilustración 24: Montaje en circuito impreso detalle resistencia y optoacoplador	41
Ilustración 25: Montaje en circuito impreso detalle pulsadores, bluetooth y encendido	42
Ilustración 26: Funcionamiento de los botones	63
Ilustración 27: Ejecutar el programa	63
Ilustración 28: Ejecutar el último programa	63
Ilustración 29: Cargar el programa	64
Ilustración 30: Elección de programa del 1 al 3	64
Ilustración 31: Elección de programa del 4 al 6	64
Ilustración 32: Elección de programa del 7 al 9	65
Ilustración 33: Elección de programa del 10 al 12	65
Ilustración 34: Selección de programa 1	66
Ilustración 35: Menú para modificar el ángulo de la base giratoria	66
Ilustración 36: Menú para modificar el ángulo del adaptador de plato giratorio	66
Ilustración 37: Ultimo paso para iniciar el programa de escaneado	67
Ilustración 38: Menú ajustes	67
Ilustración 39: Menú modificar programa	67
Ilustración 40: Modificar la cantidad de fotografías a realizar de un programa	67
Ilustración 41: Modificar el ángulo máximo	68
Ilustración 42: Modificar la cantidad de pausas a realizar	68
Ilustración 43: Modificar el tiempo de obturación de la cámara	68
Ilustración 44: Modificar el ángulo vertical mínimo	69
Ilustración 45: Modificar elección de cámara fotográfica	69
Ilustración 46: Modificar elección de cámara fotográfica	69

Ilustración 47: Interfaz Ultimaker Cura	70
Ilustración 48: Cargar sólido en Ultimaker Cura	71
Ilustración 49: Sólido superando límites dimensionales de impresora 3D	72
Ilustración 50: Barra de operaciones de Ultimaker Cura	72
Ilustración 51: Información de impresión del sólido	73
Ilustración 52: Vista previa del sólido	74
Ilustración 53: Visualización de impresión de una capa del sólido	74
Ilustración 54: Rollo de filamento PLA	75
Ilustración 55: Impresora 3D Artillery Genius	76
Ilustración 56: Resultados de impresión	81
Ilustración 57: Módulo Part Design de CATIA	82
Ilustración 58: Módulo Sketch dentro del Módulo Part Design	83
Ilustración 59: Componente estructural diseñado en Módulo Part Design	84
Ilustración 60: Módulo Drafting de CATIA	85
Ilustración 61: Plano de componente estructural diseñado en Módulo Drafting	86
Ilustración 62: Módulo Assembly Design de CATIA	87
Ilustración 64: Escáner 3D montado solo con componentes estructurales en Módulo Assembly Desing	88
Ilustración 63: Escáner 3D montado en Módulo Assembly Desing con restricciones visibles....	88
Ilustración 65: Conjunto de elementos electrónicos	90
Ilustración 66: Interfaz de Meshroom	97
Ilustración 67: Módulos de computarización de Meshroom	98
Ilustración 68: Resultado de procesado de datos con Meshroom	99
Ilustración 69: Resultado de procesado de datos con Meshroom solo puntos de superficie (sin cámaras)	100
Ilustración 70: Solución final de procesado de datos con Meshroom	101
Ilustración 71: Solución vista 1 Esfera de diámetro 40 mm	102
Ilustración 72: Solución vista 2 Esfera de diámetro 40 mm	102
Ilustración 73: Solución vista 1 Esfera de diámetro 80 mm	103
Ilustración 74: Solución vista 2 Esfera de diámetro 80 mm	104
Ilustración 75: Solución vista 3 Esfera de diámetro 80 mm	104
Ilustración 76: Solución vista 4 Esfera de diámetro 80 mm	105
Ilustración 77: Solución vista 5 Esfera de diámetro 80 mm	105
Ilustración 78: Solución 1 Esfera de diámetro 20 mm	106
Ilustración 79: Solución 2 Esfera de diámetro 20 mm	107
Ilustración 80: Solución vista 1 Cubo de lado 40 mm	108
Ilustración 81: Solución vista 2 Cubo de lado 40 mm	108
Ilustración 82: Solución 1 Cubo de lado 80 mm	109
Ilustración 83: Solución 2 Cubo de lado 80 mm	110
Ilustración 84: Solución 1 vista 2 Cubo de lado 20 mm	111
Ilustración 85: Solución 1 vista 1 Cubo de lado 20 mm	111
Ilustración 86: Solución 2 vista 1 Cubo de lado 20 mm	112
Ilustración 87: Solución 1 Cubo de lado 40 mm radio de redondeo 5 mm	113
Ilustración 88: Solución 2 Cubo de lado 40 mm radio de redondeo 5 mm	114
Ilustración 89: Solución vista 1 Cubo de lado 40 mm radio de redondeo 10 mm	115
Ilustración 90: Solución vista 2 Cubo de lado 40 mm radio de redondeo 10 mm	115
Ilustración 91: Solución vista 3 Cubo de lado 40 mm radio de redondeo 10 mm	116
Ilustración 92: Solución vista 1 Cubo de lado 40 mm y orificios de 2 mm de profundidad	117
Ilustración 93: Solución vista 2 Cubo de lado 40 mm y orificios de 2 mm de profundidad	117

Ilustración 94: Solución vista 3 Cubo de lado 40 mm y orificios de 2 mm de profundidad	118
Ilustración 95: Solución vista 4 Cubo de lado 40 mm y orificios de 2 mm de profundidad	118
Ilustración 96: Solución vista 1 Cubo de lado 40 mm y orificios de 5 mm de profundidad	119
Ilustración 97: Solución vista 2 Cubo de lado 40 mm y orificios de 5 mm de profundidad	120
Ilustración 98: Solución vista 3 Cubo de lado 40 mm y orificios de 5 mm de profundidad	120
Ilustración 99: Solución 1 Cono de base cuadrada de lado 40 mm y altura 80 mm	121
Ilustración 100: Solución 2 Cono de base cuadrada de lado 40 mm y altura 80 mm	122
Ilustración 101: Solución 3 Cono de base cuadrada de lado 40 mm y altura 80 mm	123
Ilustración 102: Solución vista 1 Cono de base circular de diámetro 40 mm y altura 80 mm.	124
Ilustración 103: Solución vista 2 Cono de base circular de diámetro 40 mm y altura 80 mm.	124
Ilustración 104: Solución vista 3 Cono de base circular de diámetro 40 mm y altura 80 mm.	125
Ilustración 105: Solución vista 1 Perro	126
Ilustración 106: Solución vista 2 Perro	126
Ilustración 107: Solución vista 3 Perro	127
Ilustración 108: Solución vista 4 Perro	127
Ilustración 109: Solución vista 1 Ciervo	128
Ilustración 110: Solución vista 1 León	129
Ilustración 111: Solución vista 2 León	129
Ilustración 112: Solución vista 3 León	130
Ilustración 113: Solución vista 1 Pinza de la ropa	131
Ilustración 114: Solución vista 2 Pinza de la ropa	131
Ilustración 115: Solución vista 3 Pinza de la ropa	132
Ilustración 116: Solución vista 4 Pinza de la ropa	132
Ilustración 117: Funcionamiento de los botones	139
Ilustración 118: Menú ajustes	139
Ilustración 119: Pasos para modificar programa	140
Ilustración 120: Modificar el tiempo de mantener el obturador de la cámara abierto	140
Ilustración 121: Modificar el ángulo vertical mínimo	140
Ilustración 122: Ajustar la elección de la cámara fotográfica	140
Ilustración 123: Menú ejecutar el programa	141
Ilustración 124: Opciones de programas a ejecutar	141
Ilustración 125: Pasos para ejecutar un programa	142

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Precio por componente comprado por separado	89
Tabla 2: Precio de los componentes comprando el conjunto.....	89
Tabla 3: Precio PLA por componente imprimido del escáner 3D	91
Tabla 4: Precio de la luz por componente imprimido del escáner 3D	92
Tabla 5: Precio amortización impresora por componente imprimido del escáner 3D	92
Tabla 6: Precio total de la impresión de cada componente imprimido del escáner 3D	93
Tabla 7: Precio PLA por objeto de prueba imprimido	94
Tabla 8: Precio de la luz por objeto de prueba imprimido.....	94
Tabla 9: Precio amortización impresora por objeto de prueba imprimido	95
Tabla 10: Precio total por objeto de prueba imprimido	95

1. INTRODUCCION

1.1. ANTECEDENTES

Los sistemas de medición láser se han utilizado en la industria desde hace ya bastante tiempo en diferentes sectores como el de la industria, pero las primeras patentes de estas herramientas no se realizaron hasta finales de 1980, por lo tanto, se da a partir de esta fecha el inicio en la historia como una herramienta comercializada que se puede utilizar para resolver diferentes problemas, disminuir tiempos de trabajo, etc.

Los primeros escáneres 3D se utilizaron para la industria de la arquitectura, ingeniería y construcción en torno al año 1990. A partir de este momento, se ha producido un crecimiento continuo de uso dentro de la industria.

Con el continuo crecimiento de la utilización de los sistemas de medición ha producido también una continua mejora de estas herramientas, mejorando tanto el tiempo de escáner como la calidad de los resultados, además, se ha conseguido mejorar del mismo modo el procesamiento de los datos recogidos por el escáner, aumentando el almacenamiento de datos y mejorando la velocidad de procesamiento de datos.

La mejora continua del escáner 3D se debe en gran parte a la gran demanda que está obteniendo por parte del sector industrial, ya que el resto de tecnología actual dificultaba en gran medida cualquier tipo de modificación o mantenimiento por la escasez de documentación y la complejidad del equipamiento.

La tecnología del escaneo 3D y la generación de una nube de puntos son un conjunto de herramientas altamente eficiente para conseguir objetivos de medición inalcanzables para otro tipo de tecnologías, posteriormente se puede crear una base sólida para gestionar la información obtenida.

Hasta el nacimiento del escáner 3D la tecnología más utilizada era la estación total tradicional, el cual es un teodolito con distanciómetro integrado que puede medir ángulos y distancias simultáneamente.

En la actualidad conviven estas dos tecnologías, por lo tanto, el escáner 3D es un complemento de la estación total tradicional, no un reemplazo de la misma. Un ejemplo para observar que estas dos tecnologías conviven juntas, es que en la actualidad un método muy común para establecer una red de control es utilizar una estación total.

La gran utilidad a nivel industrial que tiene el escaneo 3D, conlleva la continua mejora y calidad de estas herramientas, con lo que se consigue disminuir tanto la mano de obra como el costo de hardware, lo que produce que su proposición de valor frente a la industria aumente claramente. Por lo tanto, es un círculo que no deja de hacer que aumente el valor del escáner 3D. [1]

Todo lo comentado anteriormente se puede observar claramente en la siguiente representación:

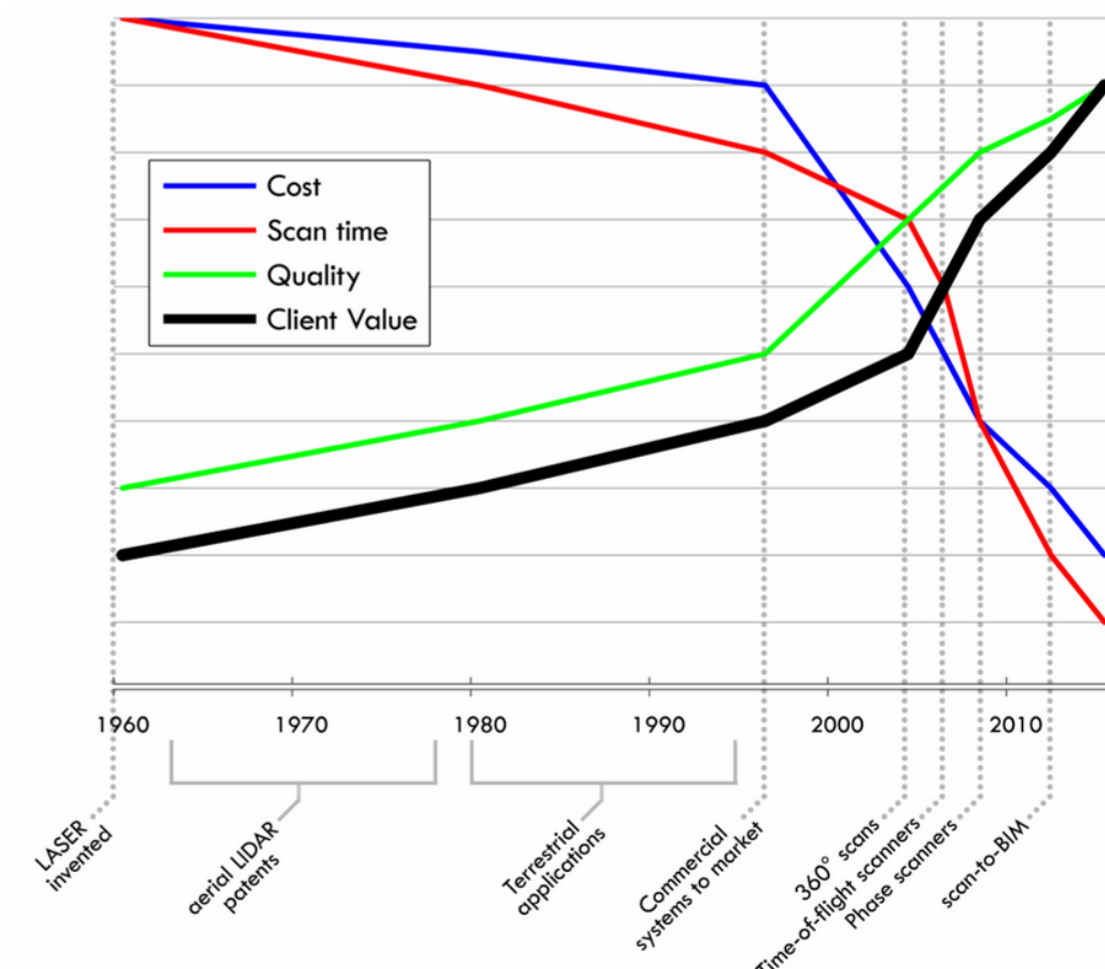


Ilustración 1: Evolución del Escáner 3D

1.2. OBJETIVOS Y MOTIVACIONES

El objetivo principal de este proyecto es poder fabricar un escáner 3D totalmente funcional y automatizado, con un coste de fabricación asequible y de fácil utilización para cualquier persona que tenga conocimientos de ingeniería. Además, poder utilizar la mayor cantidad de conocimientos diferentes adquiridos durante el grado.

La principal motivación personal para realizar este proyecto es la aplicación de la gran variedad de conocimiento adquiridos en el transcurso de la realización del grado, como el uso de la fabricación aditiva, utilización de código de programación en Arduino, programas CAD/CAM, analizar componentes electrónicos, etc. También, la posibilidad de demostrar que una persona que tenga conocimientos de ingeniería puede fabricar un escáner de objetos 3D para su uso personal.

1.3. OPENSCAN

Openscan es una plataforma colaborativa donde se comparten diseños de escáneres 3D de código abierto. La filosofía de la plataforma es que el propio usuario fabrique y monte el escáner, poniendo a su disposición archivos con los planos de las piezas y las configuraciones de hardware y software necesarias [2].

La información está disponible de forma gratuita para cualquier persona en la página web de la plataforma, donde se puede conseguir obtener información sobre los elementos estructurales, los elementos electrónicos, el código de programación de la placa controladora Arduino o Raspberry Pi, o diseños para fabricar distintos tipos de escáneres. También cuenta con tutoriales y vídeos explicativos sobre el uso del escáner y de los programas de procesamiento de datos. También cuenta con una tienda online donde pueden adquirirse algunos de los elementos del escáner.

En la página web se incluyen foros y blogs, por lo que tienes la posibilidad de comunicarte con cualquier persona que los lea para pedir consejo, opinión, información, ayuda en el caso de surja cualquier problema, etc.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1. TECNOLOGÍAS DE ESCANEEO 3D

Existen diferentes tipos de escáner 3D, estas diferencias son debidas a las necesidades particulares para las que se vaya a utilizar en cada caso. Como se podrá comprobar a continuación, se utilizará un tipo de tecnología u otra dependiendo de la precisión que se requiera, la distancia a la que se encuentra el objeto, etc.

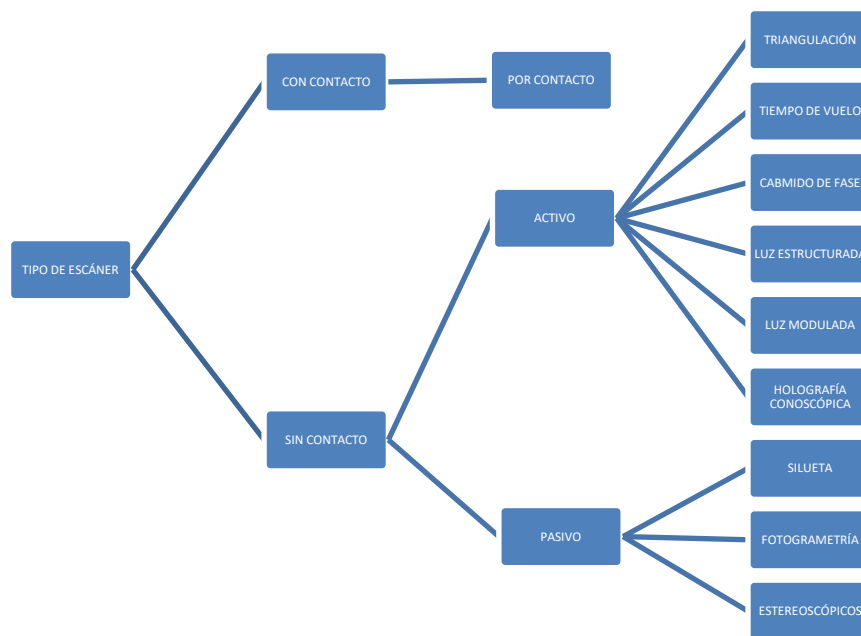


Ilustración 2: Tipos de escáneres 3D

2.1.1. ESCÁNER CON CONTACTO O SIN CONTACTO

La gran diferencia es que en los escáneres con contacto la superficie se consigue examinar a través de un elemento que toca el objeto (sonda o palpador). En el caso de los escáneres sin contacto se utiliza otro tipo de tecnología, en ningún caso existe un elemento que necesite tocar la superficie para poder analizarla, la tecnología utilizada dependerá de si el escáner es activo o pasivo. [3] [4]

2.1.2. ESCÁNER SIN CONTACTO ACTIVO O PASIVO

El escáner sin contacto activo emite una señal y analiza el retorno de esta para conseguir determinar la superficie del objeto que se desea analizar. Mientras que el escáner sin contacto pasivo no emite por sí mismo ningún tipo de señal, si no que utiliza la radiación reflejada que se encuentra en el ambiente, como puede ser la luz visible o luz infrarroja. [3] [4]

2.1.3. ESCÁNER POR CONTACTO

El escáner por contacto utiliza una sonda o palpador para ir apoyándose en la superficie del objeto a escanear, la punta de este elemento suele estar fabricada de acero duro o zafiro. Esta sonda tiene unos determinados sensores que permiten determinar su posición espacial para poder obtener los diferentes puntos de la superficie. Para mejorar este sistema se le puede añadir al palpador un brazo mecánico articulado con el que se pueda registrar determinadas configuraciones y ángulos para aumentar la precisión. Con este tipo de escáner se puede conseguir precisiones de 0,01 milímetros. [3] [4] [5]

- Ventajas:
 - Alta precisión
 - Gran utilidad para objetos transparentes o reflectantes
- Desventajas:
 - Requiere tener contacto con el objeto a escanear y puede deteriorarlo
 - El proceso de escaneo es muy lento en comparación a otros tipos de procedimientos
 - Bajo alcance



Ilustración 3: Escáner por contacto [6]

2.1.4. ESCÁNER POR TRIANGULACIÓN LÁSER

El escáner por triangulación láser necesita un emisor que emita el punto o línea láser y un sensor que reciba la información tras ser proyectado en el objeto que se desea escanear. En la “Figura 3” se puede observar la tecnología utilizada, el emisor, el punto láser en el objeto y la cámara forman un triángulo, de este se conoce el valor de la distancia entre el emisor y la cámara, además se conoce tanto el ángulo que forma este lado con el emisor y con la cámara, esto se puede observar más claramente en la imagen, donde los elementos de rojo son conocidos y los de azul desconocidos. De esta forma se puede calcular correctamente la distancia a la que se

encuentra el objeto, ya que, mediante cálculos trigonométricos, que se explican a continuación, se puede obtener los valores de las variables restantes del triángulo. Con este tipo de escáner se puede conseguir precisiones de 0,001 milímetros. [5] [7]

$$\alpha = 360^\circ - \beta - \gamma$$

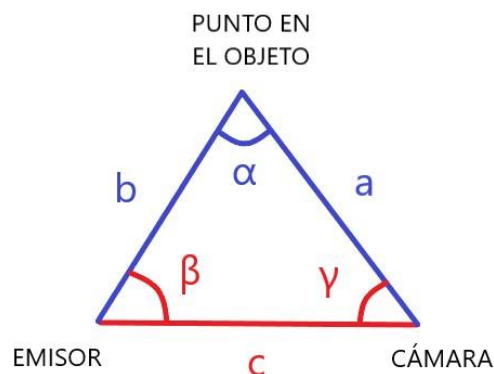


Ilustración 4: Cálculos trigonométricos de escáner por triangulación láser

$$a = \frac{c}{\sen \alpha} \times \sen \beta$$

$$b = \frac{c}{\sen \alpha} \times \sen \gamma$$

- Ventajas:
 - Alta precisión
 - Alta resolución
 - Suele ser portátil (pequeño tamaño)

- Desventajas:
 - Puede no realizar un buen escaneo si la superficie es muy brillante
 - Puede no realizar un buen escaneo si la superficie es muy transparente
 - Bajo alcance



Ilustración 5: Escáner por triangulación láser [8]

2.1.5. ESCÁNER DE TIEMPO DE VUELO O LÁSER DE PULSO

El escáner de tiempo de vuelo mide el tiempo que necesita el láser en realizar un viaje completo, ida y vuelta, ya que se conoce la velocidad de la luz con bastante precisión, el láser parte del emisor y se inicia a contabilizar el tiempo, luego este rebota en el objeto que se va a escanear y regresa a un receptor, en este momento se para el tiempo. Como anteriormente se ha dicho, la velocidad del láser se puede conocer con mucha precisión, utilizando la siguiente fórmula se puede conseguir obtener la distancia a la que se encontraba el punto del objeto con respecto al escáner

$$D = \frac{V \times T}{2}$$

D = distancia

V = velocidad del láser

T = tiempo de ida y vuelta

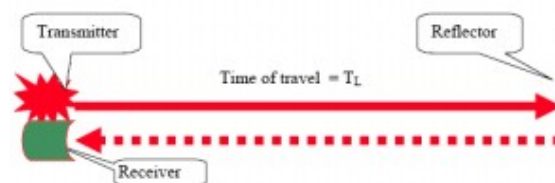


Ilustración 6: Funcionamiento escáner de tiempo de vuelo [9]

Una vez realizada la medida, para obtener la medición completa se debe mover el láser, el sensor o ambos a diferentes posiciones, con la tecnología actual lo más común es utilizar un sistema óptico para deflecar el haz, ya que es mucho más preciso y rápido. [5] [7]

- Ventajas:
 - Alcance medio o alto
- Desventajas:
 - Baja precisión
 - La lentitud del proceso de escaneo en comparación con otros tipos de procedimientos
 - Ruidoso



Ilustración 7: Escáner de tiempo de vuelo [10]

2.1.6. ESCÁNER LÁSER DE CAMBIO DE FASE

El escáner láser de cambio de fase a través del emisor emite ondas láser de diferente longitud de onda, estas al contactar con el objeto que se quiere escanear, rebotan y vuelven al lugar donde han sido emitidas, captando esta información con el receptor se consigue medir la diferencia de fase que existe entre la emitida y recibida, de esta manera se puede conseguir la información de la distancia a la que se encuentra. El haz láser es continuo en todo momento y se modula la potencia. Se utiliza a nivel industrial en un punto intermedio entre el escaneo de grandes distancias y menor precisión conseguido por el escáner de tiempo de vuelo y las pequeñas distancias y alta precisión del escáner de triangulación. [7] [11]

- Ventajas:
 - Buena precisión

- Desventajas:
 - Solo alcance medio
 - Menos ruidoso que escáner de tiempo de vuelo



Ilustración 8: Escáner láser de cambio de fase [12]

2.1.7. ESCÁNER LÁSER DE LUZ ESTRUCTURADA

Escáner láser de luz estructurada basa su tecnología en la triangulación trigonométrica, pero no utiliza una línea o un punto láser como el escáner por triangulación láser, en este caso utiliza un patrón de luz, esta puede ser blanca o azul. El patrón utilizado suele ser una serie de bandas o una matriz de puntos u otras formas emitido por un proyector, el sensor o sensores que se encuentran en una posición diferente al proyector analizan el patrón de luz y calculan la distancia de cada punto emitido. Con este tipo de escáner se puede conseguir precisiones de 0,01 milímetros. [5] [11]

- Ventajas:
 - Analiza todo el objeto al instante
 - Tiempo de escaneo bajo
 - Buena precisión
 - Suele ser portátil (pequeño tamaño)
 - Puede escanear grandes superficies
- Desventajas:
 - No se comporta bien en geometrías complicadas con cambios bruscos, con el avance de la tecnología se ha conseguido mejorar este aspecto
 - Muy sensibles al tipo de iluminación del ambiente



Ilustración 9: Escáner láser de luz estructurada [13]

2.1.8. ESCÁNER LÁSER DE LUZ MODULADA

Escáner láser de luz modulada emite una luz cambiante con la que ilumina el objeto, la fuente de luz va cambiando su amplitud según un patrón sinusoidal y un sensor analiza la cantidad que el patrón de luz reflejada en el objeto ha cambiado para poder determinar la distancia viaja por la luz. Este tipo de escáner permite al sensor y al analizador ignorar cualquier tipo de luz que no sea la del láser. [11]

- Ventajas:
 - Analiza todo el objeto al instante
 - Tiempo de escaneo bajo
 - Buena precisión
 - Suele ser portátil (pequeño tamaño)
 - Puede escanear grandes superficies
- Desventajas:
 - No se comporta bien en geometrías complicadas con cambios bruscos, con el avance de la tecnología se ha conseguido mejorar este aspecto



Ilustración 10: Escáner láser de luz modulada [14]

2.1.9. ESCÁNER LÁSER DE HOLOGRAFÍA CONOSCÓPICA

Escáner láser de holografía conoscópica emite un rayo láser que se proyecta sobre una superficie, que al ser reflejado atraviesa un cristal birrefringente, cristal que tiene a la vez un índice de refracción ordinario y fijo y un índice de refracción extraordinario que varía en función del ángulo de incidencia del rayo. Por lo tanto, se obtienen dos rayos paralelos que con una lente cilíndrica se hacen interferir, a través de un sensor se puede obtener la frecuencia de esta interferencia y la distancia del objeto. Además, esta técnica permite utilizar cualquier luz monocromática, por lo que se puede utilizar otro tipo de luz a parte del láser.

Se utiliza en la ingeniería inversa, control de calidad para defectos superficiales en la industria del acero a altas temperaturas, medición de la profundidad de un agujero (algo imposible si se intenta con un láser de triangulación), entre otras muchas utilidades que se le puede dar. Con este tipo de escáner se puede conseguir precisiones mejores de 0,001 milímetros. [11]

- Ventajas:
 - Alta precisión
 - Se puede utilizar para geometrías complicadas
- Desventajas:
 - Solo corto alcance



Ilustración 11: Escáner láser de holografía conoscópica [15]

2.1.10. ESCÁNER POR SILUETA

Escáner por silueta utiliza contornos que se han creado a partir de la realización de una serie de fotografías al objeto utilizando un fondo de contraste. Esta técnica usa como referencia un eje de rotación respecto a la cámara y de esta manera consigue unir las siluetas obtenidas con cada fotografía realizada. [11]

- Ventajas:
 - Buena precisión
 - Buena rapidez
- Desventajas:
 - Solo corto alcance
 - No es capaz de detectar todo tipo de concavidad (interior objeto)



Ilustración 12: Escáner por silueta [16]

2.1.11. ESCÁNER POR FOTOGRAMETRÍA

Escáner por fotogrametría realiza un análisis altamente complejo de fotografías que se han tomado al objeto de diferentes posiciones. El ordenador o analizador utilizando la información de las fotografías tomadas y la posición desde la que se realizaron cada una es capaz de obtener la representación del objeto 3D. [4] [5]

El escáner que se va a fabricar utiliza esta tecnología.

- Ventajas:
 - Buena precisión
 - Buena rapidez
 - Se puede usar para cualquier tipo de objeto
- Desventajas:
 - Se necesita fotografías de excelente calidad para obtener buenos resultados
 - El tiempo de ejecución del algoritmo por parte del ordenador puede ser alto

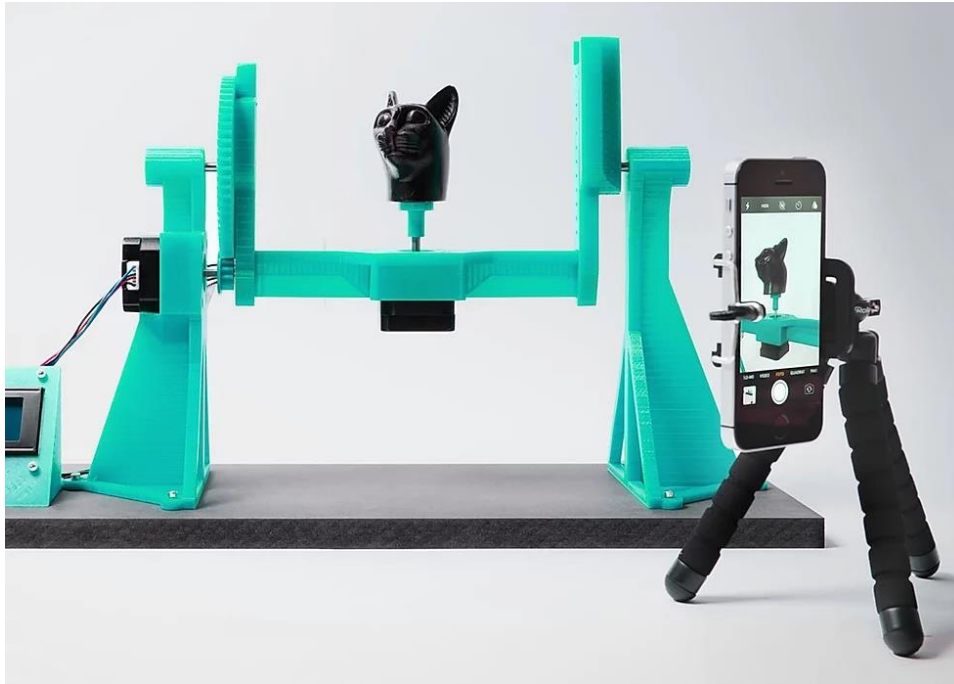


Ilustración 13: Escáner por fotogrametría [17]

2.1.12. ESCÁNER POR ESTEREOSCÓPICOS

Escáner por estereoscópicos utiliza dos cámaras de video con sistema estereoscópico enfocando en el mismo punto, al analizar las pequeñas diferencias que existen entre las imágenes tomadas por cada cámara se puede obtener a la distancia que se encontraba cada uno de los puntos del objeto. Este método se basa en la visión estereoscópica humana. [4] [11]

- Ventajas:
 - Buena precisión
 - Buena rapidez
- Desventajas:
 - Se necesita cámaras de excelente calidad para obtener buenos resultados
 - El tiempo de ejecución del algoritmo por parte del ordenador puede ser alto



Ilustración 14: Escáner por estereoscópicos [18]

2.2. APLICACIONES ESCÁNER 3D

2.2.1. CONTROL DE CALIDAD

Con el constante aumento de la competencia, unos márgenes comerciales cada vez más ajustados, el control de calidad debe ser cada vez más rápido y preciso, esto se está consiguiendo con los escáneres 3D.

Los escáneres 3D pueden identificar desviaciones que antes no eran percibidas por su alta precisión y además consigue disminuir los tiempos de producción por su alta rapidez de captación y análisis de datos. [19]

2.2.2. INGENIERÍA INVERSA

La ingeniería inversa tiene usos muy específicos como puede ser, por ejemplo, para comprobación de que empresas competidoras no han infringido la propiedad de patentes de productos propios, otro ámbito en la que puede ser utilizada es en el militar siendo de alta utilidad para analizar las tecnologías de otras naciones sin necesidad de tener planos.

Otras utilidades más cotidianas que puede tener la ingeniería inversa es crear productos que sean compatibles con otros productos sin tener la necesidad de conocer en detalle este producto, por lo tanto, se produce un abaratamiento importante de la producción. También puede ser utilizada para comprobar la seguridad o poder reparar un producto. [19] [20] [21]

2.2.3. PATRIMONIO CULTURAL

Los escáneres 3D son de gran utilidad para la conservación del patrimonio cultural, en la actualidad se están utilizando para escanear diferentes monumentos que se encuentran en zonas de conflicto por guerra y, por lo tanto, tienen posibilidad de ser destruidos, con la tecnología del escáner 3D se podría recrear de nuevo fácilmente este monumento en caso de ser destruido por este conflicto. Un ejemplo es el proyecto Heritage de Google en colaboración con organizaciones no gubernamentales. [21]

2.2.4. DOCUMENTACIÓN “AS BUILT”

Con la tecnología “AS BUILT” se puede conseguir un plano definitivo de una obra terminada fácilmente gracias a un escáner 3D, existen tres grandes mejoras con respecto al método tradicional, el primero es el tiempo el cual se reduce notablemente, el segundo es que fácilmente se pueden contemplar todos los cambios que se han ido produciendo con respecto al inicio y el tercero es que la mayor cantidad de datos obtenidos por este método consigue una fiabilidad que es altamente superior con respecto al tradicional. Del mismo modo, si se quiere realizar cualquier cambio, remodelación o proyecto nuevo se puede realizar fácilmente. [22] [23]

2.2.5. MODELOS DIGITALES DEL TERRENO Y/O ELEVACIÓN

Los modelos digitales de elevación permiten caracterizar el relieve y las formas de los elementos en una representación digital visual, los valores representados son de altura con respecto a una referencia, esta suele ser el nivel del mar. Las dos variables importantes de los modelos digitales de elevación son la precisión a la hora de captar los datos por el escáner 3D y la calidad de detalle en la representación digital que depende del sistema de gestión de datos. [24] [25]

2.2.6. ENTRETENIMIENTO

Los escáneres 3D son cada vez más utilizados en el mundo cinematográfico y en el de los videojuegos, en ambos casos el coste tanto monetario como de tiempo es menor si se esculpe una figura a mano que posteriormente es digitalizada gracias a un escáner 3D, que crear esta figura digitalmente directamente. Otra gran utilidad es escanear lugares reales para posteriormente recrearlos digitalizados y posteriormente poder modificarlos según la necesidad, que obviamente es mucho más sencillo que recrearlos digitalmente desde cero. Por lo tanto, el uso del escáner 3D en este ámbito es cada vez más común y sobre todo con el uso de los efectos especiales que no dejan de aumentar tanto en la industria del cine como de los videojuegos. [26]

2.2.7. CUIDADO DE LA SALUD

Los escáneres 3D en la industria médica de la salud han conseguido innovar y conseguir grandes avances en la sanidad. Por ejemplo, en la actualidad es algo indispensable en la fabricación de órtesis y prótesis, ya que gracias a esta tecnología se puede conseguir tener en cuenta todas las

características tan específicas de cada individuo y, por lo tanto, se puede fabricar estos componentes con una muy buena precisión y exactitud.

En el ámbito médico, esta vez relacionado con la belleza, en la cirugía plástica también se pueden realizar simulaciones de cómo sería el resultado de la operación.

2.3. RECONSTRUCCIÓN Y MODELADO

2.3.1. MODELOS DE MALLA DE POLÍGONOS

Al escanear el objeto lo que se crea es una nube de puntos en formato digital, los cuales pertenecen a la superficie de dicho objeto. Se puede crear superficies simples, habitualmente sin agujeros y convexas, al unir estos puntos con líneas rectas que no se pueden cruzar y las cuales unen un conjunto coplanar de vértices. La superficie del objeto puede ser entonces representada por el sumatorio de todas estas superficies simples, una cosa a tener en cuenta es que una arista puede ser compartida como máximo por dos superficies.

Dentro de los modelos de malla de polígonos, la representación puede ser explícita, de lista de vértices o lista de aristas. Se elegirá entre una representación u otra dependiendo de las necesidades que se tengan.

Los tipos de mallas poligonales más utilizados son cinta de triángulos, abanico de triángulos y malla de cuadriláteros.

Este tipo de modelos son difícilmente editables.

Este tipo de modelado produce archivos muy pesados, es decir, la cantidad de datos que gestiona y almacena es muy grande. [27] [28] [29]

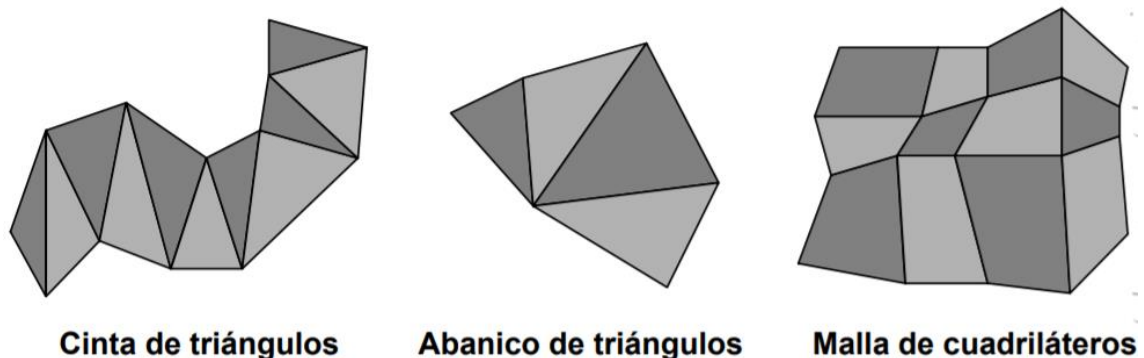


Ilustración 15: Tipos de mallas poligonales [27]

2.3.2. MODELOS DE SUPERFICIES

Los modelos de superficies son muy similares, pero más complejos, que los de malla de polígonos. En este caso, el conjunto de superficies pequeñas que forman el exterior del objeto son curvas, este tipo de superficies pueden ser NURBS, T-Splines u otro tipo de representación de curvas.

Este tipo de modelos también son difíciles de editar, la única diferencia a los modelos de malla de polígonos es que la superficie se puede deformar, como se puede observar en la ilustración. Cuando se utiliza la tecnología de modelos de superficies se tiene la ventaja de que la cantidad de datos que se tienen que gestionar y almacenar son menores que en el caso de los modelos de malla de polígonos. [29]

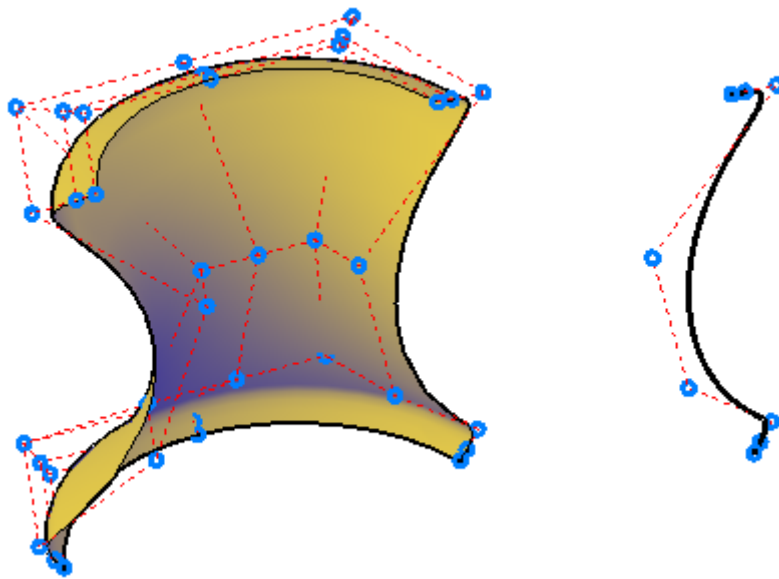


Ilustración 16: Tipo de superficie NURBS [28]

2.3.3. MODELOS SÓLIDOS CAD

Los modelos sólidos CAD son totalmente editables, por lo tanto, son los más utilizados en la industria para producir, describir y editar los objetos digitalizados. Los parámetros deben de ser fácilmente editables, por ejemplo, en el caso de una esfera se usaría el centro de la misma y un radio.

Con este tipo de modelos no solo se quiere describir solo la superficie de un objeto, sino que también se quiere las características fundamentales de este y su relación con otros objetos que conforman el conjunto. Un ejemplo, es que dos piezas circulares tienen que ser totalmente concéntricas y su unión va a realizarse con cuatro tornillos, por lo tanto, teniendo en cuenta como referencia el centro de cada disco se tienen que realizar los taladros para que coincidan perfectamente. [29]

3. CONFIGURACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL ESCÁNER

3.1. CONFIGURACIÓN DE CADA COMPONENTE DEL ESCÁNER

Cada componente perteneciente al escáner 3D realiza una función determinada, se puede realizar una primera clasificación entre componentes electrónicos y componentes estructurales, estos últimos han sido fabricados con la impresora 3D. Utilizando dos fotografías realizadas a cada uno de los conjuntos de componentes se puede definir la función que realiza cada elemento por separado y en conjunto con otros componentes, ya que se pueden observar las diferentes piezas gráficamente en las fotografías. Para nombrar los diferentes objetos se ha introducido cada uno dentro de un recuadro o un doble recuadro de esta forma se podrá saber fácilmente a cuál se está refiriendo observando la ilustración correspondiente.



Ilustración 17: Componentes electrónicos del escáner 3D

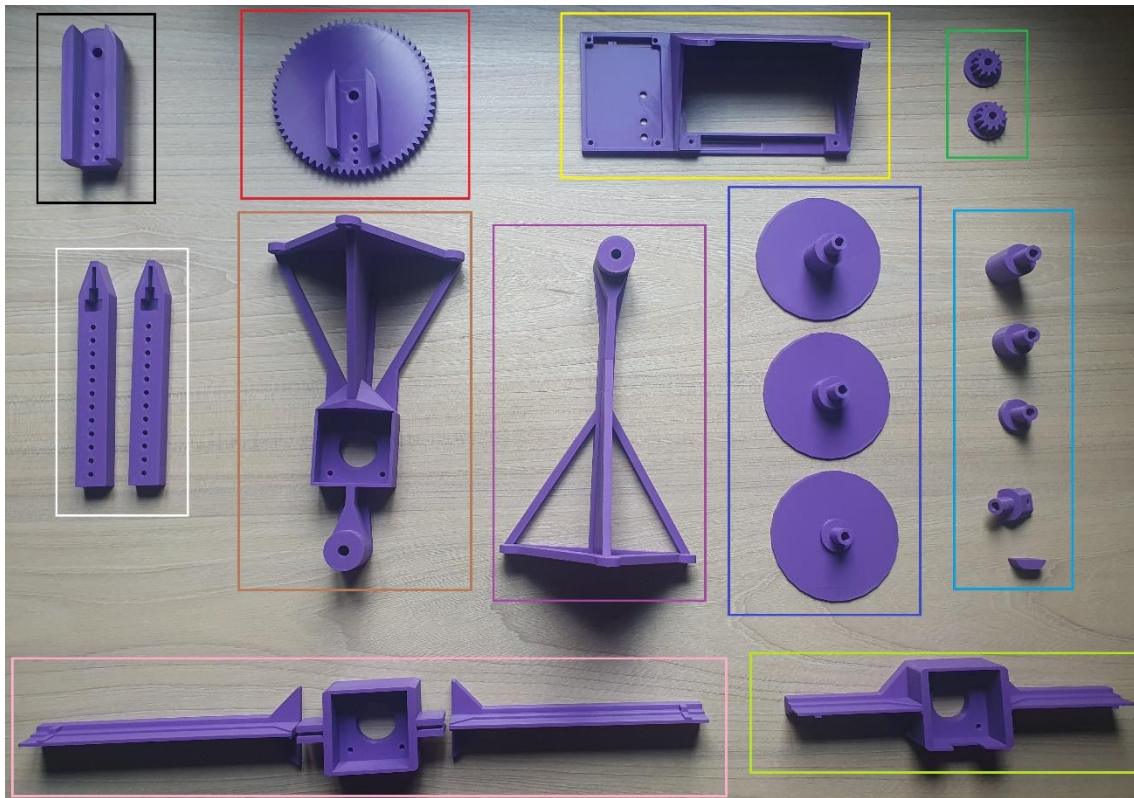


Ilustración 18: Componentes estructurales del escáner 3D

- Doble cuadrado negro es un Obturador remoto bluetooth para Android e iOS
- Doble cuadrado rojo es la Unidad de control, es un circuito impreso y está compuesto por la placa Arduino Nano, dos diodos, una resistencia, un regulador de tensión, una entrada de corriente, dos controladores de motores Nema 17, dos condensadores, un optoacoplador, un interruptor ON/OFF y tres botones
- Doble cuadrado amarillo es la Pantalla LCD 20X4 cm con módulo I2C donde se podrá observar el progreso de escaneado, tipos de programas, diferentes menús, ajustes, etc. Además, también se encuentra en este doble cuadrado el cableado que transmite la información entre la pantalla LCD y la unidad de control
- Doble cuadrado verde es Pequeño material con 10 tuercas de métrica 3 mm, 22 tornillos de métrica 3 mm y longitud 8 mm, 10 tornillos de métrica 3 mm y longitud 12 mm y dos pernos de acero, aparece en el material electrónico por dos motivos principales, el primero es que en componentes estructurales solo aparecen los que han sido imprimidos y el segundo es que como se explicará posteriormente en la valoración económica este se encuentra incluido en el pack donde están todos los componentes electrónicos
- Doble cuadrado azul es una Fuente de alimentación de 12 Voltios y 2 Amperios con conector de cañón (5.5 mm – 2.5 mm) alimenta a toda la unidad de control
- Doble cuadrado violeta son los Motores Nema 17, también conocidos como motores paso a paso y serán los responsables de realizar los diferentes movimientos
- Doble cuadrado blanco es el Cableado que transmite la información entre los dos motores Nema 17 y la unidad de control

Para el caso de los componentes estructurales del escáner 3D se ha definido cada uno con un nombre diferente para poder identificarlos fácilmente

- Cuadrado negro, Adaptador 1, es un regulador de posición
- Cuadrado rojo, Adaptador 2 (Engranaje grande), es un regulador de posición y a la vez un engranaje
- Cuadrado amarillo, Módulo de control, es el soporte de la unidad de control y pantalla LCD
- Cuadrado verde, aparecen dos componentes diferentes Engranaje pequeño 1 y Engranaje pequeño 2, se han incluido en el mismo recuadro ya que solo se utilizará uno u otro, esto dependerá de la holgura que se tenga en el momento del montaje, son dos engranajes
- Cuadrado blanco, Brazo rotativo, son dos brazos idénticos reguladores de posición
- Cuadrado marrón, Soporte Nema 17, soporte de la estructura del escáner y de uno de los motores Nema 17
- Cuadrado violeta, Soporte 2, soporte de la estructura del escáner
- Cuadrado azul oscuro, Adaptadores de plato giratorio grande, son componentes que se utilizarán como apoyo del objeto a escanear y tienen diferentes medidas de altura para poder escanear objetos diferentes
- Cuadrado azul claro, Adaptadores de plato giratorio pequeño, son componentes que se utilizarán como apoyo del objeto a escanear y tienen diferentes medidas de altura para poder escanear objetos diferentes
- Cuadrado rosa, Base giratoria grande 35 cm versión de Paul, soporte de uno de los motores Nema 17
- Cuadrado verde pistacho, Base giratoria pequeña Nema, soporte de uno de los motores Nema 17

3.2. FUNCIONALIDAD DE CADA COMPONENTE DEL ESCÁNER

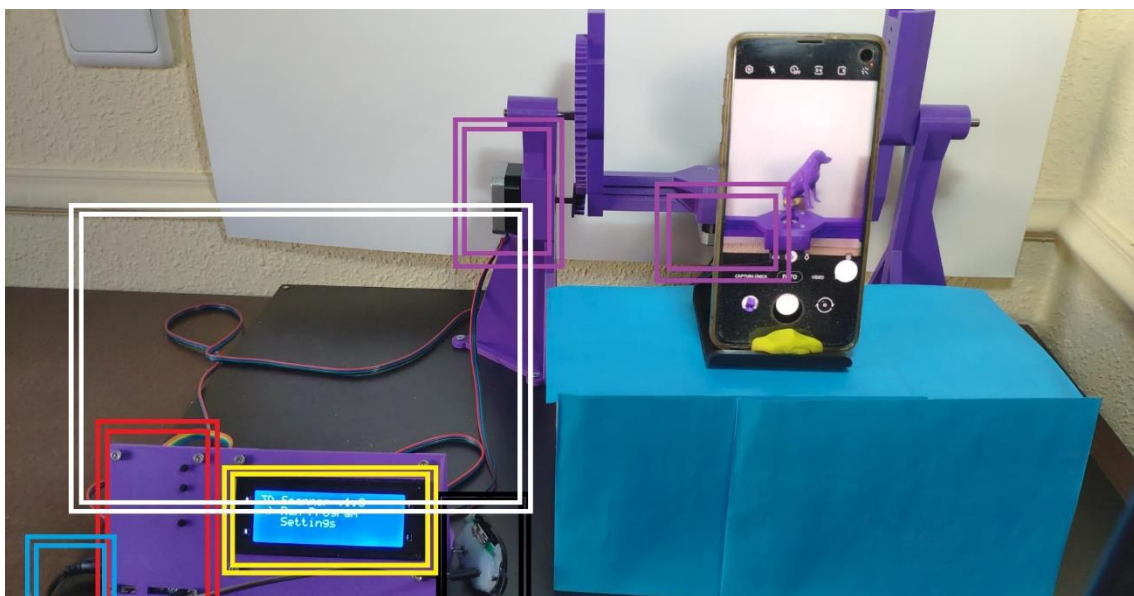


Ilustración 19: Escáner 3D montado con componentes electrónicos marcados

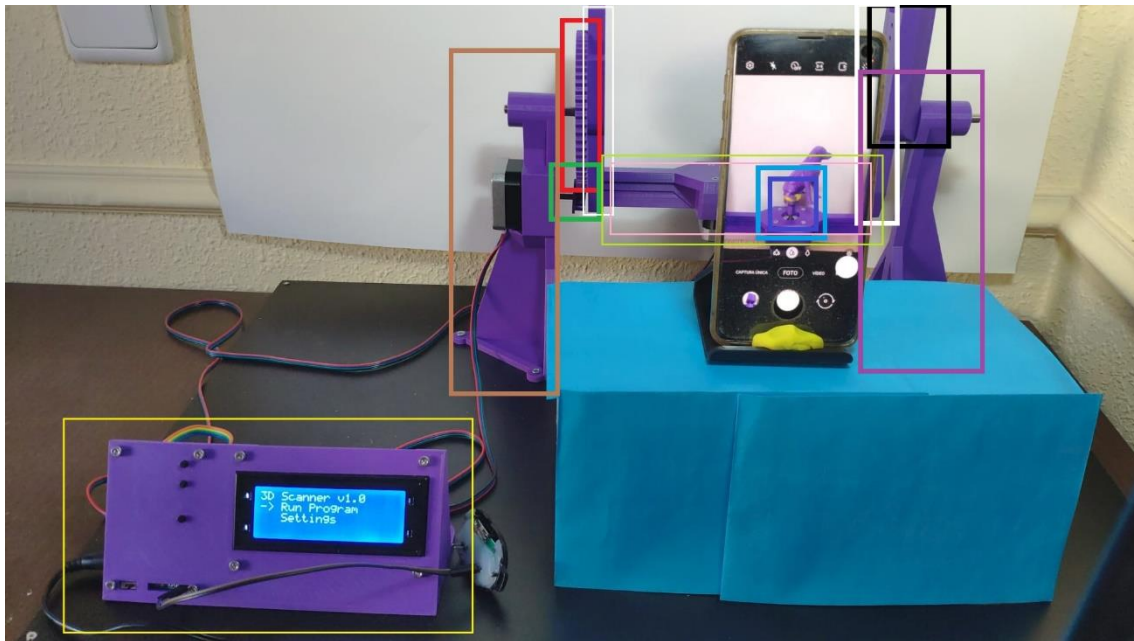


Ilustración 20: Escáner 3D montado con componentes estructurales marcados

Se ha separado en el montaje completo del escáner en dos ilustraciones, una de componentes electrónicos y otras de componentes estructurales para que la visualización gráfica sea más sencilla y seguir con la misma estructura anterior.

La Unidad de control (doble cuadrado rojo) que es la encargada de gestionar todos los movimientos, los instantes de realización de fotografías y configurar diferentes parámetros de escaneado se encuentra montada en el soporte Módulo de control (cuadrado amarillo) con la utilización de Pequeño material (doble cuadrado verde), para su montaje se ha utilizado 4 tuercas de métrica 3 mm y 4 tornillos de métrica 3 mm y longitud 8 mm, esta se encuentra alimentada a través de la Fuente de alimentación de 12 Voltios y 2 Amperios (doble cuadrado azul), en la ilustración solo se va la conexión entre ambas, la otra parte de la Fuente de alimentación debe conectar en cualquier enchufe a la corriente hembra. La Unidad de control envía la información de cuando realizar una fotografía a través del cableado del Obturador remoto bluetooth para Android e iOS (doble cuadrado negro) y a su vez este da la orden de realizarla a la cámara fotográfica, este se encuentra alimentado por una pila de botón.

El Obturador remoto bluetooth para Android e iOS tiene como su nombre indica dos conexiones, la que se encuentra justo debajo de la pila de botón es la que se utiliza para controlar dispositivos móviles iOS y la que se encuentra más próxima a la pestaña se utiliza para controlar dispositivo móviles Android, en caso de realizar una mala conexión lo único que puede ocurrir es que no se envíe la información y, por lo tanto, que no se realicen las fotografías. Para utilizar cámaras fotográficas profesionales este Obturador remoto bluetooth no serviría, este dispositivo está limitado para estas dos únicas opciones. La Unidad de control está configurada para que simplemente se conecte otro componente electrónico capaz de enviar la información a la cámara fotográfica. Existen dos alternativas, la primera es la conexión a través de cableado entre la Unidad de control y la conexión especial de cada cámara fotográfica, en la bibliografía

apartado [31] se puede obtener más información de que conexiones tienen las principales marcas de cámaras fotográficas, la segunda es utilizar obturadores remotos bluetooth específicos para la cámara fotográfica que se vaya a utilizar, en la bibliografía apartado [29] se puede obtener información de cómo realizar las conexiones y que dispositivo electrónico comprar para un obturador de las marcas Canon y Nikon.

La Pantalla LCD (doble cuadrado amarillo) se encuentra conectada a través de su cableado a la Unidad de control y muestra la información de este último, así se consigue ver que programa se va a elegir, las diferentes configuraciones que existen, los parámetros modificados, etc. Además, la Pantalla LCD se encuentra montada en el soporte Módulo de control con la utilización de Pequeño material, para su montaje se ha utilizado 4 tuercas de métrica 3 mm y 4 tornillos de métrica 3 mm y longitud 8 mm.

El Cableado (doble cuadrado blanco) es la conexión entre los dos Motores Nema 17 (doble cuadrado violeta) y la Unidad de control, es la responsable de transmitir la información relativa a los movimientos del escáner. La conexión de los Motores Nema 17 a la Unidad de control es de suma importancia ya que puede provocar que la estructura sufra daños porque los motores realizan movimientos totalmente diferentes.

Existen dos Motores Nema 17 que se van a definir de la siguiente manera, Motor Nema 17 “Rotor” y Motor Nema 17 “TT”, la abreviatura “TT” significa “Turntable”, la traducción al castellano es “plataforma giratoria”.

El Motor Nema 17 “Rotor” se encuentra montado en el soporte principal Soporte Nema 17 (cuadrado marrón) con la utilización de Pequeño material, para su montaje se ha utilizado 4 tornillos de métrica 3 mm y longitud 12 mm, además de este soporte existe otro principal llamado Soporte 2 (cuadrado violeta), sobre estos dos componentes recae el peso total de toda la estructura del escáner, los dos Motores Nema 17 y el objeto a escanear.

El Soporte Nema 17, Soporte 2 y el Módulo de control se encuentran atornillados a una plataforma de madera, todo este material se ha comprado en una ferretería, este material no es necesario para el funcionamiento del escáner, pero permite una mejor movilidad y facilidad de utilización.

En el Motor Nema 17 “Rotor” se encuentra colocado en una posición fija, gracias a un chaflán, el Engranaje pequeño 2 (cuadrado verde), este transmite el movimiento del Motor Nema 17 “Rotor” al engranaje Adaptador 2 (Engranaje grande) (cuadrado rojo).

El Adaptador 2 (Engranaje grande) es el responsable de girar todo el conjunto que se encuentra sobre los dos soportes principales en torno al eje definido por los dos pernos de acero, estos pertenecen al Pequeño material. Si se tiene en cuenta las ilustraciones del escáner montado uno de los pernos de acero se encuentra fijado con pegamento instantáneo al Adaptador 2 (Engranaje grande) y gira libremente sobre el Soporte Nema 17, el otro perno de acero se encuentra fijado del mismo modo, con pegamento instantáneo, al Adaptador 1 (cuadrado negro) y gira libremente sobre el Soporte 2.

El Adaptador 2 (Engranaje grande), aparte de ser el responsable de girar todo el conjunto, sirve para ajustar la distancia a la que se quiere que se encuentre el objeto a escanear con respecto al eje de giro, el Adaptador 1 tiene esta misma función, hay que tener en cuenta que cuanto más lejos se encuentre el objeto con respecto al centro de giro la circunferencia que dibujara este será mayor, por lo tanto, cuando el Motor Nema 17 “Rotor” gire en un sentido un determinado ángulo, la distancia recorrida por el objeto será mucho menor si se encuentra cerca del centro

de giro que si se encuentra lejos. Regular esta distancia es muy importante para el escaneado, porque en unas fotografías el objeto puede encontrarse demasiado cerca de la cámara fotográfica y en otras muy lejos, esto puede llevar a obtener malos resultados.

Esta regulación de altura se termina de conseguir con la utilización del Brazo rotativo (cuadrado blanco), existen dos y son idénticos, uno de ellos se une al Adaptador 2 (Engranaje grande) con la utilización de Pequeño material, para su montaje se ha utilizado 2 tornillos de métrica 3 mm y longitud 8 mm, el otro Brazo rotativo se ha unido al Adaptador 1 también con la utilización de Pequeño material, de nuevo con 2 tornillos de métrica 3 mm y longitud 8 mm. En el momento de realizar la regulación de los Brazos rotativos hay que tener en cuenta que los dos orificios en forma de pirámides deben coincidir y estar a la misma altura para que el montaje sea correcto.

En el orificio en forma de pirámide de los Brazos rotativos se encaja en una sola posición la Base giratoria pequeña Nema (cuadrado verde pistacho) o la Base giratoria grande 35 cm versión de Paul (cuadrado rosa), estas dos bases realizan la misma función, la única diferencia es que la primera sus dimensiones son inferiores a la segunda, la elección entre una u otra dependerá del objeto que se quiera escanear. Para este proyecto solo se ha utilizado la Base giratoria pequeña Nema, entonces a partir de ahora solo se hará referencia a esta.

Existe también una Base giratoria grande 35 cm, pero por problemas de dimensiones a la hora de la impresión, las dimensiones del componente exceden las de la impresora 3D, se ha realizado la impresión de la Base giratoria grande 35 cm versión de Paul, es igual que la normal, pero se encuentra dividida en tres elementos y por lo tanto, de esta manera se consigue unas dimensiones inferiores y es posible realizar su impresión. Tras imprimir los tres elementos que conforman la Base giratoria grande 35 cm versión de Paul lo único que hay que hacer es fijar los tres componentes con pegamento instantáneo con la configuración que se puede observar en las ilustraciones anteriores.

En la Base giratoria pequeña Nema se encuentra montado el Motor Nema 17 “TT” con la utilización de Pequeño material, para su montaje se ha utilizado 4 tornillos de métrica 3 mm y longitud 12 mm. El Motor Nema 17 “TT” es el encargado de realizar los movimientos de rotación sobre si mismo del objeto, para unir el objeto a este motor se utilizan adaptadores.

Los adaptadores de unión entre el Motor Nema 17 “TT” y el objeto, pueden dividirse en dos grupos, el primero para objetos de pequeño tamaño, se les llama Adaptadores de plato giratorio pequeño (cuadrado azul claro), hay tres variantes con alturas diferentes para conseguir ajustes determinados y el segundo para para objetos de gran tamaño, se les llama Adaptadores de plato giratorio grande (cuadrado azul oscuro), de nuevo hay tres variantes con alturas diferentes para conseguir ajustes determinados. Para sujetar el objeto a los adaptadores se ha utilizado plastilina.

Para la cámara fotográfica, en este caso un teléfono móvil, se ha utilizado un soporte que se tenía imprimido en la impresora 3D Artillery Genius y adaptadores de altura artesanales.

Observación: Se recomienda realizar una inversión y realizar la compra de un adaptador universal para facilitar el proceso de ajuste.

4. ELECCIÓN DE HARDWARE

El escáner se puede gestionar, controlar y procesar utilizando dos tipos de placas controladoras, el RASPBERRY PI y ARDUINO. La utilización de una u otra dependerá en gran medida de la elección personal, porque cualquiera de las dos opciones es igual de válida. Cualquiera de las dos configuraciones de placa conseguirá administrar perfectamente el escáner, pero existen unas determinadas diferencias que harán que según el gusto personal te decantes entre una opción u otra.

4.1. RASPBERRY PI

Raspberry pi es un ordenador de placa simple y bajo coste con la suficiente potencia para realizar tareas básicas, programar y compilar programas. En la actualidad, su función principal es la educativa ya que, con su tamaño reducido y diseño para poder conectar bastantes accesorios, se puede conseguir realizar gran cantidad de tareas diferentes. Otros tipos de usos actuales son para determinados proyectos y ordenador doméstico.

En el mercado se pueden encontrar diferentes modelos de Raspberry pi, se diferencian entre si sobre todo por tamaño, potencia o ambas cosas.

El sistema operativo de la Raspberry pi es de código abierto pero su creador tiene el control de la plataforma del hardware. El sistema operativo del ordenador usado para utilizar la plataforma de programación de Raspberry pi puede ser Windows 10 y GNU/Linux. [30] [31]

4.2. ARDUINO

Arduino es una plataforma de creación de electrónica de código abierto basada en hardware y software libre, esto quiere decir que cualquier persona, con más o menos conocimiento sobre este tema pueda utilizar, modificar y adaptar a sus necesidades con facilidad. En el mercado actual, puedes encontrar diferentes modelos de placas, accesorios y hasta programas o aplicaciones desarrolladas por empresas compatibles para este.

Aunque hay muchísimas variantes tanto de placas como de accesorios, la ventaja es que todos estos parten de una misma base común, por lo tanto, son totalmente compatibles entre ellos.

Existe una plataforma de programación creada por Arduino fácilmente descargable para el ordenador, esta se llama Arduino IDE, las siglas IDE significan en español Entorno de Desarrollo Integrado. En esta plataforma se puede crear cualquier tipo de aplicación, realizar pruebas a través de conexiones virtuales para corroborar que el código es correcto e introducir este en la placa Arduino. El sistema operativo del ordenador usado puede ser Windows, macOS y GNU/Linux.

Arduino es una placa con todos los elementos necesarios para poder conectar fácilmente periféricos tanto a las entradas como a las salidas de un microcontrolador. [30] [31]

4.3. ELECCIÓN ENTRE RASPBERRY PI Y ARDUINO

Teniendo en cuenta la mayor cantidad de factores posibles, en este caso concreto se ha elegido Arduino frente a Raspberry pi, después de realizar un análisis extenso de cada una de las opciones.

4.3.1. DIFERENCIAS ENTRE RASPBERRY PI Y ARDUINO

Las dos configuraciones, tanto Raspberry pi como Arduino, son de código abierto, pero existen diferencias notables entre estos:

- Software: Arduino una vez conectada ejecuta la tarea programada inmediatamente, mientras que Raspberry pi necesita un sistema operativo completo para poder utilizarla, por lo tanto, es un proceso más lento.
- Hardware: El hardware de Arduino es abierto, cualquier persona puede crear su versión de la placa, mientras que en el caso de Raspberry mantiene el control su fundador y solo este puede crear y fabricar las placas y sus versiones.
- Potencia: La potencia de cálculo de Arduino es inferior a la de Raspberry pi.
- Versatilidad: La facilidad del conectarse al mundo de Arduino es superior a la de Raspberry pi, al incorporar entradas analógicas y digitales, además la facilidad que proporciona para poder activarlas y desactivarlas con su software por parte de Arduino es muy superior a Raspberry pi, aunque cada vez este está creando más extensiones para poder suprimir esta diferencia.
- Conexión: Arduino con la ayuda de una placa de expansión se conseguiría conectividad Ethernet, se encarecería y se perderían la utilidad de puertos, mientras que Raspberry pi cuenta con conectividad WiFi y Ethernet integradas en la placa, por lo tanto, el precio es el mismo y no se necesitaría gastar ningún puerto. [30] [31]

4.3.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE ARDUINO FRENTE A RASPBERRY PI

Las diferencias del apartado anterior se van a tener en cuenta para ver en este caso cual es una ventaja o una desventaja teniendo en cuenta cuales son las necesidades específicas de este proyecto.

- Ventajas:
 - El software de Arduino es mucho más funcional que el de Raspberry pi ya que el escáner 3D se encenderá y apagará en repetidas ocasiones y se necesita que se pueda utilizar rápidamente
 - El hardware de Arduino al ser abierto es mucho más útil por si se quiere realizar cualquier creación ya que Raspberry pi no nos lo permitiría.
 - La potencia que se necesitaría para este proyecto no es muy elevada, entonces utilizar Arduino que consume menos cantidad de energía abarataría el uso del escáner frente a Raspberry pi que tiene un consumo mayor.
 - La versatilidad que proporciona Arduino para cualquier tipo de modificación o ampliación es mucho rápida y sencilla que la de Raspberry pi actualmente.
- Desventajas:
 - La necesidad de una placa de expansión para tener conexión Ethernet con Arduino mientras que en Raspberry pi ya se encuentre integrado en la placa es una desventaja por la pérdida de puertos y el aumento del coste del Arduino.

5. ARQUITECTURA, PROGRAMACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE LA PLACA ELECTRÓNICA

5.1. MONTAJE DEL CIRCUITO IMPRESO

El circuito impreso está compuesto por diferentes elementos electrónicos que realizan diferentes funciones, se va a proceder a explicar el funcionamiento general de cada conjunto y de cada componente por separado, para ello se ha utilizado un prototipo montado en placa board o placa de pruebas para que se pueda apreciar con mayor claridad el circuito integrado que se tiene en la realidad. Se ha utilizado cuadro de colores para identificar los diferentes componentes.

El circuito integrado se encuentra emplazado en el “Módulo de control”.

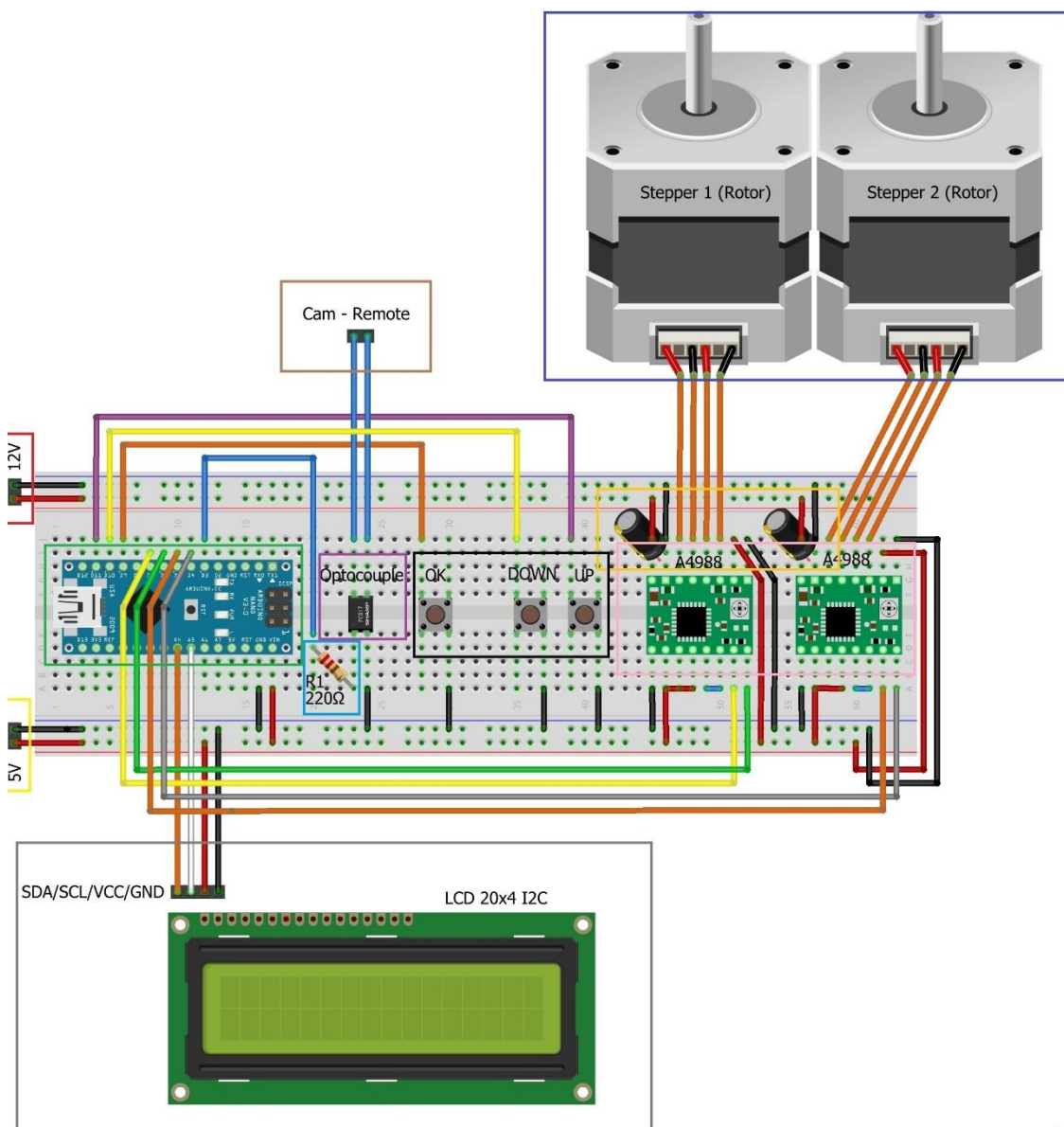


Ilustración 21: Montaje en placa board

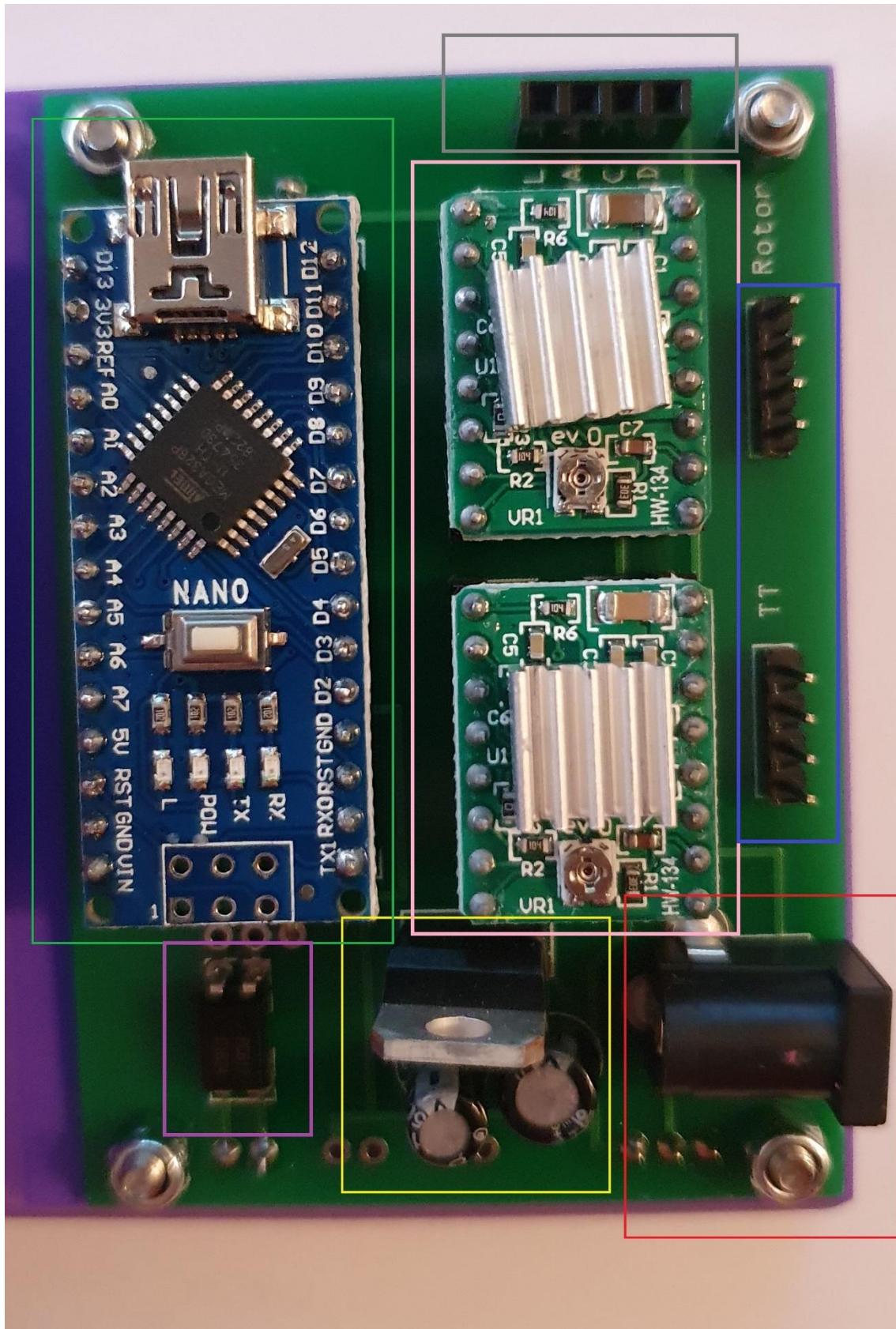


Ilustración 22: Montaje en circuito impreso

- Cuadrado rojo: Es la entrada de corriente que alimenta todo el circuito integrado, en esta entrada se conecta la fuente de alimentación que se ha comprado como se verá posteriormente para transformar la corriente alterna a 220 V habitual en cualquier punto de corriente eléctrica en España a 12 V y una intensidad constante de 2 A.
- Cuadrado amarillo: Está formado por un regulador de tensión y dos condensadores para conseguir suavizar los posibles ruidos que contenga la señal eléctrica, este conjunto es un convertidor de voltaje interno y su función es convertir los 12 V con los que alimentamos el circuito integrado convertirlos a 5 V. Esto se necesita porque algunos componentes funcionan con 5 V mientras que otros con 12 V.
- Cuadrado verde: Arduino Nano, es una placa de desarrollo compatible con protoboards y de tamaño compacto, ya que el espacio del que se dispone es muy reducido y por este motivo no se puede utilizar una placa Arduino de tamaño normal. Aquí se encontrará toda la programación que posteriormente servirá para gestionar los controladores de los motores Nema (cuadrado rosa), el dispositivo que realizará las fotografías, etc. El Arduino va alimentado con una tensión de 5 V.
- Cuadrado rosa: En el recuadro aparecen dos controladores, cada uno gestiona uno de los motores Nema 17 que realizarán los diferentes movimientos del escáner, estos controladores transforman la información que emite el Arduino. Los controladores tienen que alimentarse con una tensión de 5 V.
- Cuadrado azul oscuro: Hay que tener en cuenta que en el “montaje en placa board” aparecen los dos motores Nema 17 mientras que en el “montaje en circuito impreso” solo aparecen las conexiones donde posteriormente se conectarán los dos motores Nema 17. Los motores Nema 17 son los encargados de realizar los dos movimientos necesarios para poder conseguir captar la mayor cantidad de detalles posibles del objeto a escanear. El motor que corresponde al conector superior o definido como “Rotor” es el encargado de mover “Engranaje pequeño”, este transmite el movimiento a “Engranaje grande” y este a su vez a la “Base giratoria”, se encuentra ubicado en el “Soporte Nema 17”. El motor que corresponde al conector inferior o definido como “TT” o “Turntable”, la traducción sería plataforma giratoria, es el encargado de mover el “Adaptador de plato giratorio”, se encuentra emplazado en la “Base giratoria”. Los motores están alimentados con una tensión de 12 V.
- Cuadrado gris: Al igual que en el caso anterior en el “montaje en la placa board” aparece la pantalla LCD mientras que en el “montaje en circuito impreso” solo aparece las conexiones donde posteriormente se conectará la pantalla LCD. La pantalla LCD es la encargada de mostrar la información de las diferentes configuraciones posibles para escanear, ajustes, proceso de escaneo, etc. Esta se encuentra ubicada en el módulo de control y está alimentada con una tensión de 5 V.
- Cuadrado violeta: El optoacoplador se puede asemejar a un interruptor, su funcionamiento genérico es un diodo led que emite luz infrarroja el cual satura un fototransistor (componente optoelectrónico), de esta manera consigue activar el interruptor o desactivarlo. Este se utiliza para controlar la activación del dispositivo bluetooth y se encuentra alimentado con una tensión de 5 V.

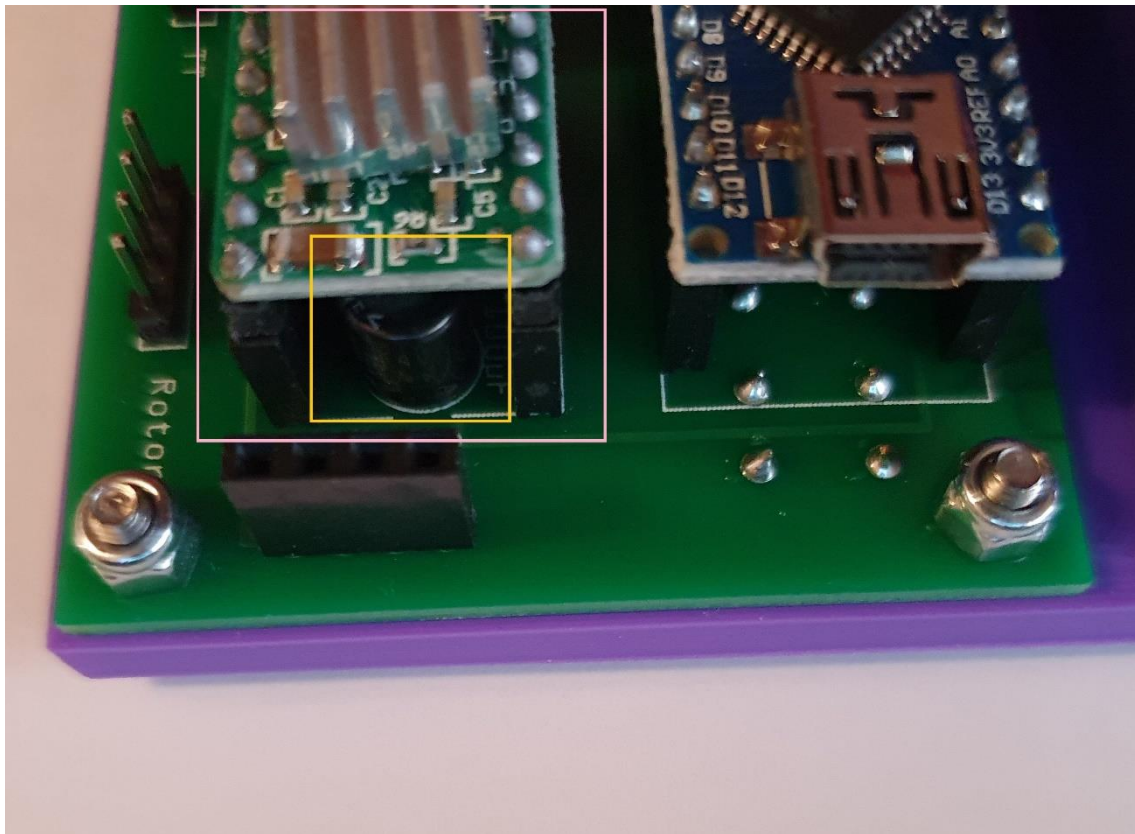


Ilustración 23: Montaje en circuito impreso detalle condensador

- Cuadrado naranja: En la “Ilustración 23” solo se puede apreciar un solo condensador, pero como se puede observar en la “Ilustración 21” existen dos condensadores uno para cada controlador de los dos motores Nema 17, se utilizan para conseguir suavizar los posibles ruidos que contenga la señal eléctrica, ya que esto puede ocasionar daños a los controladores, por lo tanto, se puede considerar como un sistema de protección. Se encuentran en paralelo con los controladores de los motores Nema 17

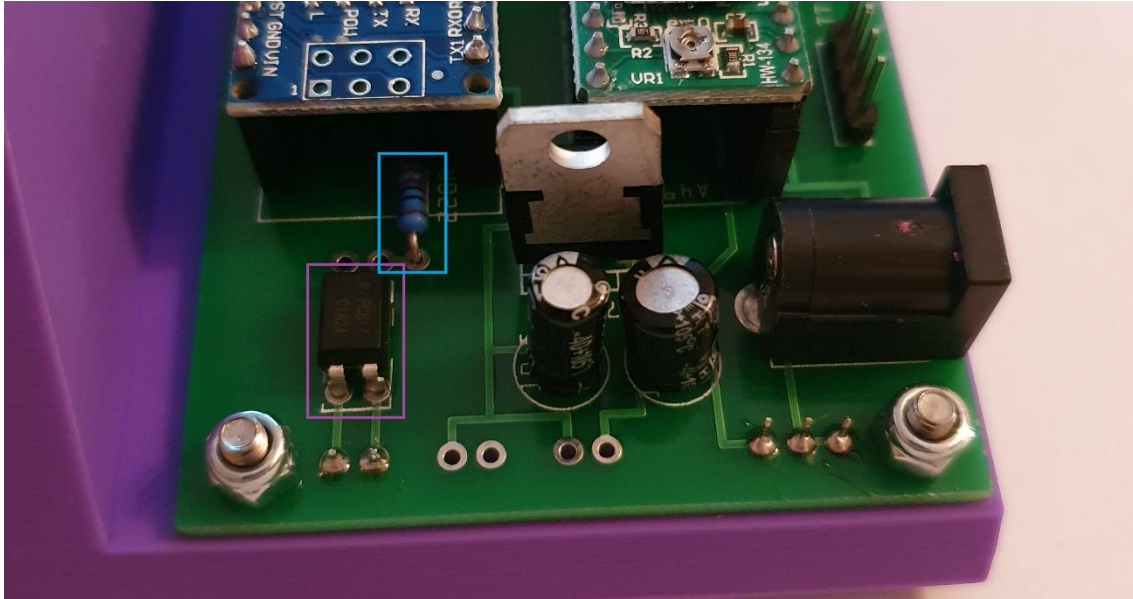


Ilustración 24: Montaje en circuito impreso detalle resistencia y optoacoplador

- Cuadrado azul claro: Es una resistencia que se encuentra en serie con el optoacoplador para limitar la cantidad de corriente que llega a este, es otro sistema de protección como en el caso anterior lo eran los condensadores.

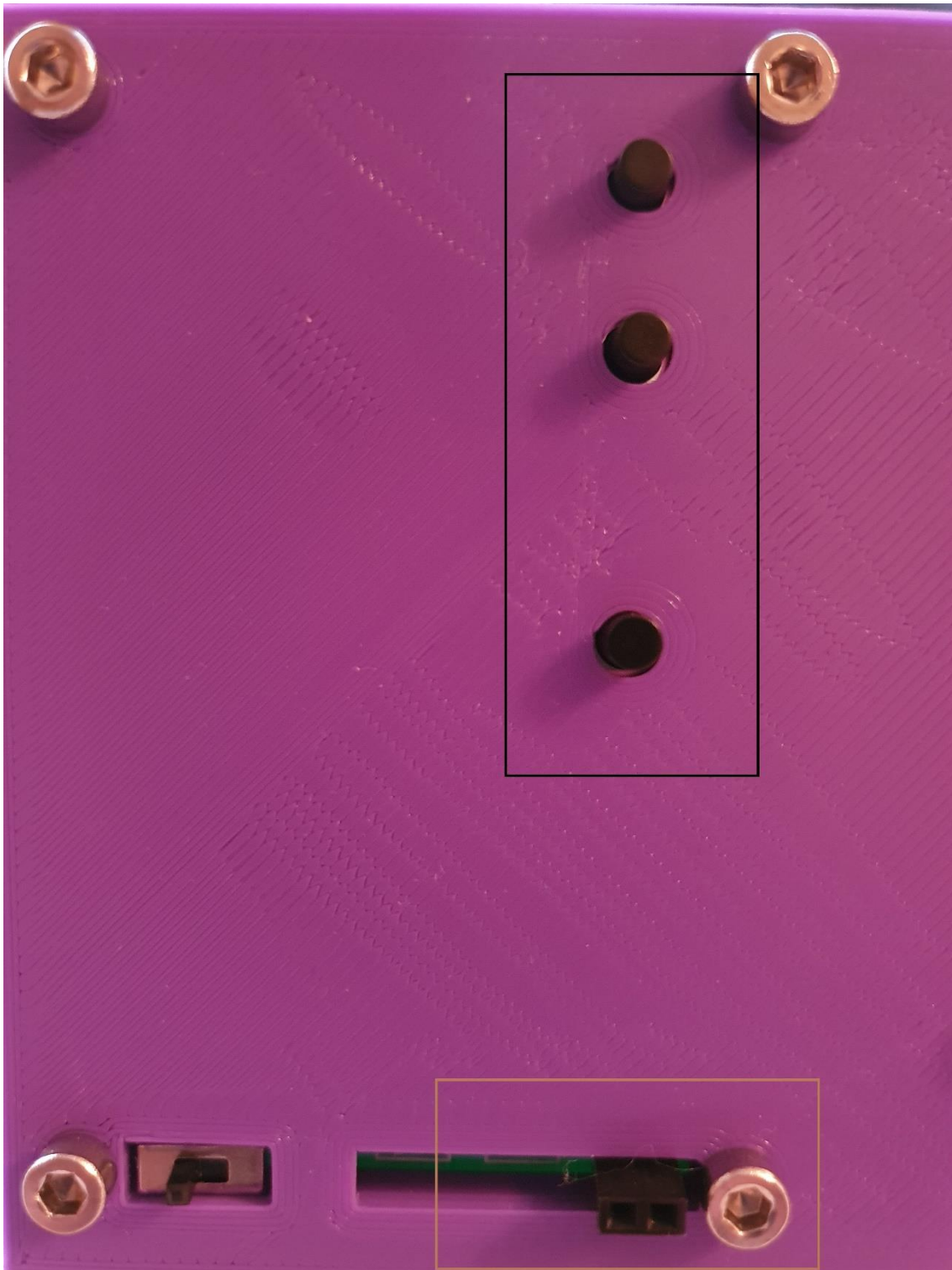


Ilustración 25: Montaje en circuito impreso detalle pulsadores, bluetooth y encendido

- Cuadrado marrón: Hay que tener en cuenta que en el “montaje en placa board” aparece el dispositivo bluetooth mientras que en el “montaje en circuito impreso” solo aparece la conexión donde posteriormente se conectará. El dispositivo bluetooth será el encargado de realizar el enlace entre el circuito integrado y el dispositivo fotográfico,

por lo tanto, el encargado de enviar la información de realizar la fotografía cuando sea necesario.

- Cuadrado negro: Existen tres botones teniendo en cuenta la “Ilustración 25” de arriba abajo el primer botón es “UP” que significa arriba el segundo botón es “DOWN” que se traduce por abajo y el tercer botón que se encuentra más separado es “OK” que sirve para aceptar la opción que se tenga elegida en cada momento. Estos botones se utilizan para modificar los ajustes y para comenzar a realizar la operación de escanear, cada vez que se utilicen se puede visualizar lo que se está realizando en la pantalla LCD.
- En la “Ilustración 25” se puede observar un interruptor que no se encuentra recuadrado, este se utiliza para encender o apagar el circuito integrado sin necesidad de quitar la fuente de alimentación.

5.2. PROGRAMACIÓN DE LA PLACA ARDUINO

El código programado en el Arduino Nano es muy extenso, por lo tanto, solo se va explicar los elementos más importantes y representativos. Hay que tener en cuenta que muchas partes del código son muy similares con respecto a la programación.

El código no ha sido diseñado en este proyecto, ya estaba creado, lo único que se ha realizado en este apartado es realizar una explicación lo más completa posible de este.

Antes de comenzar a escribir el código que gestionará el Arduino, hay dos aspectos muy importantes a tener en cuenta que hay que seleccionar en la plataforma del Arduino:

- 1) En la pestaña instrumentos se seleccionará la opción tablero y dentro de esta se elige Arduino Nano, de esta forma se seleccionará la placa Arduino que se tiene.
- 2) En la pestaña instrumentos se seleccionará la opción procesador y dentro de esta se elige ATmega328P (Old Bootloader)

El código se va a explicar en pequeños párrafos relevantes en orden descendente, es decir, en el orden correcto conforme se leería el código. En cualquier línea que aparezca este símbolo “//” es simplemente una pequeña explicación de la línea y es solo informativo, el Arduino no lo reconoce como parte del código.

```
#include <EEPROM.h>
#include <Wire.h>
#include <LCD.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <multiCameraIIRControl.h>
#include <AccelStepper.h>
```

Se están abriendo las librerías, estas son archivos de códigos predefinidos para facilitar la interconexión de pantallas, módulos, sensores, etc. Se han utilizado en este proyecto librerías por ejemplo para gestionar la pantalla LCD, los controladores y motores Nema 17, EEPROM, etc.

```
int cursor = 1;
byte error, add;
int I2C;
int val;
int val1;
```

```

int val2;
int val3;
int val4;
int FpR; // Fotos per Rotation
int Startangle; //Vertical startangle
int Positions; //number of vertical positions
int TpF; //Time per Foto
int minVert; //minimal vertical angle
int menu;
int buttonUP = 11; //pin for button up
int buttonDOWN = 10; //pin for button down
int buttonOK = 9; //pin for button ok
int step1startpin = 7; //Stepper1 start pin
int step2startpin = 4; //Stepper2 start pin
int photopin1 = 3; //CameraPin
int step1dirpin = 4; //Stepper1 direction pin
int step2dirpin = 6; //Stepper2 direction pin
int step1steppin = 5; //Stepper1 step pin
int step2steppin = 7; //Stepper2 step pin
int SpR1 = 3200; //Steps per Revolution (Stepper1)
int SpR2 = 16000; //Steps per Revolution (Stepper2)
int totalphotos = 0;
int releasetime = 100; // 1500ms for cam and 300 for iphone

```

En esta parte lo único que se ha hecho es definir diferentes variables que se utilizarán en el resto del código en numerosas ocasiones.

Las variables de mayor relevancia son las definidas en las últimas cuatro líneas, estas definirán que tipo de escaneo se realizará, si solo se tienen en cuenta las últimas cuatro líneas:

```

int SpR1 = 3200; //Steps per Revolution (Stepper1)
int SpR2 = 16000; //Steps per Revolution (Stepper2)

```

Estas dos líneas definen las variables que controlaran los dos motores Nema 17 y se elige la cantidad de pasos que se quiere dar con cada motor en cada una de las posibles opciones.

La penúltima línea hace referencia a la cantidad de fotografías que se han realizado en cada momento.

La última línea define la variable que regulará la cantidad de tiempo que el obturador de la cámara se mantendrá abierto.

```

AccelStepper Stepper1(1, step1steppin, step1dirpin);
AccelStepper Stepper2(1, step2steppin, step2dirpin);

```

Se definen los pines de salida que corresponden con cada motor Nema 17, esto es muy importante porque, aunque los dos motores realizan la misma acción sus funcionalidades son totalmente diferentes.

```

void setup() {

    Serial.begin(9600);

    Wire.begin();
    for(add = 1; add < 127; add++)
    {
        Wire.beginTransmission(add);
        error = Wire.endTransmission();

        if (error == 0)
        { I2C=add;
          add=128;
        }
    }
}

```



```
#define address I2C
LiquidCrystal_I2C lcd(address, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7);
lcd.begin (20, 4);
lcd.setBacklightPin(3, POSITIVE);
lcd.setBacklight(HIGH);
lcd.home ();
```

Todo este código se realiza cuando se activa el circuito electrónico y una sola vez, sirve para configurar la pantalla LCD y direccionarla, ya que existe la posibilidad de que se encuentre en nuestro caso en dos posiciones, en términos de grados podría encontrarse en 0° o 180°.

```
Stepper1.setMaxSpeed(1000); //set max speed the motor will turn (steps/second) //KREIS
Stepper1.setAcceleration(200); //set acceleration (steps/second^2)
Stepper2.setMaxSpeed(5000); //set max speed the motor will turn (steps/second) // TURNTABLE
Stepper2.setAcceleration(1000); //set acceleration (steps/second^2)
Stepper1.setCurrentPosition(0);
Stepper2.setCurrentPosition(0);
```

Se definen parámetros específicos para cada motor Nema 17.

```
pinMode(buttonUP, INPUT_PULLUP);
pinMode(buttonDOWN, INPUT_PULLUP);
pinMode(buttonOK, INPUT_PULLUP);
```

Se definen los pines de entrada de los tres botones los cuales servirán para subir, bajar o aceptar en orden descendente según las líneas de código.

```
pinMode(photopin1, OUTPUT);
```

Se definen el pin de salida donde se conectará el dispositivo bluetooth.

```
if (EEPROM.read(1) != 103 || EEPROM.read(2) != 101 || EEPROM.read(3) != 101) {
  lcd.clear();
  delay(100);
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("initializing");
  delay(100);
```

```
EEPROM.write(4, 25);
EEPROM.write(5, 4);
EEPROM.write(6, 4);
EEPROM.write(7, 10);
EEPROM.write(100, 1);
EEPROM.write(101, 16);
EEPROM.write(102, 0);
```

```
EEPROM.write(8, 16); EEPROM.write(9, 0); EEPROM.write(10, 1);
EEPROM.write(11, 32); EEPROM.write(12, 0); EEPROM.write(13, 1);
EEPROM.write(14, 64); EEPROM.write(15, 0); EEPROM.write(16, 1);
```

```
EEPROM.write(17, 16); EEPROM.write(18, 25); EEPROM.write(19, 3);
EEPROM.write(20, 16); EEPROM.write(21, 50); EEPROM.write(22, 3);
EEPROM.write(23, 16); EEPROM.write(24, 75); EEPROM.write(25, 3);
```

```
EEPROM.write(26, 16); EEPROM.write(27, 25); EEPROM.write(28, 5);
EEPROM.write(29, 16); EEPROM.write(30, 50); EEPROM.write(31, 5);
EEPROM.write(32, 16); EEPROM.write(33, 75); EEPROM.write(34, 5);
```

```
EEPROM.write(35, 32); EEPROM.write(36, 25); EEPROM.write(37, 3);
EEPROM.write(38, 32); EEPROM.write(39, 50); EEPROM.write(40, 5);
EEPROM.write(41, 32); EEPROM.write(42, 75); EEPROM.write(43, 5);
```

```
EEPROM.write(44, 1);
```

```
EEPROM.write(1, 103);
```

```
EEPROM.write(2, 101);
EEPROM.write(3, 101);
```

```
}
menu = 1;
}
```

Es una primera configuración donde se limpia e inicializa la pantalla LCD y se escribe bytes en las posiciones indicadas de la EEPROM. La memoria EEPROM almacena datos que no se eliminan al quitar la alimentación del sistema integrado.

```
void loop() {

  LiquidCrystal_I2C lcd(address, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7);
  lcd.begin (20, 4);
  lcd.setBacklightPin(3, POSITIVE);
  lcd.setBacklight(HIGH);
  while(1){
    while (menu != 0) {
```

Se define la dirección del I2C, el I2C se utiliza para conseguir la comunicación entre dos partes de un circuito.

```
    if (menu == 1) {
      cursor = 1;
      lcd.clear();
      lcd.setCursor(0, 0);
      lcd.print("3D Scanner v1.0");
      lcd.setCursor (0, 1);
      lcd.print("-> Run Program");
      lcd.setCursor (3, 2);
      lcd.print("Settings");
      while (digitalRead(buttonOK) == LOW) {
        delay(10);
      }
      while (digitalRead(buttonOK) == HIGH) {
        if (digitalRead(buttonDOWN) == LOW && cursor < 2) {
          lcd.setCursor(0, cursor);
          lcd.print(" ");
          cursor = cursor + 1;
          lcd.setCursor(0, cursor);
          lcd.print("->");
          delay(300);
        }
        if (digitalRead(buttonUP) == LOW && cursor > 1) {
          lcd.setCursor(0, cursor);
          lcd.print(" ");
          cursor = cursor - 1;
          lcd.setCursor(0, cursor);
          lcd.print("->");
          delay(300);
        }
      }
    }
    if (cursor == 1) {
      menu = 2;
    }
    if (cursor == 2) {
      menu = 3;
    }
    delay(300);
  }
}
```

Este es el menú principal que aparecerá en la pantalla LCD, la principal función de esta es seleccionar el menú según en la posición que se encuentre el cursor.

```

if (menu == 2) {
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("-> Run last Program");
  lcd.setCursor(3, 1);
  lcd.print("Load Program");
  lcd.setCursor(3, 2);
  lcd.print(" back");
  cursor = 0;
  while (digitalRead(buttonOK) == LOW) {
    delay(10);
  }
  while (digitalRead(buttonOK) == HIGH) {
    if (digitalRead(buttonDOWN) == LOW && cursor < 2) {
      lcd.setCursor(0, cursor);
      lcd.print(" ");
      cursor = cursor + 1;
      lcd.setCursor(0, cursor);
      lcd.print("->");
      delay(300);
    }
    if (digitalRead(buttonUP) == LOW && cursor > 0) {
      lcd.setCursor(0, cursor);
      lcd.print(" ");
      cursor = cursor - 1;
      lcd.setCursor(0, cursor);
      lcd.print("->");
      delay(300);
    }
  }
  if (cursor == 0) {
    menu = 21;
  }
  if (cursor == 1) {
    menu = 22;
  }
  if (cursor == 2) {
    menu = 1;
  }
  delay(300);
}

```

Este es el menú dos que aparecerá en la pantalla LCD y sirve para ejecutar el programa, la principal función de esta es seleccionar de nuevo otro menú según en la posición que se encuentre el cursor y para volver al menú principal. A esta parte del código se accede desde el menú principal.

```

if (menu == 3) {
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("-> Modify Program");
  lcd.setCursor(3, 1);
  lcd.print("Time per Photo");
  lcd.setCursor(3, 2);
  lcd.print("Min. Vert. Angle");
  lcd.setCursor(3, 3);
  lcd.print("Set Camera BACK");
  cursor = 0;
}

```

```

while (digitalRead(buttonOK) == LOW) {
  delay(10);
}
while (digitalRead(buttonOK) == HIGH) {
  lcd.setCursor(0, cursor);
  lcd.print(" ");
  delay(150);
  if (cursor<4){
    lcd.setCursor(0, cursor);
    lcd.print("->");
    delay(150);
    lcd.setCursor(0,cursor);
    lcd.print(" ");
  }
  if (cursor==4){
    lcd.setCursor(16,3);
    lcd.print(" ");
    delay(150);
    lcd.setCursor(16,3);
    lcd.print("BACK");
  }

  if (digitalRead(buttonDOWN) == LOW && cursor < 5) {
    cursor = cursor + 1;
  }
  if (digitalRead(buttonUP) == LOW && cursor > -1) {
    cursor = cursor - 1;
  }
  if(cursor==5){cursor=0;}
  if(cursor==-1){cursor=4;}

}
if (cursor == 0) {
  menu = 23;
}
if (cursor == 1) {
  menu = 31;
}
if (cursor == 2) {
  menu = 34;
}
if (cursor == 3) {
  menu =35;
}
if (cursor == 4) {
  menu = 1;
}
}
}

```

Este es el menú tres que aparecerá en la pantalla LCD y sirve para la configuración principal, la función más importante de esta es seleccionar otra vez otro menú según en la posición que se encuentre el cursor y para volver al menú principal. A esta parte del código se accede desde el menú principal.

```

if (menu == 21) {
  val1 = EEPROM.read(100);
  val2 = EEPROM.read(101);
  val3 = EEPROM.read(102);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Last Program");
  lcd.setCursor(1, 1);
  lcd.print("(Photos/Angle/Pos.)");
}

```

```

lcd.setCursor(1, 2);
lcd.print("");
lcd.print(val1);
lcd.print(" / ");
lcd.print(val2);
lcd.print(" / ");
lcd.print(val3);
lcd.print(" ");
lcd.setCursor(0, 3);
lcd.print("START    BACK");
cursor = 2;
while (digitalRead(buttonOK) == LOW) {
  delay(10);
}
while (digitalRead(buttonOK) == HIGH) {
  while (cursor == 2 && digitalRead(buttonOK) == HIGH) {
    lcd.setCursor(16, 3);
    lcd.print(" ");
    delay(100);
    lcd.setCursor(16, 3);
    lcd.print("BACK");
    delay(200);
    if (digitalRead(buttonUP) == LOW) {
      cursor = 1;
    }
  }
  while (cursor == 1 && digitalRead(buttonOK) == HIGH) {
    lcd.setCursor(0, 3);
    lcd.print(" ");
    delay(100);
    lcd.setCursor(0, 3);
    lcd.print("START");
    delay(200);
    if (digitalRead(buttonDOWN) == LOW) {
      cursor = 2;
    }
  }
}
if (cursor == 2) {
  menu = 1;
}
if (cursor == 1) {
  menu = 0;
}
}

```

Con esta parte del código se consigue ejecutar el último programa que se haya utilizado siempre y cuando no se haya desconectado la corriente del circuito integrado, en el caso de que se haya desconectado al volver a conectar no habrá información guardada y, por lo tanto, no se ejecutará ningún programa. A esta función se consigue acceder a través del menú dos.

```

if (menu == 22 || menu == 23) {
  cursor = 1;
  val = 1;
  while (val != 0) {
    if (val == 1) {
      lcd.clear();
      lcd.setCursor(0, 0);
      if (menu == 22) {
        lcd.print("Load Program 1-3");
      }
      if (menu == 23) {
        lcd.print("Modify Program 1-3");
      }
    }
  }
}

```

```

}
for(int i=1;i<4;i++){
  lcd.setCursor(3, i);
  lcd.print(EEPROM.read(3 * i + 5));
  lcd.print(" / ");
  lcd.print(EEPROM.read(3 * i + 6));
  lcd.print(" / ");
  lcd.print(EEPROM.read(3 * i + 7));
}
while (digitalRead(buttonOK) == LOW) {
  delay(10);
}
while (digitalRead(buttonOK) == HIGH && cursor != 4 && cursor != 0) {
  lcd.setCursor(0, cursor);
  lcd.print(">");
  if (digitalRead(buttonDOWN) == LOW && cursor < 4) {
    lcd.setCursor(0, cursor);
    lcd.print(" ");
    cursor = cursor + 1;
    lcd.setCursor(0, cursor);
    if (cursor != 4) {
      lcd.print(">");
    }
    if (cursor == 4) {
      val = 2;
    }
    delay(300);
  }
  if (digitalRead(buttonUP) == LOW && cursor > 0) {
    lcd.setCursor(0, cursor);
    lcd.print(" ");
    cursor = cursor - 1;
    lcd.setCursor(0, cursor);
    if (cursor != 0) {
      lcd.print(">");
    }
    if (cursor == 0) {
      val = 4;
    }
    delay(300);
  }
}
if (digitalRead(buttonOK) == LOW) {
  val = 0;
}
if (cursor == 0) {
  cursor = 12;
}
}

if (val == 2) {
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  if (menu == 22) {
    lcd.print("Load Program 4-6");
  }
  if (menu == 23) {
    lcd.print("Modify Program 4-6");
  }
}
for(int i=4;i<7;i++){
  lcd.setCursor(3, i-3);
  lcd.print(EEPROM.read(3 * i + 5));

```

```

    lcd.print(" / ");
    lcd.print(EEPROM.read(3 * i + 6));
    lcd.print(" / ");
    lcd.print(EEPROM.read(3 * i + 7));
}
while (digitalRead(buttonOK) == HIGH && cursor != 3 && cursor != 7) {
    lcd.setCursor(0, cursor - 3);
    lcd.print(">");
    if (digitalRead(buttonDOWN) == LOW && cursor < 7) {
        lcd.setCursor(0, cursor - 3);
        lcd.print(" ");
        cursor = cursor + 1;
        lcd.setCursor(0, cursor - 3);
        if (cursor != 7) {
            lcd.print(">");
        }
        if (cursor == 7) {
            val = 3;
        }
        delay(300);
    }
    if (digitalRead(buttonUP) == LOW && cursor > 3) {
        lcd.setCursor(0, cursor - 3);
        lcd.print(" ");
        cursor = cursor - 1;
        lcd.setCursor(0, cursor - 3);
        if (cursor != 3) {
            lcd.print(">");
        }
        if (cursor == 3) {
            val = 1;
        }
        delay(300);
    }
}
if (digitalRead(buttonOK) == LOW) {
    val = 0;
}
}

if (val == 3) {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    if (menu == 22) {
        lcd.print("Load Program 7-9");
    }
    if (menu == 23) {
        lcd.print("Modify Program 7-9");
    }
}
for(int i=7;i<10;i++){
    lcd.setCursor(3, i-6);
    lcd.print(EEPROM.read(3 * i + 5));
    lcd.print(" / ");
    lcd.print(EEPROM.read(3 * i + 6));
    lcd.print(" / ");
    lcd.print(EEPROM.read(3 * i + 7));
}
while (digitalRead(buttonOK) == HIGH && cursor != 6 && cursor != 10) {
    delay(100);
    lcd.setCursor(0, cursor - 6);
    lcd.print(">");
    if (digitalRead(buttonDOWN) == LOW && cursor < 10) {
        lcd.setCursor(0, cursor - 6);
    }
}

```

```

    lcd.print(" ");
    cursor = cursor + 1;
    lcd.setCursor(0, cursor - 6);
    if (cursor != 10) {
        lcd.print("->");
    }
    if (cursor == 10) {
        val = 4;
    }
    delay(300);
}
if (digitalRead(buttonUP) == LOW && cursor > 6) {
    lcd.setCursor(0, cursor - 6);
    lcd.print(" ");
    cursor = cursor - 1;
    lcd.setCursor(0, cursor - 6);
    if (cursor != 6) {
        lcd.print("->");
    }
    if (cursor == 6) {
        val = 2;
    }
    delay(300);
}
}
if (digitalRead(buttonOK) == LOW) {
    val = 0;
}
}

if (val == 4) {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    if (menu == 22) {
        lcd.print("Load Program 10-12");
    }
    if (menu == 23) {
        lcd.print("Modify Program 10-12");
    }
    for(int i=10;i<13;i++){
        lcd.setCursor(3, i-9);
        lcd.print(EEPROM.read(3 * i + 5));
        lcd.print(" / ");
        lcd.print(EEPROM.read(3 * i + 6));
        lcd.print(" / ");
        lcd.print(EEPROM.read(3 * i + 7));
    }
    while (digitalRead(buttonOK) == HIGH && cursor != 9 && cursor != 13) {
        delay(100);
        lcd.setCursor(0, cursor - 9);
        lcd.print("->");
        if (digitalRead(buttonDOWN) == LOW && cursor < 13) {
            lcd.setCursor(0, cursor - 9);
            lcd.print(" ");
            cursor = cursor + 1;
            lcd.setCursor(0, cursor - 9);
            if (cursor != 13) {
                lcd.print("->");
            }
            if (cursor == 13) {
                val = 1;
            }
        }
        delay(300);
    }
}

```



```

    }
    if (digitalRead(buttonUP) == LOW && cursor > 9) {
        lcd.setCursor(0, cursor - 9);
        lcd.print(" ");
        cursor = cursor - 1;
        lcd.setCursor(0, cursor - 9);
        if (cursor != 9) {
            lcd.print("->");
        }
        if (cursor == 9) {
            val = 3;
        }
        delay(300);
    }
}
if (cursor == 13) {
    cursor = 1;
}
if (digitalRead(buttonOK) == LOW) {
    val = 0;
}
}
ob
}

if (menu == 22) {
    val1 = EEPROM.read(3 * cursor + 5);
    val2 = EEPROM.read(3 * cursor + 6);
    val3 = EEPROM.read(3 * cursor + 7);
    val = 3 * cursor + 5;
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Start Program?");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("-Photos: ");
    lcd.print(val1);
    lcd.setCursor(0, 2);
    lcd.print("-Angle: ");
    lcd.print(val2);
    lcd.setCursor(0, 3);
    lcd.print("-Pos.: ");
    lcd.print(val3);
    lcd.setCursor(17, 2); lcd.print("YES");
    lcd.setCursor(18, 3); lcd.print("NO");
    cursor = 2;
    while (digitalRead(buttonOK) == LOW) {
        delay(10);
    }
    while (digitalRead(buttonOK) == HIGH) {
        if (digitalRead(buttonUP) == LOW && cursor > 1) {
            cursor = cursor - 1;
        }
        if (digitalRead(buttonDOWN) == LOW && cursor < 2) {
            cursor = cursor + 1;
        }
    }
    if (cursor == 1) {
        lcd.setCursor(17, 2);
        lcd.print(" ");
        delay(100);
        lcd.setCursor(17, 2);
        lcd.print("YES");
        delay(200);
    }
}

```

```

    }
    if (cursor == 2) {
        lcd.setCursor(17, 3);
        lcd.print(" ");
        delay(100);
        lcd.setCursor(18, 3);
        lcd.print("NO");
        delay(200);
    }
}
if (cursor == 2) {
    menu = 1;
}
if (cursor == 1) {
    menu = 0;
    if (EEPROM.read(100) != EEPROM.read(val)) {
        EEPROM.write(100, EEPROM.read(val));
    }
    if (EEPROM.read(101) != EEPROM.read(val + 1)) {
        EEPROM.write(101, EEPROM.read(val + 1));
    }
    if (EEPROM.read(102) != EEPROM.read(val + 2)) {
        EEPROM.write(102, EEPROM.read(val + 2));
    }
}
}
}

if (menu == 23) {
    val = 3 * cursor + 5;
    val1 = EEPROM.read(val);
    val2 = EEPROM.read(val + 1);
    val3 = EEPROM.read(val + 2);
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Photos per Rotation:");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("current: ");
    lcd.print(val1);
    lcd.setCursor(0, 2);
    lcd.print("new: ");
    while (digitalRead(buttonOK) == LOW) {
        delay(10);
    }
    while (digitalRead(buttonOK) == HIGH) {
        if (digitalRead(buttonDOWN) == LOW && val1 >= 8) {
            val1 = val1 / 2;
        }
        if (digitalRead(buttonUP) == LOW && val1 < 128) {
            val1 = val1 * 2;
        }
        lcd.setCursor(10, 2);
        lcd.print(" ");
        lcd.setCursor(9, 2);
        lcd.print(val1);
        delay(200);
    }

    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Start at Angle:");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("current: ");

```

```

lcd.print(val2);
lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print("new:  ");
while (digitalRead(buttonOK) == LOW) {
  delay(10);
}
while (digitalRead(buttonOK) == HIGH) {
  if (digitalRead(buttonDOWN) == LOW && val2 > 0) {
    val2 = val2 - 1;
  }
  if (digitalRead(buttonUP) == LOW && val2 < 75) {
    val2 = val2 + 1;
  }
  lcd.setCursor(10, 2);
  lcd.print(" ");
  lcd.setCursor(9, 2);
  lcd.print(val2);
  delay(80);
}

```

```

lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Vert. Positions");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("current: ");
lcd.print(val3);
lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print("new:  ");
while (digitalRead(buttonOK) == LOW) {
  delay(10);
}
while (digitalRead(buttonOK) == HIGH) {
  if (digitalRead(buttonDOWN) == LOW && val3 > 1) {
    val3 = val3 - 1;
  }
  if (digitalRead(buttonUP) == LOW && val3 < 32) {
    val3 = val3 + 1;
  }
  lcd.setCursor(10, 2);
  lcd.print(" ");
  lcd.setCursor(9, 2);
  lcd.print(val3);
  delay(200);
}

```

```

lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Save new Program?");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("- Old: ");
lcd.print(EEPROM.read(val));
lcd.print("/");
lcd.print(EEPROM.read(val + 1));
lcd.print("/");
lcd.print(EEPROM.read(val + 2));
lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print("- New: ");
lcd.print(val1);
lcd.print("/");
lcd.print(val2);
lcd.print("/");
lcd.print(val3);

```

```

    lcd.setCursor(0, 3); lcd.print("YES");
    lcd.setCursor(18, 3); lcd.print("NO");
    cursor = 2;
    while (digitalRead(buttonOK) == LOW) {
        delay(10);
    }
    while (digitalRead(buttonOK) == HIGH) {
        if (digitalRead(buttonUP) == LOW && cursor > 1) {
            cursor = cursor - 1;
        }
        if (digitalRead(buttonDOWN) == LOW && cursor < 2) {
            cursor = cursor + 1;
        }
        if (cursor == 1) {
            lcd.setCursor(0, 3);
            lcd.print(" ");
            delay(100);
            lcd.setCursor(0, 3);
            lcd.print("YES");
            delay(200);
        }
        if (cursor == 2) {
            lcd.setCursor(18, 3);
            lcd.print(" ");
            delay(100);
            lcd.setCursor(18, 3);
            lcd.print("NO");
            delay(200);
        }
    }
    if (cursor == 2) {
        menu = 1;
    }
    if (cursor == 1) {
        menu = 1;
        if (val1 != EEPROM.read(val)) {
            EEPROM.write(val, val1);
        }
        if (val2 != EEPROM.read(val + 1)) {
            EEPROM.write(val + 1, val2);
        }
        if (val3 != EEPROM.read(val + 2)) {
            EEPROM.write(val + 2, val3);
        }
    }
}
}
}

```

Con esta parte del código se consigue ejecutar el programa de escaneo que se quiera realizar y modificar este en caso de que se quiera cambiar los parámetros por motivos de optimización, mejora de solución, etc. A esta función se consigue acceder a través del menú dos.

```

if (menu == 31) {
    val = EEPROM.read(4) * 100;
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Time per Photo");
    lcd.setCursor(1, 1);
    lcd.print("current:    ms");
    lcd.setCursor(10, 1);
}

```

```

    lcd.print(val);
    lcd.setCursor(1, 2);
    lcd.print("new:      ms");
    lcd.setCursor(10, 2);
    lcd.print(val);
    lcd.setCursor(0, 3);
    lcd.print("(Min: 0.1s Max: 20s)");
    while (digitalRead(buttonOK) == LOW) {
        delay(10);
    }
    while (digitalRead(buttonOK) == HIGH) {
        if (digitalRead(buttonUP) == LOW && val < 20000) {
            lcd.setCursor(10, 2);
            lcd.print("  ");
            lcd.setCursor(10, 2);
            val = val + 100;
            lcd.print(val);
            if (val < 3000) {
                delay(110);
            }
            delay(70);
        }
        if (digitalRead(buttonDOWN) == LOW && val > 100) {
            lcd.setCursor(10, 2);
            lcd.print("  ");
            lcd.setCursor(10, 2);
            val = val - 100;
            lcd.print(val);
            delay(70);
            if (val < 3000) {
                delay(110);
            }
        }
    }
    if (EEPROM.read(4) != val / 100) {
        EEPROM.write(4, val / 100);
    }
    menu = 1;
}

```

Este código sirve para poder configurar la cantidad de tiempo que se quiere que el obturador de la cámara se mantenga abierto en cada fotografía según las necesidades que se tengan en cada momento, esto dependerá de la cantidad de luz, el tipo de objeto a escanear, etc. A esta función se consigue acceder a través del menú tres.

```

if (menu == 34)
    val = EEPROM.read(7);
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Min. vertical angle");
    lcd.setCursor(1, 1);
    lcd.print("current:");
    lcd.setCursor(10, 1);
    lcd.print(val);
    lcd.setCursor(1, 2);
    lcd.print("new:");
    lcd.setCursor(10, 2);
    lcd.print(val);
    lcd.setCursor(0, 3);

```

```

lcd.print("(Min: 2   Max: 30)");
while (digitalRead(buttonOK) == LOW) {
  delay(10);
}
while (digitalRead(buttonOK) == HIGH) {
  if (digitalRead(buttonUP) == LOW && val < 30) {
    lcd.setCursor(10, 2);
    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(10, 2);
    val = val + 2;
    lcd.print(val);
    delay(100);
  }
  if (digitalRead(buttonDOWN) == LOW && val > 2) {
    lcd.setCursor(10, 2);
    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(10, 2);
    val = val - 2;
    lcd.print(val);
    delay(100);
  }
}
if (EEPROM.read(7) != val) {
  EEPROM.write(7, val);
}
menu = 1;
}

```

Este código sirve para poder configurar el ángulo mínimo de movimiento producido por el motor Nema 17 “Rotor”, esto dependerá del objeto a escanear y el nivel de detalle que se quiera conseguir. A esta función se consigue acceder a través del menú tres.

```

if (menu == 35) {
  val = EEPROM.read(44);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Set camera mode");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("!SEE DOCUMENTATION!");
  lcd.setCursor(1, 2);
  lcd.print("current:");
  lcd.setCursor(1, 3);
  lcd.print("new:");
  lcd.setCursor(10, 2);
  if(val==1){lcd.print("direct");}
  if(val==2){lcd.print("Canon");}
  if(val==3){lcd.print("Minolta");}
  if(val==4){lcd.print("Nikon");}
  if(val==5){lcd.print("Olympus");}
  if(val==6){lcd.print("Pentax");}
  if(val==7){lcd.print("Sony");}
  while (digitalRead(buttonOK) == LOW) {
    delay(10);
  }
  while (digitalRead(buttonOK) == HIGH) {
    if (digitalRead(buttonUP) == LOW && val < 8) {val=val+1;}
    if (digitalRead(buttonDOWN) == LOW && val > 0) {val=val-1;}
    while(digitalRead(buttonUP)==LOW || digitalRead(buttonDOWN)==LOW){delay(10);}
    if(val==0){val=7;}
    if(val==8){val=1;}
    lcd.setCursor(10,3);
    if(val==1){lcd.print("direct ");}
    if(val==2){lcd.print("Canon ");}
    if(val==3){lcd.print("Minolta");}

```

```

    if(val==4){lcd.print("Nikon ");}
    if(val==5){lcd.print("Olympus");}
    if(val==6){lcd.print("Pentax ");}
    if(val==7){lcd.print("Sony ");}
    delay(10);

}
if (EEPROM.read(44) != val) {
    EEPROM.write(44, val);
}
menu = 1;
}

if (menu != 0) {
    menu = 1;
}
}
Stepper2.setCurrentPosition(0);
Stepper1.setCurrentPosition(0);

```

Esta parte del código sirve para elegir la cámara que va a realizar las fotografías del objeto. A esta función se consigue acceder a través del menú tres.

```

if (menu == 0) {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("HOME - Rotor");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("by pressing UP/DOWN");
    lcd.setCursor(0, 3);
    lcd.print("continue with OK");
    while (digitalRead(buttonOK) == LOW) {
        delay(10);
    }

    Stepper2.setAcceleration(20000);
    while (digitalRead(buttonOK) == HIGH) {
        if (digitalRead(buttonDOWN) == LOW) {
            Stepper2.runToNewPosition(+24);
            Stepper2.setCurrentPosition(0);
        }
        if (digitalRead(buttonUP) == LOW) {
            Stepper2.runToNewPosition(-24);
            Stepper2.setCurrentPosition(0);
        }
    }
    Stepper2.setAcceleration(2000);

    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("HOME - Turntable");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("by pressing UP/DOWN");
    lcd.setCursor(0, 3);
    lcd.print("continue with OK");
    while (digitalRead(buttonOK) == LOW) {
        delay(10);
    }
    Stepper1.setAcceleration(20000);
    while (digitalRead(buttonOK) == HIGH) {
        if (digitalRead(buttonDOWN) == LOW) {
            Stepper1.runToNewPosition(+16);
            Stepper1.setCurrentPosition(0);
        }
    }
}

```

```

if (digitalRead(buttonUP) == LOW) {
  Stepper1.runToNewPosition(-16);
  Stepper1.setCurrentPosition(0);
}
}
Stepper1.setAcceleration(400);

FpR = EEPROM.read(100);
Startangle = EEPROM.read(101);

Positions = EEPROM.read(102);
TpF=EEPROM.read(4)*100;
minVert=EEPROM.read(7);
val4=EEPROM.read(44);
Startangle=(SpR2/360*Startangle);
minVert=SpR2/360*minVert;
val1=FpR*Positions+2*Startangle/minVert;
if (Positions == 1) {
  val1 = FpR;
}
lcd.clear();
while (digitalRead(buttonOK) == LOW) {
  delay(10);
}
while (digitalRead(buttonOK) == HIGH) {
  lcd.setCursor(7, 1); lcd.print("READY?"); delay(200);
  lcd.setCursor(7, 1); lcd.print("  "); delay(100);
}
lcd.clear();
Stepper1.setCurrentPosition(0);
Stepper2.setCurrentPosition(0);

```

val2 = 0;

Al finalizar la ejecución de cualquier acción y volver al menú principal se activa esta parte del código, y sirve para volver al estado inicial de los motores Nema 17.

```

Stepper2.runToNewPosition(-Startangle);
for (int j = 0; j < Positions; j = j + 1) {
  if((j!=0) && (Positions!=1)){
    int i = 1;
    while(-Startangle+2*Startangle/(Positions-1)*(j-1)+i*minVert<=-Startangle+2*Startangle/(Positions-1)*j){
      totalphotos=totalphotos+1;
      i = i+1;
    }
  };

  for (int i = 0; i < FpR; i = i + 1) {
    totalphotos=totalphotos+1;

  }
}
val1=0;
for (int j = 0; j < Positions && val1==0; j = j + 1) {
  if((j!=0) && (Positions!=1)){
    int i = 1;
    while(-Startangle+2*Startangle/(Positions-1)*(j-1)+i*minVert<=-Startangle+2*Startangle/(Positions-1)*j    &&
val1==0){
      Stepper2.runToNewPosition(-Startangle+2*Startangle/(Positions-1)*(j-1)+i*minVert);
      AUSLOESEN();
      i = i+1;
    }
    if(val1==0){
      Stepper2.runToNewPosition(-Startangle+2*Startangle/(Positions-1)*j);
    }
  }
}

```



```

    }
    };

    for (int i = 0; i < FpR&& val1==0; i = i + 1) {
        Stepper1.runToNewPosition(SpR1/FpR*i);
        AUSLOESEN();

    }
    if(val1==0){
        Stepper1.runToNewPosition(SpR1);
    }
    Stepper1.setCurrentPosition(0);
}

Stepper1.setCurrentPosition(0);
Stepper2.runToNewPosition(0);

menu = 1;
lcd.clear();
lcd.setCursor(4,0);
lcd.print("Scan done");
lcd.setCursor(2,1);
lcd.print("photos taken:");
lcd.print(val2);
totalphotos=0;
while (digitalRead(buttonOK) == HIGH) {
    lcd.setCursor(6,3);
    lcd.print("Press OK");
    delay(200);
    lcd.setCursor(6,3);
    lcd.print(" ");
    delay(100);
}
}
}
}
}
void AUSLOESEN () {

```

Esta parte del código es un contador de las fotografías que se han realizado durante la ejecución del programa.

```

LiquidCrystal_I2C lcd(address, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7);
lcd.begin (20, 4);
lcd.setBacklightPin(3, POSITIVE);
lcd.setBacklight(HIGH);
lcd.home ();

```

Se define la dirección del I2C de nuevo.

```

lcd.clear();
lcd.setCursor(2, 1);
val2 = val2 + 1;
lcd.print("Photo ");
lcd.print(val2);
Serial.println(val2);
lcd.print(" of ");
lcd.print(totalphotos);
if(val4==1){
    digitalWrite(photopin1, HIGH);}
if(val4==2){Canon C(photopin1);
    C.shutterNow();}
if(val4==3){Minolta M(photopin1);
    M.shutterNow();}
if(val4==4){Nikon N(photopin1);

```

```

    N.shutterNow();}
    if(val4==5){Olympus O(photopin1);
    O.shutterNow();}
    if(val4==6){Pentax P(photopin1);
    P.shutterNow();}
    if(val4==7){Sony S(photopin1);
    S.shutterNow();}
    delay(releasetime);
    digitalWrite(photopin1, LOW);
    delay(TpF);

```

Con esta parte del código se consigue observar el progreso de la ejecución del programa mostrando en la pantalla LCD la cantidad de fotografías que se han realizado en tiempo real del total que se tienen que realizar.

```

while (digitalRead(buttonOK) == LOW) {
    lcd.clear();
    delay(100);
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("STOP PROGRAM?");
    lcd.setCursor(2, 1);
    lcd.print("-> press UP");
    delay(200);
    if (digitalRead(buttonUP) == LOW) {
        lcd.clear();
        val1=1;
        lcd.setCursor(0,0);
        lcd.print("Program terminated");
        delay(2000);
        lcd.setCursor(0,0);
        lcd.print("resetting positions...");
    }
}
}

```

Esta parte del código permite interrumpir en cualquier momento la ejecución del programa, primero presionando el botón “aceptar” y posteriormente el botón “arriba” sin dejar de pulsar el anterior. Tras realizar esto todo volverá a su posición inicial y nos permitirá configurar el programa, iniciar otro programa o iniciar el mismo nuevamente.

5.3. OPCIONES DE CONFIGURACIÓN DEL ESCÁNER

La configuración del escáner viene definida por la programación realizada en la placa Arduino, esta se puede observar en la placa LCD y se puede elegir las diferentes opciones a través de los tres botones que se tienen, subir, bajar o aceptar.



Ilustración 26: Funcionamiento de los botones

El recuadro negro, parte inferior izquierda de la Ilustración 26, es el botón de encender y apagar el escáner. El resto de botones sirven para utilizar el programa, el botón del cuadrado rojo sirve para subir de opción mientras que el botón del cuadrado verde sirve para bajar y el botón del cuadrado azul sirve para aceptar la opción en la que se encuentra el cursor, flecha que se puede observar en la pantalla LCD “->”.



Ilustración 27: Ejecutar el programa

La opción “ejecutar el programa” te permite entrar en otro menú en el que existirán dos opciones la primera “ejecutar el último programa” y la segunda “cargar el programa”.



Ilustración 28: Ejecutar el último programa

Elegir esta opción “ejecutar el último programa” te permite realizar de nuevo el último programa que se había realizado sin necesidad de tener que buscarlo de nuevo. Esta función estará activa en el caso de que el escáner no se haya desconectado de la corriente después de realizar el último programa.

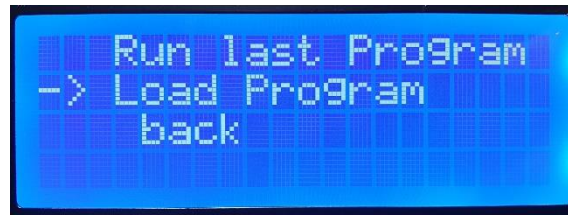


Ilustración 29: Cargar el programa

“Cargar el programa” te permite entrar en un menú donde existen 12 tipos de programas diferentes. La elección de uno u otro será según las necesidades que se tengan en cada situación, rapidez, calidad, etc.



Ilustración 30: Elección de programa del 1 al 3

Se pueden observar las tres primeras alternativas de elección de programa de escaneado, se va a proceder a realizar una explicación extendida de lo que significa XX / X / X en el apartado siguiente donde el programa de escaneado es más complejo.

De forma simple se va a realizar una explicación de lo que realiza cada programa, el primero realiza 16 fotografías mientras el objeto gira sobre si mismo realizando una vuelta completa, este movimiento es realizado por el motor Nema 17 llamado “TT”, se explicará en profundidad en el “apartado 5.2”, el segundo es igual que el anterior, pero en este caso se realizan 32 fotografías y en el tercero exactamente lo mismo que en los dos casos anteriores, pero realizando 64 fotografías.



Ilustración 31: Elección de programa del 4 al 6

De las 3 opciones siguientes la única variable que cambia su valor es la central, ahora se va a proceder a explicar en profundidad lo que significa cada una de las 3 variables:

- El valor central indica el máximo ángulo de giro de la base giratoria, este ángulo lo produce el motor Nema 17 llamado “Rotor”, se explica en profundidad en el “apartado 5.2”.

- El valor de la derecha indica el número de pausas que va a realizar el motor Nema 17 “Rotor” entre los valores máximos de ángulos, en este ejemplo concreto entre $\pm 25^\circ$. El valor indicado es 3, teniendo en cuenta los dos extremos, las pausas se producirán en los ángulos $+25^\circ$, 0° y -25° .
- El valor de la izquierda indica el número de fotografías que se van a realizar en cada pausa, en este ejemplo concreto son 3, mientras el objeto realiza una vuelta completa sobre sí mismo.

Teniendo en cuenta la explicación anterior, en el programa 4 se realizará un total de 48 fotografías.

Tanto en el programa 5 como en el 6 se realizarán también 48 fotografías en cada uno, pero el ángulo en el que se realizarán estas será diferente en cada caso. En el programa 5 los ángulos de pausa serán $+50^\circ$, 0° y -50° , mientras que en el programa 6 serán $+75^\circ$, 0° y -75° .



Ilustración 32: Elección de programa del 7 al 9

Las opciones de programa que se tienen en este caso realizan de nuevo 16 fotografías en cada pausa y tienen los mismos ángulos máximos que en los 3 programas anteriores, pero en este caso la cantidad de pausas son 5, por lo tanto, la cantidad de fotografías realizadas en cada uno de estos programas serán de un total de 80.

En el caso del programa 7 se realizarán las pausas en los ángulos $+25^\circ$, $+12.5^\circ$, 0° , -12.5° y -25° , para el programa 8 las pausas serán en los ángulos $+50^\circ$, $+25^\circ$, 0° , -25° y -50° , de igual manera en el programa 9 las pausas se producirán en los ángulos $+75^\circ$, $+37.5^\circ$, 0° , -37.5° y -75° .



Ilustración 33: Elección de programa del 10 al 12

Las opciones de programa que se tienen en este caso realizan 32 fotografías en cada pausa y tienen los mismos ángulos máximos que en los 3 programas anteriores, pero en este caso la cantidad de pausas puede ser 3 y se harán un total de 96 fotografías o 5 y se harán un total de 160 fotografías.

En el caso del programa 10 se realizarán las pausas en los ángulos $+25^\circ$, 0° y -25° , para el programa 11 las pausas serán en los ángulos $+50^\circ$, $+25^\circ$, 0° , -25° y -50° , de igual manera que en el anterior, en el programa 12 las pausas se producirán en los ángulos $+75^\circ$, $+37.5^\circ$, 0° , -37.5° y -75° .



Ilustración 34: Selección de programa 1

Tras pulsar el botón de aceptar en cualquiera de los 12 programas, en este caso se ha elegido el programa 1, se accede a este menú donde aparece la información de la cantidad de fotos que se van a realizar en cada pausa, el ángulo máximo y el número de pausas que va a realizar. Además, da la posibilidad de elegir entre dos opciones, al elegir “YES” te introduce en un nuevo menú que se verá a continuación, ahora en el caso de elegir “NO” se volverá al menú anterior.

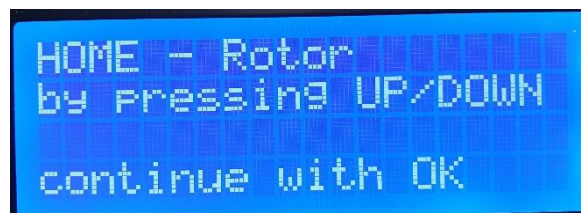


Ilustración 35: Menú para modificar el ángulo de la base giratoria

Si se elige la opción “YES” se accede al siguiente menú donde se puede modificar el ángulo de la base giratoria a través del motor Nema 17 “Rotor”, presionando los botones arriba o abajo se consigue girar esta base en un sentido o en el contrario. Si se presiona el botón aceptar se accede al siguiente menú.

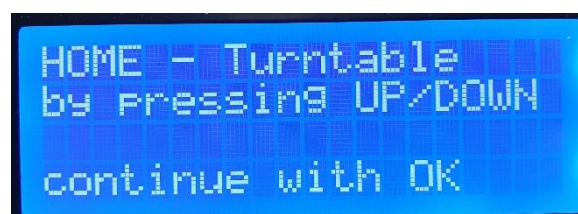


Ilustración 36: Menú para modificar el ángulo del adaptador de plato giratorio

Tras seleccionar aceptar en el menú anterior se accede a este menú donde se puede modificar en este caso el ángulo del adaptador de plato giratorio a través del motor Nema 17 “TT”, presionando los botones arriba o abajo se consigue girar el adaptador en un sentido o en el contrario. Si se presiona el botón aceptar se accede al siguiente menú.



Ilustración 37: Ultimo paso para iniciar el programa de escaneado

Este es el último menú antes de iniciar el programa de escaneado, simplemente hay pulsar el botón aceptar y el escáner empezará a escanear automáticamente.

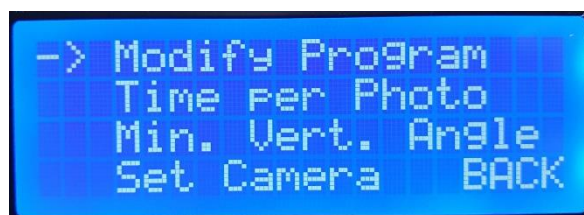


Ilustración 38: Menú ajustes

En el caso de elegir ajustes, segunda opción de la “Ilustración 38”, se accederá a este menú donde se podrá elegir entre cuatro opciones la primera modificar programa, la segunda el tiempo por fotografía, la tercera el ángulo vertical mínimo y por último ajustar la cámara.

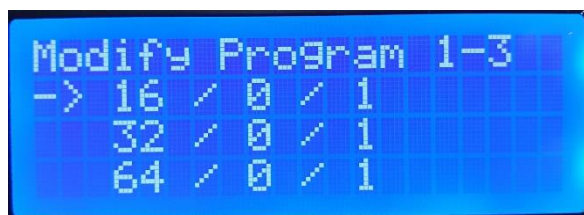


Ilustración 39: Menú modificar programa

Al elegir modificar programa se accede a un menú donde te deja elegir el programa que quieres modificar de los 12 existentes.



Ilustración 40: Modificar la cantidad de fotografías a realizar de un programa

Al elegir el programa que se quiere modificar lo primero que se puede modificar es la cantidad de fotografías a realizar en cada pausa realizada, en la primera línea se indica que actualmente se van a realizar 16 fotografías y en la segunda línea se selecciona que el valor nuevo es de 8 fotografías en cada pausa, en este caso concreto.



Ilustración 41: Modificar el ángulo máximo

Tras elegir la nueva cantidad de fotografías a realizar se accede al siguiente menú en el cual se puede modificar el ángulo máximo, de nuevo en la primera línea aparece el ángulo máximo actual y en la segunda el nuevo valor de este, para este ejemplo en concreto



Ilustración 42: Modificar la cantidad de pausas a realizar

Tras elegir el nuevo ángulo máximo se accede al siguiente menú en el cual se puede modificar la cantidad de pausas a realizar durante el programa, de nuevo en la primera línea aparece la cantidad de pausas que se realizan actualmente y en la segunda el nuevo valor de estas, en concreto para este caso.



Ilustración 43: Modificar el tiempo de obturación de la cámara

Teniendo en cuenta la “Ilustración 38” se elige la segunda opción tiempo por fotografía, en este menú se permite modificar la cantidad de tiempo que se quiere que el obturador de la cámara se mantenga abierto en cada fotografía. En la primera línea aparece la cantidad de tiempo que se mantiene abierto en milisegundos actualmente y en la segunda el nuevo valor de esta, en concreto para este caso.



Ilustración 44: Modificar el ángulo vertical mínimo

Teniendo en cuenta la “Ilustración 38” se elige la tercera opción ángulo vertical mínimo, en este menú se permite modificar el ángulo mínimo de movimiento producido por el motor Nema 17 “Rotor”. En la primera línea aparece el ángulo mínimo actual y en la segunda el nuevo valor de este ángulo, para este ejemplo en concreto.



Ilustración 45: Modificar elección de cámara fotográfica

Teniendo en cuenta la “Ilustración 38” se elige la cuarta opción ajustar la cámara, en este menú se puede elegir la cámara que se va utilizar para realizar las fotografías del objeto a escanear, en la primera línea aparece la cámara fotográfica que se está utilizando actualmente, la opción directo se utiliza para utilizar un teléfono móvil como cámara, el sistema operativo puede ser Android o IOS. En la segunda línea aparece la nueva opción de cámara elegida, en este caso es una cámara Canon.



Ilustración 46: Modificar elección de cámara fotográfica

Es la misma opción de la “Ilustración 38” que, en el caso anterior, la cuarta opción, pero en este caso se ha elegido como opción nueva otra marca de cámara fotográfica, en este caso es una cámara Nikon.

6. FABRICACIÓN Y DIGITALIZACIÓN DE COMPONENTES

6.1. PROCESO DE FABRICACIÓN

Los componentes estructurales del escáner 3D se encontraban prediseñados y pueden encontrarse fácilmente en la página web de openscan, en la bibliografía aparece el enlace en el apartado [2], los archivos se encuentran en formato “STL”.

El formato “STL” lo que consigue es convertir una superficie de un sólido digital en pequeños triángulos unidos entre sí, se intenta que sea lo más semejante a la superficie del sólido original. Este formato se utiliza en gran medida en la industria de creación rápida de prototipos para la transmisión de datos estándar. Para figuras simples la cantidad de triángulos creados para imitar la superficie es muy pequeña, pero conforme se aumenta la complejidad de la superficie la cantidad de estos se incrementa en gran medida. De igual manera cuanto mayor precisión se requiera, es decir, cuanto más se quiera que la superficie de triángulos se parezca a la real, la cantidad de triángulos aumentará. En la actualidad, los principales sistemas CAD permiten generar archivos con formato “STL” fácilmente. [32]

Para imprimir los componentes estructurales se necesita un código de impresión que comande a la impresora 3D. Ultimaker Cura es un software de impresión 3D en el que se pueden preparar impresiones fácilmente, se puede integrar con el software de CAD para mejorar el flujo de trabajo y en el que puedes realizar configuraciones personalizadas para obtener un control más completo. Ultimaker Cura 4.10.0 es el programa que se ha utilizado para convertir los sólidos digitales en un código de impresión.

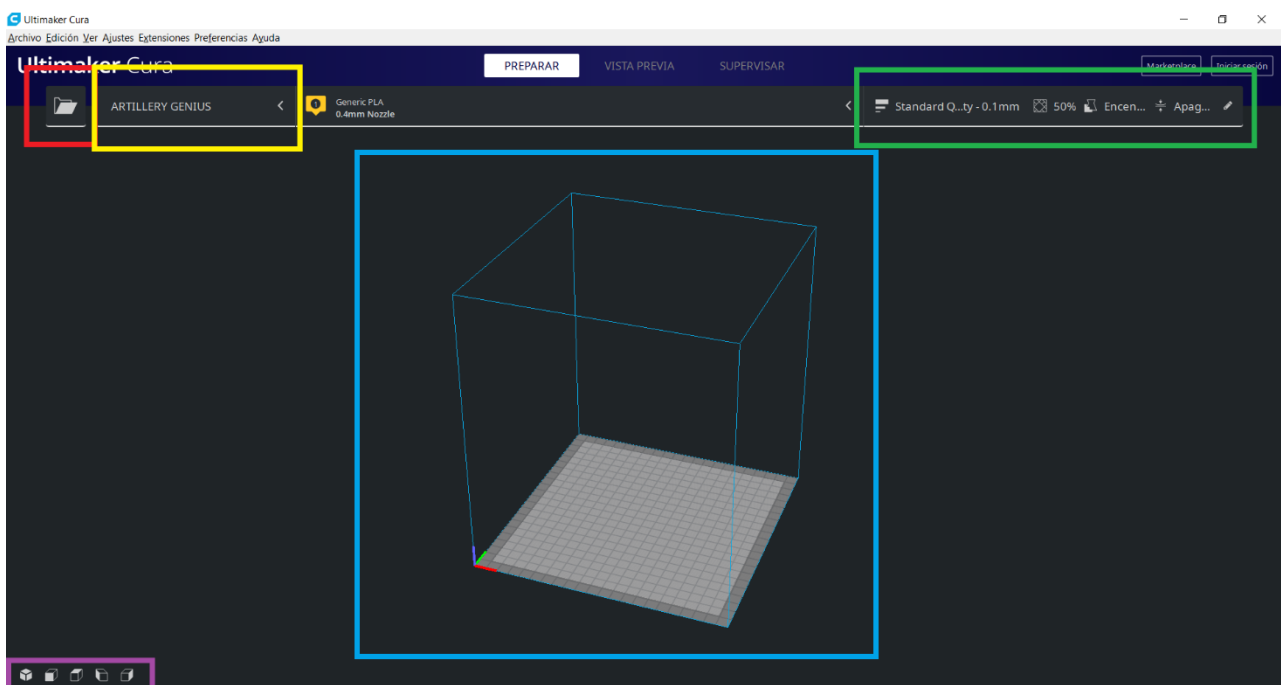


Ilustración 47: Interfaz Ultimaker Cura

Al abrir el programa Ultimaker Cura lo primero que aparece es la siguiente interfaz. El primer paso a realizar es pulsar en el cuadrado amarillo para realizar la elección de la impresora que se tiene, para que el programa automáticamente introduzca las dimensiones y diferentes parámetros específicos de la impresora que se va a utilizar, toda esta información ya esta guardada en la base de datos del programa. Este paso es muy importante para que la impresión se realice correctamente. Al seleccionar el interior del cuadrado verde se consigue entrar en la selección de los parámetros de impresión, en el siguiente apartado se explicará los parámetros de mayor relevancia y valor escogido. Al pulsar en el cuadrado rojo te deja examinar el ordenador para seleccionar el archivo que se quiera imprimir, para que el objeto se pueda cargar en el programa correctamente debe encontrarse en forma “STL”. Dentro del cuadrado violeta se encuentran varias opciones de visualización del objeto, las diferentes vistas pueden ser alzado, planta, perfil izquierdo, perfil derecho o perspectiva. Por último, el cuadrado azul indica las dimensiones que tiene nuestra impresora, al cargar nuestro objeto en el programa se podrá ver el tamaño que tiene este con respecto a las de la impresora, se podrá comprobar que toda la impresión se realizará dentro de los límites definidos por la impresora.

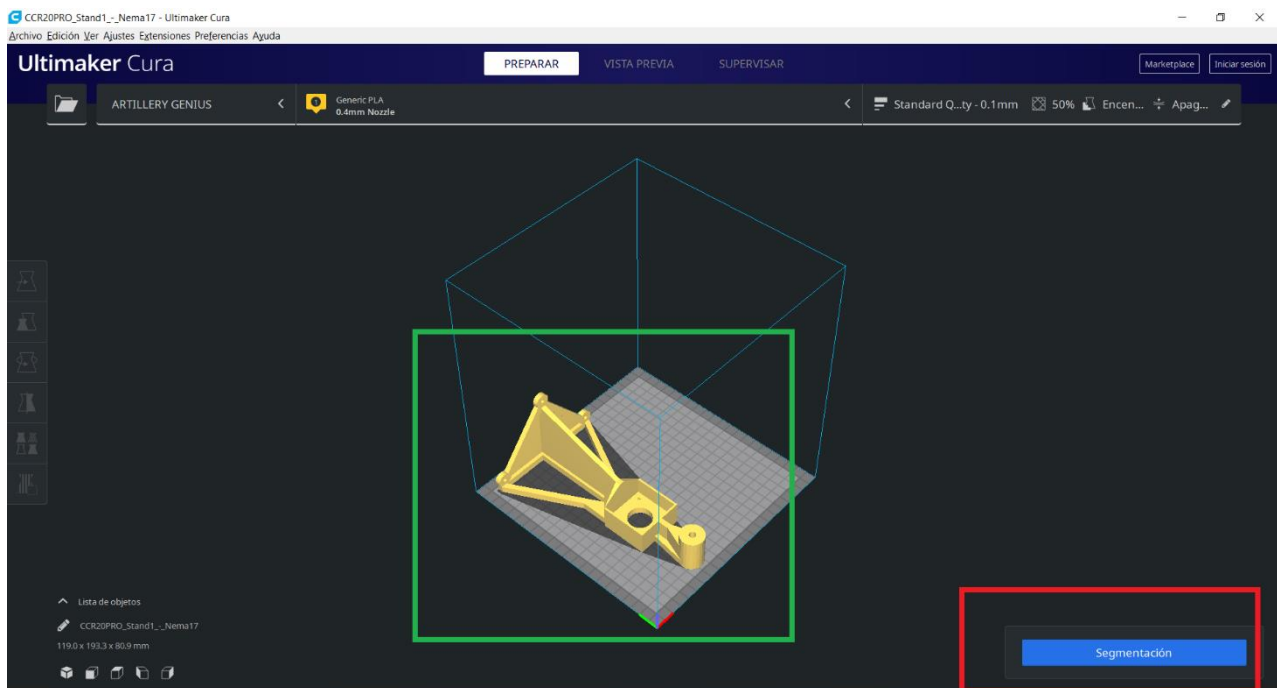


Ilustración 48: Cargar sólido en Ultimaker Cura

Se puede observar dentro del cuadrado verde el componente estructural Soporte Nema 17 cargado en el programa Ultimaker Cura, en esta ilustración se puede observar que el objeto se encuentra en su totalidad dentro de la cama de la impresora 3D, en el cuadrado rojo se puede observar el siguiente paso a realizar, al pulsar la opción “Segmentación”, se procesará el sólido y se creará el código, por lo tanto, este paso puede demorarse un poco.

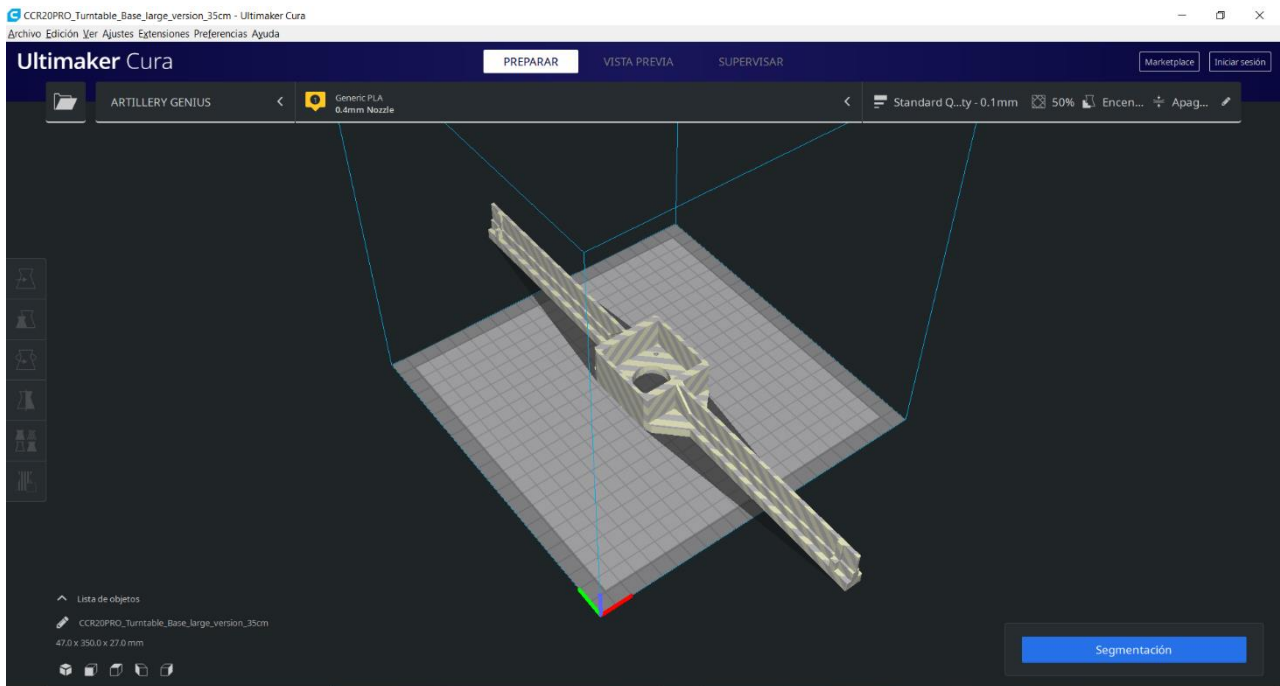


Ilustración 49: Sólido superando límites dimensionales de impresora 3D

En la ilustración anterior se muestra lo que ocurriría si las dimensiones del objeto superan a las de la impresora 3D, en este caso el sólido visualiza de esta forma. En este caso no se puede segmentar ni realizar ninguna otra acción hasta que el sólido se encuentre completamente en el interior de la cama.

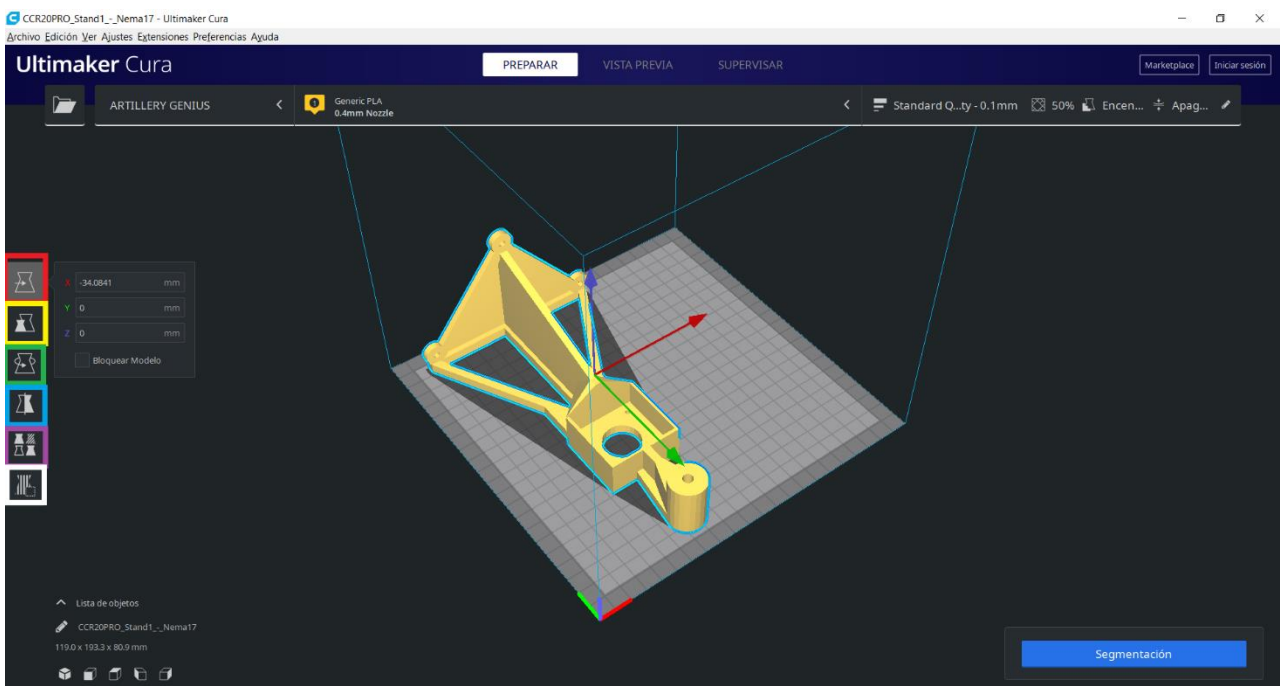


Ilustración 50: Barra de operaciones de Ultimaker Cura

Si se selecciona el sólido aparece una barra de operaciones que se pueden realizar sobre este en la parte izquierda central de la pantalla.

- Cuadrado rojo (mover) sirve para desplazar el sólido en el eje x, eje y, eje z
- Cuadrado amarillo (escalar) permite escalar el sólido aumentando o reduciendo su tamaño uniformemente o si se desea de forma diferente en cada uno de los ejes
- Cuadrado verde (rotar) se puede rotar el objeto respecto al eje x, eje y o eje z, también se puede seleccionar la cara que se quiere alinear con la cama
- Cuadrado azul (espejo) cambia de posición girando el sólido 360° con respecto a los ejes que pasan por el centro del objeto
- Cuadrado violeta (ajustes por modelo) se puede cambiar los parámetros de ajuste del modelo
- Cuadrado blanco (bloqueador de soporte) bloquea el soporte

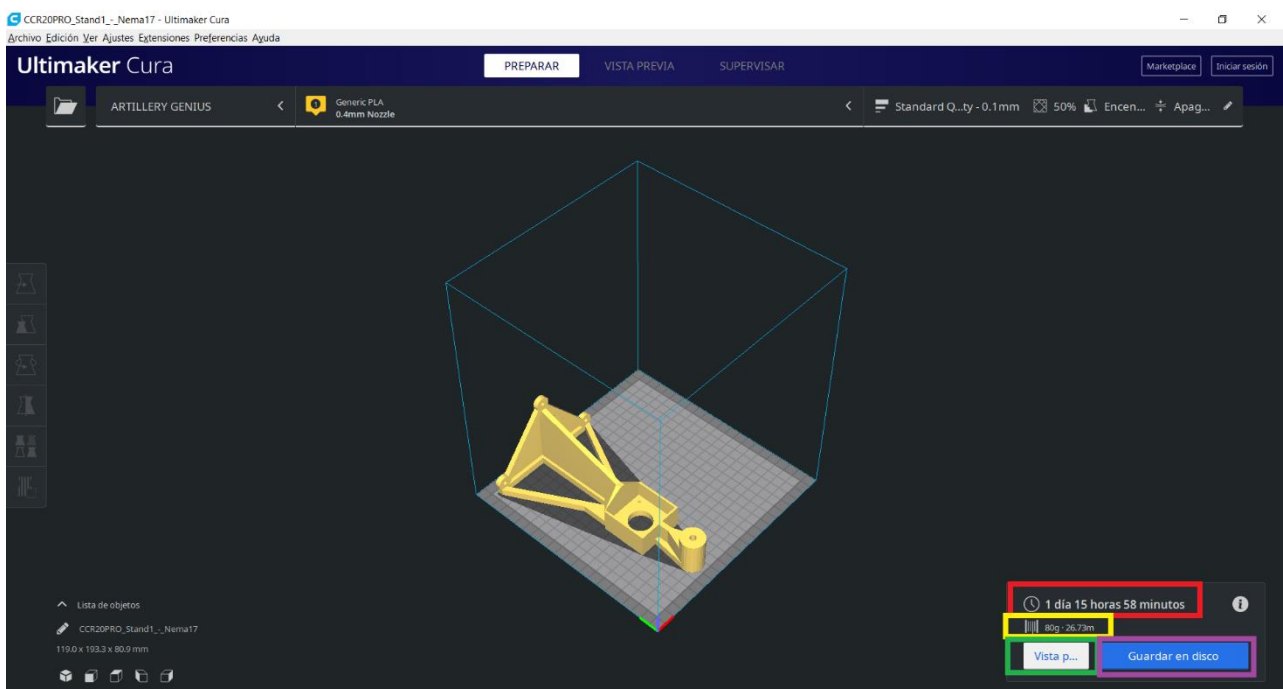
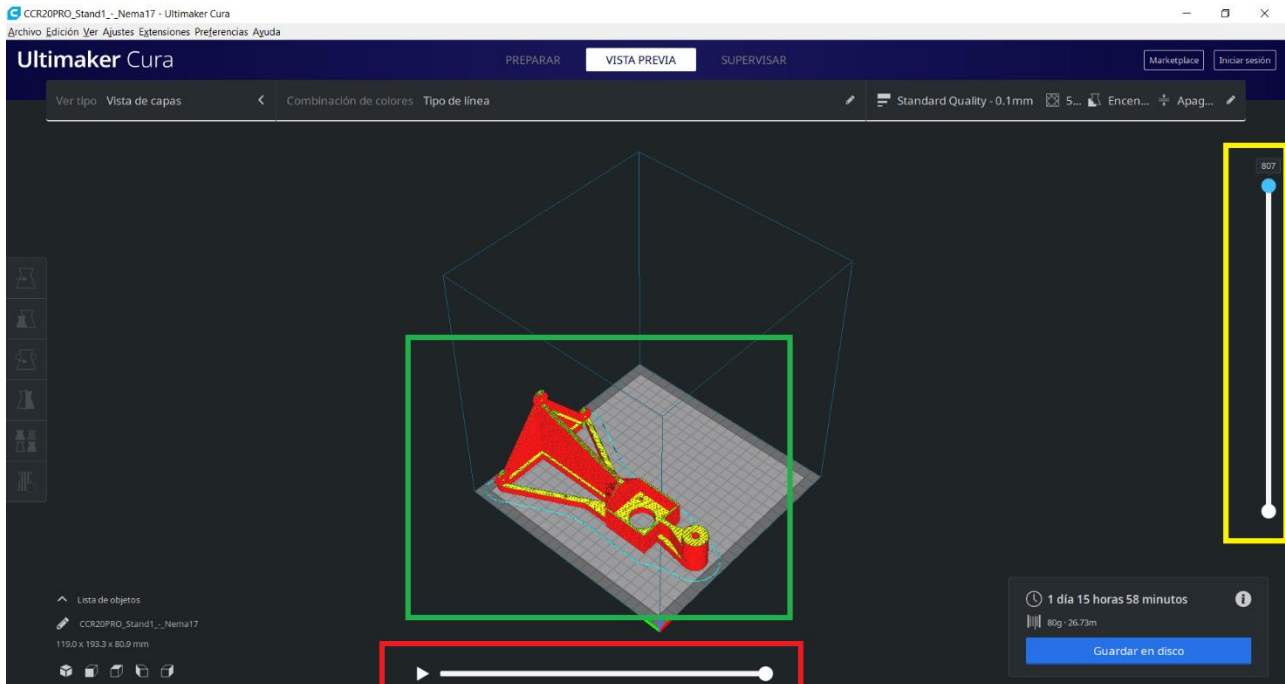
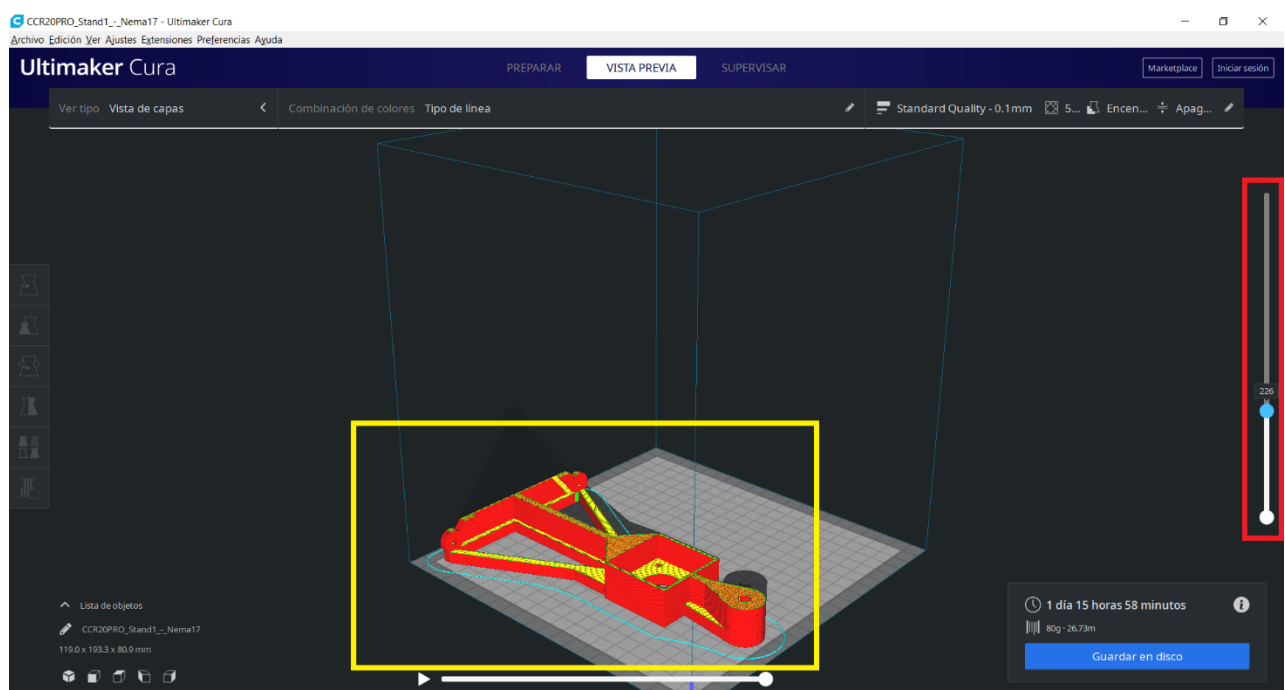


Ilustración 51: Información de impresión del sólido

Los parámetros elegidos de impresión para este componente estructural son diferentes a los que realmente se han escogido para la impresión real, por lo tanto, es un simple ejemplo para explicar los valores que aparecen. Dentro del cuadrado rojo aparece la cantidad de tiempo que va durar la impresión, en el cuadrado amarillo la cantidad de material que se va necesitar para imprimir la pieza en dos unidades diferentes, la primera en cantidad de gramos de material de PLA y la segunda en metros de hilo de PLA. En el cuadrado morado se puede guardar el archivo ya en formato “GCODE” pero antes de realizar esta acción hay que revisar que la impresión se va a realizar correctamente, para ello hay que pulsar dentro del cuadrado verde “Vista previa”.

*Ilustración 52: Vista previa del sólido*

Este sería el resultado de la impresión, en el interior del cuadrado verde se puede visualizar el sólido definido por las líneas de impresión que se realizarían. Se puede visualizar lo que haría el extrusor utilizando tanto el cuadrado amarillo que sirve para seleccionar la capa que se quiere analizar como el cuadrado rojo que sirve para ver los movimientos que realiza el extrusor durante la impresión de una sola capa.

*Ilustración 53: Visualización de impresión de una capa del sólido*

En esta ilustración se puede observar que se ha escogido la capa 226 en el cuadrado rojo y dentro del cuadrado amarillo se puede analizar cómo se realizaría esa capa en concreto.

Para realizar la impresión de los componentes estructurales se ha utilizado un rollo de filamento PLA de color violeta comprado en la empresa smartmaterials. Es un compuesto por Ácido Poliláctico, es biodegradable por su origen natural y de primera calidad, no está fabricado con material reciclado ni recuperado. Tiene una tolerancia de variabilidad en diámetro de ± 0.03 mm, es totalmente estabilizado y no produce warping, que la pieza se despegue de la cama con facilidad. Con una excelente resolución de impresión y las piezas fabricadas son fáciles de postprocesar, pudiendo ser lijadas, pulidas y pintadas. [33]



Ilustración 54: Rollo de filamento PLA

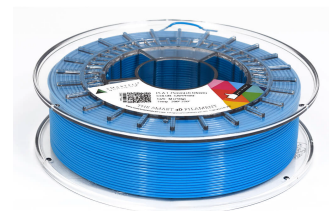
Las principales características son que su color es violeta, tiene un diámetro de 1.75 mm, pesa aproximadamente 1000 gramos, la temperatura recomendada de uso este entre los 200°C y 220°C. Se puede observar toda la información del rollo de filamento en su ficha técnica que se muestra a continuación. [33]

TECHNICAL DATA SHEET

 VERSION 1.1

PLA

Biodegradable filament and ok for all 3d printers. It is very easy to print as it has no contractions so you can make really big pieces. With our PLA filament you can achieve a fantastic finish and lively colours in all your pieces.



Recyclable
Recyclable
Recyclable



Apto para contacto
con alimentos
Food Approved
Aliments approuvés



Biocompostable
Biocompostable
Biocompostables

		TIPICAL VALUE	UNITS	TEST METHOD	
PHYSICAL PROPERTIES					
Chemical Name		Polylactic Acid			
Material Density		1.24	g/cm ³	ISO 1183	
Glass Transition Temperature		60	°C	D3418	
MECHANICAL PROPERTIES					
Tensile Strength at Break		50	MPa	D882	
Tensile Yield Strength		60	MPa	D882	
Tensile Modulus		3.5	GPa	D882	
Tensile Elongation		6	%	D882	
Notched Charpy Impact		5	KJ/m2	ISO-179-1eA	
Flexural Strength		83	MPa	D790	
Flexural Modulus		3.8	GPa	D790	
THERMAL PROPERTIES					
Heat Distorsion Temperature (0.45 MPa)		55	°C	E2092	
PRINTING PROPERTIES					
Print Temperature		200-240	°C		
Hot Pad		0-60	°C		
Fan Layer		ON (100)	%		
SIZE	NET W.	GROSS W.	DIAMETERS	COLOR	PACKAGING
S	330 g	475 g	1.75 mm	Various colors	SmartBag, security seal, desiccant bag
M	750 g	975 g	1.75 mm/2.85 mm	Various colors	
L	1000 g	1256 g	1.75 mm/2.85 mm	Various colors	

DISCLAIMER: The information provided in the data sheets is intended to be just a reference. It should not be used as design or quality control values. Actual values may differ significantly depending on the printing conditions. The final performance of the printed components does not only depend on the materials, also the design and printing conditions are important.

Smart Materials assumes no responsibility for any damage, injury or loss produced by the use of its filaments in any particular application.

La impresora 3D utilizada para imprimir los componentes estructurales ha sido una Artillery Genius, es una impresora cartesiana con controladores paso a paso ultra silenciosos, con extrusor de accionamiento directo, eje Z dual, cama vitrocerámica con calefacción de superficie muy plana (CA), pantalla táctil TFT, sensor de parada de extremo de proximidad magnética para proporcionar una larga vida útil y la impresión 3D silenciosa y precisa. [34]

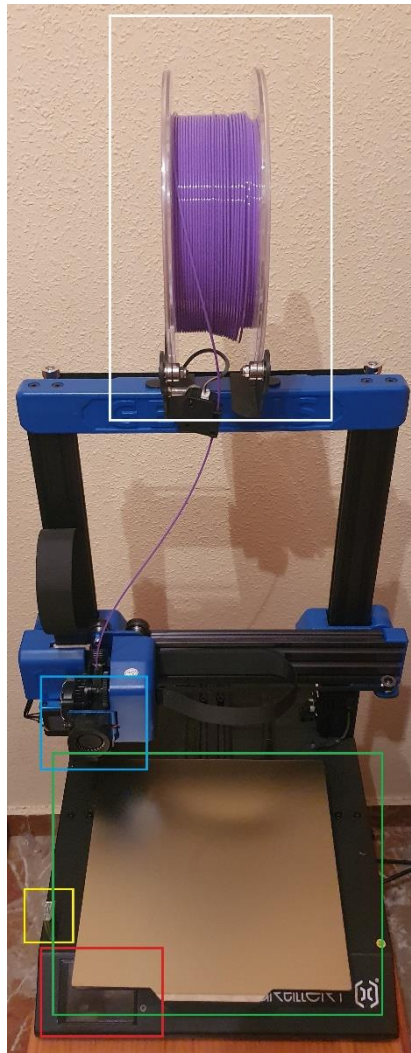


Ilustración 55: Impresora 3D Artillery Genius

Gráficamente se pueden observar los elementos más importantes de la impresora 3D recuadrados, en el cuadrado blanco aparece el rollo de filamento PLA, en el cuadrado azul el extrusor de PLA, el cuadrado verde hace referencia a la cama, el cuadrado rojo a la pantalla táctil y el cuadrado amarillo a la memoria USB donde se guardará los códigos de impresión.

Las funciones y especificaciones técnicas de la Artillery Genius utilizada para el proyecto son:

- Controlador paso a paso (256 micro-paso) ultra silencioso con nivel de ruido inferior a 60 dBA
- Alta velocidad transversal
- Calefacción rápida de cama de CA

- Extrusor de accionamiento directo estilo titán para soportar materiales flexibles
- Detección y recuperación de pérdida de energía
- Detección y recuperación de runout, inexactitud de los sistemas mecánicos rotatorios, de filamento en el extrusor
- Sistema Dual Z sincronizado
- Diámetro del filamento 1.75 mm
- Filamento que puede extruir PLA, ABS, PLA flexible, TPU, madera, PVA, HIPS, ect
- 95% premontado y fácil de instalar
- Velocidad máxima de impresión 150 mm/s
- Dimensiones de impresión 220X220X250 mm
- Control de pantalla táctil
- Calidad de impresión de alta precisión de hasta 50 micras de resolución de capa
- Velocidad máxima de recorrido 250 mm/s
- Cama de impresión vidrio-cerámica
- Tecnología de impresión FFF, fabricación de filamentos fundidos
- Resolución en eje X 0.05 mm, en eje Y 0.05 mm, en eje Z 0.1 mm
- Diámetro de boquilla 0.4 mm
- Temperatura de la boquilla hasta 240°C
- Tipo de boquilla Volcán
- Tiempo de calentamiento de la boquilla menor a 3 minutos
- Consumo de energía de 100 a 240 Voltios y 600 Watios máximo con cama climatizada encendida
- 3 sensores avanzados endstop inductivos
- Tablero de control MKS Gen L
- Peso aproximado de conjunto escáner de 8.9 kg

6.2. PARÁMETROS DE IMPRESIÓN

El precio de los componentes fabricados en la impresora 3D depende en gran medida de los parámetros de impresión que se hayan establecido, es muy importante la elección de los mismos porque gracias a esto se conseguirá diferentes tipos de calidad, peso, resistencia, etc.

Tras realizar diferentes pruebas de impresión se han elegido unos determinados parámetros, unos más relevantes que otros, para conseguir unas determinadas propiedades en la pieza.

Para este proyecto la principal variable tenida en cuenta es la resistencia de todos los componentes que conforman el escáner, en el caso del módulo de control porque pulsaremos botones que se encuentran en este y si se aplica demasiada fuerza podría fallar alguna parte de este, mientras que en el caso de los componentes del conjunto del escáner para que pueda aguantar objetos con un peso considerable, se ha realizado la prueba con un objeto de un peso de 2.5 kilogramos aproximadamente.

Los parámetros de impresión seleccionados son iguales para todos los componentes del escáner. Además, el programa utilizado para seleccionar los distintos parámetros y obtener los códigos de impresión es el CURA y la impresora utilizada para imprimir los distintos componentes es la Artillery Genius.

Antes de realizar cualquier acción en CURA hay que seleccionar la impresora que se tiene, en este caso Artillery Genius, para que de esta manera el programa pueda tener en cuenta las

dimensiones y otras características que tiene esta impresora, en caso contrario las impresiones de las piezas pueden ser que no se realicen correctamente.

Explicación y valor de parámetros:

- Altura de capa = 0.12 mm

Calidad que se va a conseguir en la pieza a imprimir, un valor correcto sería 0.2 mm aproximadamente, en este caso se ha elegido un valor menor para conseguir mejor calidad ya que se tiene piezas con caras bastantes inclinadas, redondeadas, etc. En consecuencia, de mejorar la calidad se produce un aumento considerable de los tiempos de impresión.

- Ancho de línea = 0.4 mm

El valor de este parámetro se ha seleccionado automáticamente teniendo en cuenta el diámetro de la tobera y aunque se puede modificar no es recomendable. Hay que tener en cuenta que reducir este valor ligeramente con respecto al preestablecido puede mejorar la impresión.

Se ha realizado esta prueba, pero al no ver mejora de calidad se ha mantenido con el valor inicial.

- Grosor de la pared = 0.6 mm

Se ha escogido un valor de espesor de pared lo suficientemente grande como para dar una buena consistencia a la pieza.

- Preferencia de esquina de costura = Ocultar costura

Esta opción simplemente es para que al terminar de imprimir una capa la unión entre el inicio y el final de la pared no se vea en el exterior de la pieza, utilizando esta opción la costura se encuentra en el interior de la pieza.

- Densidad de relleno = 50 %

Aunque el valor puede parecer un poco excesivo se ha escogido en función de las necesidades de alta resistencia como se ha explicado anteriormente, ya que puede ser que se necesite escanear objetos pesados o se pulse botones con excesiva fuerza. En consecuencia, de mejorar la resistencia o aumentar la densidad de la pieza se produce un aumento considerable de los tiempos de impresión.

- Porcentaje de superposición del relleno = 10 %

Cuando se está realizando el relleno de la pieza la cantidad de espacio que el extrusor entra en la pared es definido por este parámetro, la pared completa sería

un 100 %. Si se pone de valor un 0 % no ocurre nada, siempre va a conectar un punto. Su función principal es la conexión entre el relleno y la pared de la figura.

- Temperatura de impresión = 215°

Este valor es muy utilizado y está muy estandarizado en la impresión 3D, además para esta impresora en concreto normalmente consigue buenos resultados. Define la temperatura a la que se encontrará el extrusor de PLA durante toda la impresión.

- Temperatura de la placa de impresión = 60°

Este valor es muy utilizado y está muy estandarizado en la impresión 3D, además para esta impresora en concreto normalmente consigue buenos resultados. Define la temperatura a la que se encontrará la cama (base donde se apoya la pieza imprimida) de la impresora 3D durante toda la impresión.

- Velocidad de relleno = 40 mm/s

Este valor es muy utilizado y está muy estandarizado en la impresión 3D, además para esta impresora en concreto normalmente consigue buenos resultados. Selecciona la velocidad deseada durante la impresión del relleno o interior de la pieza.

- Velocidad de pared = 20 mm/s

Este valor se ha seleccionado inferior a la velocidad de relleno ya que en este caso la calidad de la pared debe ser superior y esto se consigue disminuyendo la velocidad de impresión.

- Velocidad de desplazamiento = 140 mm/s

El valor es muy superior a los dos anteriores, esto ocurre porque el extrusor no se encuentra en contacto con la pieza y no está imprimiendo, por lo tanto, interesa que se mueva rápidamente hasta el siguiente punto de impresión.

- Velocidad del salto en Z = 5 mm/s

Este valor debe ser muy pequeño porque en ese instante el extrusor se encuentra en una posición muy delicada para la calidad de la pared, el movimiento realizado con esta velocidad es perpendicular con respecto a la cama y puede darse dos situaciones, la primera es que termine una capa y se desplace verticalmente hacia arriba para moverse rápidamente y hacer otra capa o que vaya a empezar una nueva capa y por lo tanto se acerque a la pieza verticalmente. Por lo tanto, estos movimientos deben ser muy lentos porque podemos dañar la pieza.

- Habilitar la retracción = Activada

Esta función permite que el programa CURA programe movimientos rápidos en una misma capa para optimizar la impresión en caso de ser necesarios. Se consigue reducir los tiempos de impresión notablemente.

- Distancia de retracción = 1.5 mm

Distancia vertical ascendente que va a realizar el extrusor con respecto a la altura que se encuentre en el caso de necesitar realizar una retracción. Este valor es muy utilizado y está muy estandarizado en la impresión 3D.

- Velocidad de retracción = 35 mm/s

Esta es la velocidad a la que se va a mover el extrusor cuando esté realizando un movimiento de retracción. Para esta impresora en concreto normalmente consigue buenos resultados.

- Modo peinada = Activada

Con esta función activada permite que durante la impresión de una capa el extrusor no salga del interior de la figura, hay que tener en cuenta que esto no es posible siempre, un ejemplo rápido es una figura que se encuentre dividida totalmente, en este caso obligatoriamente tendrá que pasar de una parte a otra saliendo del interior de esta. Con esto se intenta conseguir disminuir en la medida de lo posible la cantidad de hilos que se producen en la impresión durante los desplazamientos rápidos.

- Soportes

De todos los componentes imprimidos ninguno a necesitado soportes complejos, las características principales son que se creen cuando las superficies de la figura tengan un ángulo superior a 60° con respecto al “eje z”, que siempre toque la placa de impresión o cama y que la densidad sea de un 5 % ya que tras finalizar la pieza se eliminarán.

- Habilitar depósito por inercia = Activada

Esta opción es muy útil para el ahorro de material, se utiliza para que el extrusor no este depositando material hasta el último instante, justamente antes de terminar de imprimir un tramo continuo deja de aplicar presión para expulsar material y simplemente con la propia inercia termina completamente el tramo. También se utiliza bastante para eliminar posibles desperfectos en la pared de las piezas por exceso de material en estos puntos concretos.

6.3. RESULTADOS DE IMPRESIÓN

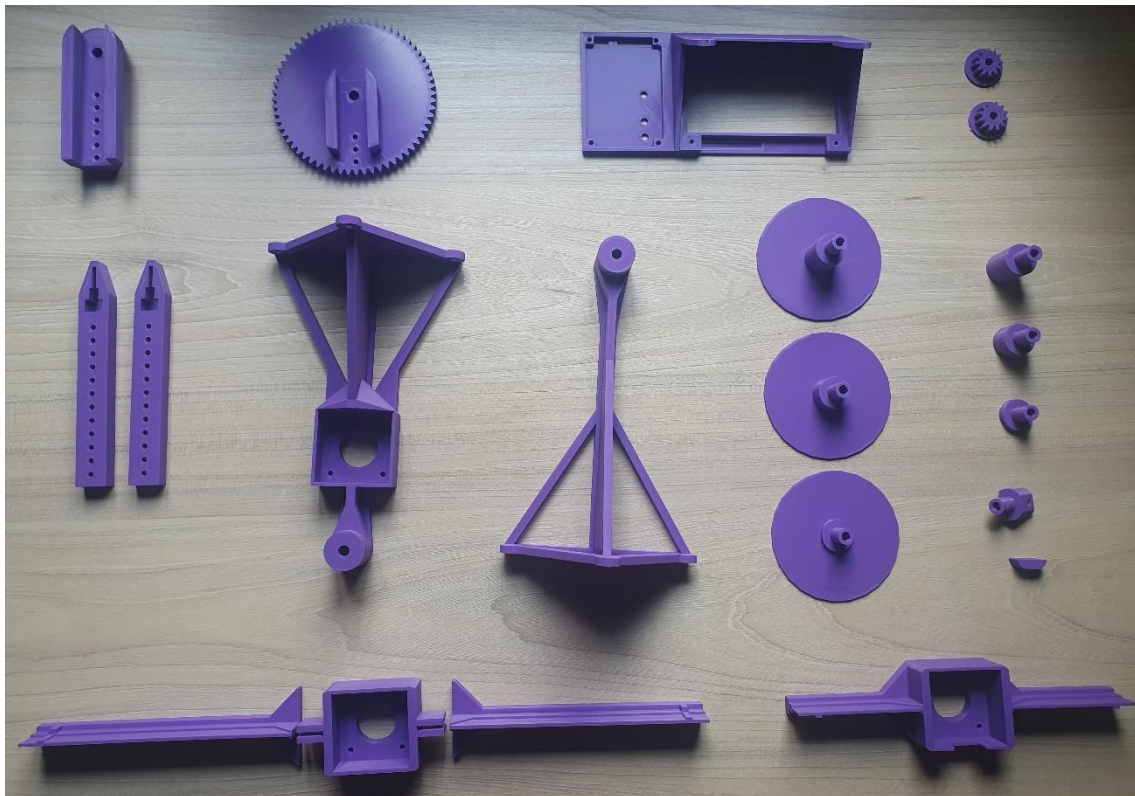


Ilustración 56: Resultados de impresión

6.4. DIGITALIZACIÓN DE COMPONENTES

En la página de Openscan se puede obtener los archivos de los componentes estructurales del escáner 3D en formato “STL” como se ha explicado anteriormente y esto sería suficiente para fabricar el escáner. Pero en el caso de que se plantee una situación en la que sea necesario realizar una modificación de un componente, por ejemplo, modificar la base giratoria para un objeto con unas características muy específicas, en este caso se complicaría enormemente realizar una modificación del sólido ya que solo se tiene el formato “STL”, por este motivo se ha decidido realizar los sólidos digitales y sus respectivos planos para conseguir modificar cualquier elemento de manera sencilla.

Para conseguir obtener las medidas reales de los sólidos el primer paso realizado ha sido imprimir los diferentes componentes del escáner 3D. Cuando todos los componentes estructurales se encontraban en formato físico se ha procedido a medir cada uno de ellos utilizando un pie de rey, tras obtener todas las medidas necesarias para definir dimensionalmente cada elemento se ha procedido a diseñar los diferentes sólidos digitales.

El programa utilizado tanto para digitalizar los sólidos como para realizar los planos de los componentes es CATIA. CATIA es un software que consigue dar una solución multiplataforma completa para el diseño asistido por ordenador, la fabricación, la ingeniería, 3D y PLM. Sus siglas significan Computer-Aided Three dimensional Interactive Application y en castellano Aplicación Interactiva Tridimensional Asistida por Ordenador. Es un programa informático

utilizado para diseñar y crear sólidos, superficies, ensamblajes, dibujos, manufactura y análisis, utiliza herramientas potentes de modelado paramétrico y renderizado fotorrealista. [35]

Los dos módulos utilizados del programa CATIA han sido “Part Design” para la creación de los sólidos digitales y “Drafting” para la creación de los planos. Además, se ha utilizado el módulo “Assembly Design” para realizar un montaje digital semejante al real.

Antes de explicar la funcionalidad de cada módulo, se necesita saber como funciona el ratón:

- Dejar pulsado la ruleta de desplazamiento permite mover el sólido digital
- Dejar pulsado la ruleta de desplazamiento y pulsar botón derecho se utiliza para aumentar y reducir el sólido digital
- Dejar pulsado la ruleta de desplazamiento y el botón derecho se utiliza para poder girar sobre si mismo el sólido digital

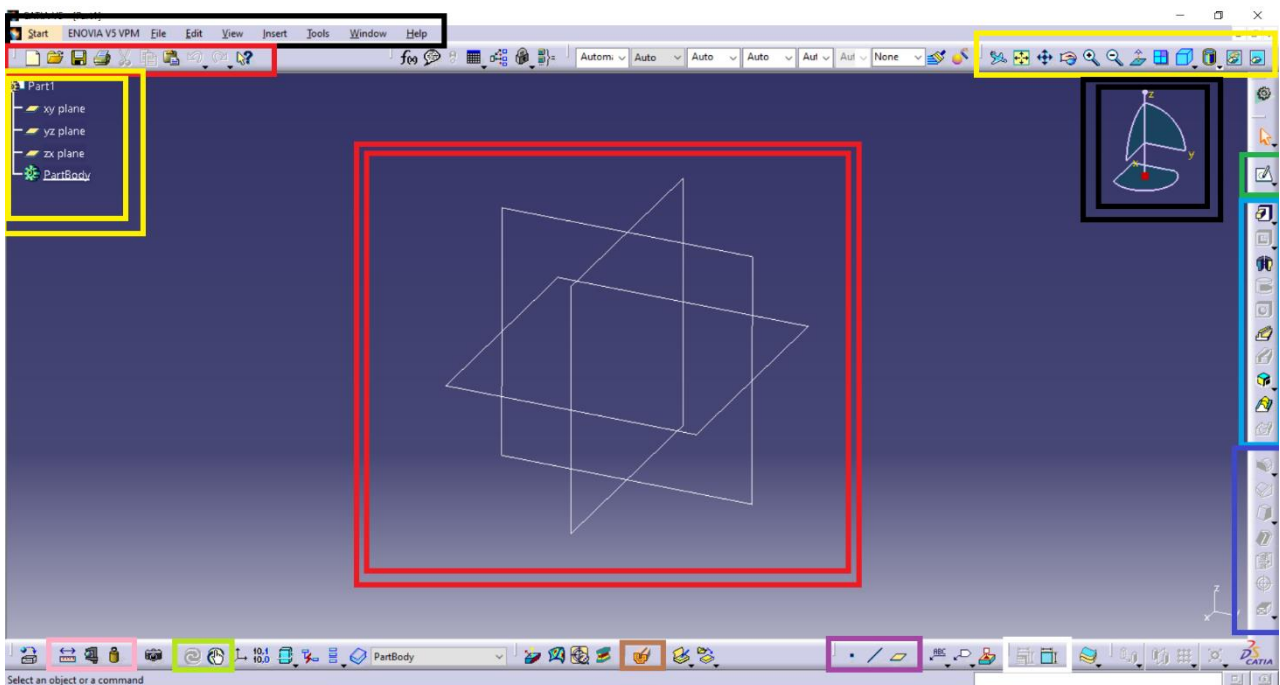


Ilustración 57: Módulo Part Design de CATIA

Al abrir el programa y elegir el módulo “Part Design” aparece la siguiente pantalla:

- Cuadrado negro es el menú principal en el apartado “START” aparecen todos los módulos posibles
- Cuadrado rojo es un submenú perteneciente al apartado “FILE” del menú principal, aquí se puede guardar el documento, abrir un documento con un sólido digital ya creado, abrir un documento nuevo en blanco, etc
- Cuadrado amarillo es la barra de visualización, se puede aumentar y reducir, girar sobre si mismo, ver diferentes vistas, ver diferentes superficies del sólido digital, también se puede ver el plano visible e invisible

- Cuadrado verde es la barra boceto, aquí se crean los bocetos con medidas sobre cualquier plano para posteriormente realizar una extrusión, cavidad, etc
- Cuadrado azul claro es la barra características basadas en los bocetos, sirve para realizar extrusiones, cavidades, revoluciones, agujeros, etc. Utilizando como base un boceto
- Cuadrado azul oscuro es la barra características de la apariencia, sirve para redondeos, chaflanes, ángulos de desmoldeo, cáscara (un objeto sólido transformarlo en una superficie de un determinado espesor), etc
- Cuadrado violeta sirve para crear puntos, líneas y planos en 3D
- Cuadrado blanco sirve para acotar los elementos creados
- Cuadrado verde pistacho sirve para actualizar el objeto sólido
- Cuadrado rosa es la barra medida, sirve para conocer las medidas de los elementos creados
- Cuadrado marrón sirve para realizar un corte al sólido digital de manera momentánea y poder observar su interior
- Doble cuadrado amarillo es el árbol y en él aparecerá todas las operaciones que se vayan realizando
- Doble cuadrado rojo son los planos "x", "y", "z" sirven de referencia para comenzar a diseñar el sólido digital
- Doble cuadrado negro sirve para elegir una vista del sólido digital, pero su función más útil es en el módulo "Assembly Design", manteniendo el botón izquierdo del ratón sobre este y soltando en uno de los elementos del conjunto te permite girarlo y desplazarlo libremente

Si selecciona el cuadrado verde y pincha sobre cualquier plano aparece el módulo "Sketch"

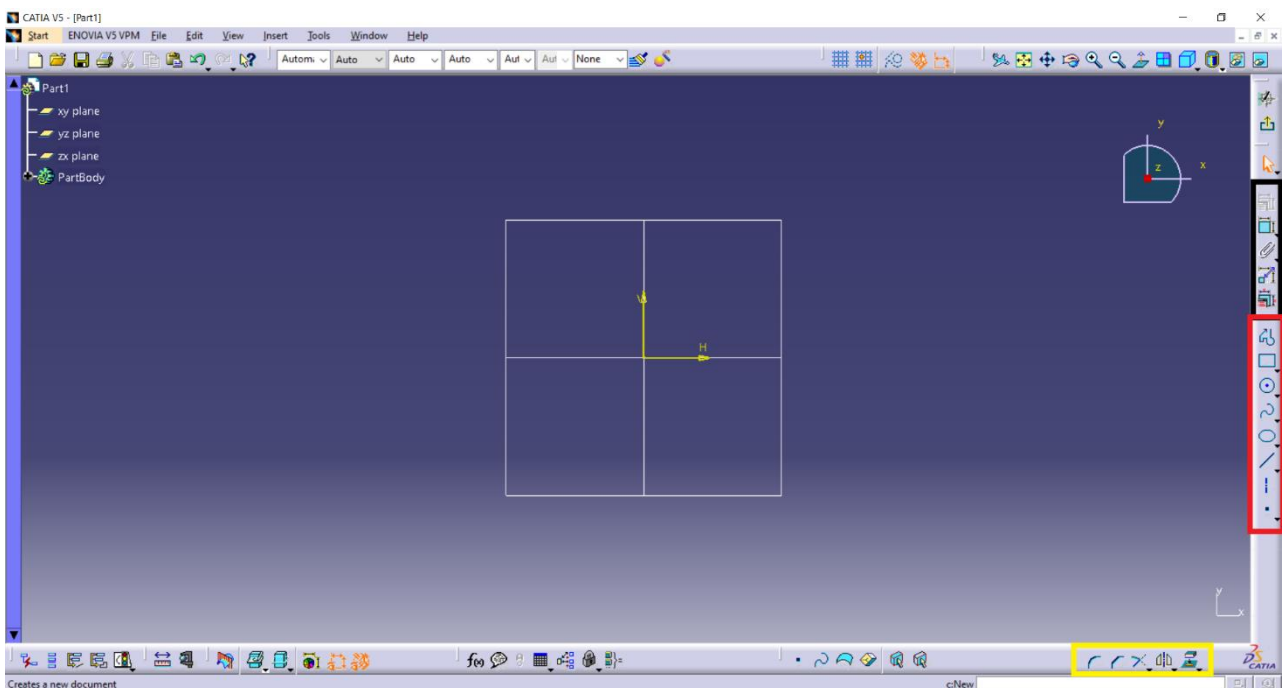


Ilustración 58: Módulo Sketch dentro del Módulo Part Design

- Cuadrado rojo es la barra perfil, se puede crear cualquier tipo de línea, sus opciones son perfil libre, figuras trigonométricas, líneas rectas (bisectriz, tangente, perpendicular, etc), líneas discontinuas, puntos (punto medio, intersección, etc), etc

- Cuadrado negro es la barra restricción, sirve para acotar todos los elementos creados
- Cuadrado amarillo es la barra operación, se pueden realizar redondeos, chaflanes, acortar y eliminar elementos, simetrías, desplazamientos, giros, crear contornos de superficies cerradas, etc. Todas las operaciones que se realizan es sobre elementos ya creados

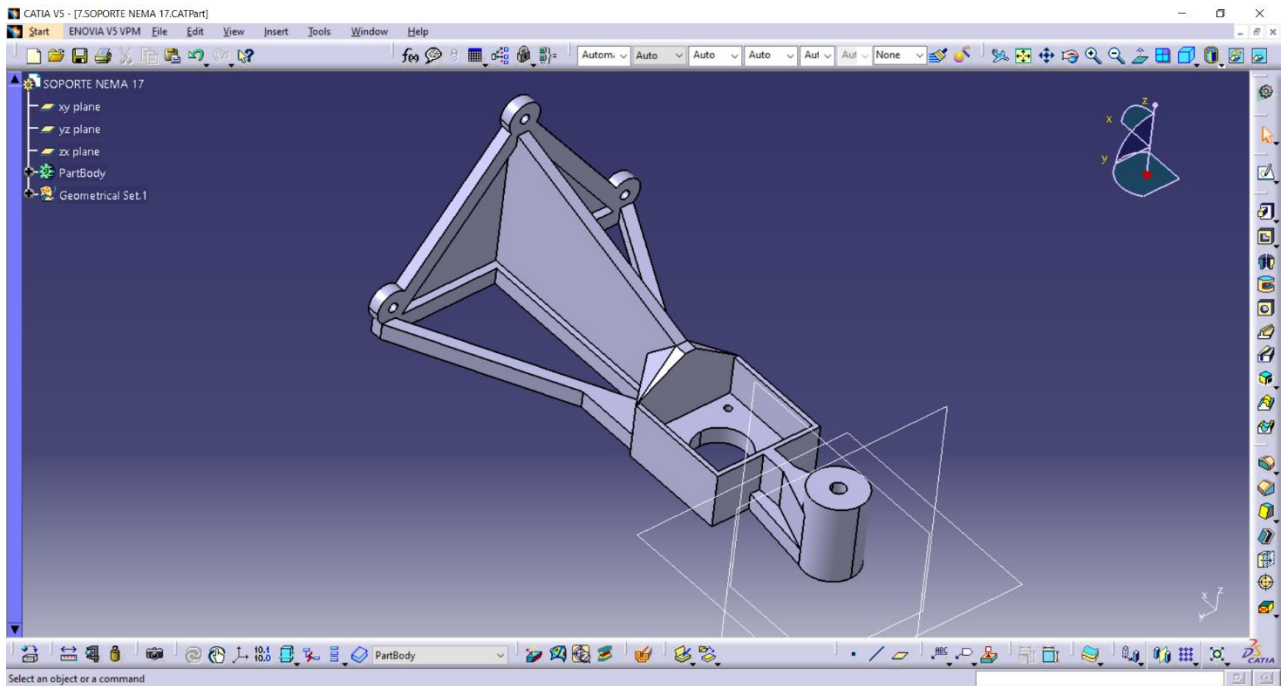


Ilustración 59: Componente estructural diseñado en Módulo Part Design

Una vez creado el sólido digital el siguiente paso es crear el plano de este componente estructural con todas sus respectivas medidas para que se queden totalmente definidas todas sus dimensiones

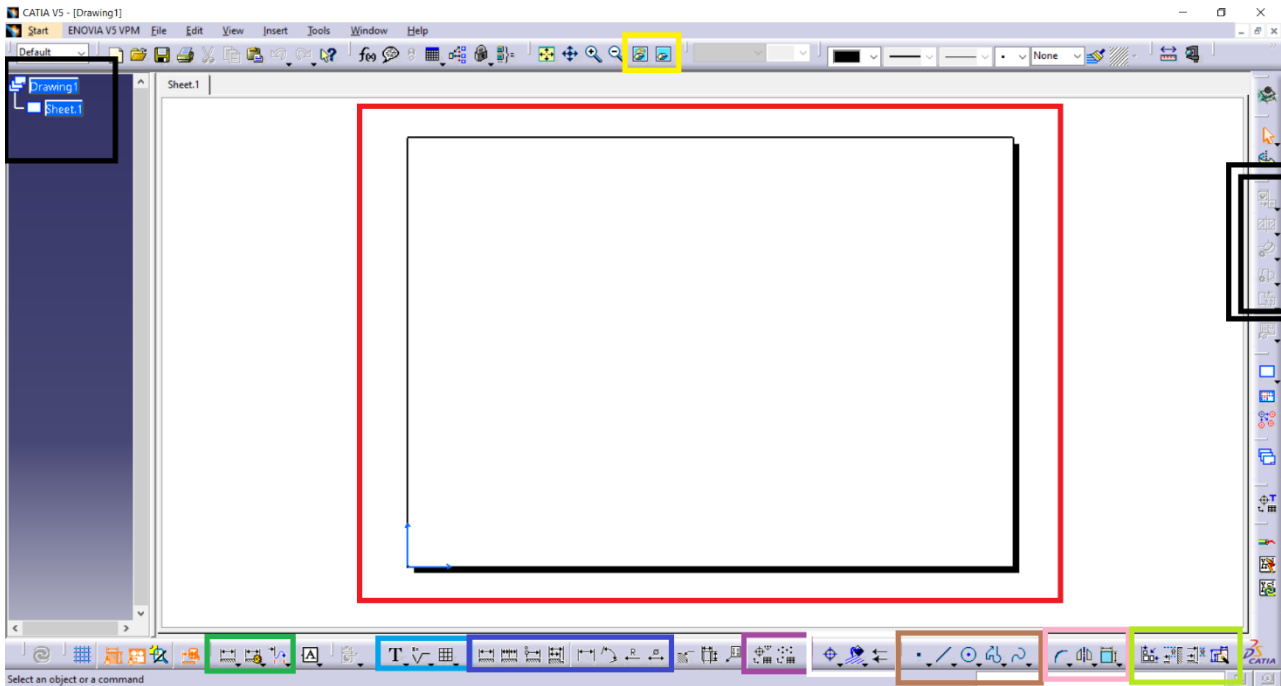


Ilustración 60: Módulo Drafting de CATIA

Al abrir el programa y elegir el módulo “Drafting” aparece la siguiente pantalla:

- Cuadrado negro es el árbol y en el aparecerá todas las operaciones que se vayan realizando
- Cuadrado amarillo sirve para ver el plano visible e invisible
- Cuadrado doble negro es la barra de proyecciones, permite obtener las vistas, cortes, vistas en detalle, perspectiva, roturas, etc del sólido digital
- Cuadrado verde sirve para adjuntar las cotas de las medidas correspondientes de las vistas del sólido digital
- Cuadrado azul oscuro es un submenú del cuadrado verde, aquí se puede observar los diferentes programas de acotación como cota libre, cota anidada, cota con mismo inicio, cota de radio o diámetro, etc
- Cuadrado verde pistacho sirve para organizar las cotas con respecto a una referencia
- Cuadrado violeta sirve para crear tablas de coordenadas o de agujeros, en concreto en la tabla de agujeros aparecen las distancias con respecto a los “eje x” y “eje y” según un origen de referencia y diámetro para cada agujero en concreto y su referencia correspondiente
- Cuadrado blanco sirve para crear líneas de simetría, líneas de centro, líneas de métrica, flechas, etc
- Cuadrado marrón con esta barra se puede crear puntos, líneas, circunferencias, perfiles libres, curvas, etc. Todos estos elementos son creados y no pertenecen a las vistas originales del sólido digital
- Cuadrado rojo es la representación de la hoja elegida con sus correspondientes medidas, en este caso se ha elegido un formato A3 en posición horizontal

Existe una opción que se le llama hoja de fondo, en inglés “Sheet Background”, los elementos creados en esta hoja no se pueden modificar en la hoja principal. En la hoja de fondo se ha insertado un cajetín, este cajetín ha sido diseñado utilizando de plantilla cajetines de planos realizados por empresas.

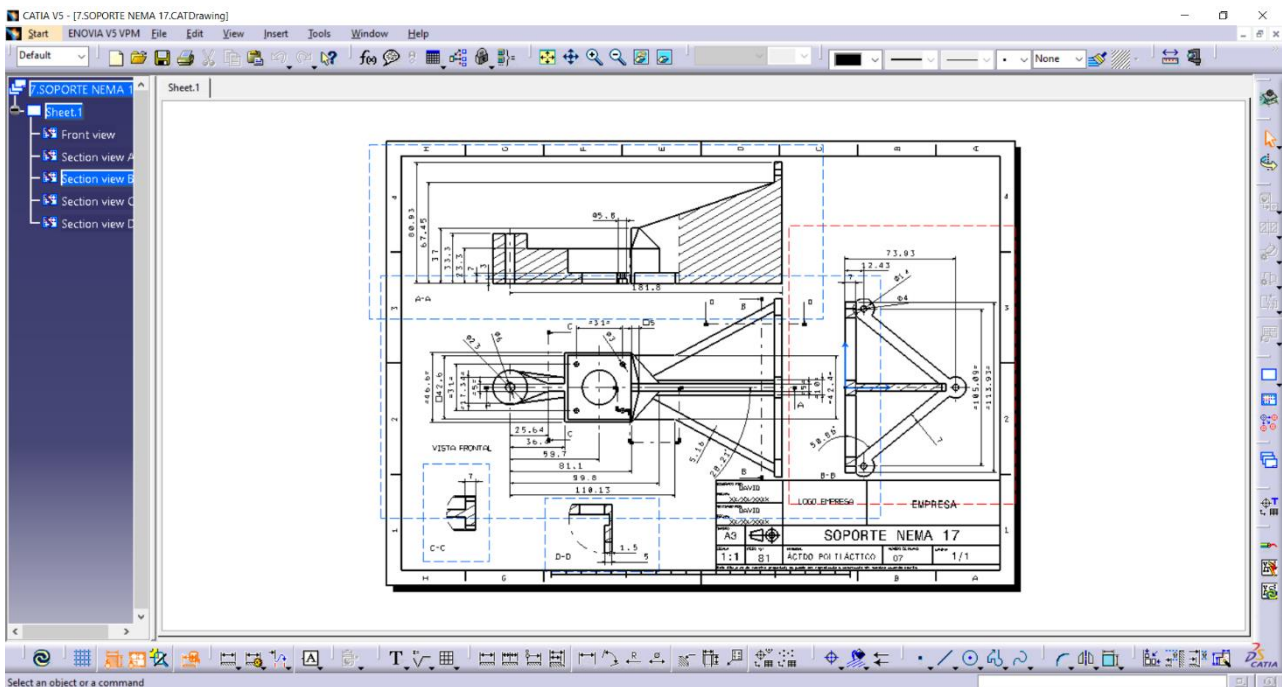


Ilustración 61: Plano de componente estructural diseñado en Módulo Drafting

Tras diseñar todos los componentes estructurales en sólidos digitales, se debe realizar en el módulo “Assembly Design” un ensamblaje de todos los componentes. Aunque en este proyecto, que es un caso especial, ya se tenían todos los componentes fabricados, en un caso común donde se diseñan los componentes y luego se fabrican se debería realizar este ensamblaje, con esto se conseguiría detectar posibles fallos de diseño antes de imprimir los componentes. Con lo que se consigue reducir los costes y tiempo de diseño.

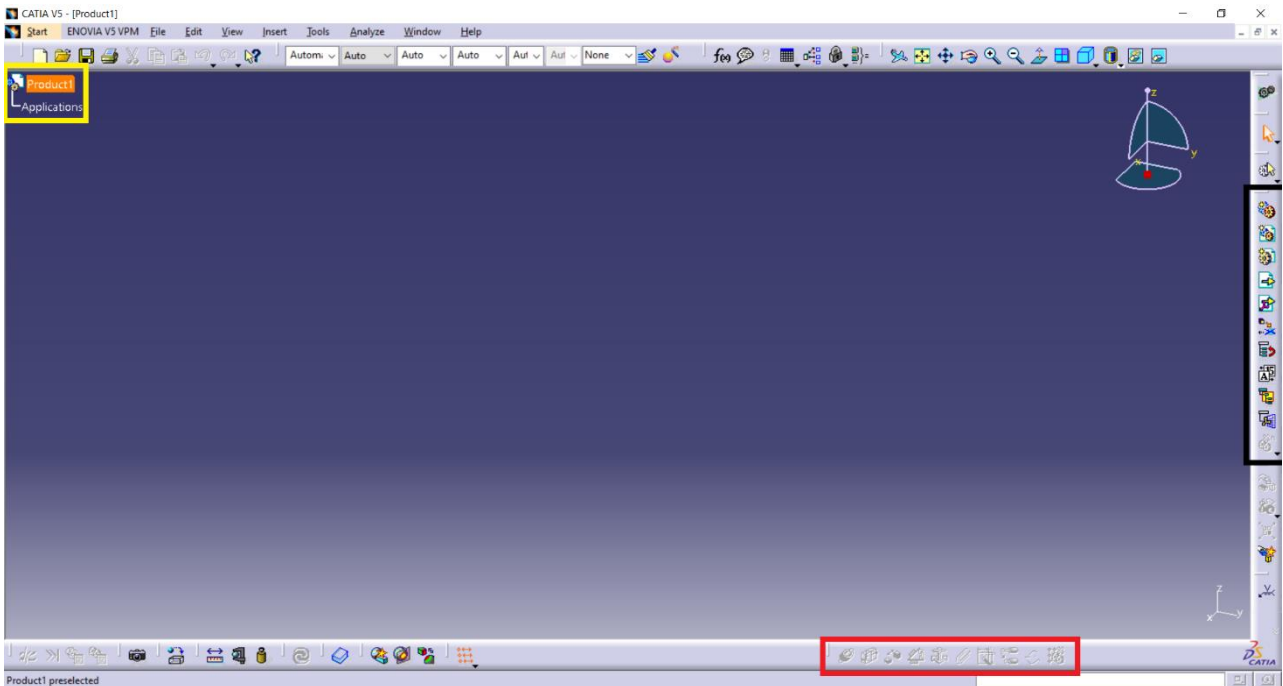


Ilustración 62: Módulo Assembly Design de CATIA

Al abrir el programa y elegir el módulo “Assembly Design” aparece la siguiente pantalla:

- Cuadrado amarillo es el árbol y en el aparecerá todos los sólidos digitales que se hayan insertado en el ensamblaje
- Cuadrado negro es la barra herramientas de estructura del producto, tiene diferentes funciones como importar sólidos digitales ya creados, crear sólidos digitales nuevos, crear conjuntos, reorganizar los elementos del árbol, generar numeración de elementos, etc
- Cuadrado rojo es la barra restricciones sirve para crear vinculaciones entre diferentes sólidos digitales como hacer caras coincidentes, concentricidades, caras paralelas con separación entre ellas de sólidos digitales diferentes, fijar sólidos digitales, crear patrones de un sólido digital, ángulos entre caras de sólidos diferentes, etc

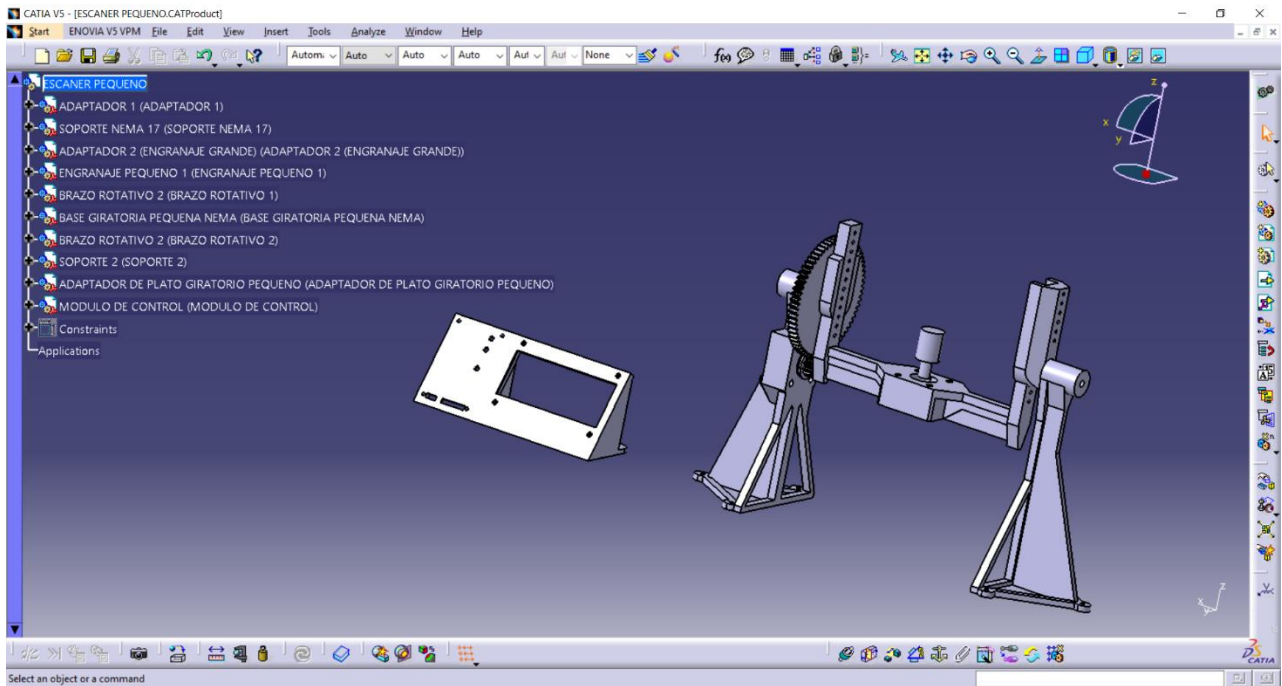


Ilustración 63: Escáner 3D montado solo con componentes estructurales en Módulo Assembly Desing

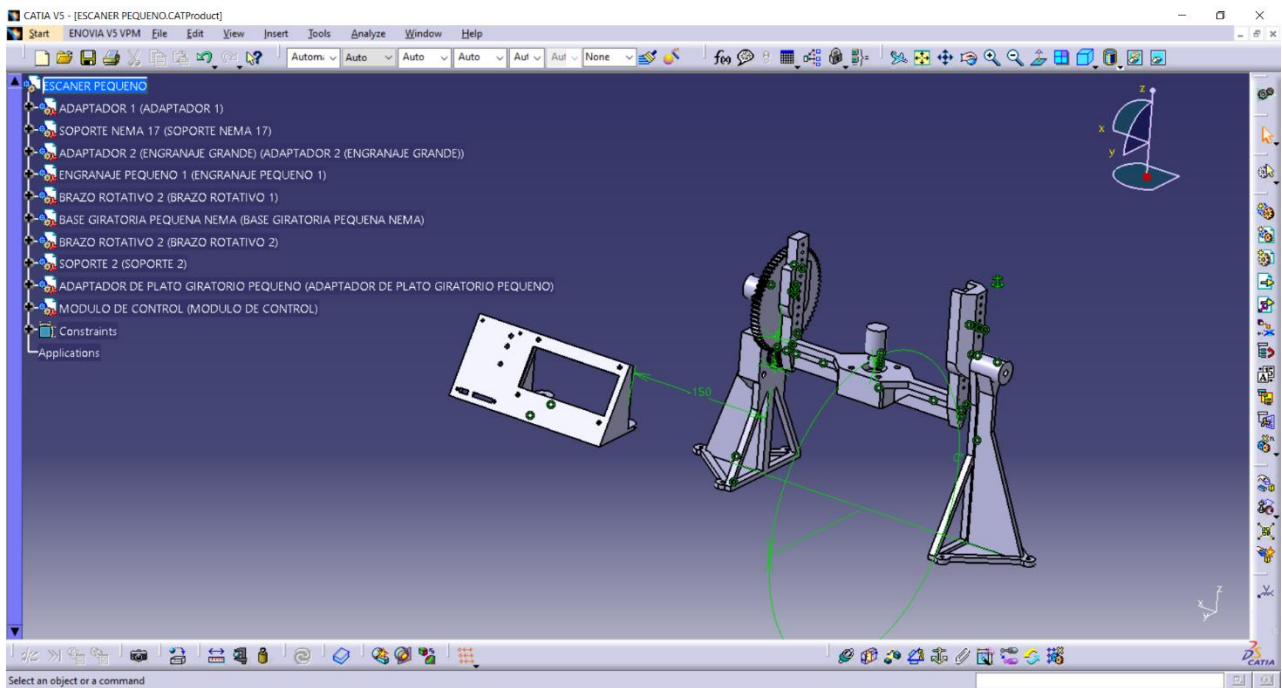


Ilustración 64: Escáner 3D montado en Módulo Assembly Desing con restricciones visibles

7. VALORACIÓN ECONÓMICA Y COMPRA DE COMPONENTES

7.1. COMPARACIÓN DE PRECIOS DE LOS COMPONENTES ELECTRÓNICOS

En el primer caso, se ha realizado la compra de la unidad de control en OPENSCAN y el resto de los componentes se han buscado a los proveedores que tuvieran el mejor precio con respecto al plazo de entrega, con respecto a la opción de comprar todo el conjunto en OPENSCAN hay un beneficio, el precio es ligeramente inferior con esta opción, pero los plazos de entrega no son del todo fiables y como mínimo en algunos productos son 30 días, por lo tanto, esta opción no se va a tener en cuenta.

COMPONENTE	CANTIDAD (UD)	PRECIO UNITARIO (€)	PRECIO TOTAL (€)	PROVEEDOR
Tuerca M = 3	8	0.08 €	3.84 €	RECAMBISTA GENERAL
Tornillo M = 3 L = 12 mm	10	0.12 €	1.20 €	RECAMBISTA GENERAL
Tornillo M = 3 L = 8 mm	8	0.11 €	0.88 €	RECAMBISTA GENERAL
Perno de acero D = 6 mm L > 50 mm	2	1.38 €	2.76 €	RECAMBISTA GENERAL
Cable puente 10 cm M-H	4	0.11 €	0.44 €	ALIEXPRESS
Motor Nema 17 (min. 40 Ncm)	2	24 €	48 €	AMAZON
Cable del motor paso a paso L > 70 cm JST-XH-4P or 4P DuPont	2	0.96 €	1.92 €	ALIEXPRESS
LCD 20X4 con módulo I2C	1	4.47 €	4.47 €	ALIEXPRESS
Fuente de alimentación 12V 2A Conector del cañón (5.5 mm – 2.5 mm)	1	4.90 €	4.90 €	AMAZON
Unidad de control	1	60 €	60 €	OPENSCAN

Tabla 1: Precio por componente comprado por separado

El precio total de la compra sería de 125.21 €.

En el segundo caso, se ha realizado la compra de la unidad de control y de todos los componentes que se necesitan en un conjunto que se vende en la propia página de OPENSCAN, al contrario que la opción anterior el precio de este conjunto es ligeramente superior pero el plazo de entrega no es superior a 15 días. Además, todos los componentes provienen del propio fabricante, por lo tanto, la incertidumbre de si algún componente no es el correcto desaparece.

COMPONENTE	CANTIDAD (UD)	PRECIO UNITARIO (€)	PRECIO TOTAL (€)	PROVEEDOR
Unidad de control + Todos los componentes	1	140 €	140 €	OPENSCAN

Tabla 2: Precio de los componentes comprando el conjunto

El precio total de la compra sería de 140 €.



Ilustración 65: Conjunto de elementos electrónicos

7.2. COSTE DE FABRICACIÓN DE COMPONENTES

Para realizar el cálculo del precio aproximado que tienen los componentes del escáner 3D, se tiene que tener en cuenta el tiempo necesario de impresión y la cantidad de filamento de ácido poliláctico utilizado para imprimir cada pieza, estos valores se pueden obtener con el programa CURA. A continuación, se van a calcular los precios coste de realizar cada uno de los componentes:

Observación: En la impresora 3D Artillery Genius no se puede imprimir por falta de dimensiones la Base giratoria grande 35 cm, en su lugar se imprimirá Base giratorio grande 35 cm versión de Paul, que es la misma que la anterior por dividida en 3 partes. Entonces, no se tendrá en cuenta su precio de impresión ya que no se va a imprimir.

- A) Precio medio del rollo de filamento de ácido poliláctico con un diámetro de 1.75 mm y con un peso de 1 kg. Hay que suponer el caso en el que se consigue obtener todas las piezas sin errores de impresión y, por lo tanto, no se malgasta nada de material.

$$1 \text{ rollo de filamento (1000 gramos)} = 20.00 \text{ €}$$

$$A = \frac{20.00 \text{ €}}{1000 \text{ gramos}} = 0.02 \text{ €/gramo}$$

COMPONENTE	CANTIDAD (GR)	A (€)	PRECIO TOTAL (€)
Soporte Nema 17	81	0.02	1.62
Soporte 2	64	0.02	1.28
Adaptador 1	32	0.02	0.64
Adaptador 2 (Engranaje grande)	52	0.02	1.04
Base giratoria pequeña Nema	42	0.02	0.84
Brazo rotativo 1	20	0.02	0.4
Brazo rotativo 2	20	0.02	0.4
Módulo de control	52	0.02	1.04
Engranaje pequeño 1	2	0.02	0.04
Engranaje pequeño 2	3	0.02	0.06
Adaptador de plato giratorio grande 1	14	0.02	0.28
Adaptador de plato giratorio grande 2	14	0.02	0.28
Adaptador de plato giratorio grande 3	15	0.02	0.3
Adaptador de plato giratorio pequeño 1	5	0.02	0.1
Adaptador de plato giratorio pequeño 2	4	0.02	0.08
Adaptador de plato giratorio pequeño 3	4	0.02	0.08
Adaptador de plato giratorio pequeño 4	4	0.02	0.08
Base giratoria grande 35 cm	X	0.02	X
Base giratorio grande 35 cm versión de Paul	68	0.02	1.36

Tabla 3: Precio PLA por componente imprimido del escáner 3D

- B) Precio del consumo eléctrico de la impresora 3D que fabrica los componentes del escáner 3D. Lo primero a tener en cuenta es la potencia que consume la impresora, en este caso específico la impresora seleccionada es una Artillery Genius y se escogerá un precio medio de la luz.

$$\text{consumo máximo Artillery Genius} = 600 \text{ W} = 0.6 \text{ kW}$$

$$\text{precio medio de la luz} = 0.1127 \text{ €/kWh}$$

$$B = 0.6 \text{ kW} \times 0.1127 \text{ €/kWh} = 0.06762 \text{ €/h}$$

COMPONENTE	CANTIDAD (HORAS)	B (€)	PRECIO TOTAL (€)
Soporte Nema 17	25.5	0.06762	1.73
Soporte 2	20	0.06762	1.35
Adaptador 1	9.5	0.06762	0.64
Adaptador 2 (Engranaje grande)	15.25	0.06762	0.90
Base giratoria pequeña Nema	13	0.06762	0.88
Brazo rotativo 1	6	0.06762	0.41
Brazo rotativo 2	6	0.06762	0.41
Módulo de control	15.5	0.06762	1.05
Engranaje pequeño 1	0.75	0.06762	0.05
Engranaje pequeño 2	1	0.06762	0.07
Adaptador de plato giratorio grande 1	3.75	0.06762	0.26
Adaptador de plato giratorio grande 2	3.5	0.06762	0.24
Adaptador de plato giratorio grande 3	4	0.06762	0.27
Adaptador de plato giratorio pequeño 1	1.75	0.06762	0.12

Adaptador de plato giratorio pequeño 2	1.5	0.06762	0.10
Adaptador de plato giratorio pequeño 3	1.25	0.06762	0.09
Adaptador de plato giratorio pequeño 4	1.5	0.06762	0.10
Base giratoria grande 35 cm	X	0.06762	X
Base giratorio grande 35 cm versión de Paul	20.25	0.06762	1.37

Tabla 4: Precio de la luz por componente impreso del escáner 3D

- C) Precio de amortización de la impresora, en el caso de que se fabrique el escáner para posteriormente ser vendido, hay que saber en cuanto tiempo se quiere amortizar la impresora que se posee con la venta de piezas

$$\text{precio impresora 3D Artillery Genius} = 252.40 \text{ €}$$

$$\text{tiempo de amortización} = 4 \text{ años}$$

$$\text{tiempo de impresión diario} = 5 \text{ horas}$$

$$\text{tiempo de impresión en 4 años} = 4 \text{ años} \times \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} \times \frac{5 \text{ horas}}{1 \text{ día}} = 7300 \text{ horas}$$

$$C = \frac{252.40 \text{ €}}{7300 \text{ horas}} = 0.03458 \text{ €/h}$$

COMPONENTE	CANTIDAD (HORAS)	C (€)	PRECIO TOTAL (€)
Soporte Nema 17	25.5	0.03458	0.88
Soporte 2	20	0.03458	0.69
Adaptador 1	9.5	0.03458	0.33
Adaptador 2 (Engranaje grande)	15.25	0.03458	0.46
Base giratoria pequeña Nema	13	0.03458	0.45
Brazo rotativo 1	6	0.03458	0.21
Brazo rotativo 2	6	0.03458	0.21
Módulo de control	15.5	0.03458	0.54
Engranaje pequeño 1	0.75	0.03458	0.03
Engranaje pequeño 2	1	0.03458	0.04
Adaptador de plato giratorio grande 1	3.75	0.03458	0.13
Adaptador de plato giratorio grande 2	3.5	0.03458	0.12
Adaptador de plato giratorio grande 3	4	0.03458	0.14
Adaptador de plato giratorio pequeño 1	1.75	0.03458	0.06
Adaptador de plato giratorio pequeño 2	1.5	0.03458	0.05
Adaptador de plato giratorio pequeño 3	1.25	0.03458	0.04
Adaptador de plato giratorio pequeño 4	1.5	0.03458	0.06
Base giratoria grande 35 cm	X	0.03458	X
Base giratorio grande 35 cm versión de Paul	20.25	0.03458	0.70

Tabla 5: Precio amortización impresora por componente impreso del escáner 3D

El precio total de impresión o fabricación de cada uno de los componentes es el siguiente:

COMPONENTE	A (€)	B (€)	C (€)	PRECIO TOTAL (€)
Soporte Nema 17	1.62	1.73	0.88	4.23
Soporte 2	1.28	1.35	0.69	3.33
Adaptador 1	0.64	0.64	0.33	1.61
Adaptador 2 (Engranaje grande)	1.04	0.90	0.46	2.40
Base giratoria pequeña Nema	0.84	0.88	0.45	2.17
Brazo rotativo 1	0.4	0.41	0.21	1.01
Brazo rotativo 2	0.4	0.41	0.21	1.01
Módulo de control	1.04	1.05	0.54	2.63
Engranaje pequeño 1	0.04	0.05	0.03	0.12
Engranaje pequeño 2	0.06	0.07	0.04	0.16
Adaptador de plato giratorio grande 1	0.28	0.26	0.13	0.66
Adaptador de plato giratorio grande 2	0.28	0.24	0.12	0.64
Adaptador de plato giratorio grande 3	0.3	0.27	0.14	0.71
Adaptador de plato giratorio pequeño 1	0.1	0.12	0.06	0.28
Adaptador de plato giratorio pequeño 2	0.08	0.10	0.05	0.23
Adaptador de plato giratorio pequeño 3	0.08	0.09	0.04	0.21
Adaptador de plato giratorio pequeño 4	0.08	0.10	0.06	0.24
Base giratoria grande 35 cm	X	X	X	X
Base giratorio grande 35 cm versión de Paul	1.36	1.37	0.70	3.43

Tabla 6: Precio total de la impresión de cada componente imprimido del escáner 3D

El precio total de imprimir todos los componentes del escáner 3D sería de 25.05 €.

7.3. COSTE DE FABRICACIÓN DE LAS PIEZAS DE PRUEBA

Para realizar el cálculo del precio aproximado que tienen los diferentes objetos creados y fabricados como pruebas para saber la calidad, tolerancia y límites de este escáner 3D, del mismo modo que en el caso anterior, se tiene que tener en cuenta el tiempo necesario de impresión y la cantidad de filamento de ácido poliláctico utilizado para imprimir cada pieza, estos valores se pueden obtener con el programa CURA. A continuación, se van a calcular los precios coste de realizar cada uno de los componentes:

- A) Precio medio del rollo de filamento de ácido poliláctico con un diámetro de 1.75 mm y con un peso de 1 kg. Hay que suponer el caso en el que se consigue obtener todas las piezas sin errores de impresión y, por lo tanto, no se malgasta nada de material.

$$1 \text{ rollo de filamento (1000 gramos)} = 20.00 \text{ €}$$

$$A = \frac{20.00 \text{ €}}{1000 \text{ gramos}} = 0.02 \text{ €/gramo}$$

OBJETO	CANTIDAD (GR)	A (€)	PRECIO TOTAL (€)
Esfera D40 (Diámetro 40 mm)	12	0.02	0.24
Esfera D80 (Diámetro 80 mm)	65	0.02	1.3
Esfera D20 (Diámetro 20 mm)	2	0.02	0.04
Cubo L40 (Longitud 40 X 40 mm)	27	0.02	0.54
Cubo L80 (Longitud 80 X 80 mm)	119	0.02	2.38
Cubo L20 (Longitud 20 X 20 mm)	3	0.02	0.06

Cubo L40R5 (Longitud 40 X 40 Redondeo 5 mm)	15	0.02	0.3
Cubo L40R10 (Longitud 40 X 40 Redondeo 10 mm)	14	0.02	0.28
Cubo L40P5 (Longitud 40 X 40 Pocket 5 mm)	18	0.02	0.36
Cubo L40P2 (Longitud 40 X 40 Pocket 2 mm)	17	0.02	0.34
Cono L40A80 (Longitud 40 X 40 Altura 80 mm)	12	0.02	0.24
Cono D40A80 (Diámetro 40 Altura 80 mm)	10	0.02	0.2
Perro Sentado	9	0.02	0.18
Ciervo Tumbado	9	0.02	0.18
Cabeza León	29	0.02	0.58

Tabla 7: Precio PLA por objeto de prueba impreso

- B) Precio del consumo eléctrico de la impresora 3D que fabrica los componentes del escáner 3D. Lo primero a tener en cuenta es la potencia que consume la impresora, en este caso específico la impresora seleccionada es una Artillery Genius y se escogerá un precio medio de la luz.

$$\text{consumo máximo Artillery Genius} = 600 \text{ W} = 0.6 \text{ kW}$$

$$\text{precio medio de la luz} = 0.1127 \text{ €/kWh}$$

$$B = 0.6 \text{ kW} \times 0.1127 \text{ €/kWh} = 0.06762 \text{ €/h}$$

OBJETO	CANTIDAD (HORAS)	B (€)	PRECIO TOTAL (€)
Esfera D40 (Diámetro 40 mm)	8.5	0.06762	0.58
Esfera D80 (Diámetro 80 mm)	18.75	0.06762	1.27
Esfera D20 (Diámetro 20 mm)	1.5	0.06762	0.11
Cubo L40 (Longitud 40 X 40 mm)	4.75	0.06762	0.33
Cubo L80 (Longitud 80 X 80 mm)	32.25	0.06762	2.19
Cubo L20 (Longitud 20 X 20 mm)	2.5	0.06762	0.17
Cubo L40R5 (Longitud 40 X 40 Redondeo 5 mm)	5.25	0.06762	0.36
Cubo L40R10 (Longitud 40 X 40 Redondeo 10 mm)	8	0.06762	0.55
Cubo L40P5 (Longitud 40 X 40 Pocket 5 mm)	11.75	0.06762	0.80
Cubo L40P2 (Longitud 40 X 40 Pocket 2 mm)	10.5	0.06762	0.72
Cono L40A80 (Longitud 40 X 40 Altura 80 mm)	6.25	0.06762	0.43
Cono D40A80 (Diámetro 40 Altura 80 mm)	5	0.06762	0.34
Perro Sentado	7	0.06762	0.48
Ciervo Tumbado	7.5	0.06762	0.51
Cabeza León	23.5	0.06762	1.59

Tabla 8: Precio de la luz por objeto de prueba impreso

- C) Precio de amortización de la impresora, en el caso de que se fabrique el escáner para posteriormente ser vendido, hay que saber en cuanto tiempo se quiere amortizar la impresora que se posee con la venta de piezas

$$\text{precio impresora 3D Artillery Genius} = 252.40 \text{ €}$$

$$\text{tiempo de amortización} = 4 \text{ años}$$

tiempo de impresión diario = 5 horas

$$\text{tiempo de impresión en 4 años} = 4 \text{ años} \times \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} \times \frac{5 \text{ horas}}{1 \text{ día}} = 7300 \text{ horas}$$

$$C = \frac{252.40 \text{ €}}{7300 \text{ horas}} = 0.03458 \text{ €/h}$$

OBJETO	CANTIDAD (HORAS)	C (€)	PRECIO TOTAL (€)
Esfera D40 (Diámetro 40 mm)	8.5	0.03458	0.30
Esfera D80 (Diámetro 80 mm)	18.75	0.03458	0.65
Esfera D20 (Diámetro 20 mm)	1.5	0.03458	0.06
Cubo L40 (Longitud 40 X 40 mm)	4.75	0.03458	0.17
Cubo L80 (Longitud 80 X 80 mm)	32.25	0.03458	1.12
Cubo L20 (Longitud 20 X 20 mm)	2.5	0.03458	0.09
Cubo L40R5 (Longitud 40 X 40 Redondeo 5 mm)	5.25	0.03458	0.19
Cubo L40R10 (Longitud 40 X 40 Redondeo 10 mm)	8	0.03458	0.28
Cubo L40P5 (Longitud 40 X 40 Pocket 5 mm)	11.75	0.03458	0.41
Cubo L40P2 (Longitud 40 X 40 Pocket 2 mm)	10.5	0.03458	0.37
Cono L40A80 (Longitud 40 X 40 Altura 80 mm)	6.25	0.03458	0.22
Cono D40A80 (Diámetro 40 Altura 80 mm)	5	0.03458	0.18
Perro Sentado	7	0.03458	0.25
Ciervo Tumbado	7.5	0.03458	0.26
Cabeza León	23.5	0.03458	0.82

Tabla 9: Precio amortización impresora por objeto de prueba imprimido

El precio total de impresión o fabricación de cada uno de los componentes es el siguiente:

OBJETO	A (€)	B (€)	C (€)	PRECIO TOTAL (€)
Esfera D40 (Diámetro 40 mm)	0.24	0.58	0.30	1.11
Esfera D80 (Diámetro 80 mm)	1.3	1.27	0.65	3.22
Esfera D20 (Diámetro 20 mm)	0.04	0.11	0.06	0.20
Cubo L40 (Longitud 40 X 40 mm)	0.54	0.33	0.17	1.03
Cubo L80 (Longitud 80 X 80 mm)	2.38	2.19	1.12	5.68
Cubo L20 (Longitud 20 X 20 mm)	0.06	0.17	0.09	0.32
Cubo L40R5 (Longitud 40 X 40 Redondeo 5 mm)	0.3	0.36	0.19	0.84
Cubo L40R10 (Longitud 40 X 40 Redondeo 10 mm)	0.28	0.55	0.28	1.10
Cubo L40P5 (Longitud 40 X 40 Pocket 5 mm)	0.36	0.80	0.41	1.57
Cubo L40P2 (Longitud 40 X 40 Pocket 2 mm)	0.34	0.72	0.37	1.42
Cono L40A80 (Longitud 40 X 40 Altura 80 mm)	0.24	0.43	0.22	0.88
Cono D40A80 (Diámetro 40 Altura 80 mm)	0.2	0.34	0.18	0.72
Perro Sentado	0.18	0.48	0.25	0.90
Ciervo Tumbado	0.18	0.51	0.26	0.95
Cabeza León	0.58	1.59	0.82	3

Tabla 10: Precio total por objeto de prueba imprimido

El precio total de imprimir todos los objetos de pruebas del escáner 3D sería de 22.86 €.

7.4. VALORACIÓN ECONÓMICA

Teniendo en cuenta el valor económico de los componentes electrónicos, en este caso la segunda opción de las dos posibilidades y el coste de fabricación de los componentes estructurales del escáner 3D se puede obtener el precio total, a este valor económico hay que añadirle el tiempo invertido en programar en el programa CURA la impresión de los componentes estructurales y montaje de los mismos, montaje de los componentes electrónicos y colocación de todo el conjunto en una base, este valor económico de tiempo invertido no se tendrá en cuenta.

El precio definitivo del escáner 3D tendría un valor de 165.05 €.

Si se quisiera realizar una valoración económica del conjunto escáner más objetos de pruebas, para que se pueda calibrar y comprobar la precisión del escaneado, se deben sumar las cantidades económicas anterior y el coste de fabricación de las piezas de prueba.

El precio definitivo del escáner 3D y piezas de prueba tendría un valor de 187.91 €.

8. OBTENCIÓN DE RESULTADOS

El escáner 3D se comprobará si se ha fabricado, montado y calibrado correctamente una vez que se hayan realizado unas determinadas pruebas. Estas pruebas a realizar son el escaneado de unos determinados objetos, los cuales se han imprimido en la misma impresora 3D que los componentes estructurales del escáner. Estos objetos se han fabricado con unas características especiales de diseño para comprobar la calidad de los resultados ante superficies totalmente esféricas, con orificios de diferentes formas y profundidades, aristas vivas, alto nivel de detalle, etc.

Hay un total de 15 objetos diferentes, los tres últimos son figuras de animales donde la complejidad de estas es muy superior al resto de casos. En los 12 primeros objetos se intenta en cada caso solo comprobar que el escáner consigue obtener buenos resultados en una zona concreta de estudio.

Además, se ha realizado el escaneado de una de las partes de una pinza de la ropa, se ha elegido este objeto cualquiera para poder escanear un objeto con un color diferente al resto de objetos. Hay que tener en cuenta que los 15 objetos restantes han sido imprimidos con el mismo PLA y, por lo tanto, con el mismo color.

Los planos correspondientes a cada uno de los primeros 15 objetos escaneados se encuentran en el Anexo 2 y aparecen solo las medidas más relevantes.

Una vez realizadas todas las fotografías del programa de escaneado la siguiente actuación es computarizar todos los datos gráficos que se han obtenido, el programa elegido para realizar la computarización es Meshroom 2019.2.0.

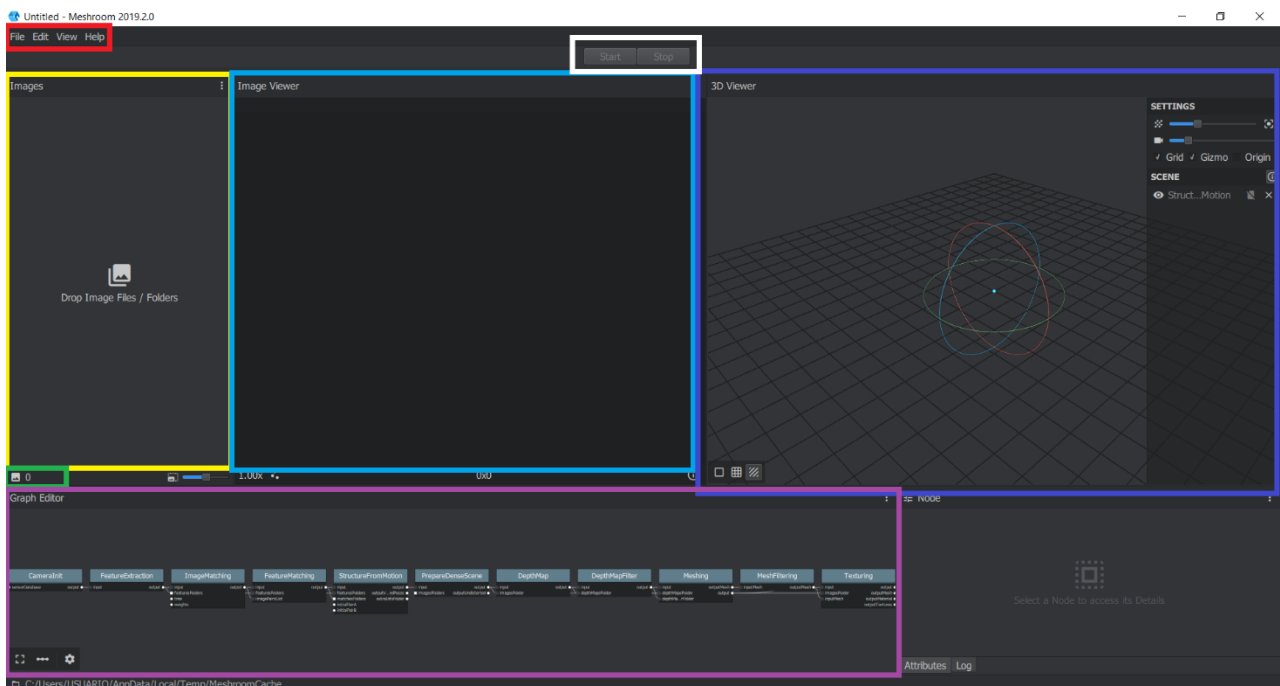


Ilustración 66: Interfaz de Meshroom

Meshroom es un software gratuito de reconstrucción 3D y de código abierto con fotogrametría, puede crear un modelo 3D digital de un objeto físico con la utilización de un conjunto de fotografías realizadas desde diferentes ángulos. Con la utilización de diferentes algoritmos fotográficos preprogramados el programa es capaz de calcular los puntos de la superficie del objeto para luego crear a partir de estos el modelo 3D. [36]

El programa es muy intuitivo y sencillo de comprender:

- Cuadrado rojo es el menú principal donde se puede guardar, abrir, crear un nuevo proyecto, deshacer un paso realizado, encontrar ayuda para la utilización del programa, etc
- Cuadrado amarillo es donde se adjuntan las fotografías realizadas desde diferentes ángulos del objeto para que el programa las procese
- Cuadrado azul claro sirve para visualizar cada fotografía por separado con unas mayores dimensiones para analizar mejor los detalles y poder descartar las fotografías que no se han realizado correctamente
- Cuadrado azul oscuro es donde se visualiza las soluciones tras ser procesadas las fotografías, en la esquina superior derecha se pueden observar dos barras, la superior sirve para ampliar y reducir los puntos de la superficie del objeto que el programa ha conseguido identificar y la inferior para ampliar y reducir el lugar donde se ha realizado las fotografías que ha podido computarizar
- Cuadrado blanco tiene dos opciones “START” y “STOP” como sus nombres indican la opción “START” sirve para inicializar la computarización y “STOP” para detenerla, la segunda opción normalmente se utiliza cuando el procesamiento de datos no se realiza correctamente
- Cuadrado morado son los diferentes módulos de computarización, existe otra opción alternativa a pulsar “START” y es computar hasta el módulo que se quiera simplemente pulsando con el botón derecho del ratón sobre el módulo hasta el que se quiera llegar
- Cuadrado verde se muestran la cantidad de fotografías que se han adjuntado y, por lo tanto, que se van a analizar

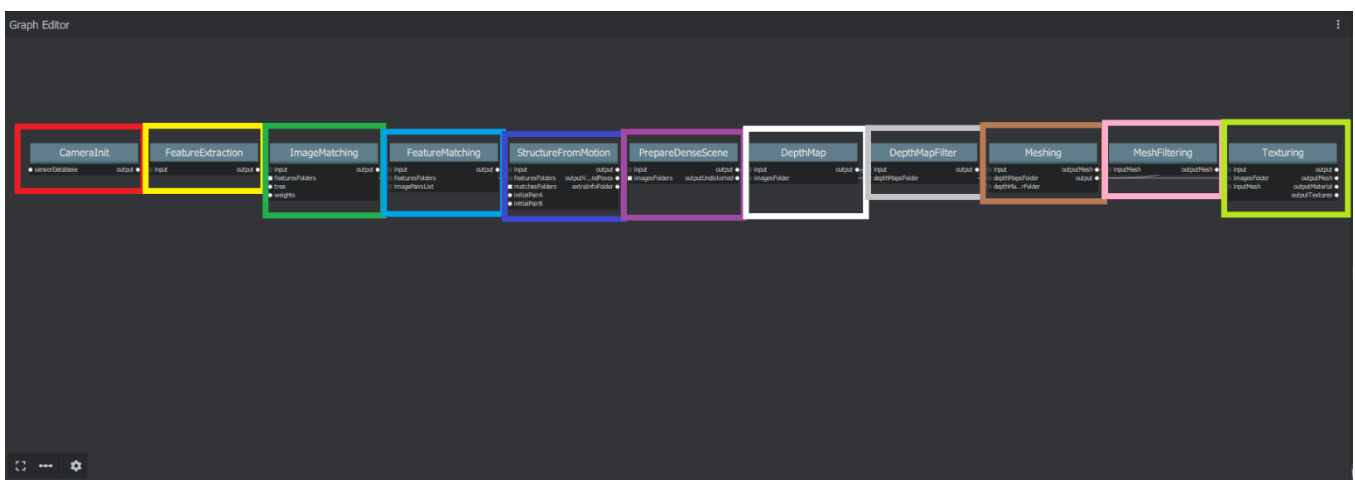


Ilustración 67: Módulos de computarización de Meshroom

Las funciones de cada módulo por separado son las siguientes:

- Cuadrado rojo, “CameraInit”, inicio de la computarización y lectura de las fotografías realizadas del objeto
- Cuadrado amarillo, “FeatureExtraction”, realiza la extracción de características del objeto de cada fotografía que analiza por separado
- Cuadrado verde, “ImageMatching”, compara cada fotografía con las restantes
- Cuadrado azul claro, “FeatureMatching”, este módulo es continuación del anterior y en este caso se compara las características de cada fotografía con las del resto archivos existentes
- Cuadrado azul oscuro, “StructureFromMotion”, se llama estructura de movimiento y en este módulo se utiliza un algoritmo interno del programa
- Cuadrado violeta, “PrepareDenseScene”, se define como preparar una escena densa y utiliza de nuevo algoritmo interno
- Cuadrado blanco, “DepthMap”, el mapa de profundidad es una representación bidimensional de la estructura con curvas de contorno en profundidad
- Cuadrado gris, “DepthMapFilter”, el filtro de mapa de profundidad intenta eliminar la mayor cantidad de imperfecciones que se han producido en el módulo anterior
- Cuadrado marrón, “Meshing”, se define como malla y en este modulo se crea el mallado
- Cuadrado rosa, “MeshFiltering”, el filtro de mallado intenta eliminar la mayor cantidad de imperfecciones que se han producido en el módulo anterior
- Cuadrado verde pistacho, “Texturing”, el módulo texturas se utiliza para terminar de crear el sólido digital con su respectivo color de superficie

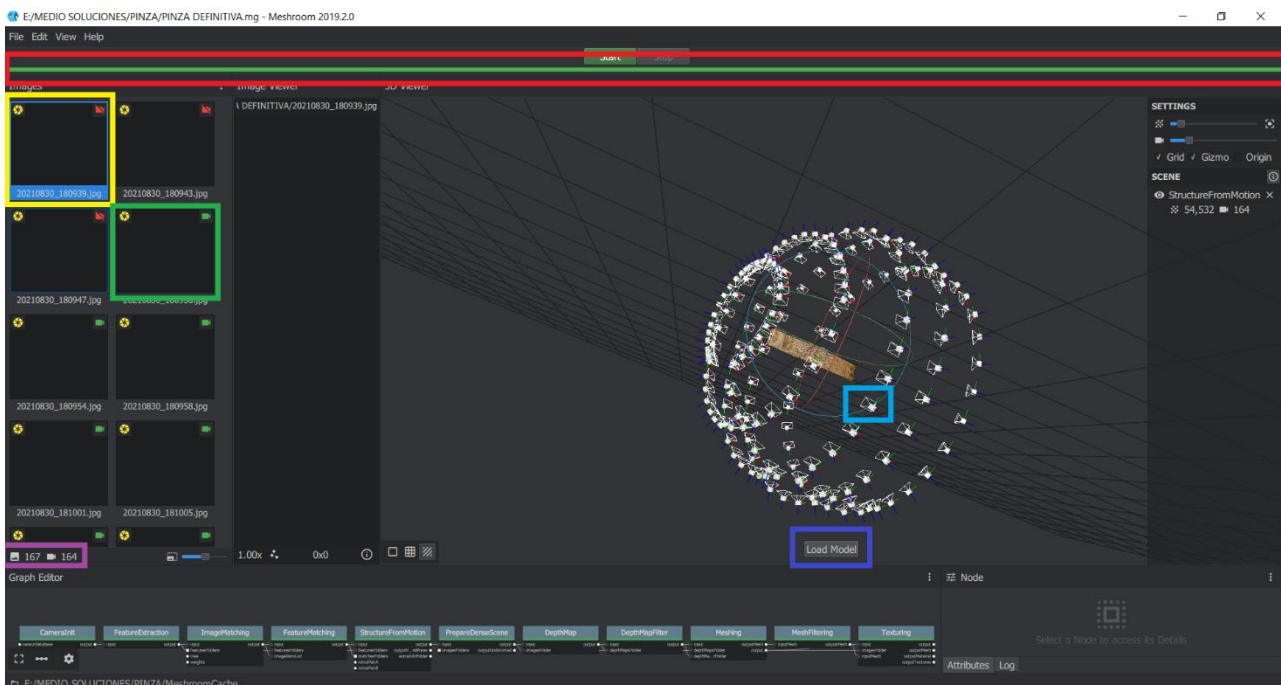


Ilustración 68: Resultado de procesado de datos con Meshroom

Tras adjuntar y procesar toda la información de las fotografías realizadas, es decir, cuando todos los módulos se hayan procesado correctamente aparecerá esta pantalla como se puede observar en la anterior ilustración.

- Cuadrado rojo muestra el estado del procesamiento de datos, en este caso se ha procesado correctamente todos los módulos y no ha ocurrido ningún problema ya que toda la barra está de color verde, cuando la barra se encuentre de color rojo es que existe algún error y cuando su color sea naranja que todavía no ha terminado de procesar los datos
- Cuadrado amarillo es una fotografía adjuntada que por los algoritmos internos del programa no ha sido utilizada para crear el sólido digital, esto se puede ver en la esquina superior derecha donde aparece un símbolo de una cámara de video roja tachada
- Cuadrado verde es una fotografía adjuntada que por los algoritmos internos del programa ha sido utilizada para crear el sólido digital, esto se puede ver en la esquina superior derecha donde aparece un símbolo de una cámara de video verde
- Cuadrado violeta se puede observar dos valores, el de la izquierda indica la cantidad de fotografías adjuntadas y el de la derecha la cantidad de fotografías procesadas para crear el sólido digital, por lo tanto, el valor de la izquierda siempre será superior o igual al de la derecha
- Cuadrado azul claro es una representación de una de las posiciones donde se encontraba la cámara fotografía en el momento en el que se ha realizado la fotografía del objeto
- Cuadrado azul oscuro, “Load Model” significa cargar modelo, tras pulsar este botón se obtiene la solución final

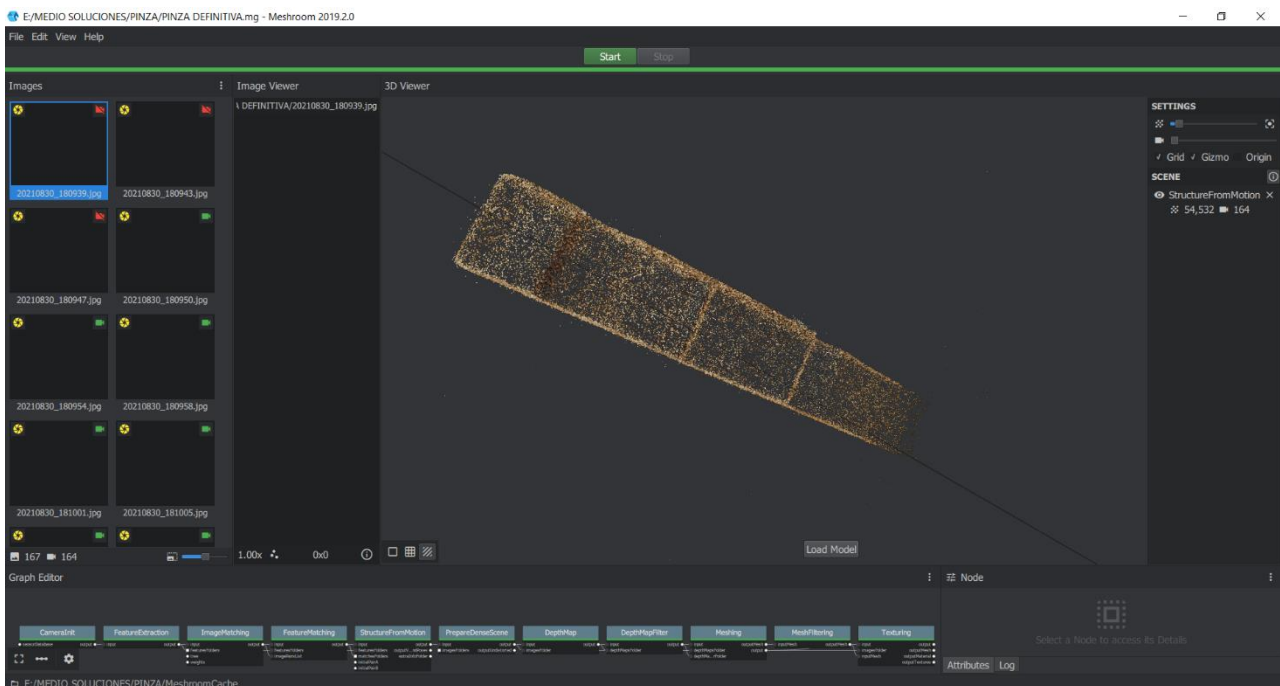


Ilustración 69: Resultado de procesamiento de datos con Meshroom solo puntos de superficie (sin cámaras)

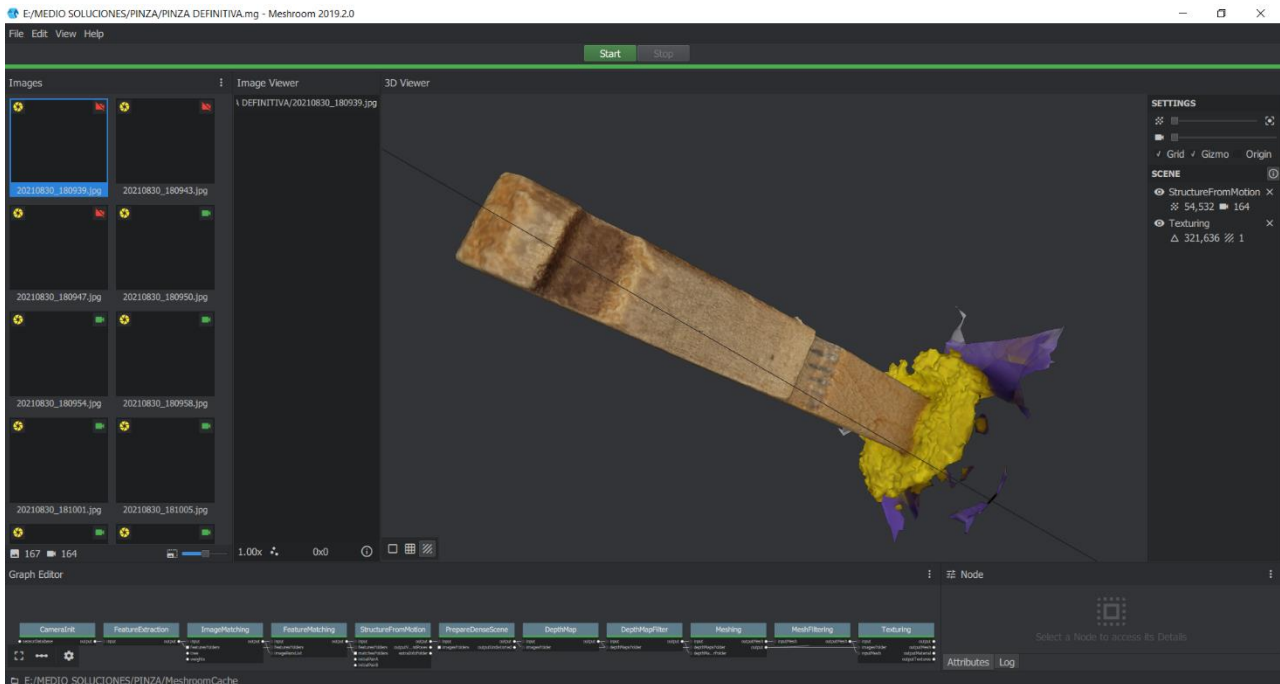


Ilustración 70: Solución final de procesamiento de datos con Meshroom

Para cada objeto en concreto se ha utilizado programas de escaneado diferentes, los criterios tenidos en cuenta han sido complejidad de objeto escaneado, resultados obtenidos en primer escaneado, nivel de precisión y calidad que se requiera.

Observaciones:

- En todos los resultados aparece como una especie de fondo blanco, esto es provocado porque el fondo utilizado es un folio formato A3 provocando que programa Meshroom también lo identifique como objeto
- En todos los objetos se han realizado primero programas de escaneado simples con poca cantidad de fotografías y según la calidad de los resultados obtenidos se han realizado programas de escaneado más complejos en caso de no ser los esperados

8.1. ESFERAS DE DIÁMETRO 40, 80 Y 20 mm

Se han fabricado 3 esferas en la impresora 3D con diámetros de 80 milímetros, 40 milímetros y 20 milímetros. En esta prueba se quiere conocer si el escáner 3D será capaz de realizar las fotografías automáticamente del objeto correctamente y el programa de procesamiento de datos será capaz de procesar correctamente la información de un objeto totalmente esférico sin ninguna arista viva y totalmente uniforme. Los diferentes diámetros de esfera utilizados sirven para comprobar cómo se comportan en el caso de que el objeto tenga tamaños diferentes.

Observación: Las esferas al ser imprimidas no son perfectamente esféricas y poseen defectos superficiales de impresión

8.1.1. ESFERA DE DIÁMETRO 40 mm

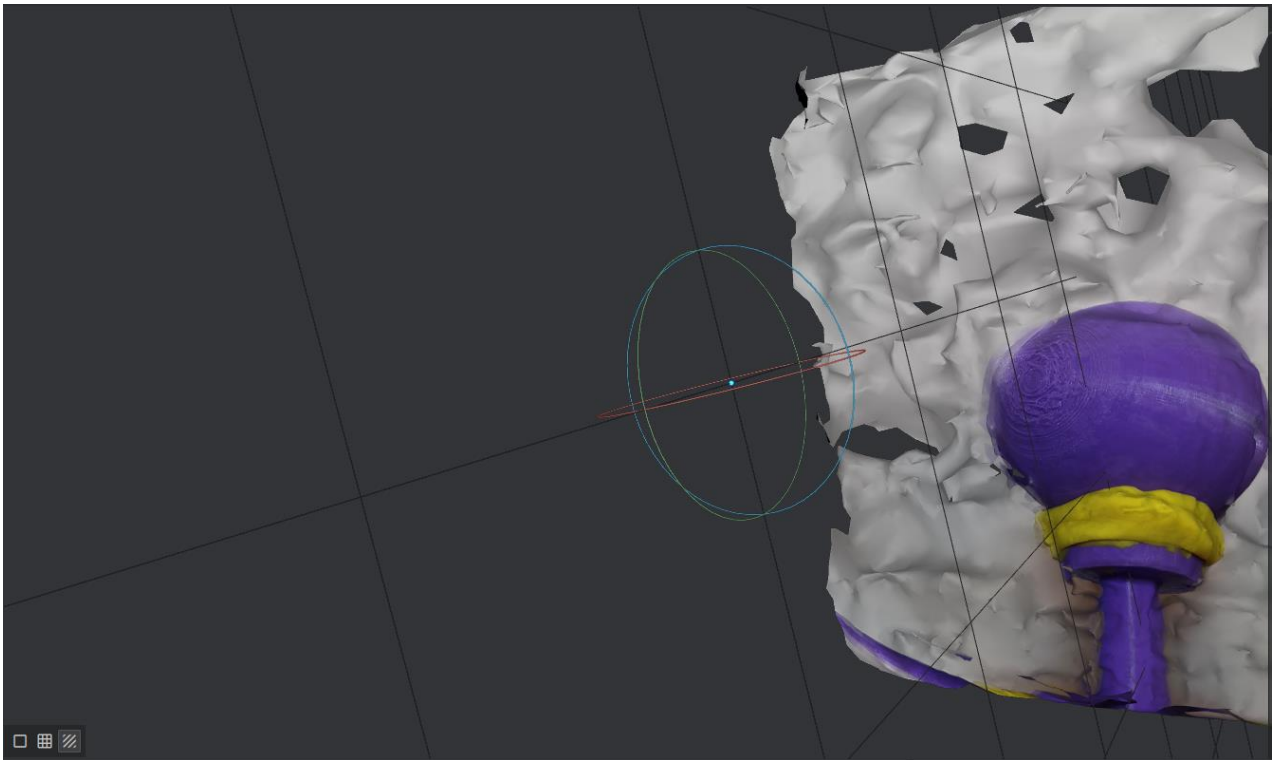


Ilustración 71: Solución vista 1 Esfera de diámetro 40 mm

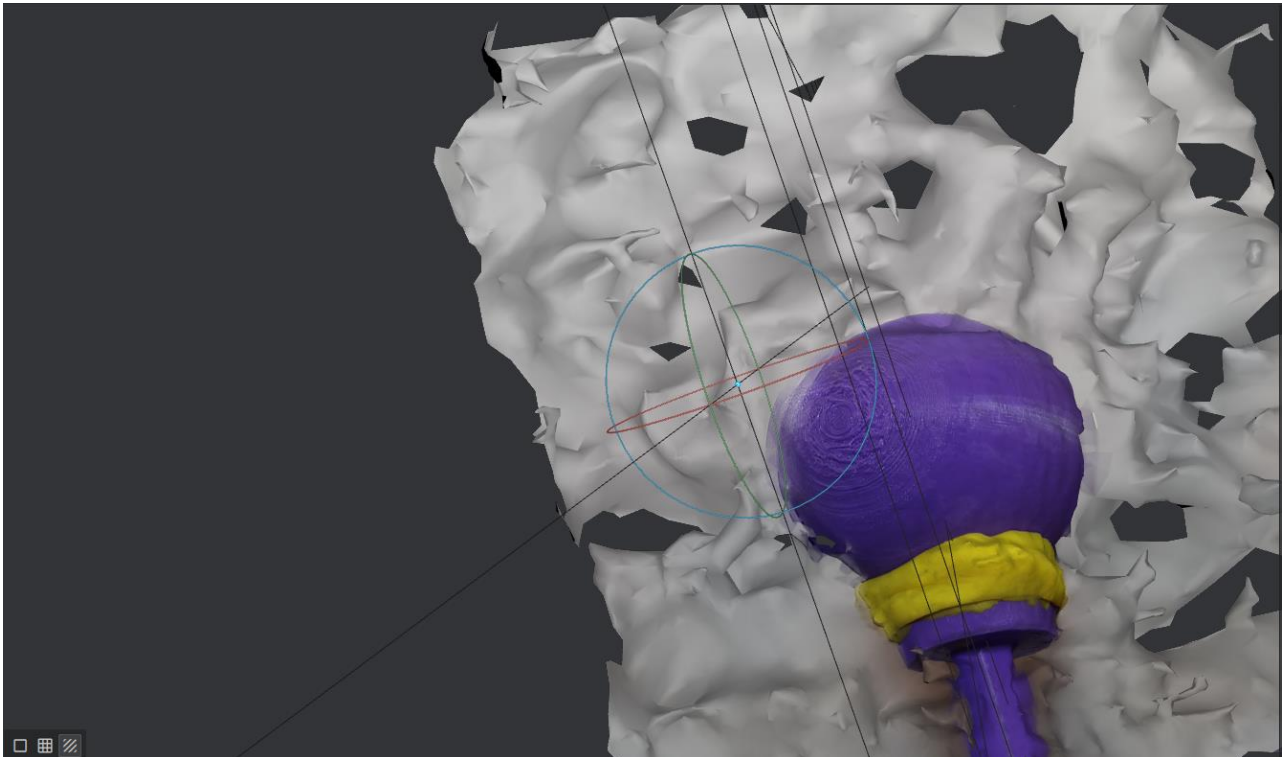


Ilustración 72: Solución vista 2 Esfera de diámetro 40 mm

Para realizar este escaneado se ha utilizado un programa 32-5-50 esto quiere decir que se han realizado un total de 160 fotografías.

La solución obtenida no es muy buena, como se puede apreciar en las ilustraciones no se puede observar muy bien la forma esférica del objeto, aunque se puede ver los defectos de impresión en ambas ilustraciones con gran detalle y calidad, este defecto es provocado por los soportes de apoyo fabricados durante la impresión del objeto.

8.1.2. ESFERA DE DIÁMETRO 80 mm

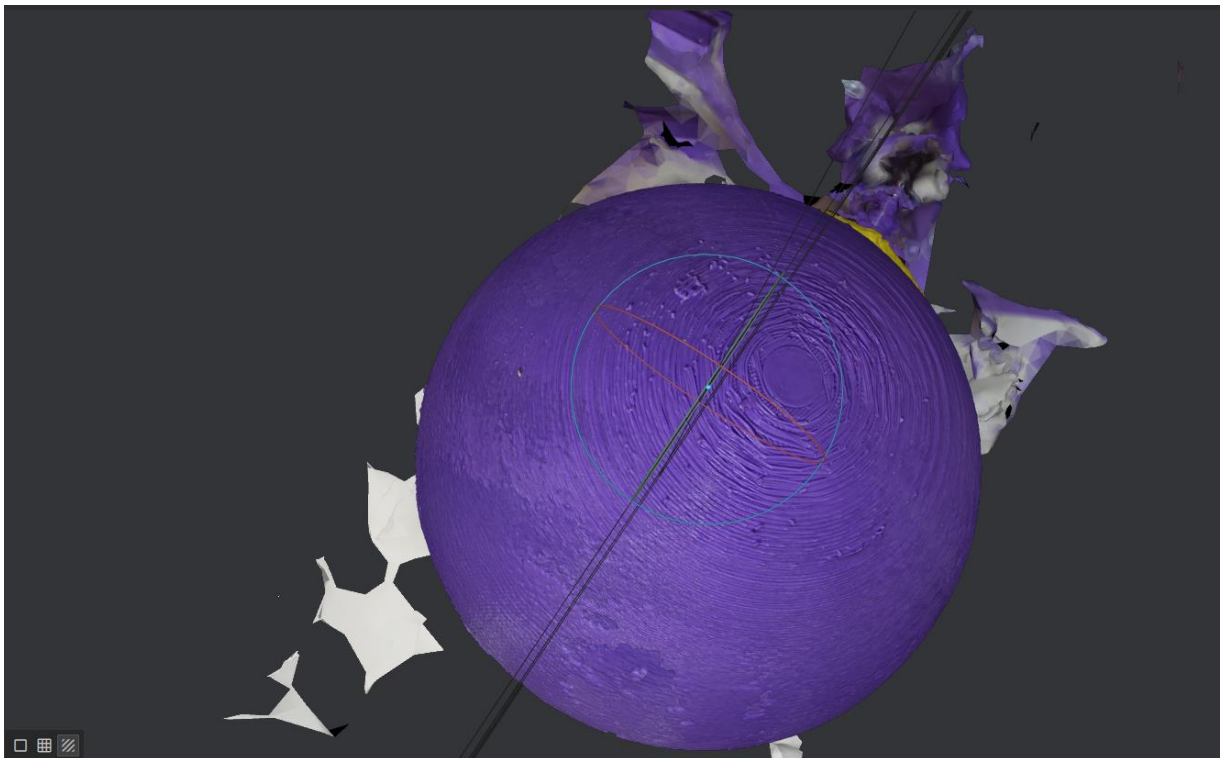


Ilustración 73: Solución vista 1 Esfera de diámetro 80 mm

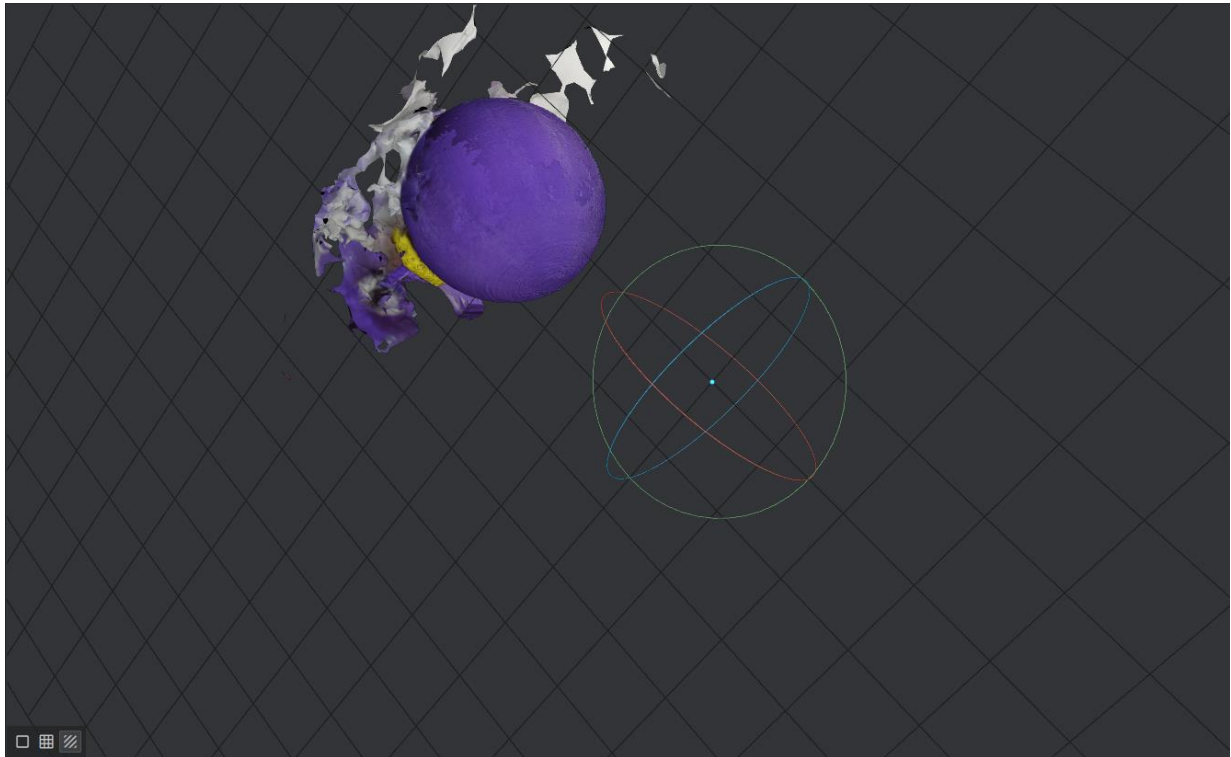


Ilustración 74: Solución vista 2 Esfera de diámetro 80 mm

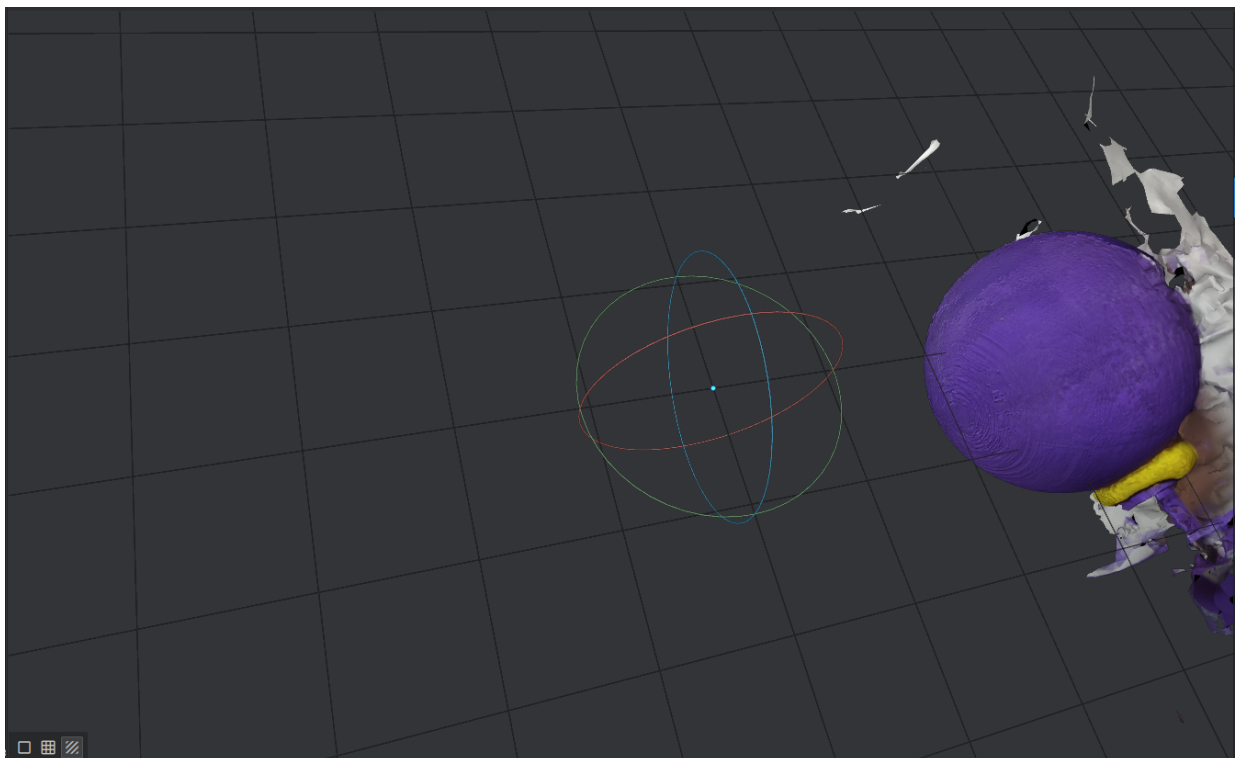


Ilustración 75: Solución vista 3 Esfera de diámetro 80 mm

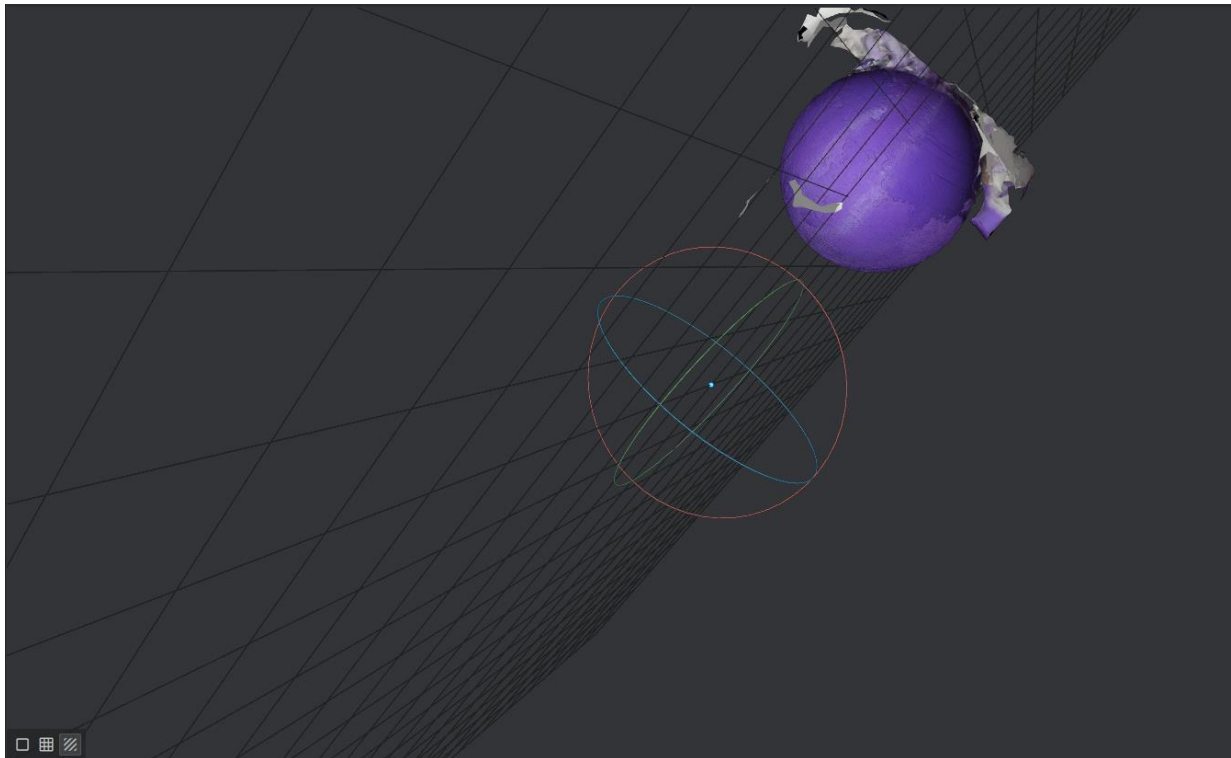


Ilustración 76: Solución vista 4 Esfera de diámetro 80 mm

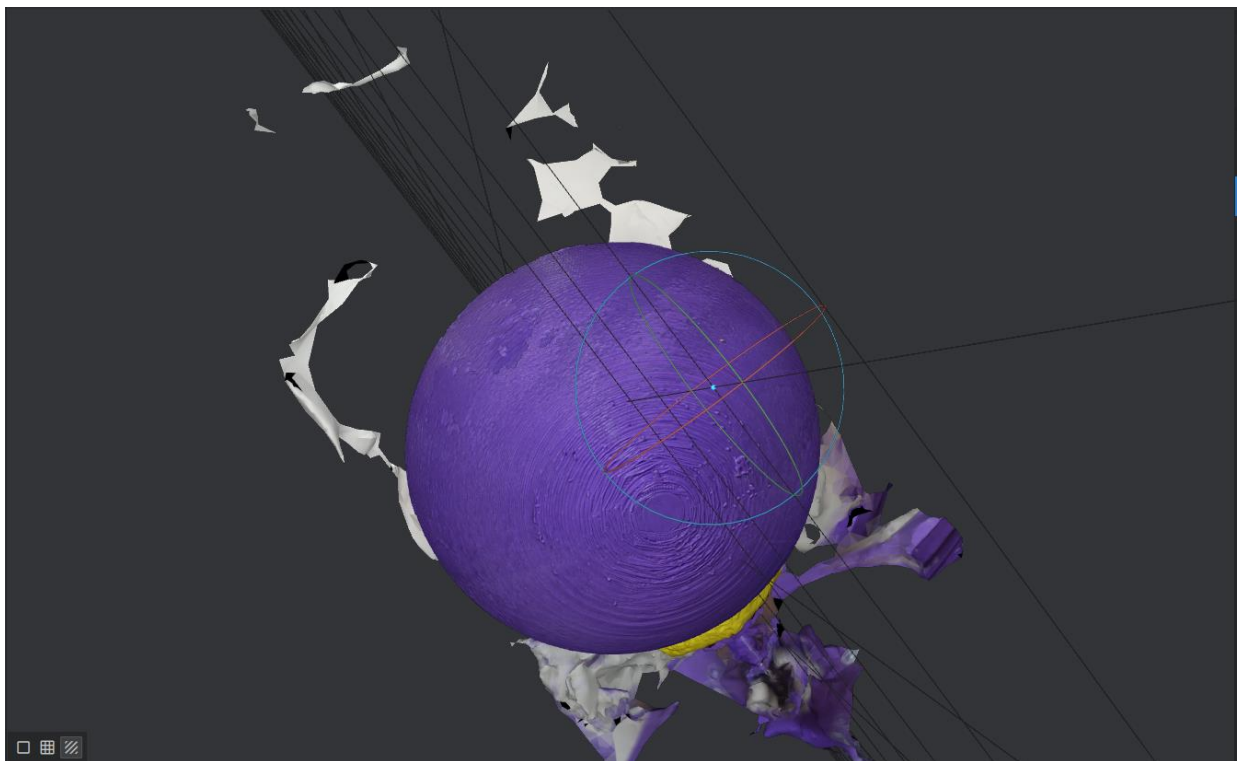


Ilustración 77: Solución vista 5 Esfera de diámetro 80 mm

Para realizar este escaneado se ha utilizado un programa 32-5-50 esto quiere decir que se han realizado un total de 160 fotografías.

Se ha realiza ilustraciones de toda la esfera completa y se puede observar que se ha conseguido obtener la forma esférica completa, por lo tanto, la solución obtenida es muy buena. De nuevo, se pueden observar los defectos de impresión de los soportes durante la impresión. También existen defectos provocados durante el escaneado y procesamiento de datos, esto se puede observar en las ilustraciones en varias formas de sombras deformadas.

8.1.3. ESFERA DE DIÁMETRO 20 mm

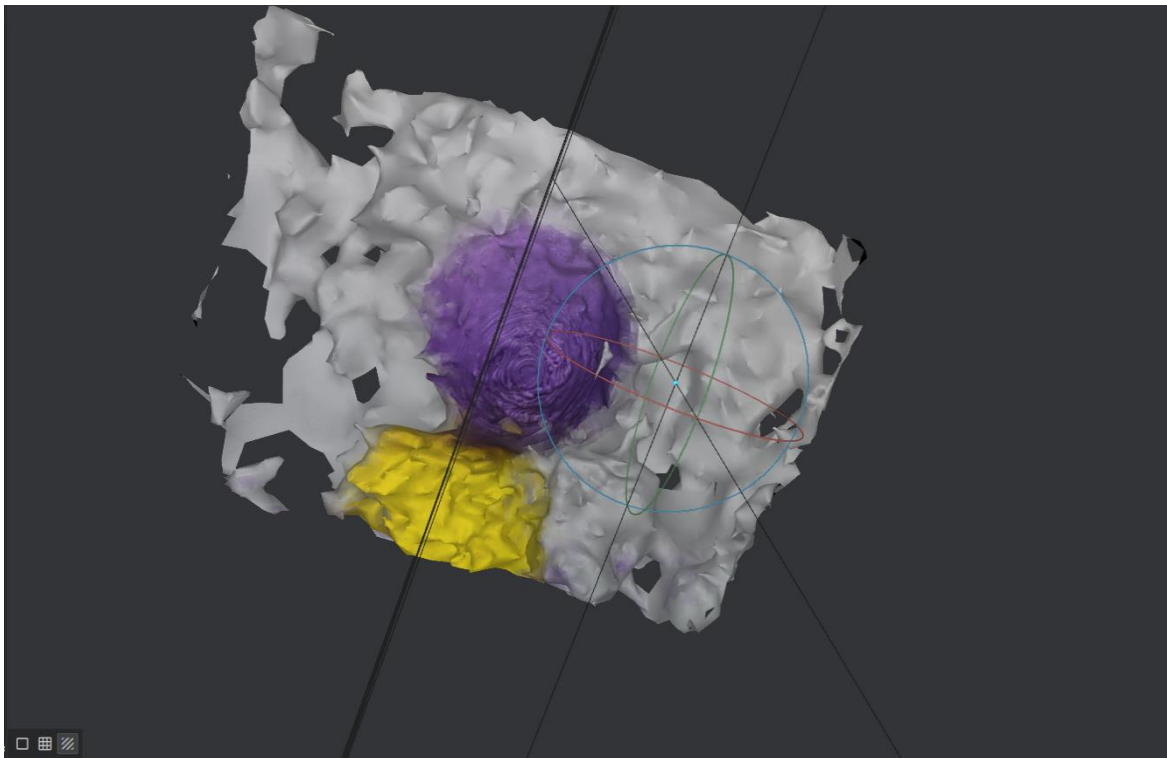


Ilustración 78: Solución 1 Esfera de diámetro 20 mm

Para realizar este escaneado se ha utilizado un programa 32-5-50 esto quiere decir que se han realizado un total de 160 fotografías.

La solución obtenida es muy mala, no se puede apreciar ninguna forma esférica en la ilustración, aunque se puede ver los defectos de impresión ligeramente. Además, la cantidad de suciedad blanca provocada por el fondo es excesiva, por todos estos motivos se ha decidido realizar otro programa de escaneado de la misma cantidad de fotografías, pero con ángulos diferentes.

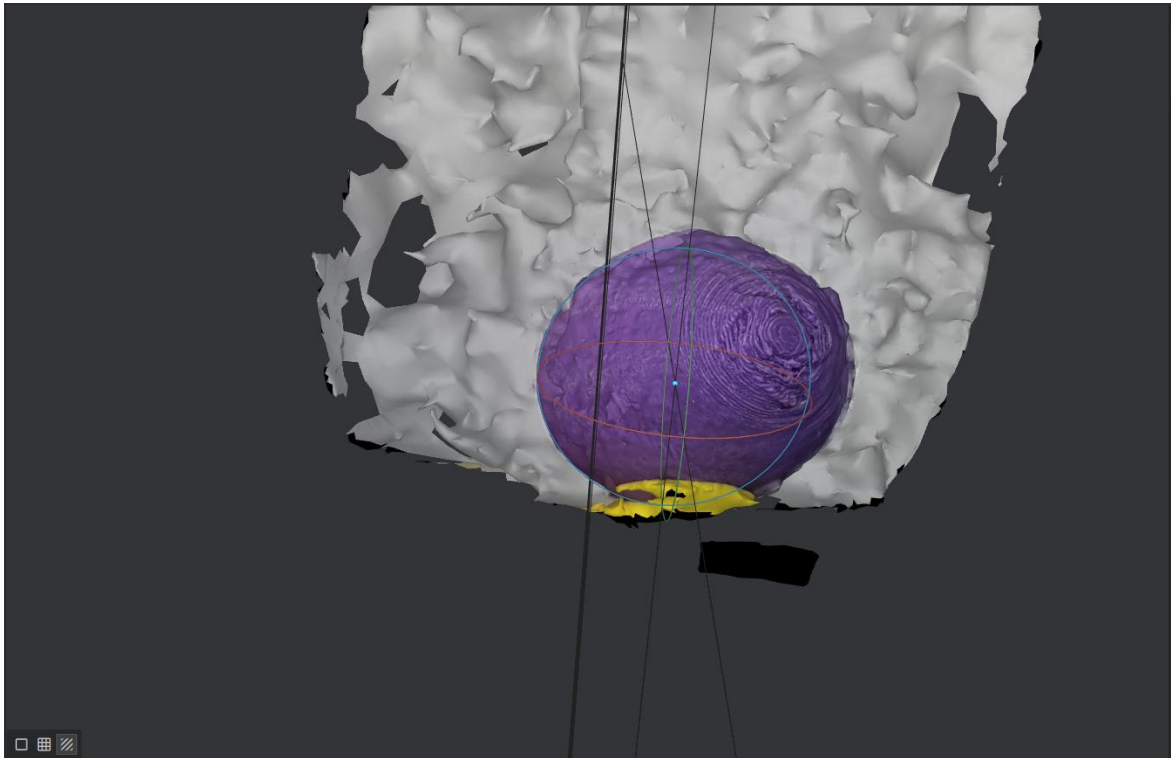


Ilustración 79: Solución 2 Esfera de diámetro 20 mm

Para realizar este escaneado se ha utilizado un programa 32-5-75 esto quiere decir que se han realizado un total de 160 fotografías.

La solución obtenida es mejor que la anterior, pero sigue sin ser muy buena, no se puede apreciar ninguna forma esférica en la ilustración, aunque en este caso se pueden ver los defectos de impresión con mayor claridad. De nuevo la cantidad de suciedad blanca provocada por el fondo es demasiada.

8.2. CUBOS DE LADO 40, 80 Y 20 mm

Se han fabricado 3 cubos en la impresora 3D, al ser un cubo perfecto el valor de sus 3 dimensiones es el mismo, los tamaños elegidos para cada uno han sido de 80 milímetros, 40 milímetros y 20 milímetros. En esta prueba se quiere conocer si el escáner 3D será capaz de realizar las fotografías automáticamente del objeto correctamente y el programa de procesado de datos será capaz de procesar correctamente la información de un objeto idéntico por todas sus vistas, con aristas vivas y caras planas a 90° entre sí. Los diferentes tamaños de cubo utilizados sirven para comprobar que resultados se obtienen con un mismo objeto de tamaño variable.

Observación: Los cubos al ser imprimidos poseen defectos superficiales de impresión

8.2.1. CUBO DE LADO 40 mm

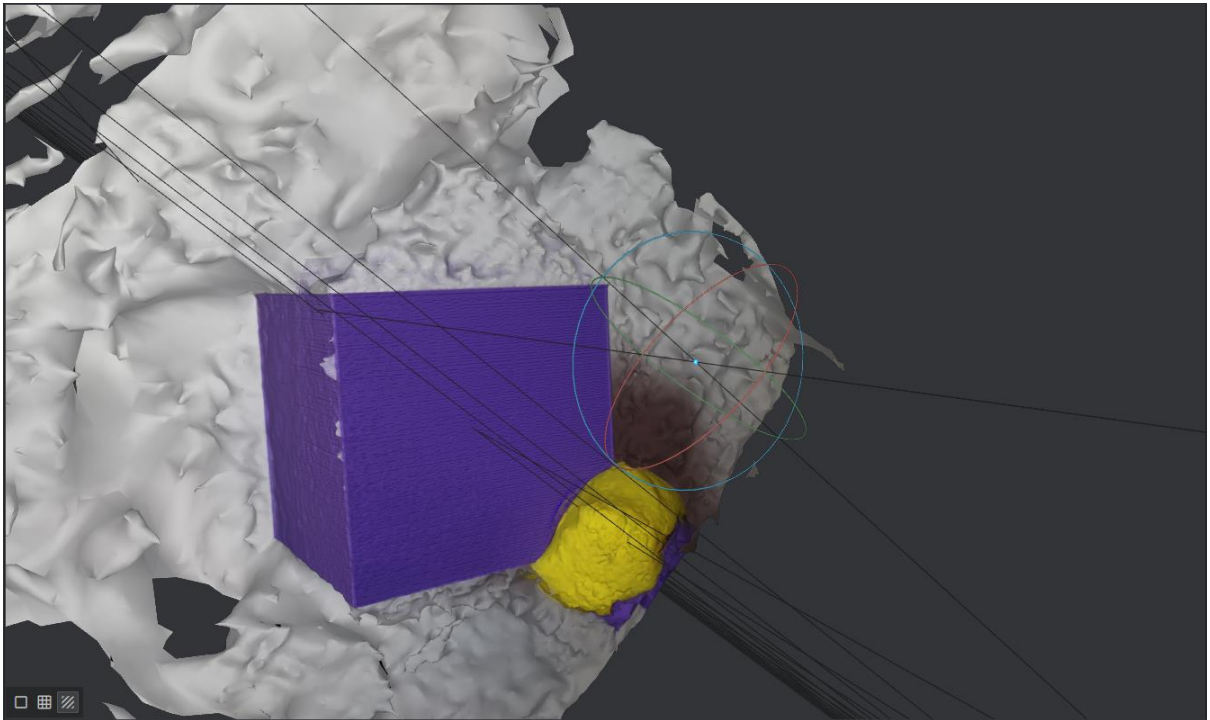


Ilustración 80: Solución vista 1 Cubo de lado 40 mm

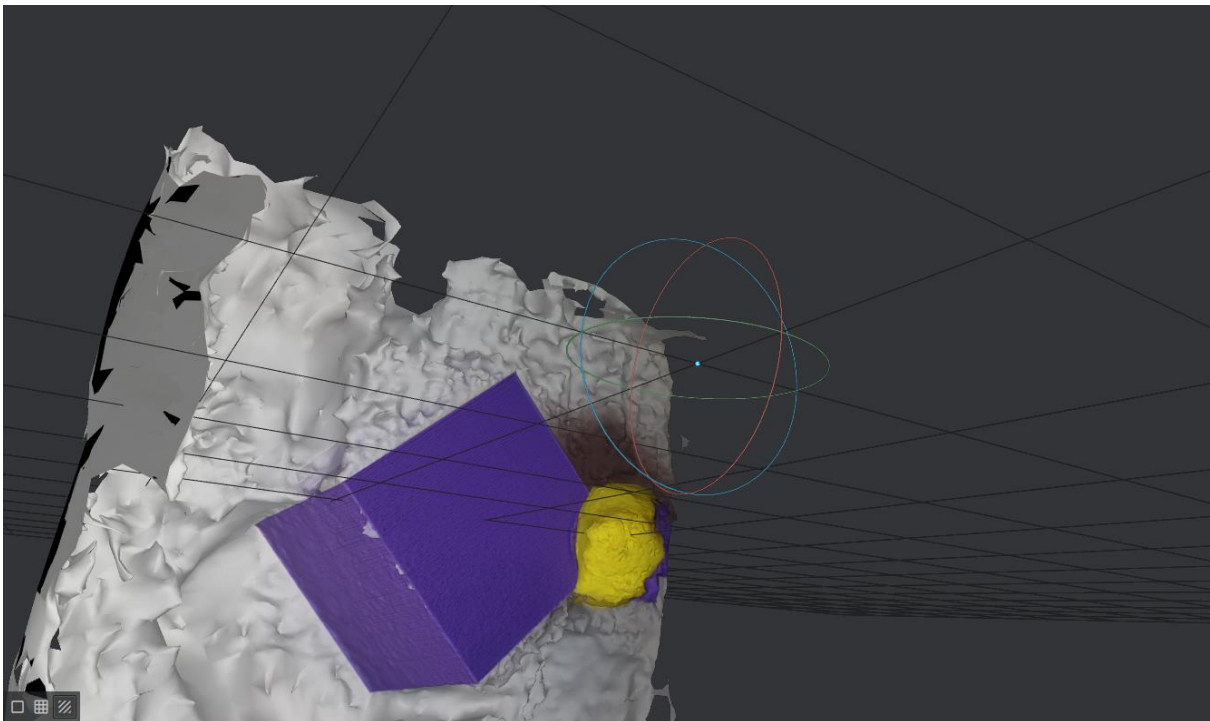


Ilustración 81: Solución vista 2 Cubo de lado 40 mm

Para realizar este escaneado se ha utilizado un programa 32-5-75 esto quiere decir que se han realizado un total de 160 fotografías.

La solución obtenida es buena, como se puede apreciar en las ilustraciones se pueden observar las aristas vivas y las caras a 90° perfectamente, en las ilustraciones solo se pueden apreciar dos caras, una de ellas es de mejor calidad que la otra, pero se pueden apreciar perfectamente los detalles en ambas. El resultado obtenido empeora en gran medida sobre todo porque la solución tiene demasiada suciedad por el fondo.

8.2.2. CUBO DE LADO 80 mm

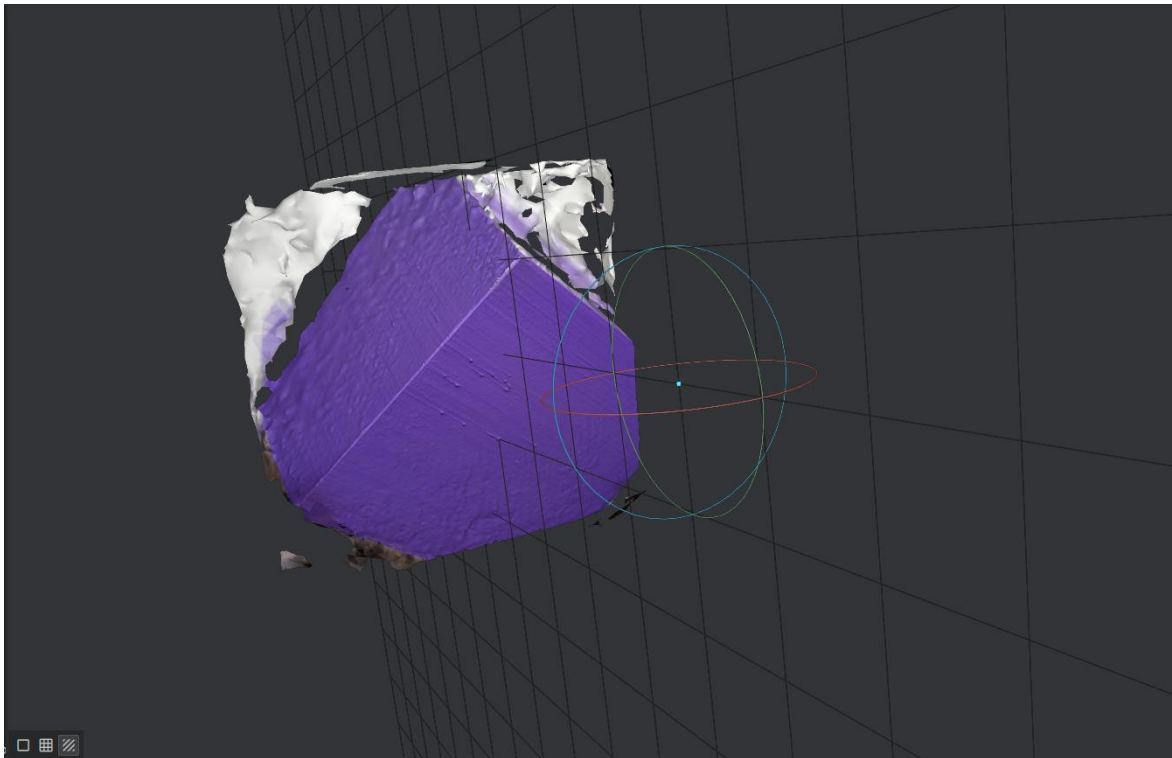


Ilustración 82: Solución 1 Cubo de lado 80 mm

Para realizar este escaneado se ha utilizado un programa 32-5-50 esto quiere decir que se han realizado un total de 160 fotografías.

La solución obtenida es muy mala, solo se pueden apreciar medias caras y solo una de ellas con buena resolución, ya que se pueden observar desperfectos que se han producido durante la impresión del objeto. Por este motivo se ha decidido realizar otro programa de escaneado de la misma cantidad de fotografías, pero con ángulos diferentes.

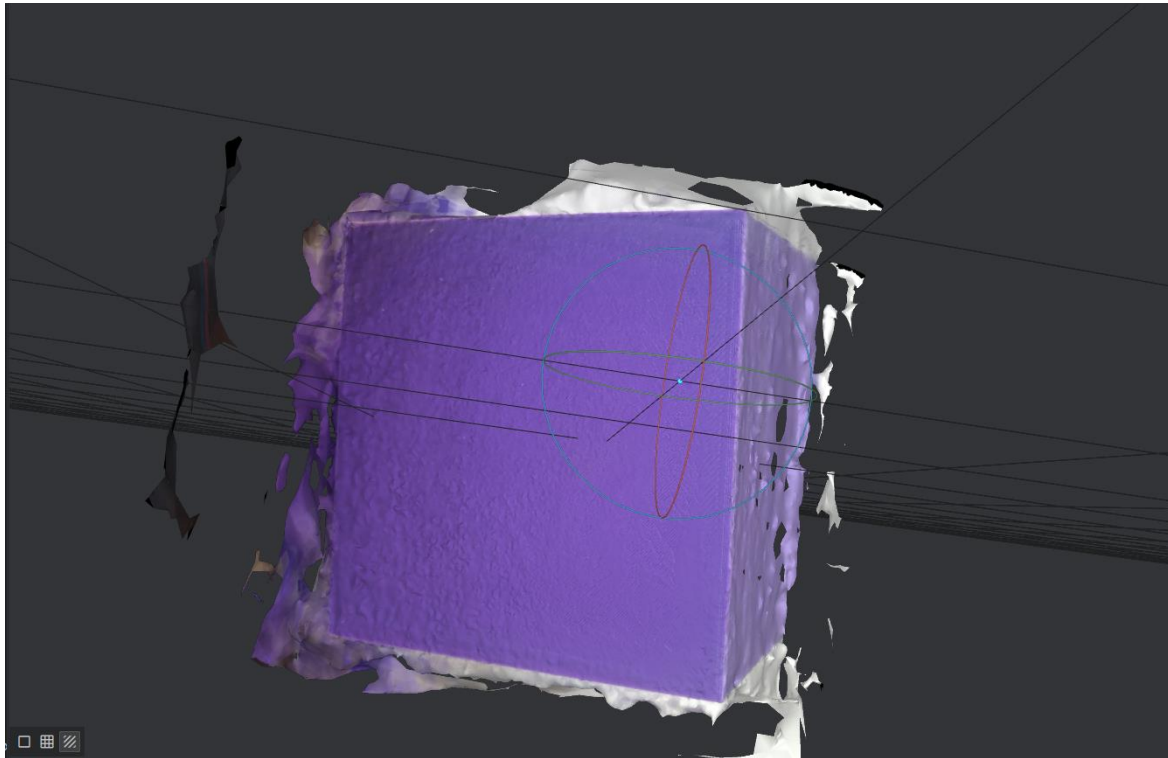
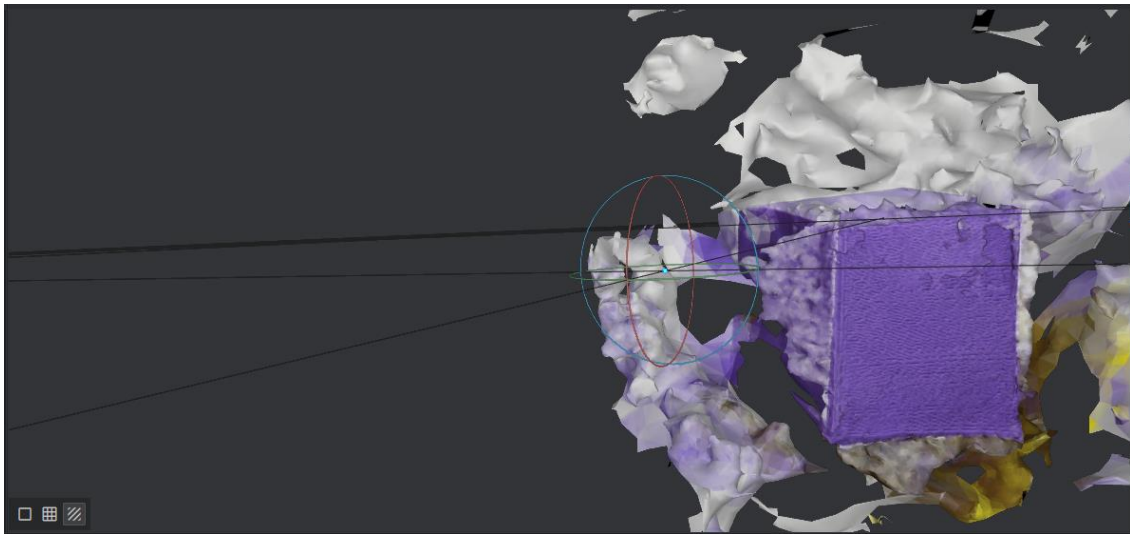
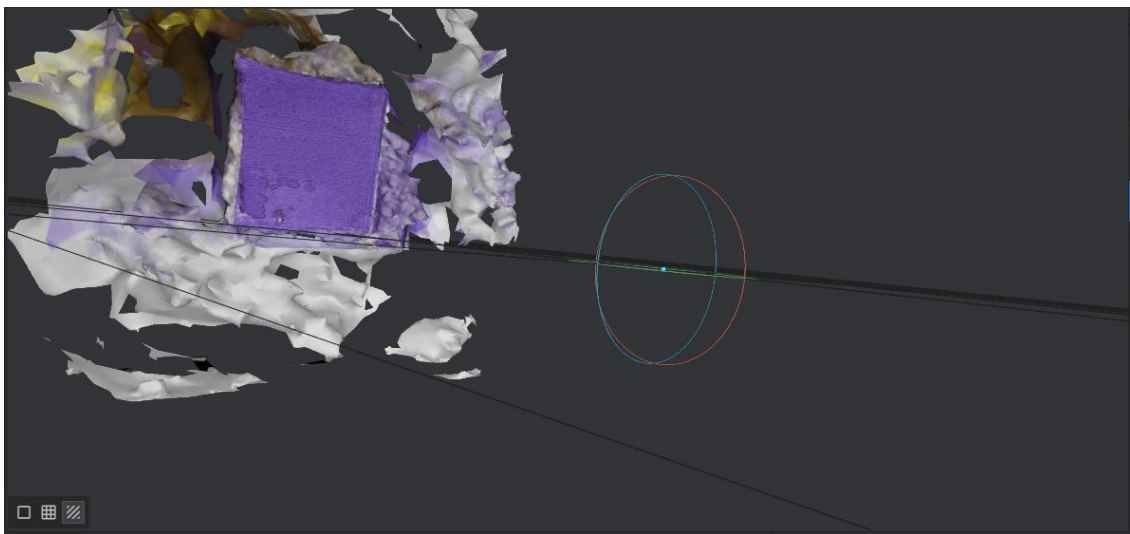


Ilustración 83: Solución 2 Cubo de lado 80 mm

Para realizar este escaneado se ha utilizado un programa 32-5-75 esto quiere decir que se han realizado un total de 160 fotografías. Además, las fotografías se han realizado a una mayor distancia que en la solución anterior.

La solución obtenida es mejor que la anterior, pero sigue sin ser muy buena, se puede apreciar una cara completa con buena resolución y otra con numerosos defectos, aunque se ha conseguido observar las aristas vivas y las caras a 90°. Para este caso se recomienda utilizar la Base giratoria versión grande 35 cm.

8.2.3. CUBO DE LADO 20 mm

*Ilustración 84: Solución 1 vista 1 Cubo de lado 20 mm**Ilustración 85: Solución 1 vista 2 Cubo de lado 20 mm*

Para realizar este escaneado se ha utilizado un programa 32-5-50 esto quiere decir que se han realizado un total de 160 fotografías.

La solución obtenida es muy mala, solo se pueden apreciar una cara y con una resolución baja. La suciedad del fondo es excesiva y prácticamente no se puede distinguir con claridad el objeto. Por este motivo se ha decidido realizar otro programa de escaneado de la misma cantidad de fotografías, pero con ángulos diferentes.

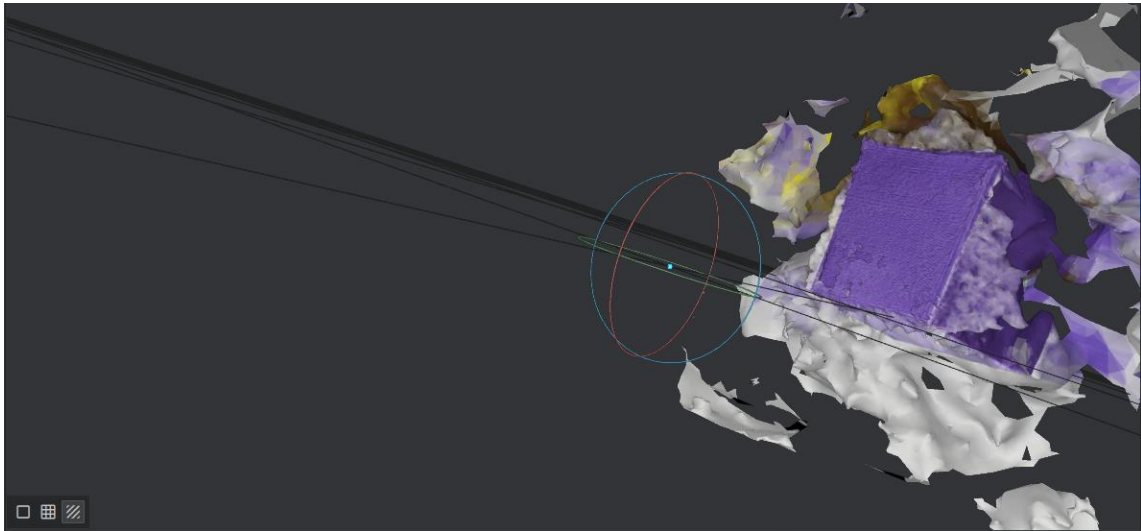


Ilustración 86: Solución 2 vista 1 Cubo de lado 20 mm

Para realizar este escaneado se ha utilizado un programa 32-5-75 esto quiere decir que se han realizado un total de 160 fotografías. Además, las fotografías se han realizado a una menor distancia que en la solución anterior para conseguir una mayor precisión.

La solución obtenida es igual que la anterior, se obtienen unos resultados muy malos, se puede apreciar una cara completa de nuevo con baja resolución, en ninguno de las dos soluciones se ha conseguido observar las aristas vivas y las caras a 90° por la cantidad de suciedad de fondo y el mal escaneado del objeto.

8.3. CUBOS DE LADO 40 mm Y RADIOS DE REDONDEO 5 Y 10 mm

Se han fabricado 2 cubos en la impresora 3D con las mismas dimensiones, al ser un cubo perfecto el valor de sus 3 dimensiones es el mismo, longitud de 40 milímetros, y lo único que los diferencia son los radios de redondeo, los valores elegidos para cada cubo han sido un radio de 5 milímetros y de 10 milímetros. En esta prueba se quiere conocer si el escáner 3D será capaz de realizar las fotografías automáticamente del objeto correctamente y el programa de procesamiento de datos será capaz de procesar correctamente la información de un objeto idéntico por todas sus vistas, con aristas redondeadas y caras planas a 90° entre sí. Se ha utilizado el tamaño de cubo de 40 milímetros porque en las anteriores pruebas era el objeto con el que mejores resultados se conseguía.

Observación: Los cubos al ser imprimidos poseen defectos superficiales de impresión

8.3.1. CUBO DE LADO 40 mm Y RADIO DE REDONDEO 5 mm

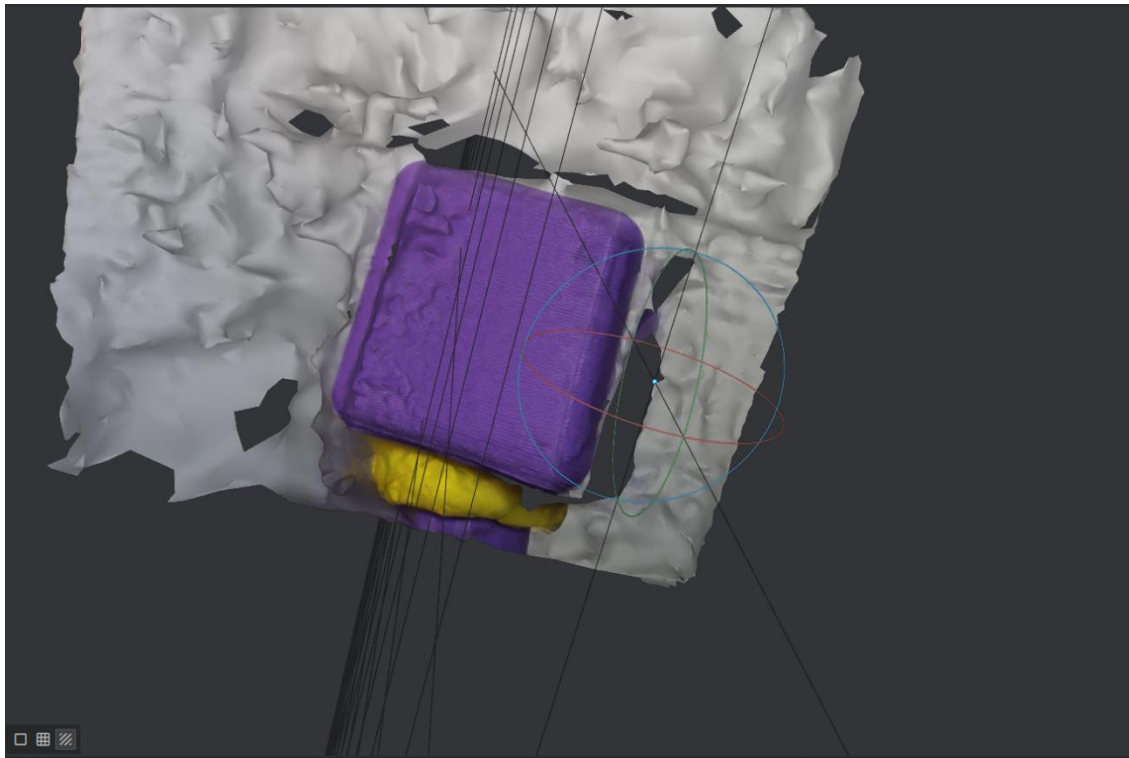


Ilustración 87: Solución 1 Cubo de lado 40 mm radio de redondeo 5 mm

Para realizar este escaneado se ha utilizado un programa 32-5-50 esto quiere decir que se han realizado un total de 160 fotografías.

La solución obtenida es mala, solo se pueden apreciar una cara, la mitad de esta con buena resolución y la otra mitad con deformaciones, además existe mucha suciedad de fondo. A pesar de todo esto se puede apreciar el radio de redondeo de 5 milímetros con caras a 90° que es lo que se buscaba con esta prueba. Por el mal resultado se ha decidido realizar otro programa de escaneado de la misma cantidad de fotografías, pero con ángulos diferentes.

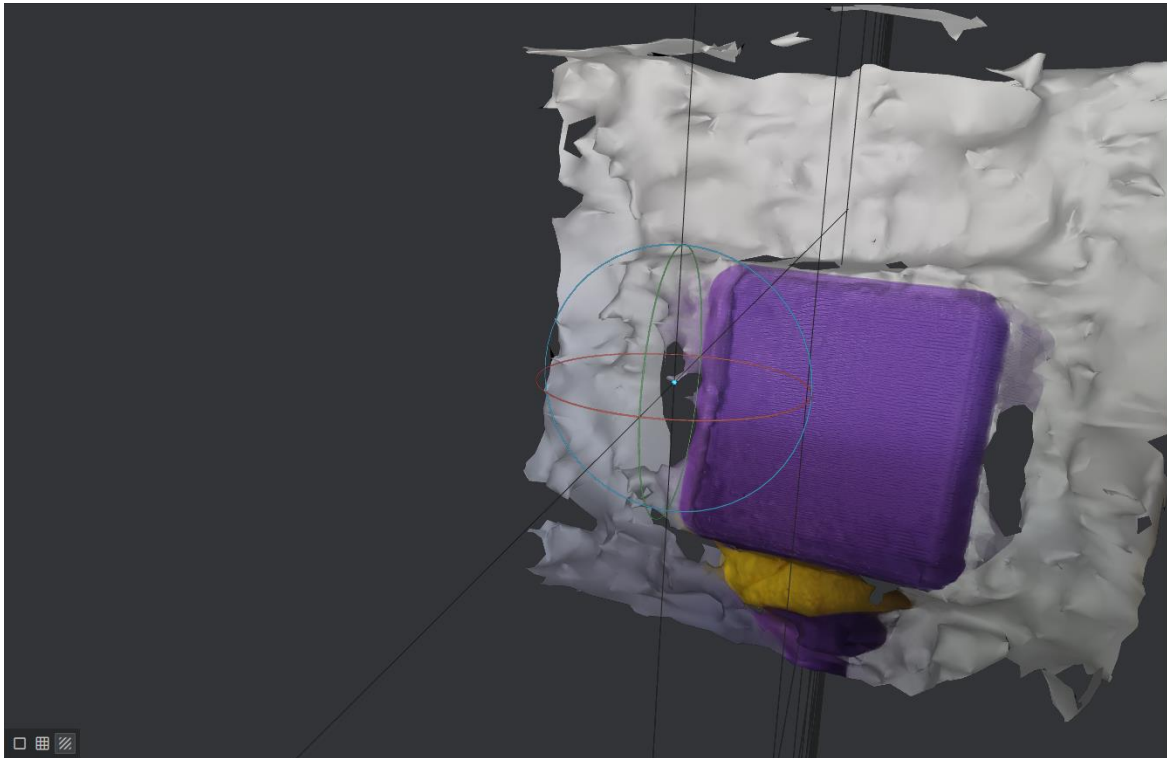


Ilustración 88: Solución 2 Cubo de lado 40 mm radio de redondeo 5 mm

Para realizar este escaneado se ha utilizado un programa 32-5-75 esto quiere decir que se han realizado un total de 160 fotografías.

La solución obtenida es mejor que la anterior, pero sigue sin ser muy buena, se puede apreciar una cara completa con buena resolución, aunque la calidad de los radios de redondeo es baja, excepto un radio de redondeo que se ha conseguido obtener buena resolución. De nuevo, no se ha conseguido un buen escaneado del objeto igual que en la solución anterior, pero se puede apreciar el radio de redondeo de 5 milímetros con caras a 90° que es lo que se necesitaba. En ambos casos la cantidad de suciedad de fondo es excesiva.

8.3.2. CUBO DE LADO 40 mm Y RADIO DE REDONDEO 10 mm

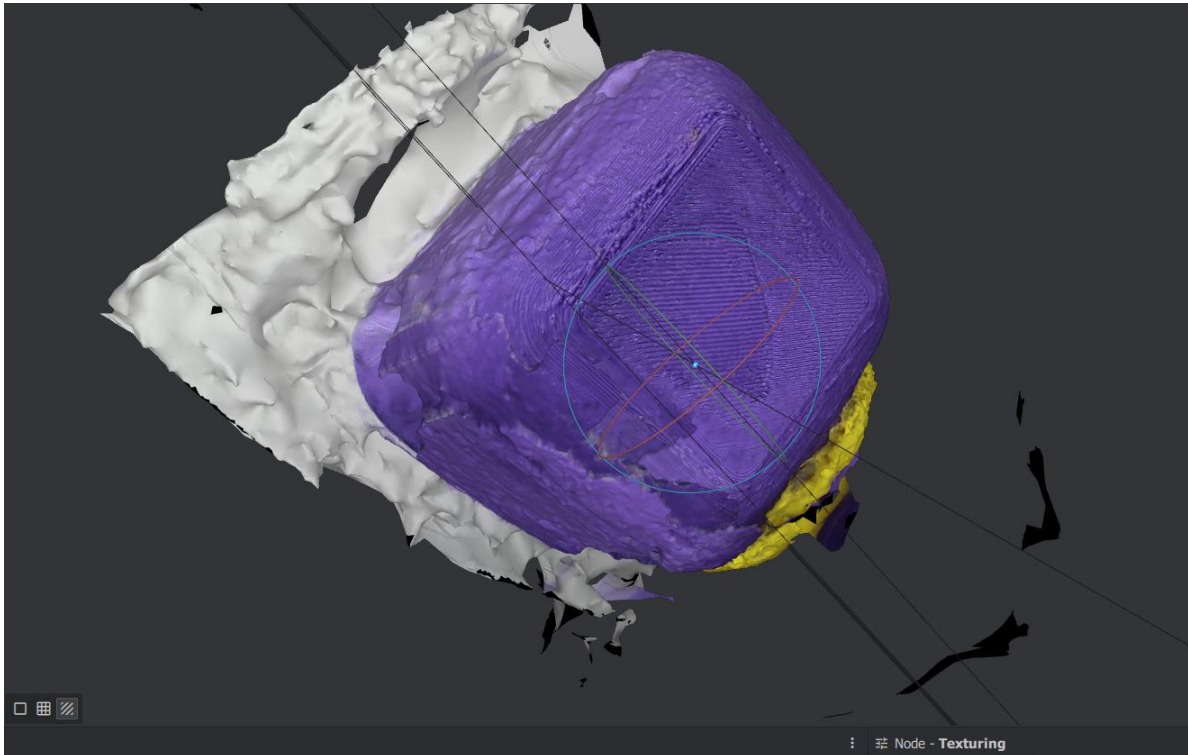


Ilustración 89: Solución vista 1 Cubo de lado 40 mm radio de redondeo 10 mm

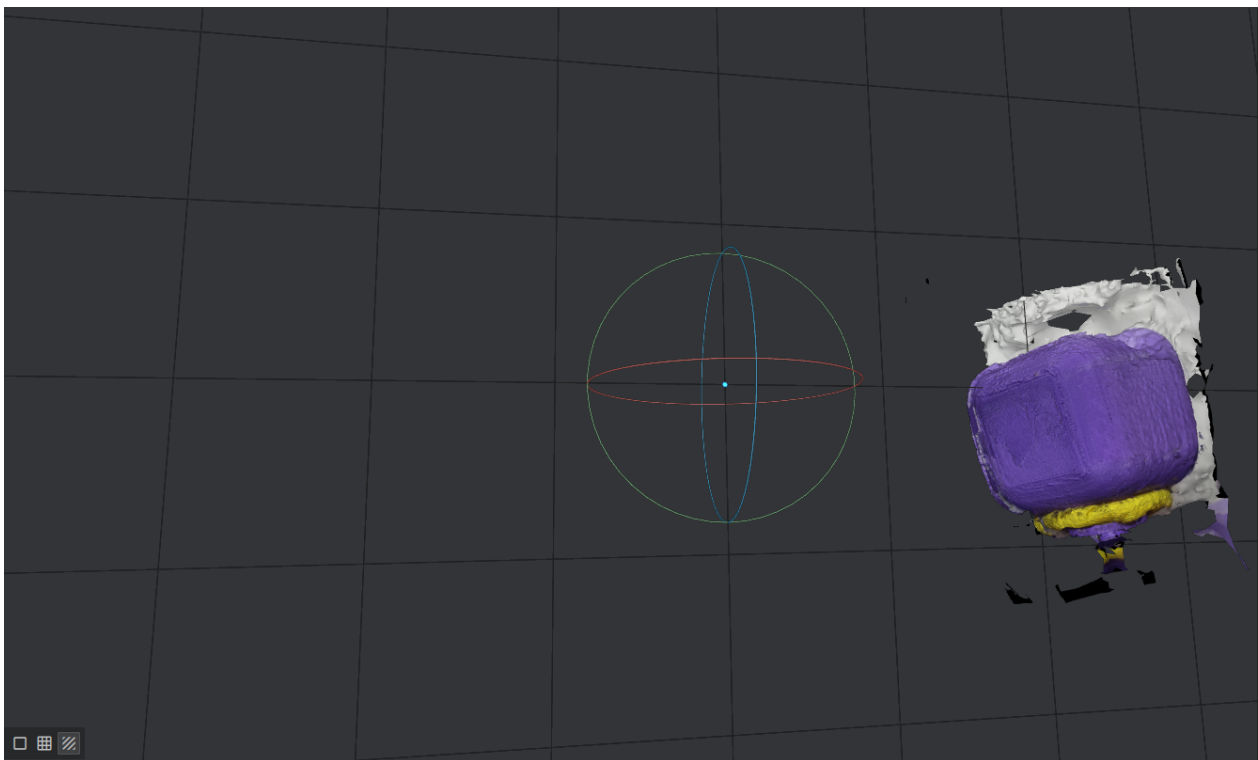


Ilustración 90: Solución vista 2 Cubo de lado 40 mm radio de redondeo 10 mm

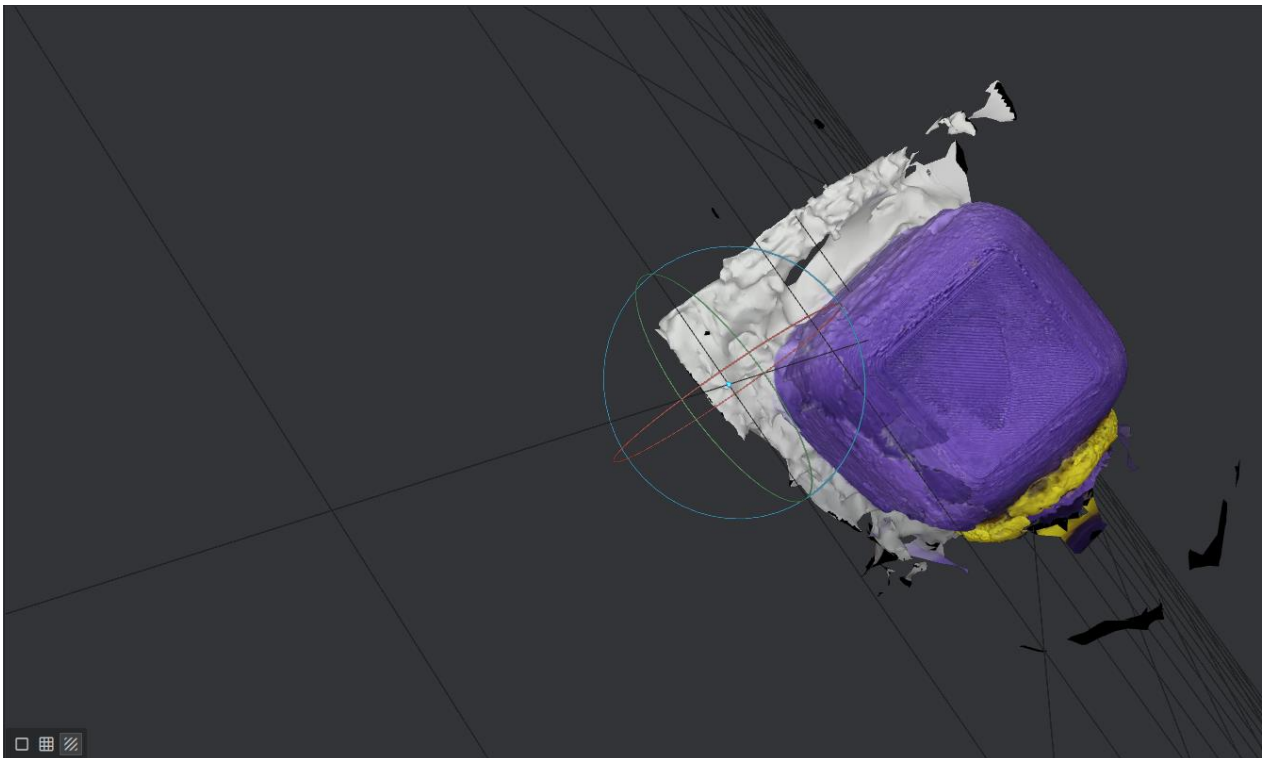


Ilustración 91: Solución vista 3 Cubo de lado 40 mm radio de redondeo 10 mm

Para realizar este escaneado se ha utilizado un programa 32-5-50 esto quiere decir que se han realizado un total de 160 fotografías.

La solución obtenida es bastante buena, aunque la resolución de las caras no es excesivamente buena, se ha conseguido el sólido digital completo con poca suciedad de fondo. Los radios de redondeo de 10 milímetros en caras de 90° se pueden observar perfectamente y en una de las caras se pueden observar con gran calidad las líneas de impresión. Existen malformaciones en el sólido, pero se puede identificar sin dificultad.

8.4. CUBOS DE LADO 40 mm CON ORIFICIOS DE FIGURAS DE PROFUNDIDAD 2 Y 5 mm

Se han fabricado 2 cubos en la impresora 3D con las mismas dimensiones, al ser un cubo perfecto el valor de sus 3 dimensiones es el mismo, longitud de 40 milímetros, y lo único que los diferencia son la profundidad de los orificios de figuras, los valores elegidos para la profundidad para cada cubo han sido 2 milímetros en el primero y 5 milímetros en el segundo. En esta prueba se quiere conocer si el escáner 3D será capaz de realizar las fotografías automáticamente del objeto correctamente y el programa de procesamiento de datos será capaz de procesar correctamente la información de un objeto de tamaño idéntico por todas sus vistas, con aristas vivas (caras planas a 90° entre sí) y orificios con una profundidad y formas determinadas. Se ha utilizado el tamaño de cubo de 40 milímetros porque en las anteriores pruebas era el objeto con el que mejores resultados se conseguía.

Observación: Los cubos al ser imprimidos poseen defectos superficiales de impresión

8.4.1. CUBO DE LADO 40 mm CON ORIFICIOS DE FIGURAS DE PROFUNDIDAD 2 mm

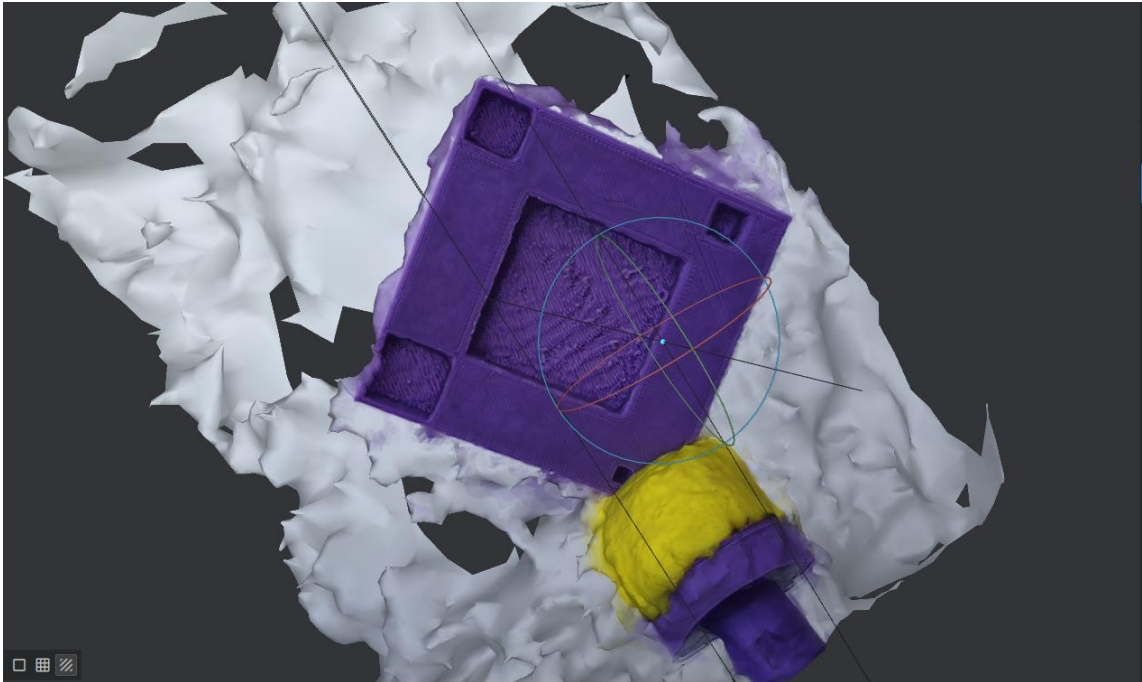


Ilustración 92: Solución vista 1 Cubo de lado 40 mm y orificios de 2 mm de profundidad

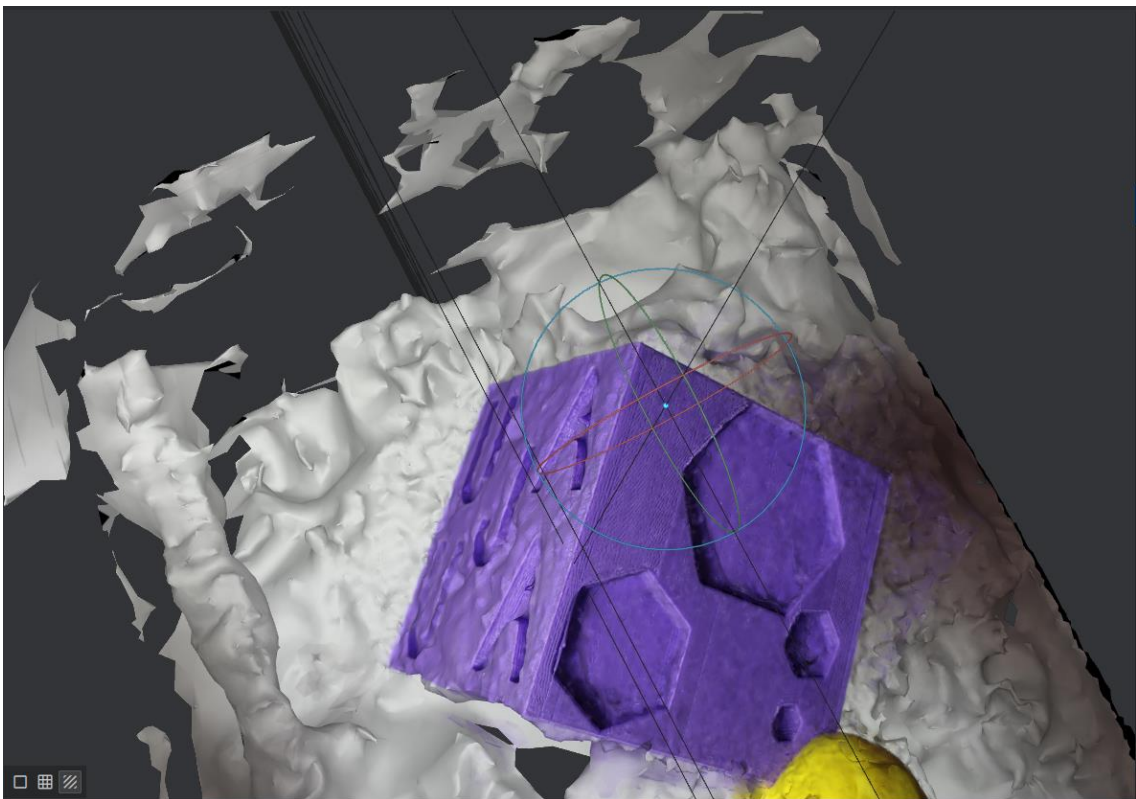


Ilustración 93: Solución vista 2 Cubo de lado 40 mm y orificios de 2 mm de profundidad

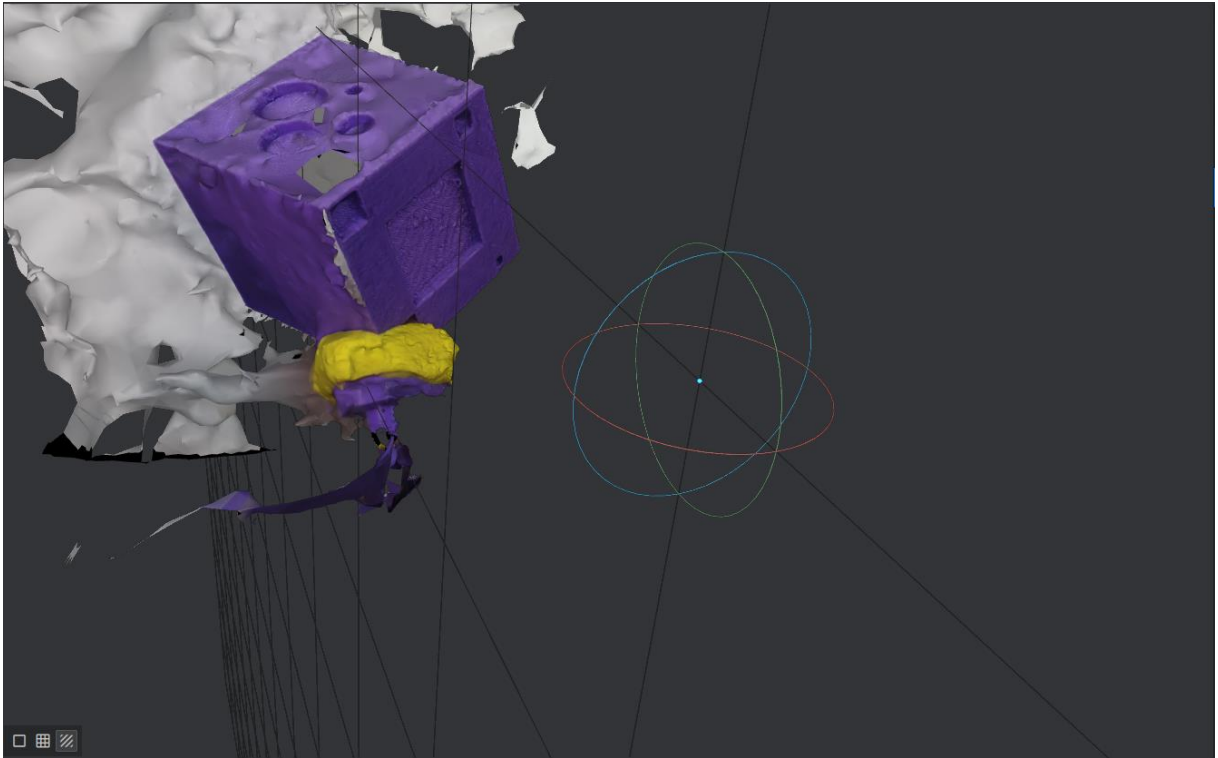


Ilustración 94: Solución vista 3 Cubo de lado 40 mm y orificios de 2 mm de profundidad

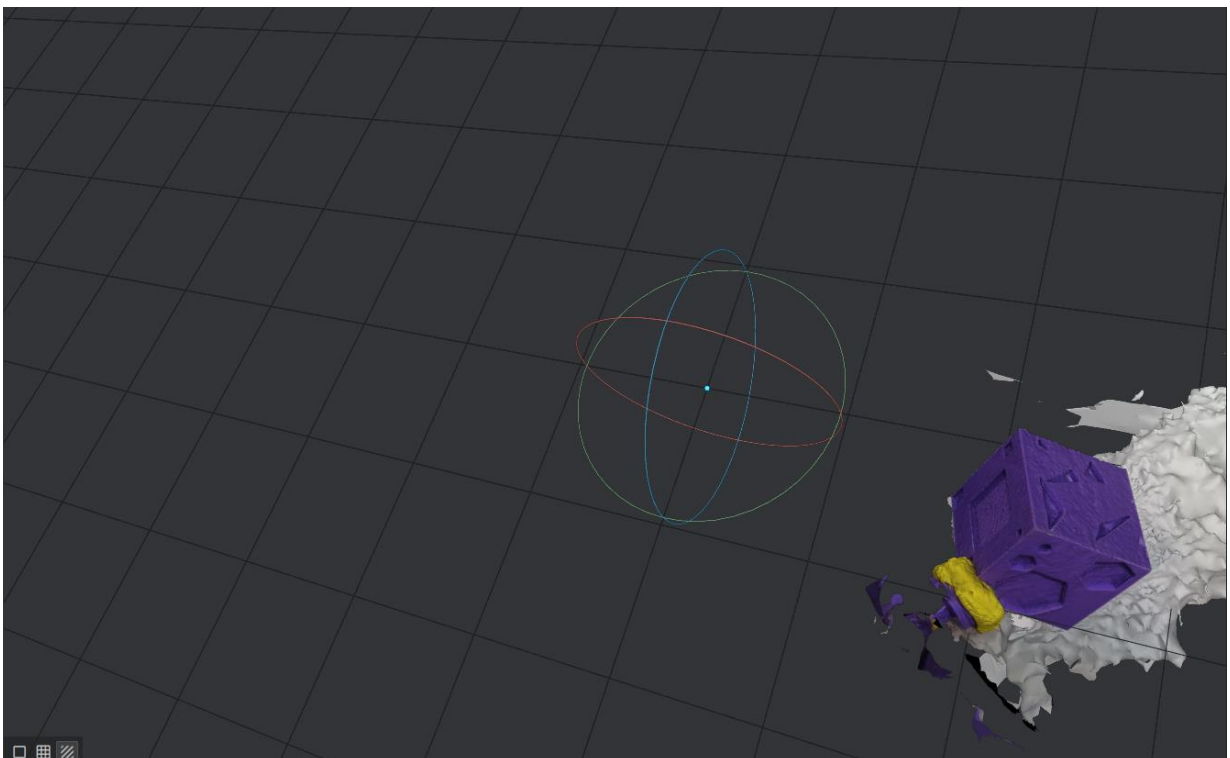


Ilustración 95: Solución vista 4 Cubo de lado 40 mm y orificios de 2 mm de profundidad

Para realizar este escaneado se ha utilizado un programa 32-5-50 esto quiere decir que se han realizado un total de 160 fotografías.

Se ha realiza ilustraciones de todo el cubo completo y se puede observar que se ha conseguido obtener todas las caras del cubo con sus respectivos orificios. Aunque en algunas caras la resolución y calidad no es excesivamente buena, en general la calidad de las superficies del sólido digital es aceptable. Las caras donde se encuentran los círculos y la palabra “UJA” son las de peor calidad, en el caso de la cara de cuadrados se puede apreciar perfectamente todos los desperfectos de la impresión producidos de la eliminación de soportes una vez se había terminado de imprimir el objeto. También existen defectos provocados durante el escaneado y procesamiento de datos, esto se puede observar en las ilustraciones en deformaciones del sólido digital que no corresponde con la realidad.

8.4.2. CUBO DE LADO 40 mm CON ORIFICIOS DE FIGURAS DE PROFUNDIDAD 5 mm

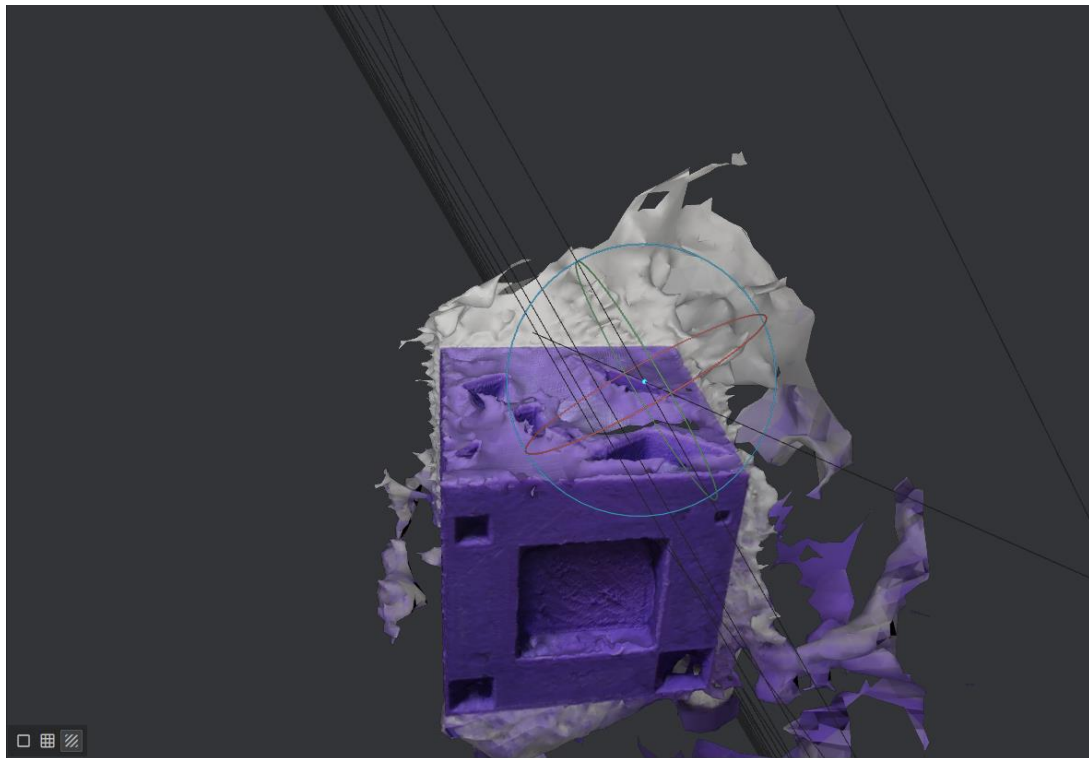


Ilustración 96: Solución vista 1 Cubo de lado 40 mm y orificios de 5 mm de profundidad

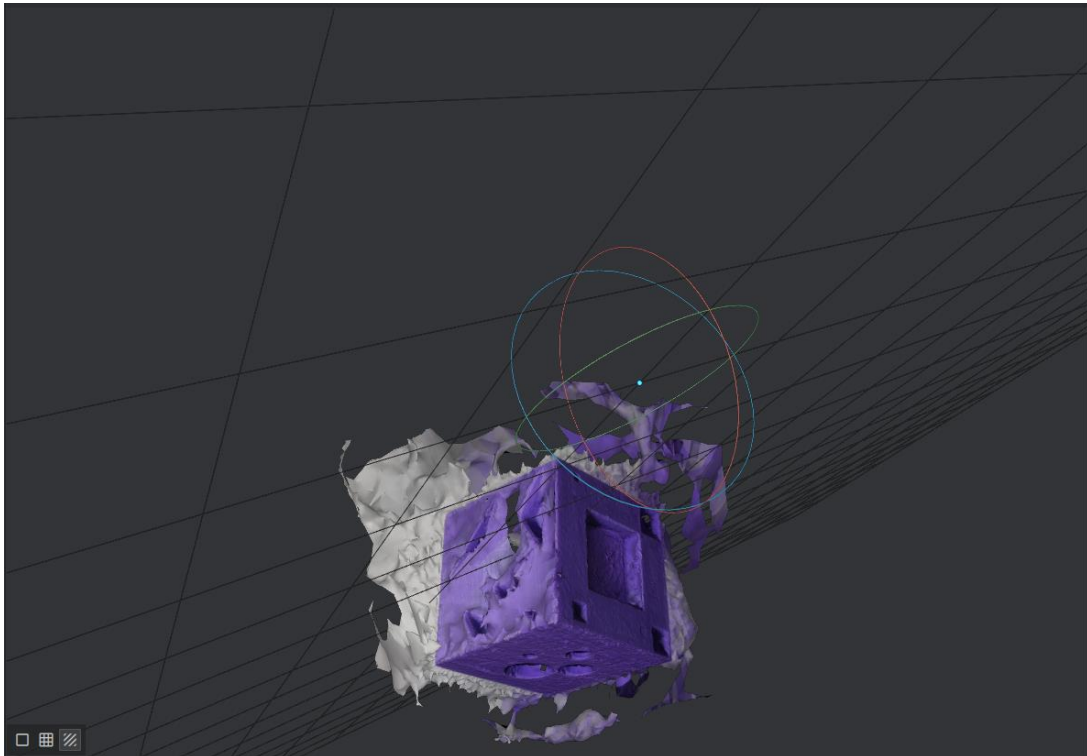


Ilustración 97: Solución vista 2 Cubo de lado 40 mm y orificios de 5 mm de profundidad

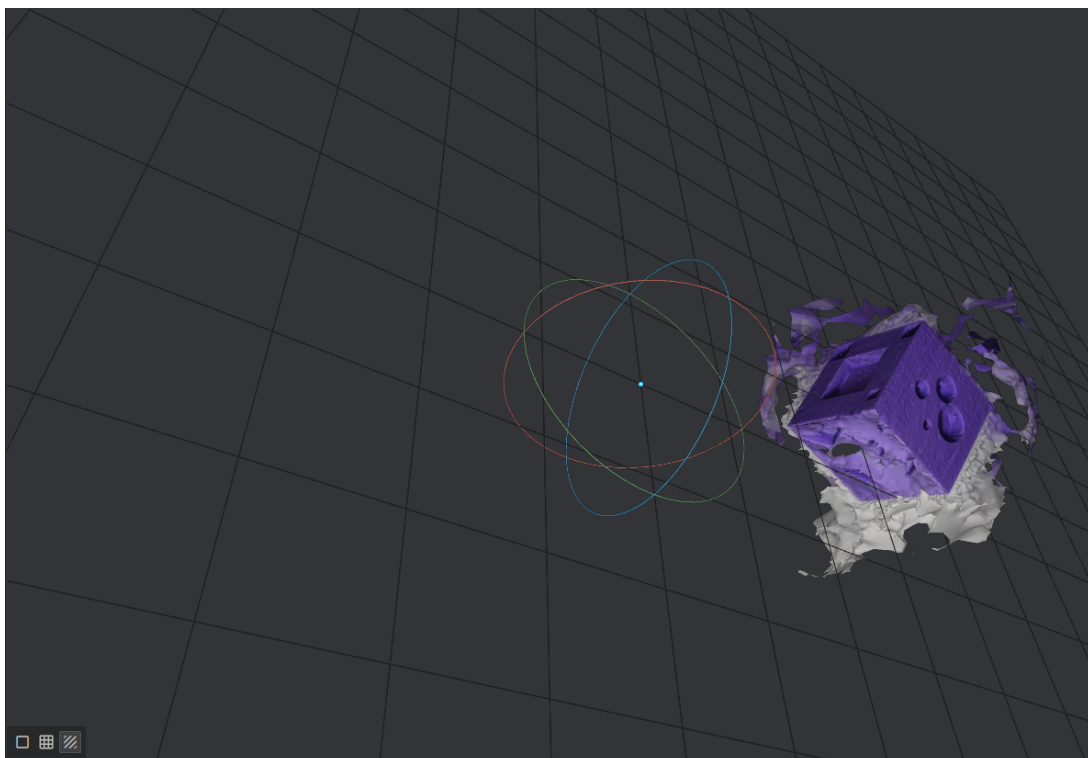


Ilustración 98: Solución vista 3 Cubo de lado 40 mm y orificios de 5 mm de profundidad

Para realizar este escaneado se ha utilizado un programa 32-5-50 esto quiere decir que se han realizado un total de 160 fotografías.

Se ha realiza ilustraciones de casi todo el cubo completo y se puede observar que se ha conseguido obtener unas pocas caras del cubo. Aunque las caras que han conseguido ser escaneadas la resolución y calidad es buena. Como se puede observar en las ilustraciones, las caras que ha sido posible escanear son las de cuadrados y círculos, aquí se puede observar que se ha conseguido realizar la finalidad de esta prueba, ya que se ha conseguido escanear los orificios con una calidad muy buena, incluso se puede apreciar los desperfectos de la impresión producidos de la eliminación de soportes una vez se había terminado de imprimir el objeto en la cara de los cuadrados. El escaneado también empeora por la cantidad de suciedad existente provocada por el fondo.

8.5. CONO DE BASE CUADRADA DE LADO 40 mm Y ALTURA 80 mm

Se han fabricado un cono de base cuadrada de lado 40 milímetros y altura 80 milímetros en la impresora 3D. En esta prueba se quiere conocer si el escáner 3D será capaz de realizar las fotografías automáticamente del objeto correctamente y el programa de procesado de datos será capaz de procesar correctamente la información de un objeto con caras planas inclinadas idénticas por todas sus vistas, acabadas en punta y con aristas vivas.

Observación: El cono al ser imprimido posee defectos superficiales de impresión

En las siguientes ilustraciones se va a exponer las 3 soluciones obtenidas del escaneado y procesado del objeto sólido, ya que tras una gran cantidad de intentos estas han sido las mejores soluciones obtenidas. En ninguno de los casos se ha conseguido finalizar el proceso de procesado de datos, se ha intentado cambiar la distancia de realización de fotografías, posición y cantidad de luz, utilizar luz natural, artificial o ambas y programas de escaneado. Los mejores resultados obtenidos con sus respectivos programas de escaneado se muestran a continuación:

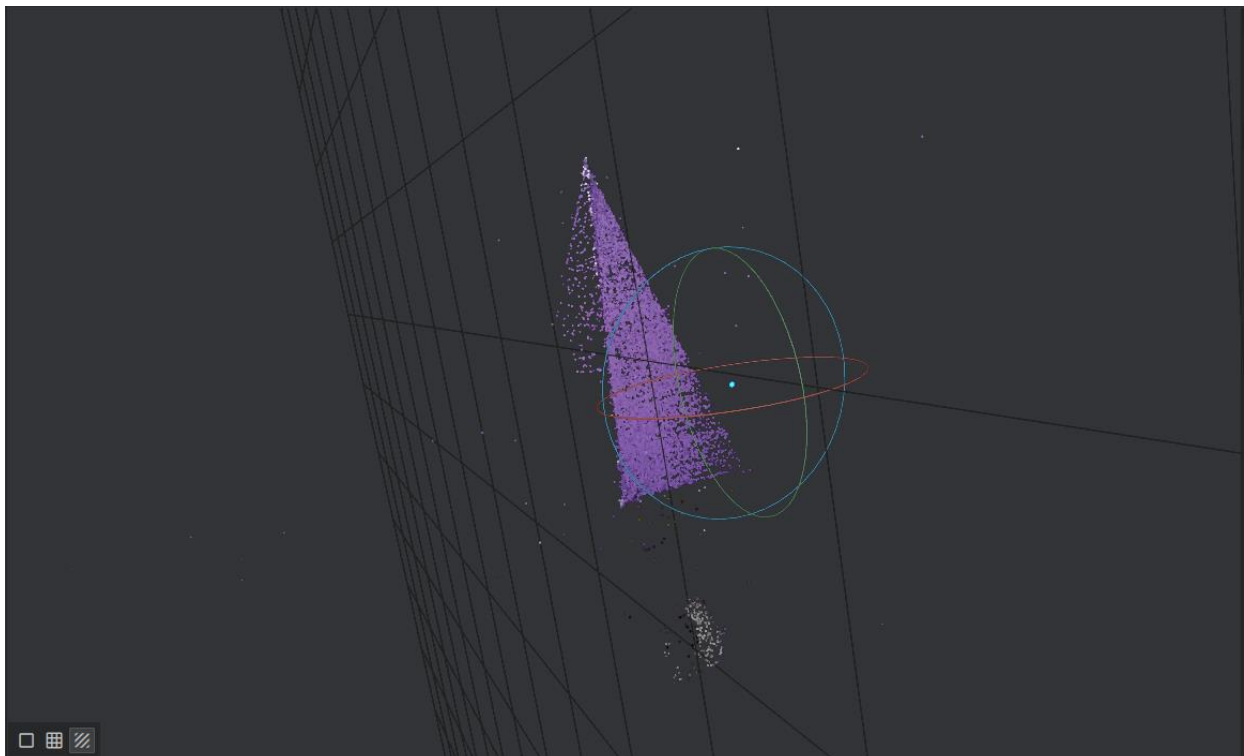


Ilustración 99: Solución 1 Cono de base cuadrada de lado 40 mm y altura 80 mm

Para realizar este escaneado se ha utilizado un programa 32-7-75 esto quiere decir que se han realizado un total de 224 fotografías.

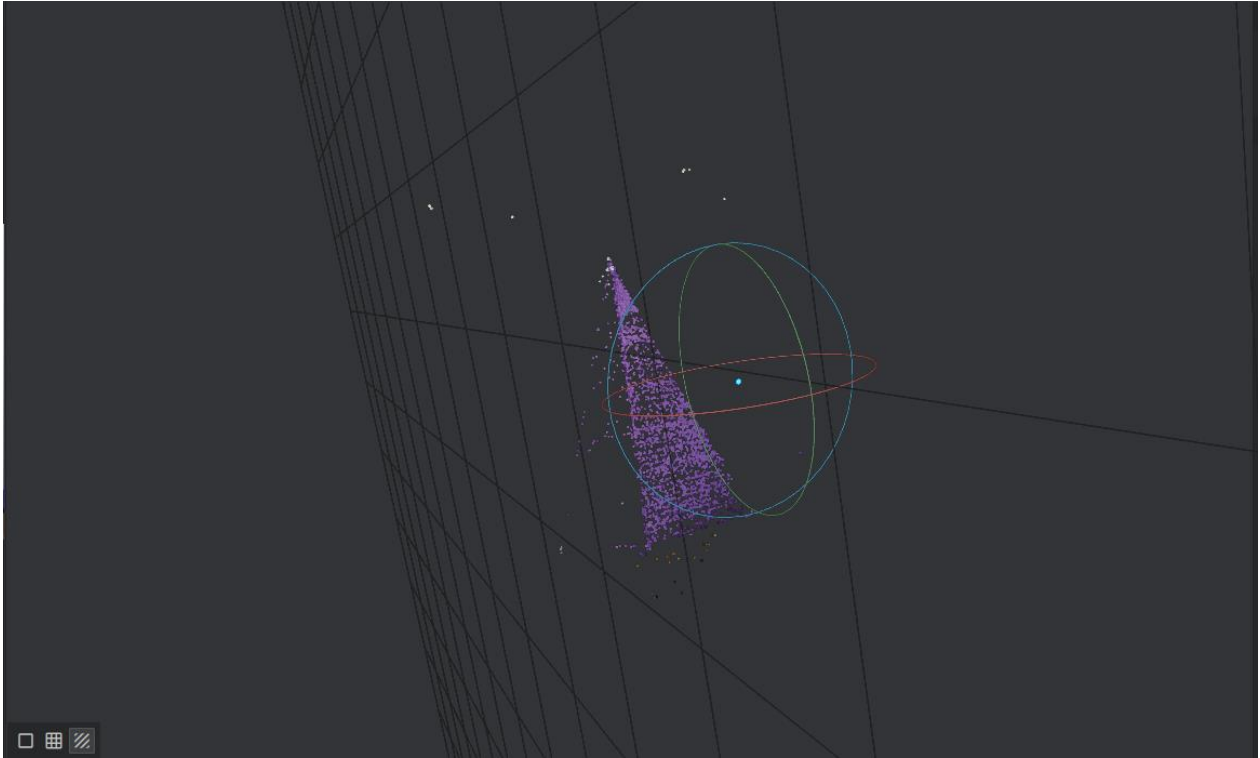


Ilustración 100: Solución 2 Cono de base cuadrada de lado 40 mm y altura 80 mm

Para realizar este escaneado se ha utilizado un programa 32-5-50 esto quiere decir que se han realizado un total de 160 fotografías.

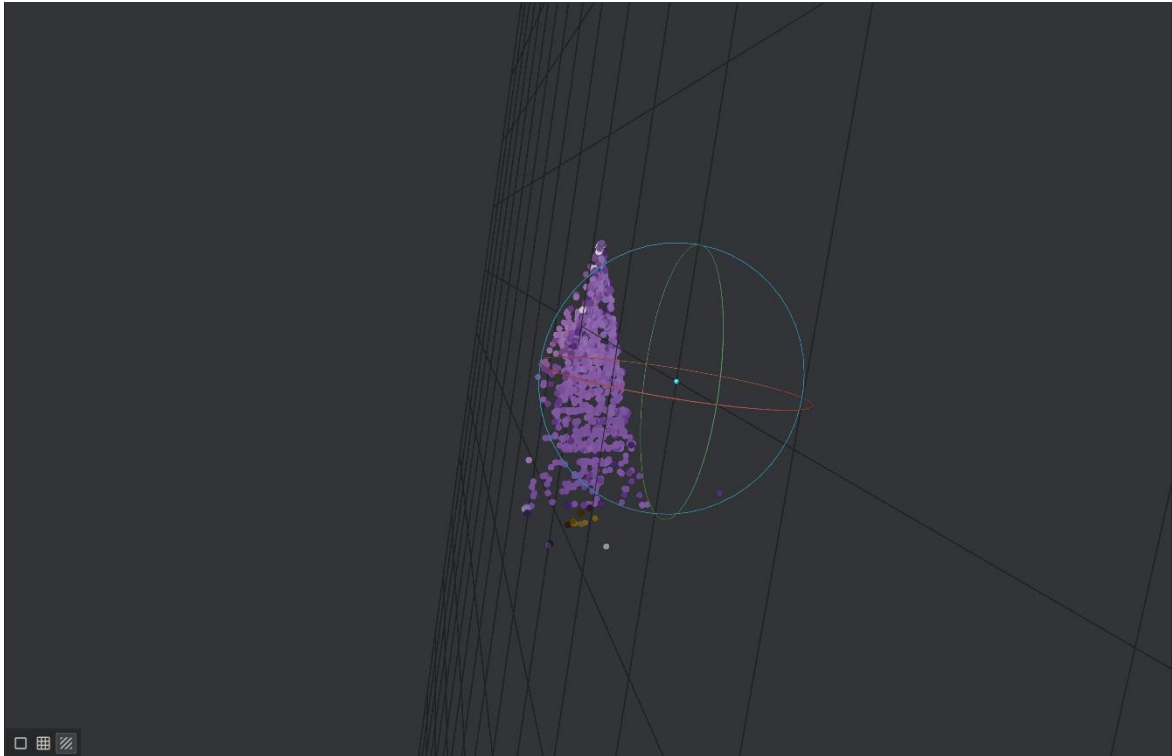


Ilustración 101: Solución 3 Cono de base cuadrada de lado 40 mm y altura 80 mm

Para realizar este escaneado se ha utilizado un programa 32-5-75 esto quiere decir que se han realizado un total de 160 fotografías.

8.6. CONO DE BASE CIRCULAR DE DIAMETRO 40 mm Y ALTURA 80 mm

Se han fabricado un cono de circular de diámetro 40 milímetros y altura 80 milímetros en la impresora 3D. En esta prueba se quiere conocer si el escáner 3D será capaz de realizar las fotografías automáticamente del objeto correctamente y el programa de procesado de datos será capaz de procesar correctamente la información de un objeto con una sola cara inclinada, acabadas en punta y con todas sus vistas exactamente iguales.

Observación: El cono al ser imprimido posee defectos superficiales de impresión

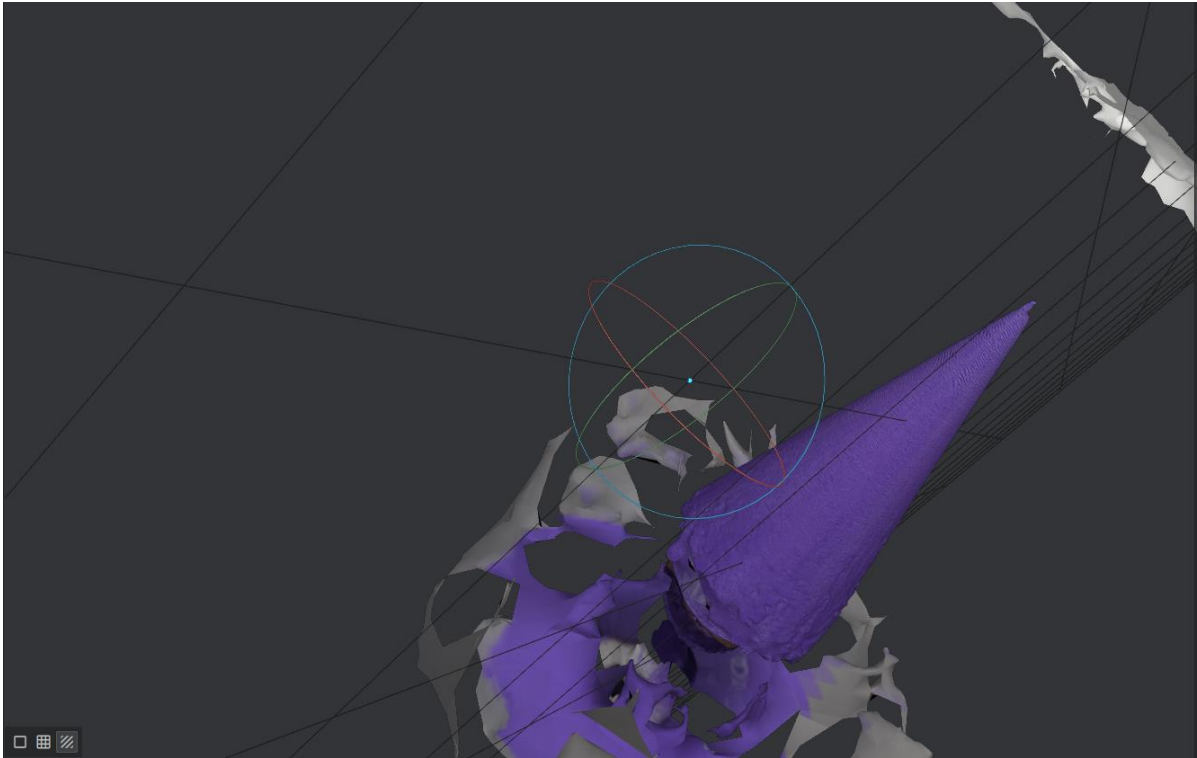


Ilustración 102: Solución vista 1 Cono de base circular de diámetro 40 mm y altura 80 mm

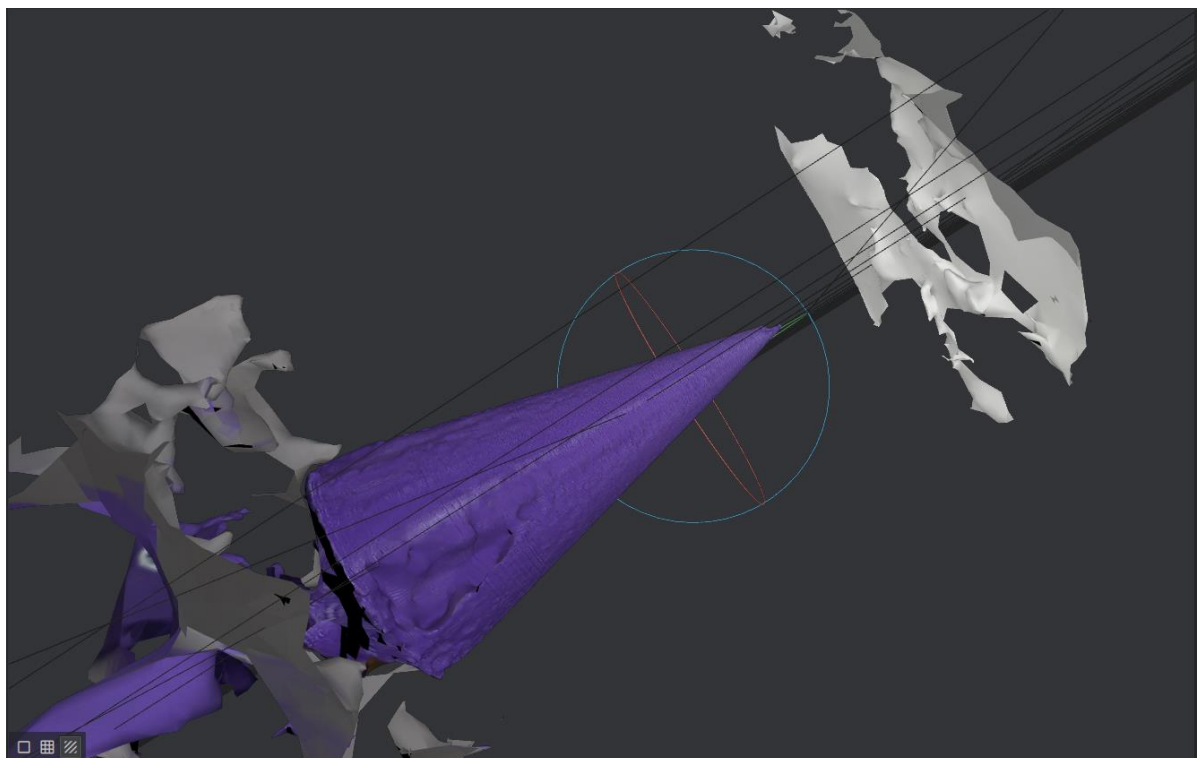


Ilustración 103: Solución vista 2 Cono de base circular de diámetro 40 mm y altura 80 mm

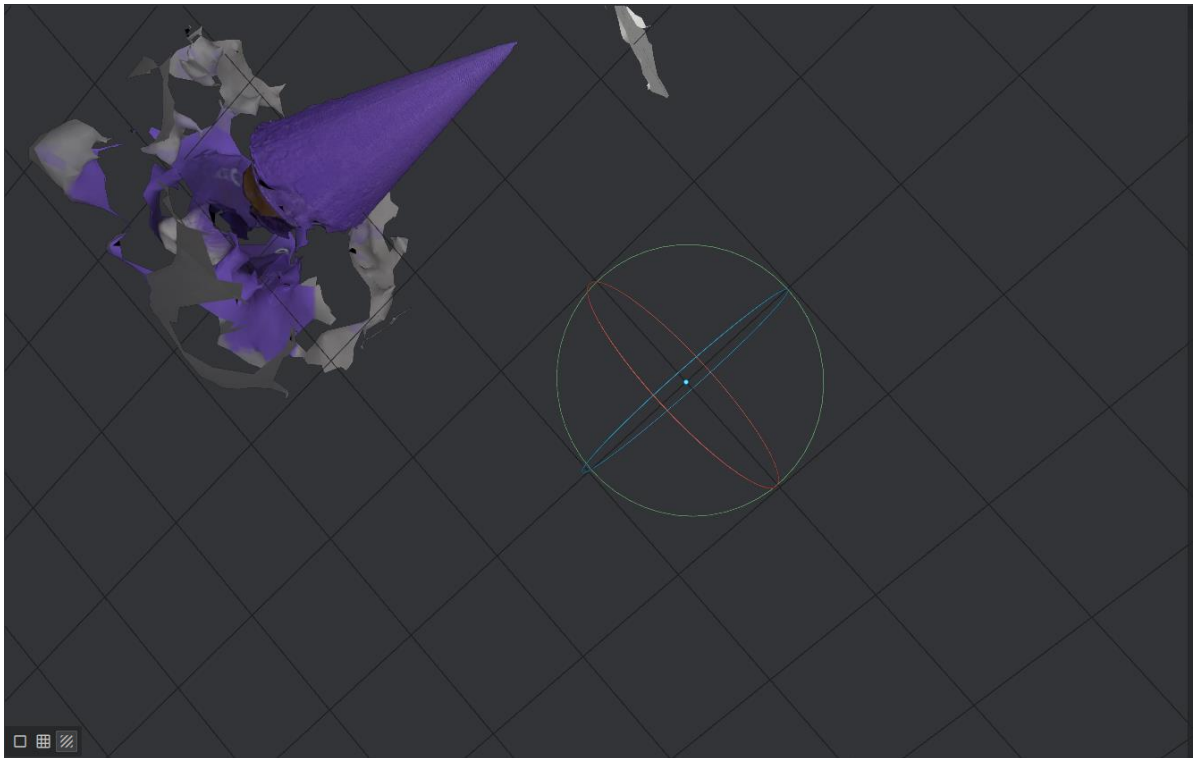


Ilustración 104: Solución vista 3 Cono de base circular de diámetro 40 mm y altura 80 mm

Para realizar este escaneado se ha utilizado un programa 32-5-50 esto quiere decir que se han realizado un total de 160 fotografías.

Se ha realiza ilustraciones de todo el cono completo y se puede observar que se ha conseguido obtener el sólido completo. Aunque en la base tenga deformaciones la resolución y calidad del sólido digital es muy buena, se puede apreciar incluso las diferentes capas de impresión realizadas durante la fabricación del objeto. Como se ha comentado anteriormente, existen defectos provocados durante el escaneado y procesamiento de datos, esto se puede observar en las ilustraciones en deformaciones del sólido digital que no corresponde con la realidad y un poco de suciedad provocada por el fondo.

8.7. FIGURAS DE ANIMALES

Se han fabricado tres figuras de animales con una complejidad elevada para comprobar si el escáner 3D será capaz de realizar las fotografías automáticamente del objeto correctamente y el programa de procesamiento de datos será capaz de procesar correctamente la información de un objeto con superficies totalmente irregulares y de alto detalle.

8.7.1. PERRO

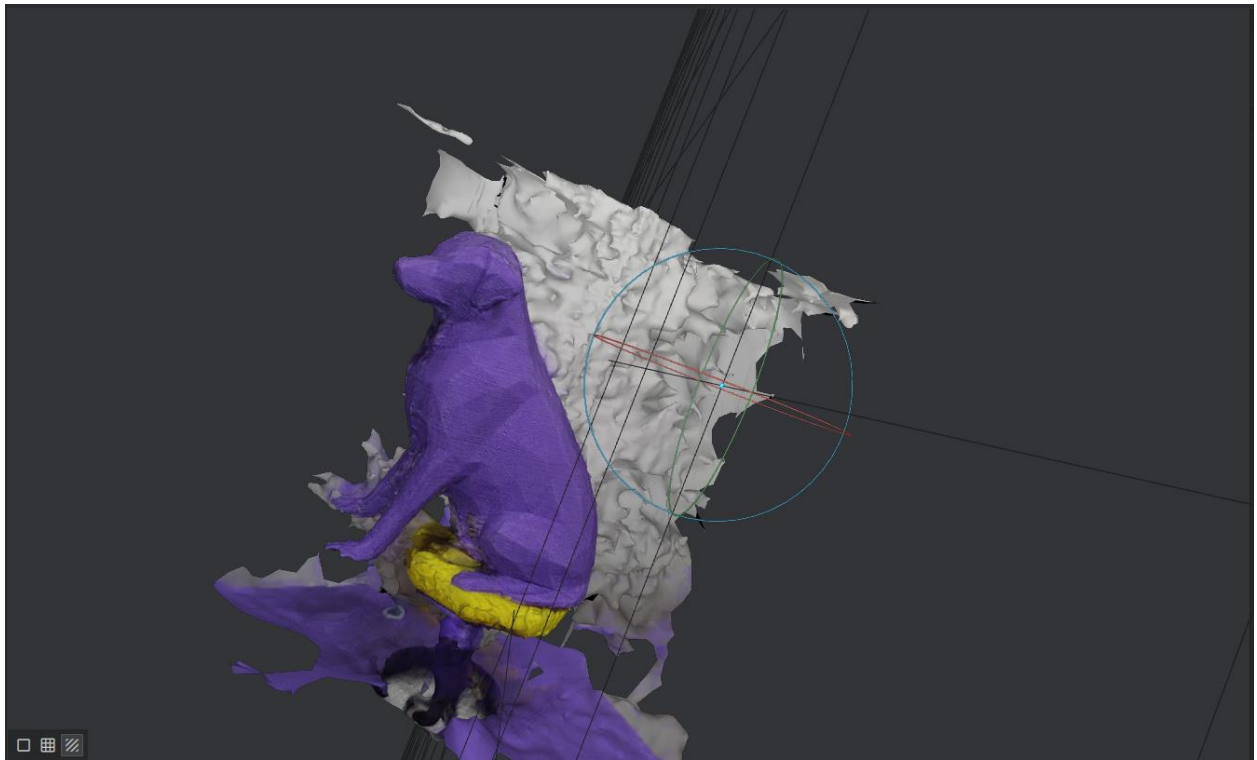


Ilustración 105: Solución vista 1 Perro

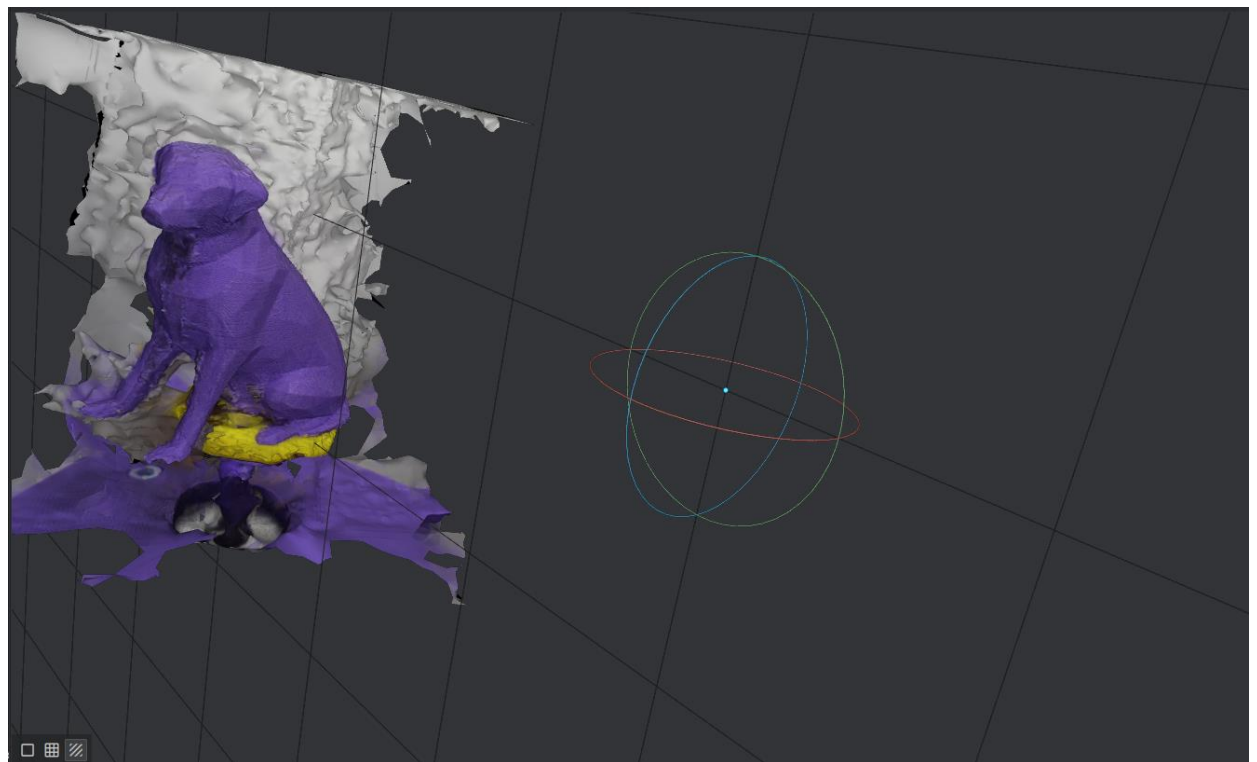


Ilustración 106: Solución vista 2 Perro

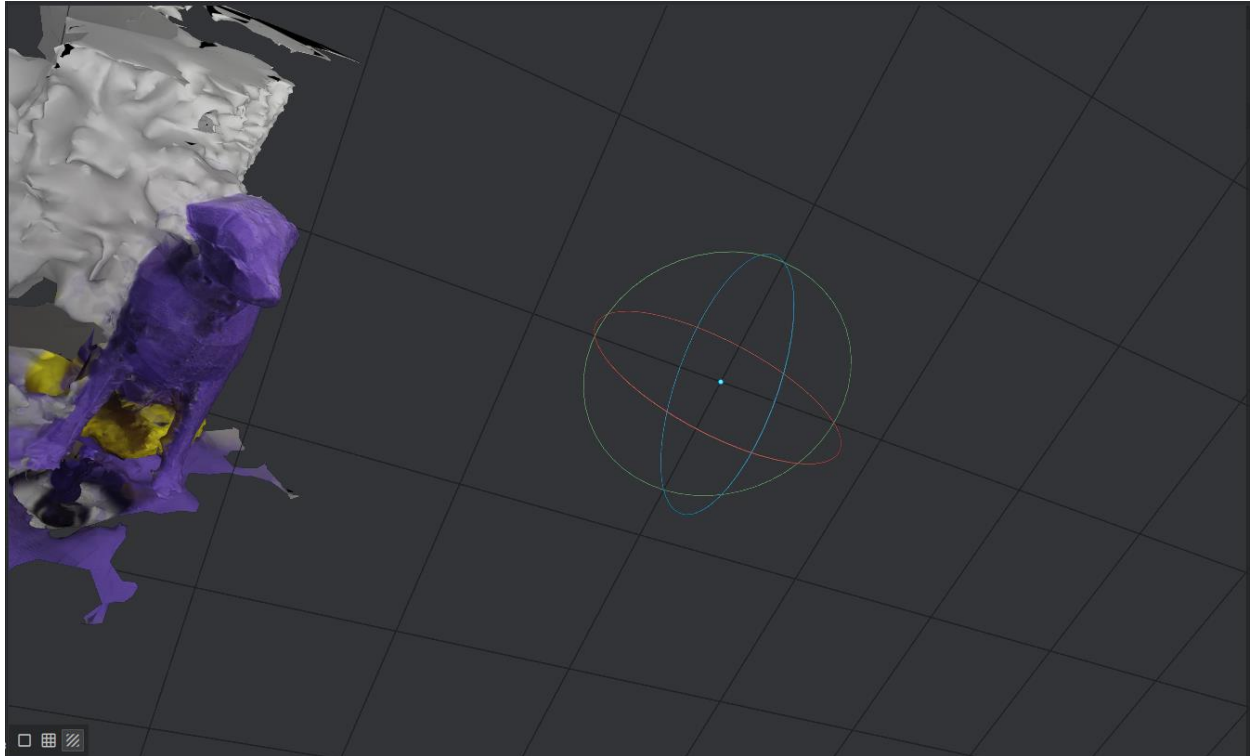


Ilustración 107: Solución vista 3 Perro

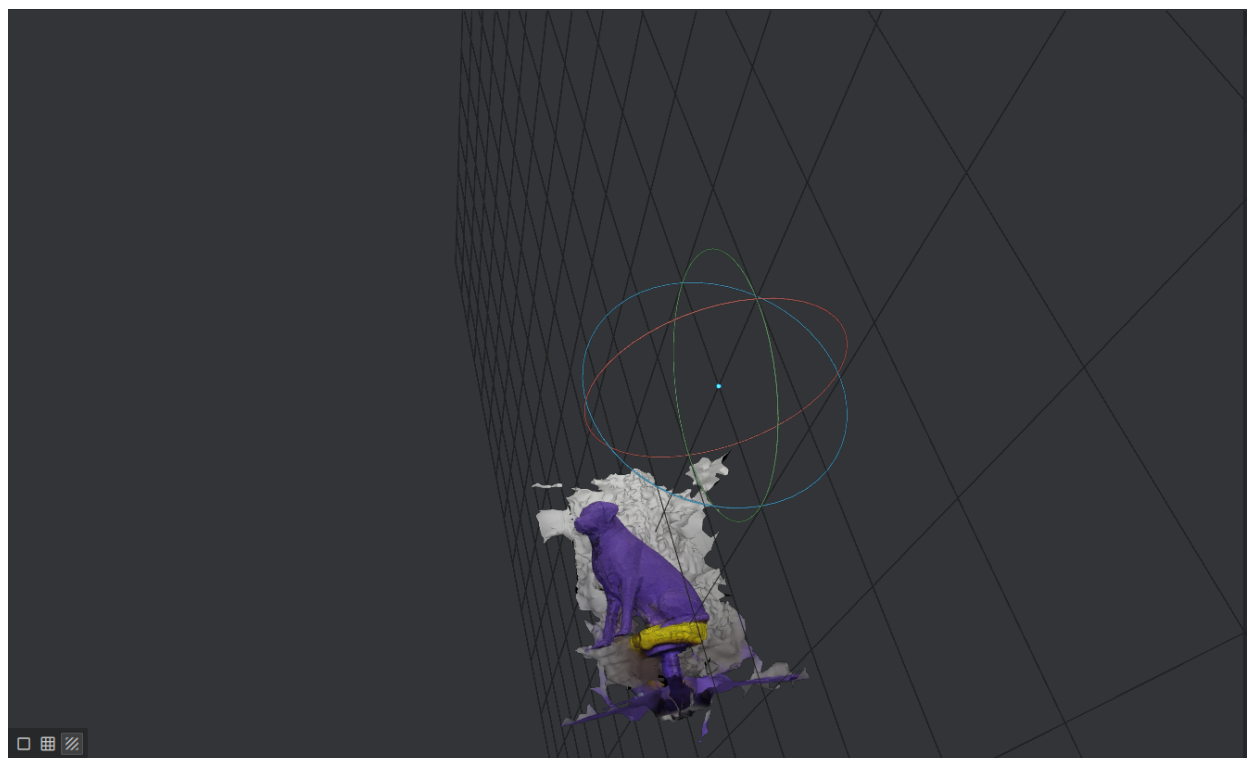


Ilustración 108: Solución vista 4 Perro

Para realizar este escaneado se ha utilizado un programa 32-5-50 esto quiere decir que se han realizado un total de 160 fotografías.

Se ha realiza ilustraciones de toda la figura del perro completo y se puede observar que se ha conseguido obtener el sólido completo. Aunque exista mucha suciedad de fondo y algunas partes del sólido digital no sean de tan buena calidad, en general el objeto tiene una muy buena calidad y precisión. Se puede apreciar incluso las diferentes capas de impresión realizadas durante la fabricación del objeto y los desperfectos de impresión al finalizar una capa. Como se ha comentado anteriormente, existen defectos provocados durante el escaneado y procesamiento de datos, esto se puede observar en las ilustraciones en deformaciones del sólido digital que no corresponde con la realidad y suciedad provocada por el fondo.

8.7.2. CIERVO

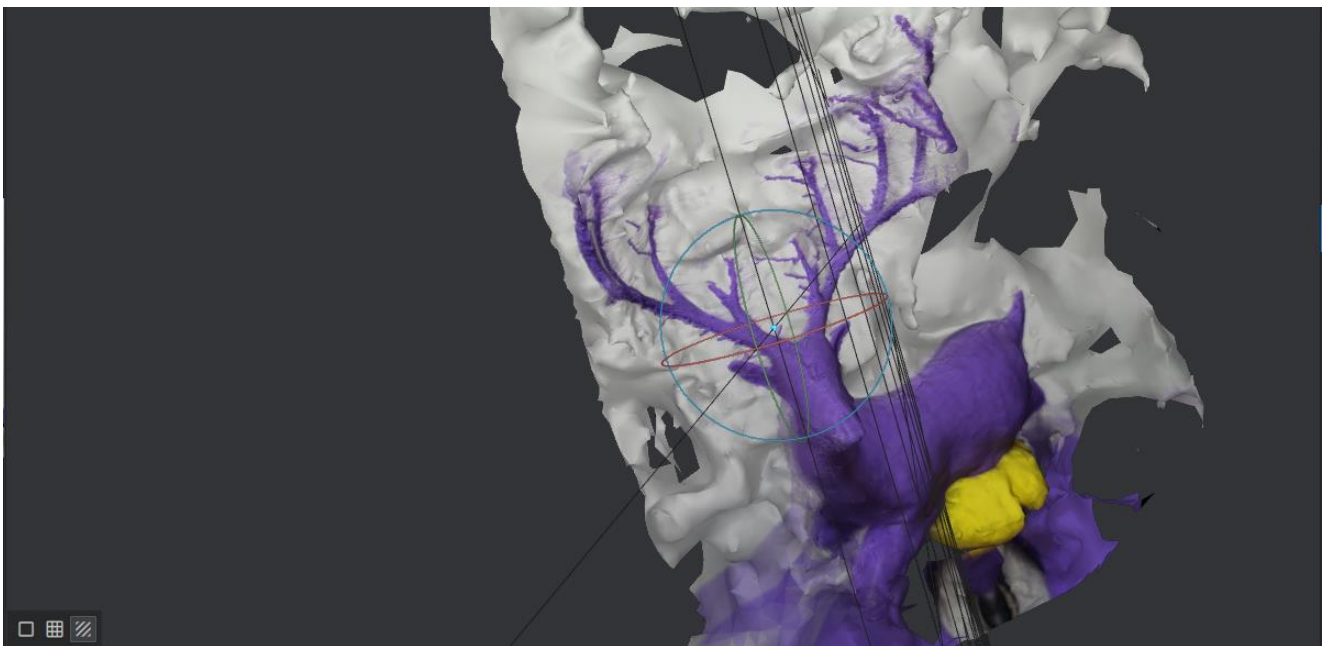


Ilustración 109: Solución vista 1 Ciervo

Para realizar este escaneado se ha utilizado un programa 32-5-50 esto quiere decir que se han realizado un total de 160 fotografías.

Se puede observar que se ha conseguido obtener el sólido con una calidad no muy buena. Aunque se ha conseguido el principal objetivo que se tenía para escanear esta figura, escanear los cuernos del ciervo, los cuales son excesivamente finos y por defectos de impresión durante su fabricación se habían producido muchos hilos que también se han conseguido escanear. El resto de la figura tiene la misma complejidad que la figura anterior del perro. En esta solución existen defectos provocados durante el escaneado y procesamiento de datos, esto se puede observar en las ilustraciones en deformaciones del sólido digital que no corresponde con la realidad y mucha suciedad provocada por el fondo.

8.7.3. LEÓN

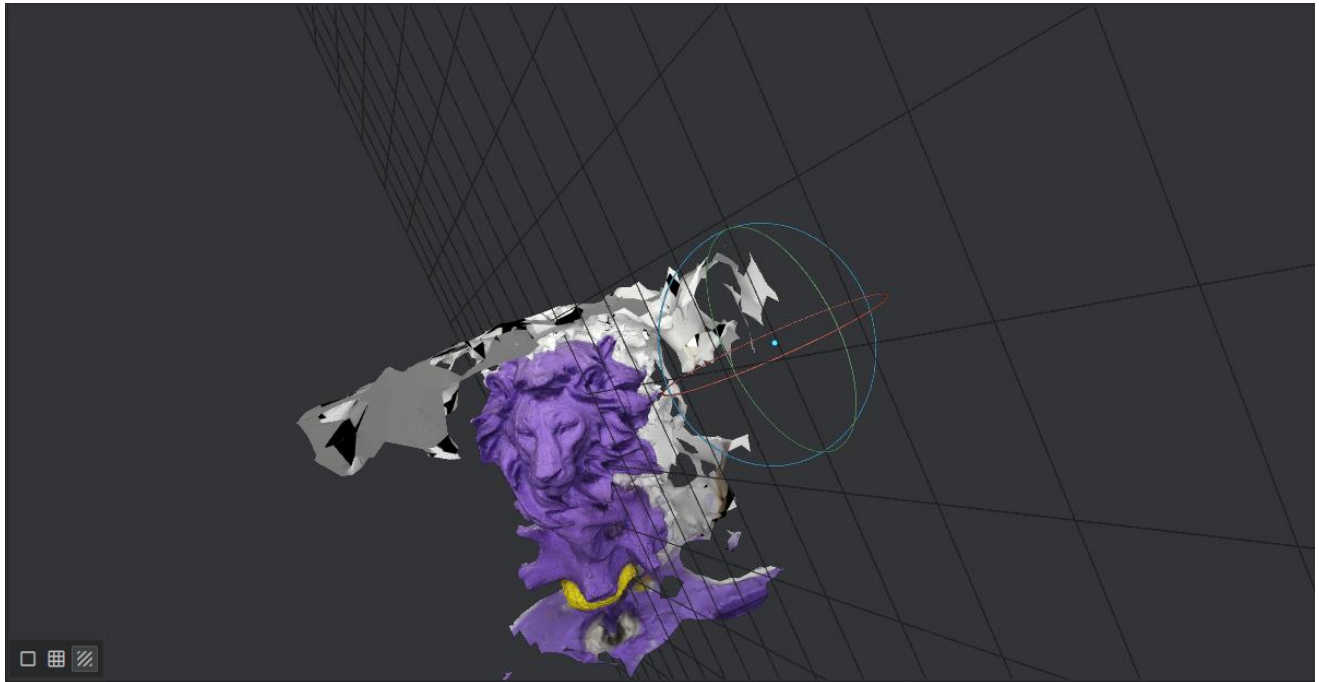


Ilustración 110: Solución vista 1 León

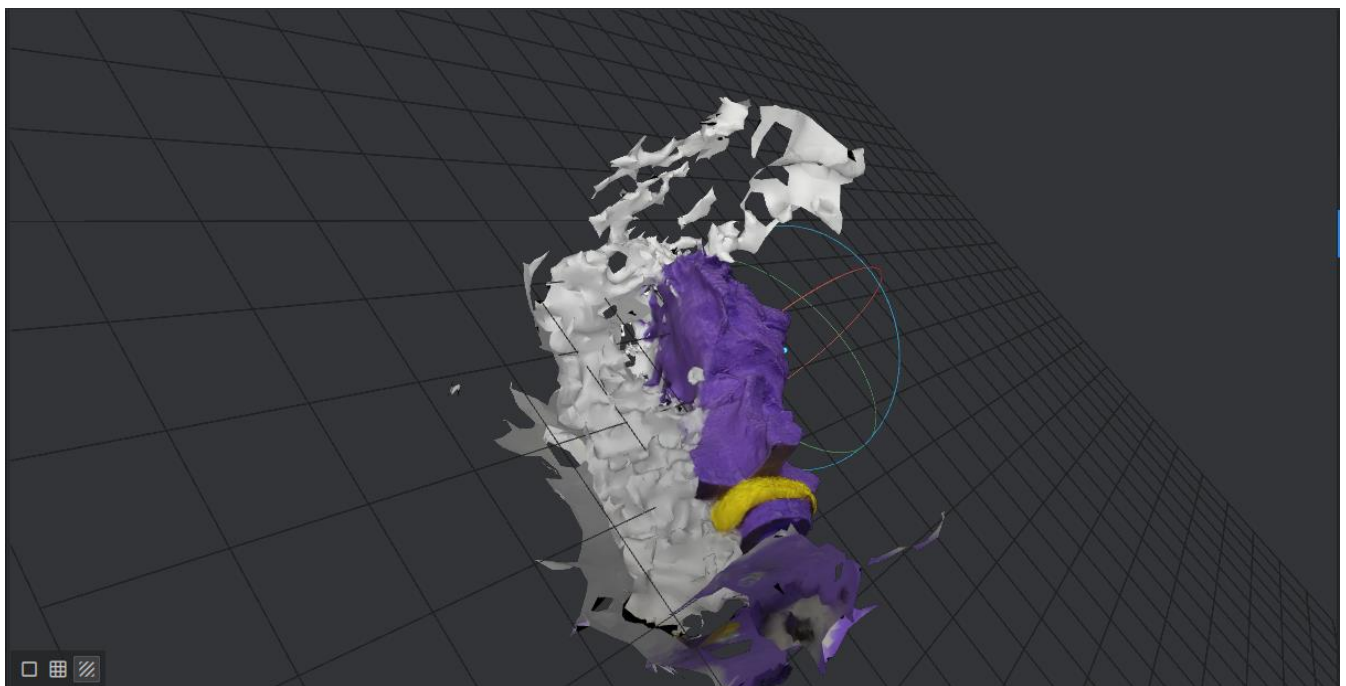


Ilustración 111: Solución vista 2 León

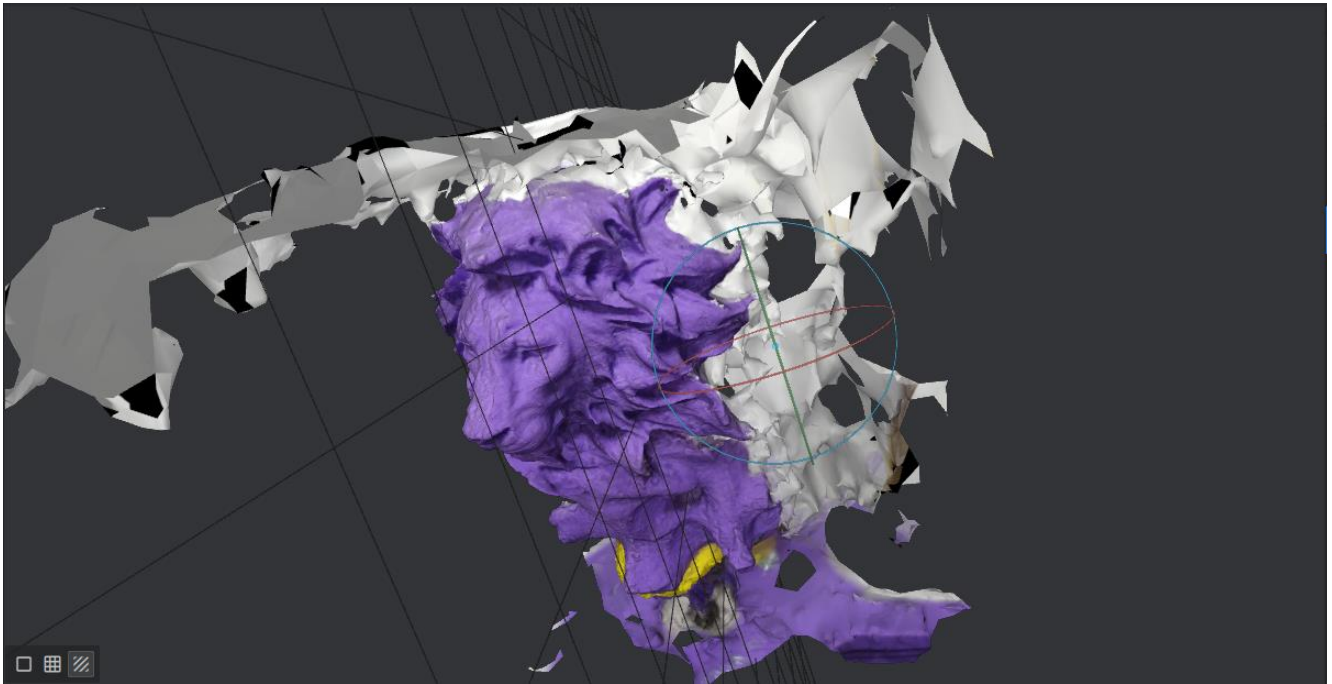


Ilustración 112: Solución vista 3 León

Para realizar este escaneado se ha utilizado un programa 32-5-50 esto quiere decir que se han realizado un total de 160 fotografías.

Se ha realiza ilustraciones de toda la figura del león completo y se puede observar que se ha conseguido obtener el sólido completo. Aunque exista mucha suciedad de fondo el objeto tiene una muy buena calidad y precisión, ya que se pueden apreciar todos los detalles del objeto. Como se ha comentado anteriormente, existen defectos provocados durante el escaneado y procesamiento de datos, esto se puede observar en las ilustraciones con la gran cantidad de suciedad provocada por el fondo.

8.8. COMPONENTE DE UNA PINZA DE LA ROPA

Se ha escogido el componente de madera de una pinza de la ropa como elemento a escanear. La elección se debe a tres factores, el primero es que es un objeto no brillante y, por lo tanto, más fácil de procesar las fotografías que se le realicen, el segundo es que tiene un color diferente al resto de objetos escaneados anteriormente, incluso tiene una pequeña marca de color gris provocado por un muelle metálico y tercero un tamaño ideal para realizar el escaneado. En esta prueba se quiere comprobar si el escáner 3D será capaz de realizar las fotografías automáticamente del objeto correctamente y el programa de procesamiento de datos será capaz de procesar correctamente la información de un objeto cotidiano con diferentes colores.

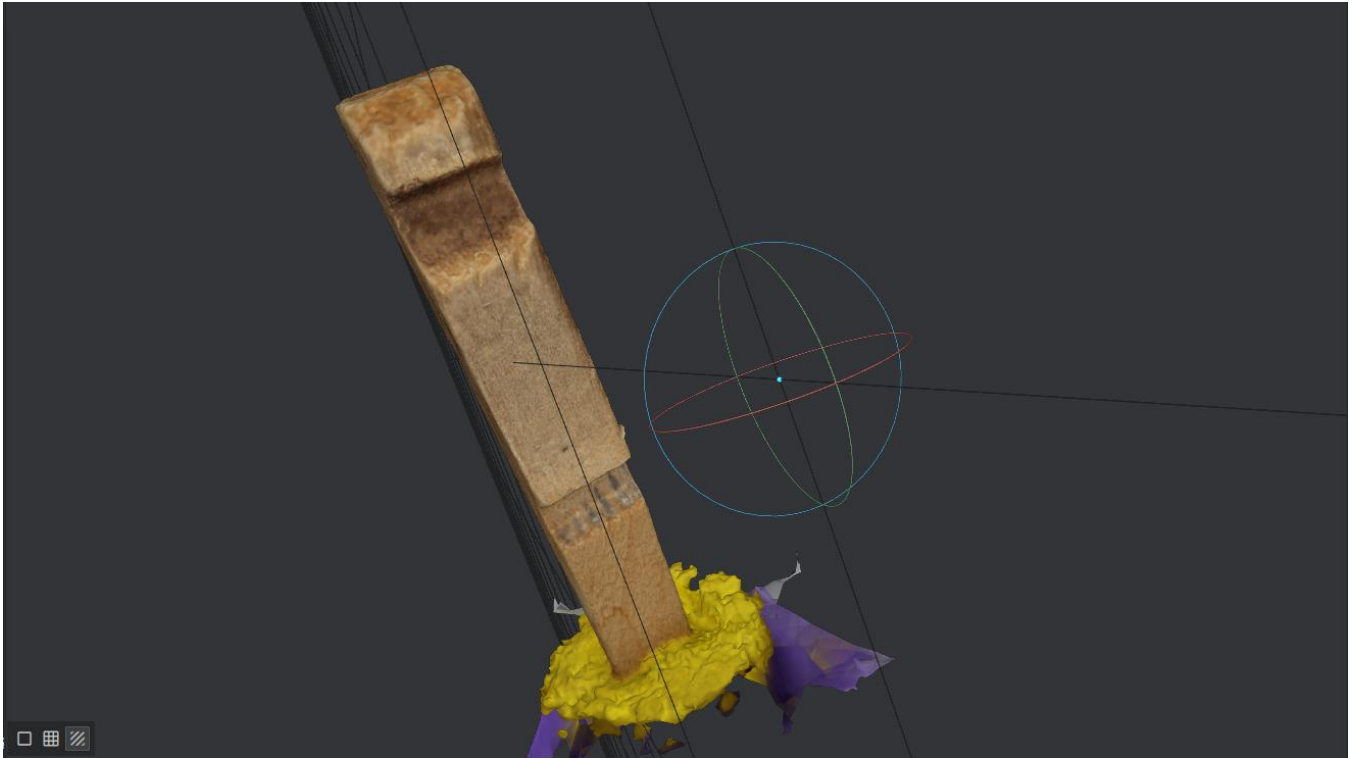


Ilustración 113: Solución vista 1 Pinza de la ropa

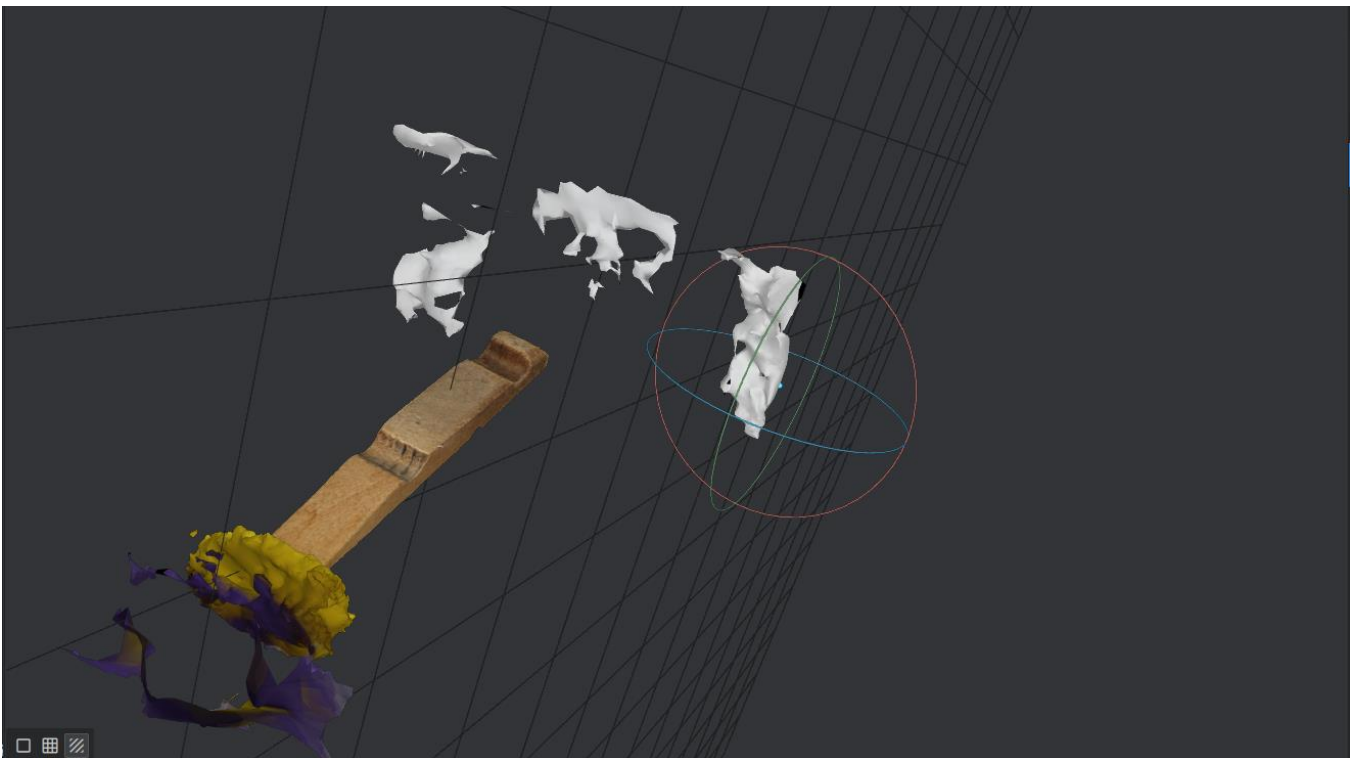


Ilustración 114: Solución vista 2 Pinza de la ropa

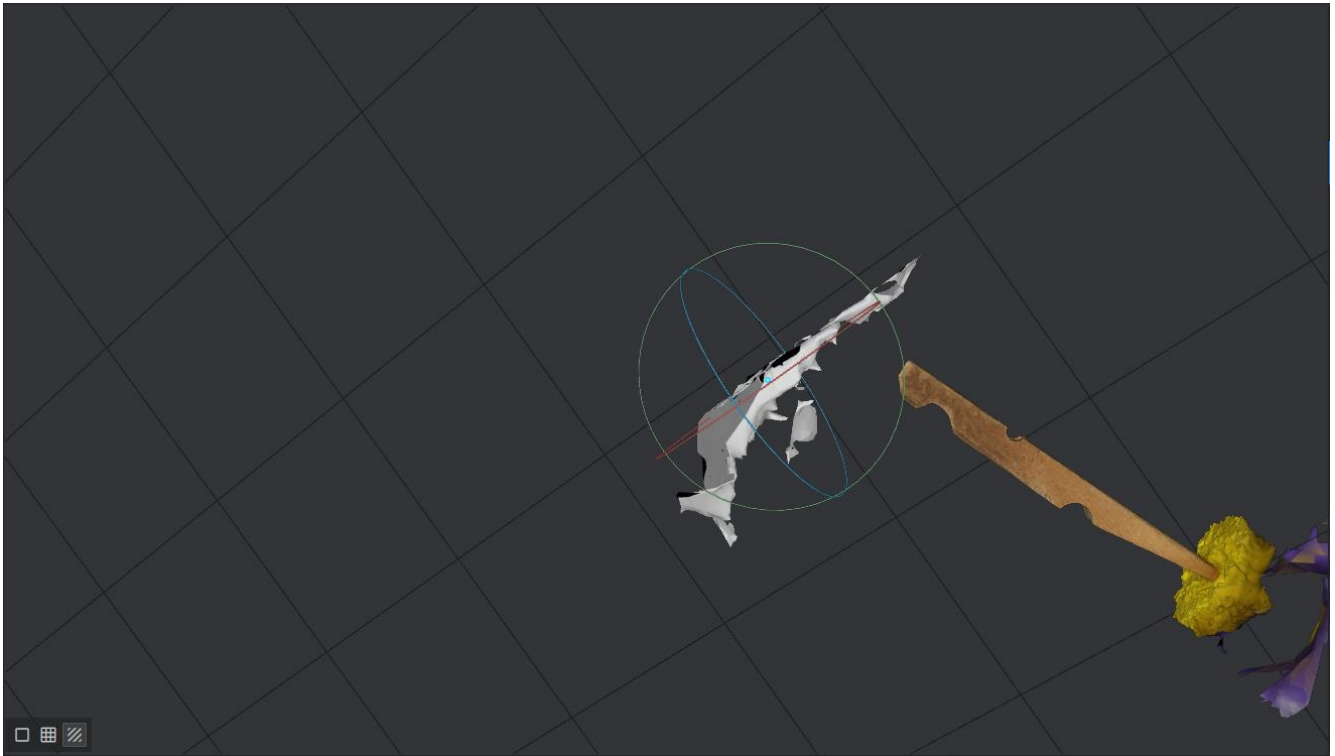


Ilustración 115: Solución vista 3 Pinza de la ropa

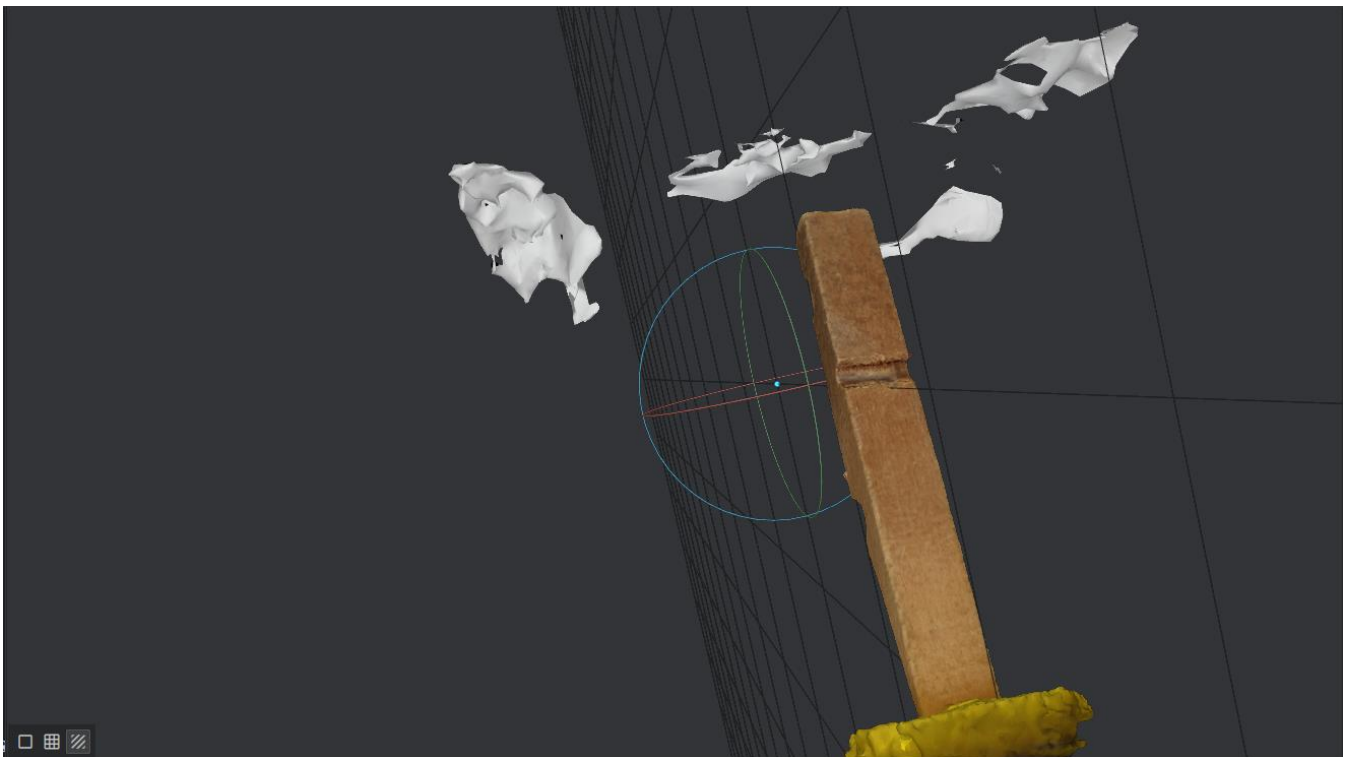


Ilustración 116: Solución vista 4 Pinza de la ropa

Para realizar este escaneado se ha utilizado un programa 32-5-50 esto quiere decir que se han realizado un total de 160 fotografías.

Se ha realiza ilustraciones de todo el componente de la pinza de la ropa completo y se puede observar que se ha conseguido obtener el sólido completo y unos excelentes resultados. Aunque exista una poca suciedad de fondo, el objeto, aunque es simple se ha conseguido obtener una precisión y una calidad excelentes, ya que se pueden apreciar todos los detalles de este. Se ha captado perfectamente los diferentes colores que tiene incluso el color gris dejado por el muelle metálico.

9. CONCLUSIONES

En la actualidad, el coste de fabricar un escáner 3D automatizado en comparación con el precio de los escáneres comerciales es muy inferior, teniendo en cuenta los resultados positivos que se han obtenido del escaneado de objetos, sería una muy buena alternativa fabricarse uno para uso personal. Hay que tener en cuenta que para conseguir fabricar uno se deben tener conocimientos de programación, fabricación aditiva, calibración y ajuste, montaje de componentes tanto electrónicos como estructurales y otros muchos conocimientos. Además, se necesita una impresora 3D para poder fabricar los componentes estructurales y un ordenador.

En relación a algunos resultados negativos que se han obtenido en el escaneado de objetos, se tiene que tener en cuenta que para realizar este proyecto se ha utilizado como fondo un folio A3 pegado a una pared, un flexo de estudio como fuente de iluminación, un teléfono móvil Samsung Galaxy S10 como cámara fotográfica y un software gratuito (Meshroom) como procesador de datos. Si se quiere mejorar los resultados de escaneado en gran medida se debería utilizar un fondo que no sea captado por la cámara fotográfica, es decir, que no provoque brillo ni sombras, unas fuentes de iluminación profesionales que no produzcan brillo en el objeto, una cámara fotográfica profesional de alta calidad y resolución y un software con mejor procesamiento de datos (debería ser de pago).

El escáner 3D, con el material de iluminación y de fotografía anteriormente mencionado, y el procesador de datos son capaces de escanear objetos completamente esféricos, aristas vivas, aristas redondeadas, orificios de diferentes profundidades y formas, caras inclinadas, elementos terminados en punta, objetos con una complejidad superficial elevada, objetos con diferentes colores y texturas. Aunque también tiene defectos ya que no es capaz de escanear correctamente objetos donde todas sus vistas son muy similares, objetos que son demasiados pequeños y objetos que son demasiados grandes con respecto a unas dimensiones de referencia. Como se ha explicado en el párrafo anterior, estos problemas se pueden solucionar o mejorar la calidad de los resultados utilizando otro tipo de instrumentación.

Con este proyecto se ha demostrado que es posible conseguir o construir un escáner 3D totalmente funcional y automatizado con un coste muy reducido, teniendo la posibilidad cualquier persona con conocimientos de ingeniería de poder reproducir en formato digital una gran cantidad de objetos con unas dimensiones determinadas. Incluso de poder reproducir en formato físico una copia de estos objetos, hay que tener en cuenta que para realizar esto se necesita una impresora 3D para fabricar los objetos en formato físico.

Tras realizar este proyecto se pueden adquirir una grandísima cantidad de conocimientos de diferentes ámbitos estos son programación en Arduino, montaje de dispositivos electrónicos, utilización de programas CAD-CAM, utilización de programas de impresión 3D, fabricación aditiva, montaje de elementos estructurales, utilización de programas para crear composiciones tridimensionales a través de la fotogrametría y realizar la digitalización de objetos.

Digitalizar un sólido no es una tarea simple como se ha podido observar en los diferentes apartados y el procesamiento de las fotografías realizadas del objeto tarda una cantidad de tiempo considerable, esto dependerá de la cantidad de fotografías a analizar, puede durar horas. Teniendo en cuenta todo esto, a la hora de querer generar un sólido digital utilizando como referencia un sólido físico se debe valorar si es más fácil obtener medidas con un pie de rey y posteriormente utilizar un programa CAD-CAM utilizando estas medidas o digitalizar el objeto físico utilizando el escáner 3D.

10. TRABAJOS A FUTURO

Para trabajos a futuro sería interesante comprobar los límites de este escáner para escanear objetos de grandes dimensiones. Uno de los componentes imprimidos y que no se han utilizado en este proyecto es la “Base giratoria versión grande 35 cm versión Paul” esta sirve para poder escanear objetos con unas mayores dimensiones que con la base normal, aunque habría que tener en cuenta la variable del peso del objeto ya que la estructura podría no aguantar.

Además de lo anterior, se pueden utilizar los 12 objetos y 3 animales imprimidos para definir unos valores de los parámetros de escaneado (cantidad de fotografías, ángulos máximos y número de pausas) optimizados según la dificultad del objeto a escanear. Entonces, según unos varemos como cantidad y profundidad de orificios, nivel de detalle requerido, tamaño del objeto, etc. Se puede generar un documento donde se encuentre recogido los valores de los parámetros que se deberían seleccionar en la configuración del programa de escaneado, para conseguir unos resultados con un índice de calidad mínimo y con la mayor optimización del tiempo.

Modificar el código de la placa Arduino para optimizar el escaneado de piezas, también se puede crear nuevo código para conseguir otros objetivos como elegir entre diferentes idiomas de las palabras que aparezcan en la pantalla del LCD.

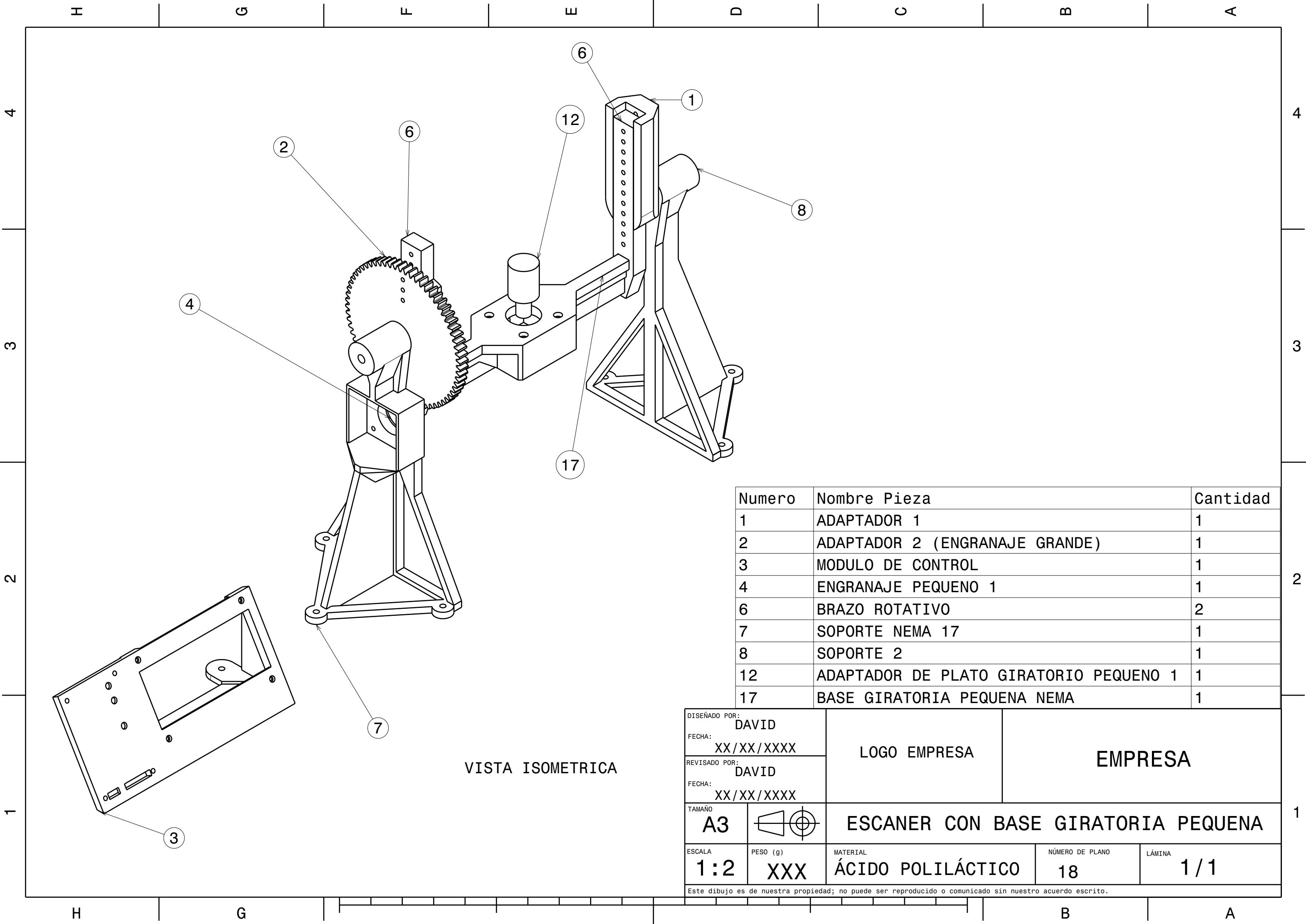
Otro trabajo muy interesante sería crear nuevos programas de escaneo, para ver si se pueden conseguir mejoras de calidad con la realización de más fotografías, incrementar el número de ángulos entre el de inicio y final o disminuir o aumentar los ángulos máximos.

Por último, para mejorar la calidad de las fotografías y de esta forma conseguir mejorar la adquisición de datos se puede fabricar un fondo especial para que no haya adquisición de datos erróneos, utilizar una cámara fotográfica profesional, aunque esto aumentaría con creces el coste del escáner, focos de luz especiales o lentes especiales para insertar en el objetivo de la cámara.

11. BIBLIOGRAFÍA

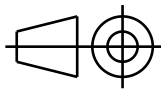
- [1] Randall T. (2013) *Cliente guide to 3D scanning and data capture*. BIM Task Group.
- [2] <https://en.openscan.eu/>. (Acceso agosto 2021)
- [3] www.dynapro3d.com. (Acceso julio 2021)
- [4] www.digitalizacion-3d.com. (Acceso julio 2021)
- [5] sicnova3d.com. (Acceso julio 2021)
- [6] <https://kreon3d.com>. (Acceso agosto 2021)
- [7] <https://es.3dsystems.com/3d-scanner/scanner-guide>. (Acceso julio 2021)
- [8] <https://www.dream3d.co.uk>. (Acceso agosto 2021)
- [9] <https://tecnitop.com>. (Acceso agosto 2021)
- [10] <https://topotienda.com>. (Acceso agosto 2021)
- [11] instrumentic.info. (Acceso julio 2021)
- [12] <https://www.interempresas.net>. (Acceso agosto 2021)
- [13] <https://leica-geosystems.com>. (Acceso agosto 2021)
- [14] <https://scan3dmexico.com>. (Acceso agosto 2021)
- [15] <https://www.directindustry.es>. (Acceso agosto 2021)
- [16] <https://www.asorcad.es>. (Acceso agosto 2021)
- [17] <https://discovery3dprinter.com>. (Acceso agosto 2021)
- [18] http://www.doc-diy.net/photo/remote_pinout/ (Acceso agosto 2021)
- [19] <https://www.artec3d.com/es>. (Acceso julio 2021)
- [20] <https://www.eoi.es/blogs/pedroismaelvegazo/2011/12/16/aplicacion-de-la-ingenieria-inversa-en-las-organizaciones/>. (Acceso julio 2021)
- [21] <https://ingenieria3ddigital.es/escaneado-3d/escaneado-3d-para-conservacion-del-patrimonio-cultural/>. (Acceso julio 2021)
- [22] <http://precisionmedicion.com/2019/04/23/aplicacion-de-escaner-laser-para-obtencion-de-de-planos-as-built/>. (Acceso julio 2021)
- [23] https://www.bimnd.es/escaneado_laser_utilidades/. (Acceso julio 2021)
- [24] Remondino F., (2003). From Point Cloud to Surface: The Modeling and Visualization Problem. Commission V – WG 6 International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXIV-5/W10. Tarasp-Vulpera, Switzerland.
- [25] Mills J., Barber D., (2005). An Addendum to the Metric Survey Specifications for English Heritage - The Collection and Archiving of Point Cloud Data obtained by Terrestrial Laser Scanning or other methods. Newcastle, U.K
- [26] <https://www.esdip.com/blog-escuela-de-arte/escaner-3d-y-la-revolucion-en-diseno-y-realidad-virtual/>. (Acceso julio 2021)
- [27] http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/5982/2_Modelado.pdf?sequence=1&isAllowed=y. (Acceso julio 2021)
- [28] <https://eprints.ucm.es/id/eprint/62873/1/Modelar%20correctamente.pdf>. (Acceso julio 2021)
- [29] <https://ria.utn.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12272/4419/Prototipado%20e%20Ingenieria%20Inversa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. (Acceso julio 2021)
- [30] <https://openwebinars.net/blog/arduino-vs-raspberry-pi/>. (Acceso agosto 2021)
- [31] <https://hacedores.com/arduino-o-raspberry-pi-cual-es-la-mejor-herramienta-para-ti/>. (Acceso agosto 2021)
- [32] <https://es.3dsystems.com/quickparts/learning-center/what-is-stl-file> (Acceso agosto 2021)
- [33] <https://www.smartmaterials3d.com/> (Acceso agosto 2021)
- [34] <https://artillery3d.es/artillery-genius/> (Acceso agosto 2021)
- [35] <https://www.3dnatives.com/> (Acceso agosto 2021)
- [36] <https://www.locurainformaticadigital.com> (Acceso agosto 2021)

ANEXO 1: PLANOS DE COMPONENTES DEL ESCÁNER



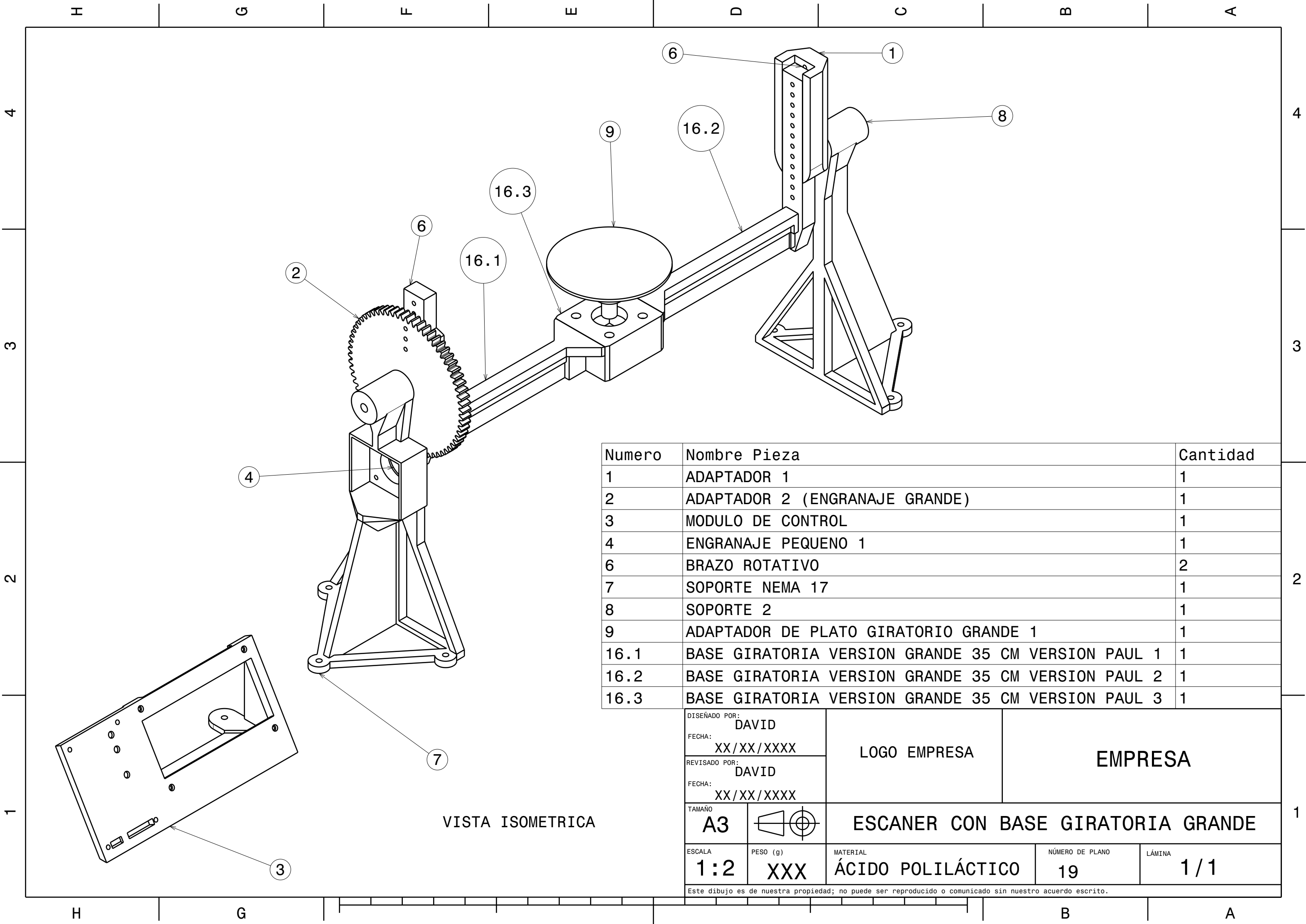
VISTA ISOMETRICA

Numero	Nombre Pieza	Cantidad
1	ADAPTADOR 1	1
2	ADAPTADOR 2 (ENGRANAJE GRANDE)	1
3	MODULO DE CONTROL	1
4	ENGRANAJE PEQUENO 1	1
6	BRAZO ROTATIVO	2
7	SOPORTE NEMA 17	1
8	SOPORTE 2	1
12	ADAPTADOR DE PLATO GIRATORIO PEQUENO 1	1
17	BASE GIRATORIA PEQUENA NEMA	1

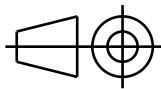
DISEÑADO POR: DAVID		LOGO EMPRESA	EMPRESA		
FECHA: XX/XX/XXXX					
REVISADO POR: DAVID					
FECHA: XX/XX/XXXX					
TAMAÑO A3		ESCANER CON BASE GIRATORIA PEQUENA			
ESCALA 1:2	PESO (g) XXX	MATERIAL ÁCIDO POLILÁCTICO	NÚMERO DE PLANO 18	LÁMINA 1 / 1	

Este dibujo es de nuestra propiedad; no puede ser reproducido o comunicado sin nuestro acuerdo escrito.

Este dibujo es de nuestra propiedad; no puede ser reproducido o comunicado sin nuestro acuerdo escrito.

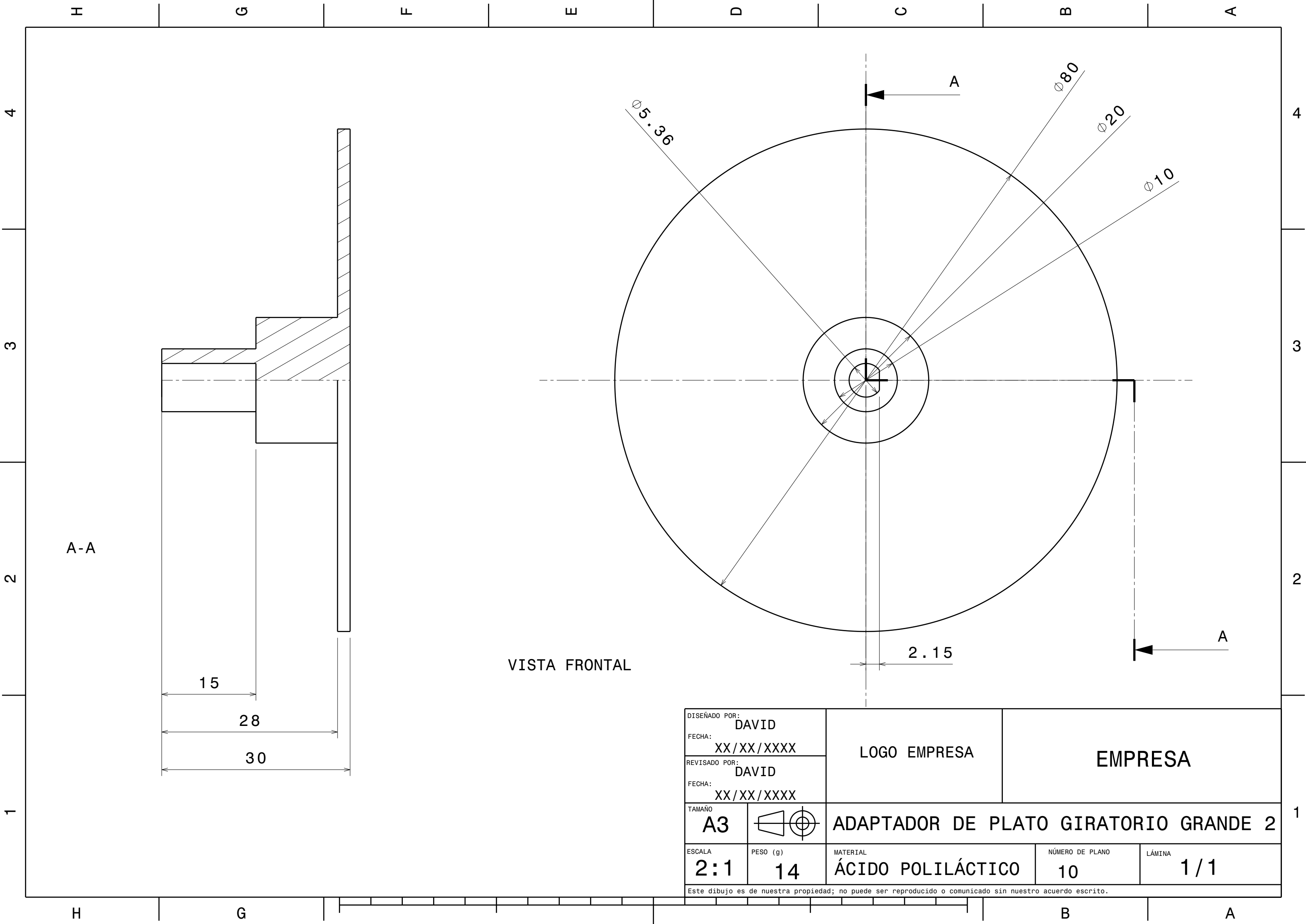


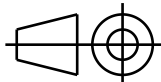
Numero	Nombre Pieza	Cantidad
1	ADAPTADOR 1	1
2	ADAPTADOR 2 (ENGRANAJE GRANDE)	1
3	MODULO DE CONTROL	1
4	ENGRANAJE PEQUENO 1	1
6	BRAZO ROTATIVO	2
7	SOPORTE NEMA 17	1
8	SOPORTE 2	1
9	ADAPTADOR DE PLATO GIRATORIO GRANDE 1	1
16.1	BASE GIRATORIA VERSION GRANDE 35 CM VERSION PAUL 1	1
16.2	BASE GIRATORIA VERSION GRANDE 35 CM VERSION PAUL 2	1
16.3	BASE GIRATORIA VERSION GRANDE 35 CM VERSION PAUL 3	1

DISEÑADO POR: DAVID		LOGO EMPRESA	EMPRESA	
FECHA: XX/XX/XXXX				
REVISADO POR: DAVID				
FECHA: XX/XX/XXXX				
TAMAÑO A3		ESCANER CON BASE GIRATORIA GRANDE		
ESCALA 1:2	PESO (g) XXX	MATERIAL ÁCIDO POLILÁCTICO	NÚMERO DE PLANO 19	LÁMINA 1 / 1

Este dibujo es de nuestra propiedad; no puede ser reproducido o comunicado sin nuestro acuerdo escrito.

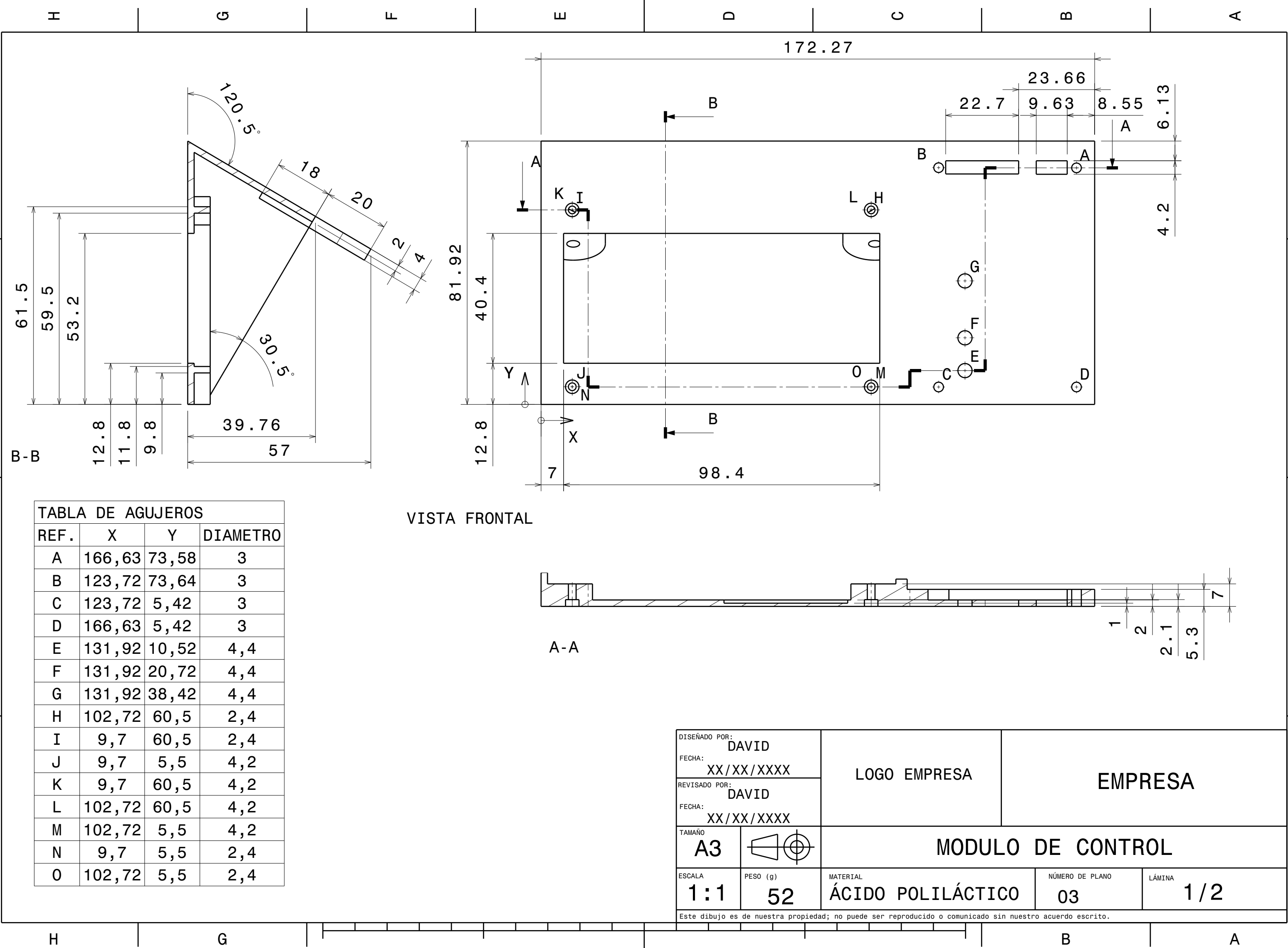
Este dibujo es de nuestra propiedad; no puede ser reproducido o comunicado sin nuestro acuerdo escrito.

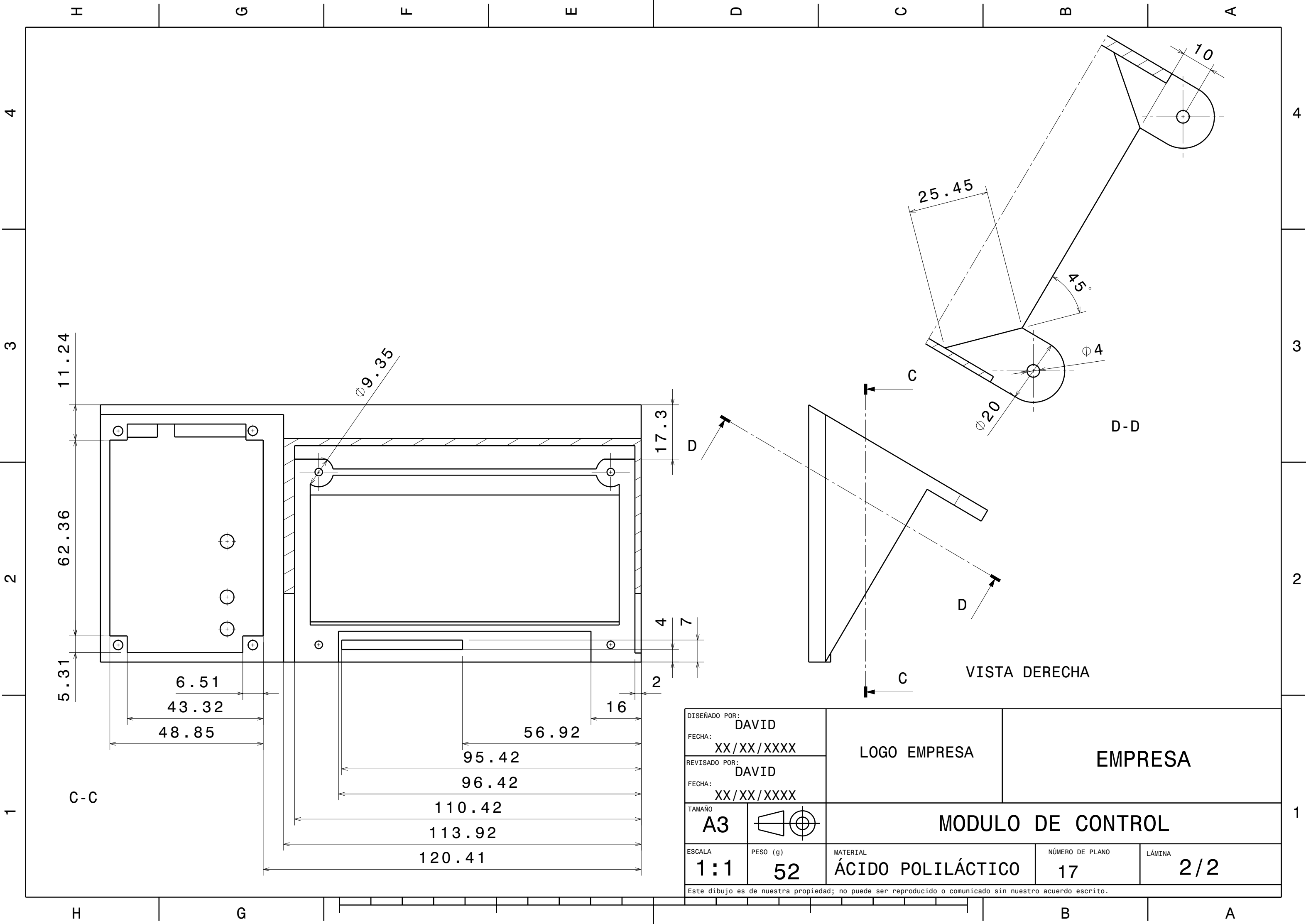


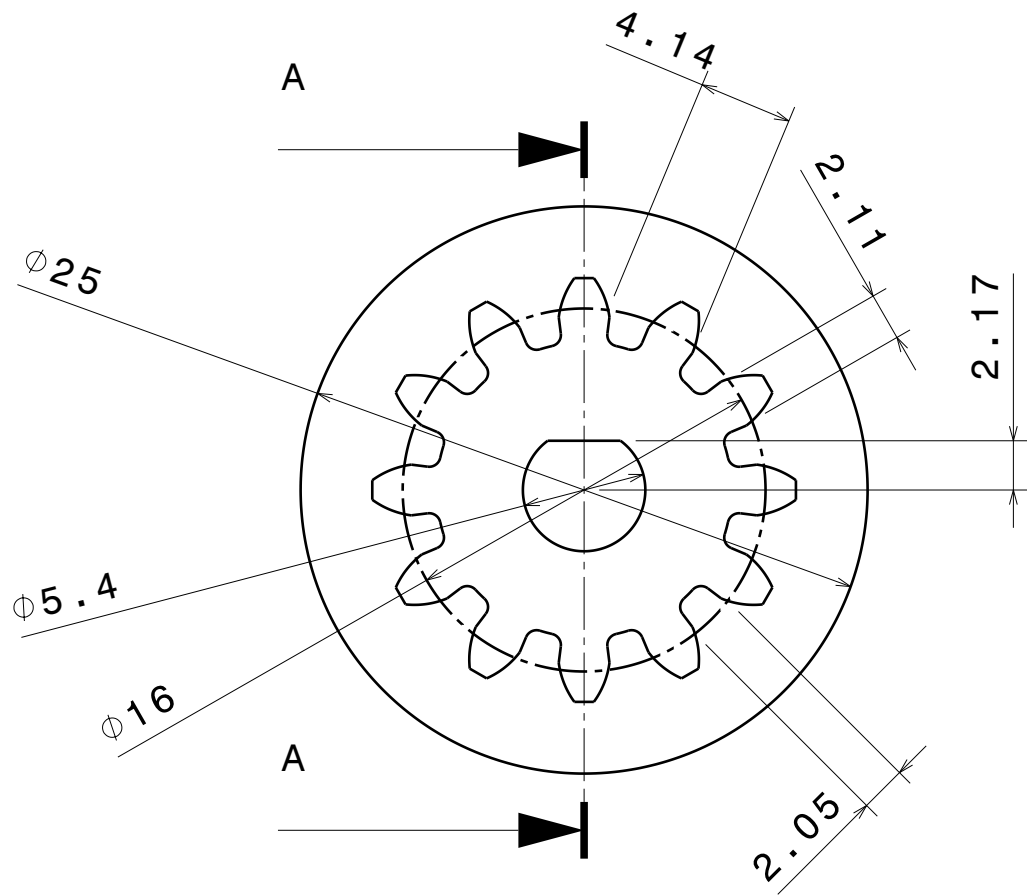
DISEÑADO POR: DAVID		LOGO EMPRESA	EMPRESA
FECHA: XX/XX/XXXX			
REVISADO POR: DAVID			
FECHA: XX/XX/XXXX			
TAMAÑO A3		ADAPTADOR DE PLATO GIRATORIO GRANDE 2	
ESCALA 2:1	PESO (g) 14	MATERIAL ÁCIDO POLILÁCTICO	NÚMERO DE PLANO 10
		LÁMINA 1 / 1	

Este dibujo es de nuestra propiedad; no puede ser reproducido o comunicado sin nuestro acuerdo escrito.

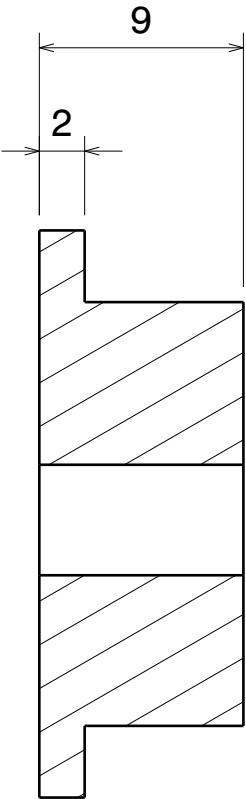
Este dibujo es de nuestra propiedad; no puede ser reproducido o comunicado sin nuestro acuerdo escrito.



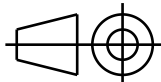


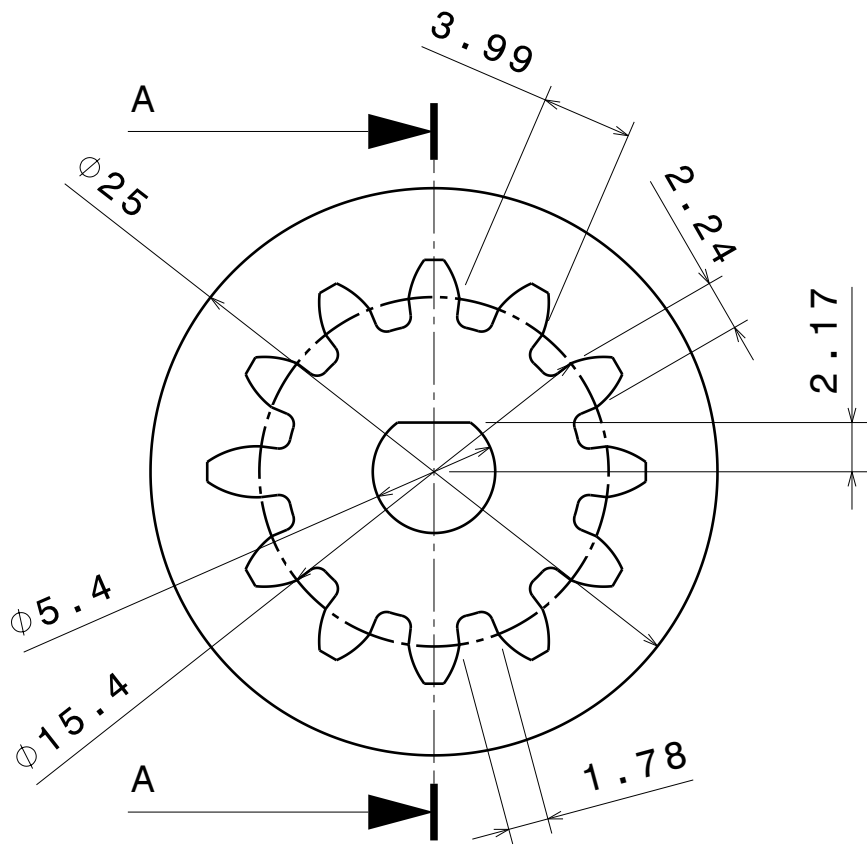


VISTA FRONTAL

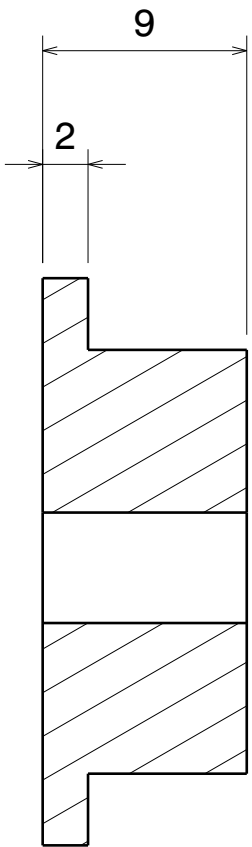


A-A

DISEÑADO POR: DAVID		LOGO EMPRESA	EMPRESA	
FECHA: XX/XX/XXXX				
REVISADO POR: DAVID		LOGO EMPRESA	EMPRESA	
FECHA: XX/XX/XXXX				
TAMAÑO A3		ENGRANAJE PEQUEÑO 1		
ESCALA 3:1	PESO (g) 2	MATERIAL ÁCIDO POLILÁCTICO	NÚMERO DE PLANO 04	LÁMINA 1 / 1
Este dibujo es de nuestra propiedad; no puede ser reproducido o comunicado sin nuestro acuerdo escrito.				

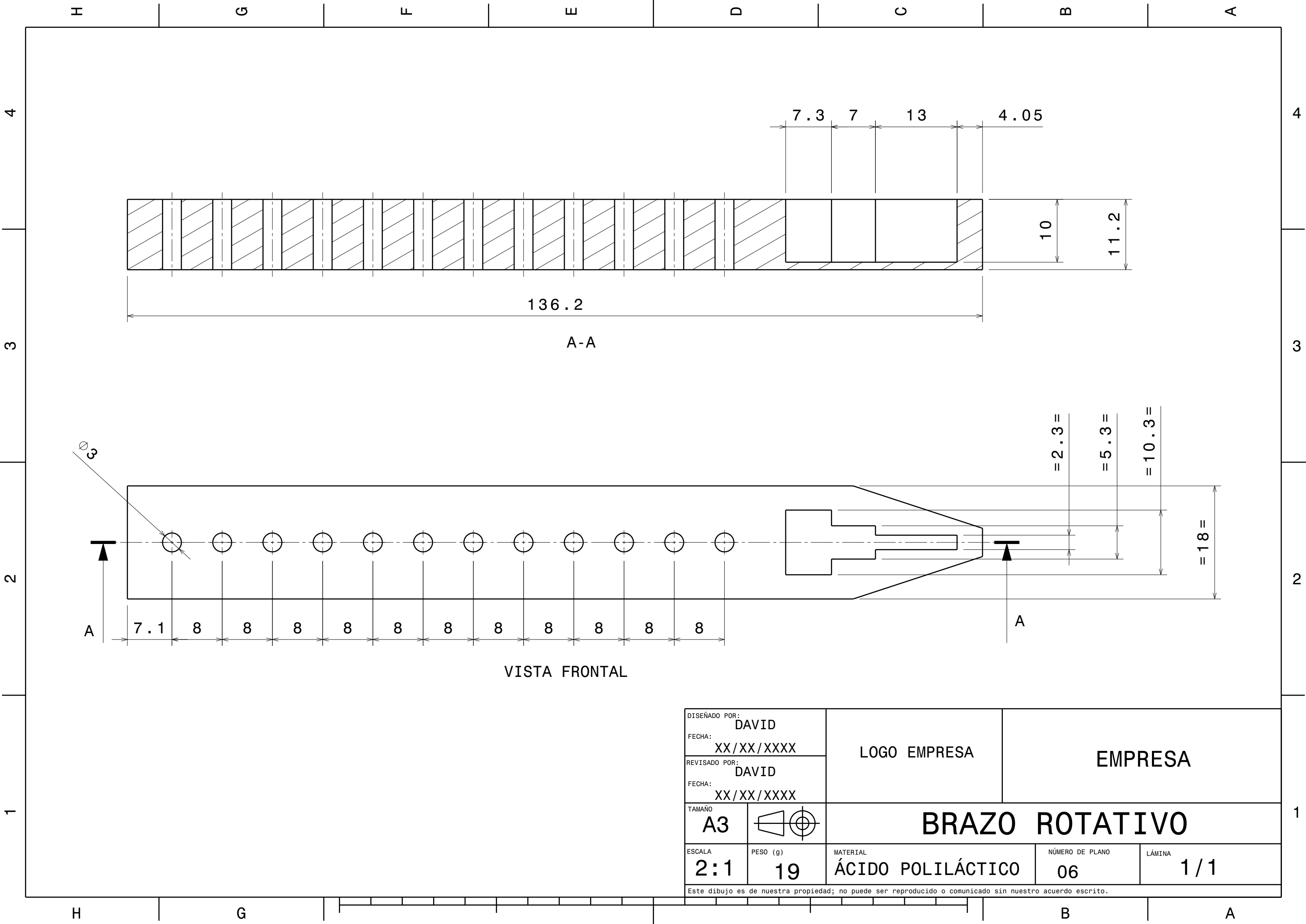


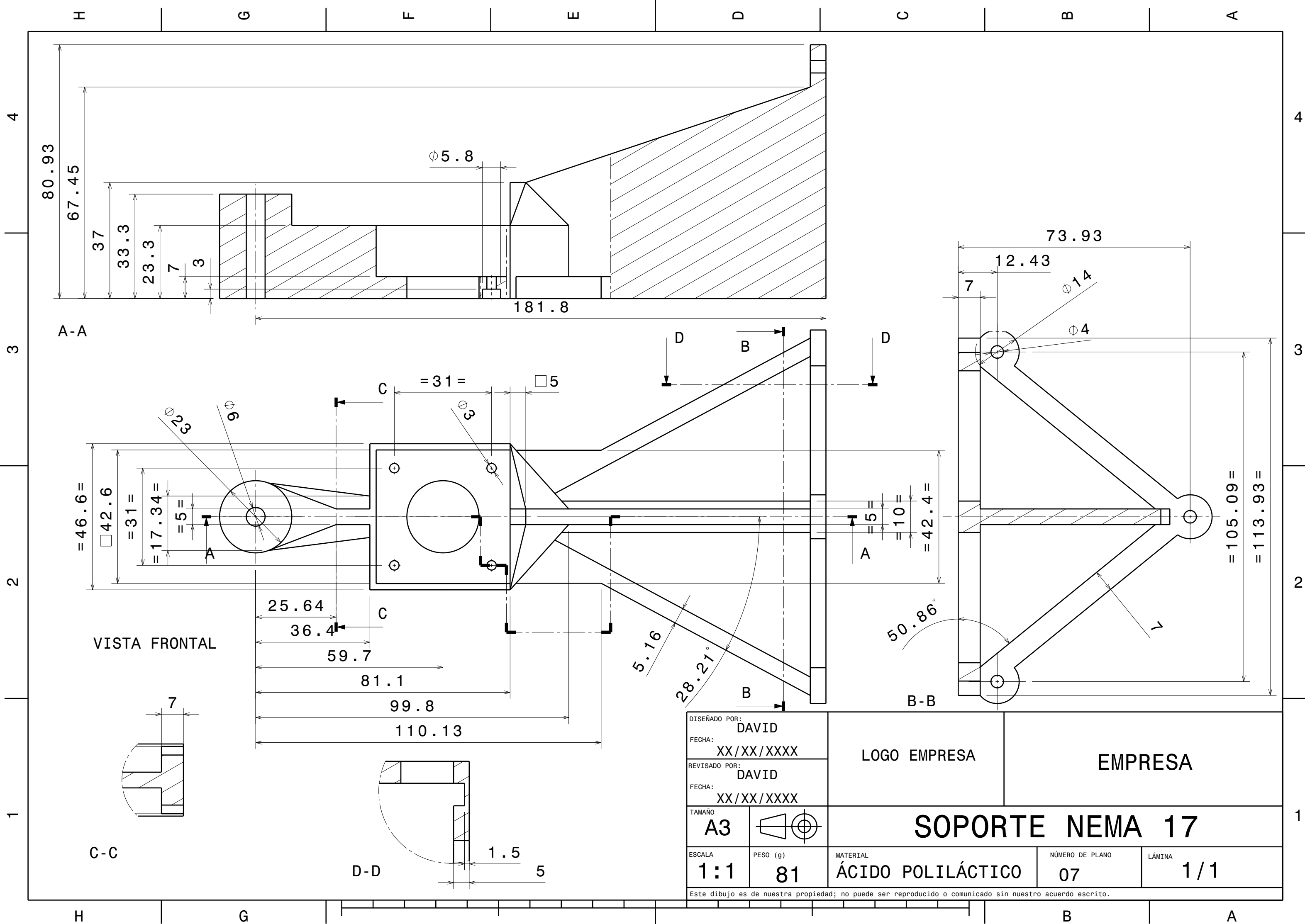
VISTA FRONTAL

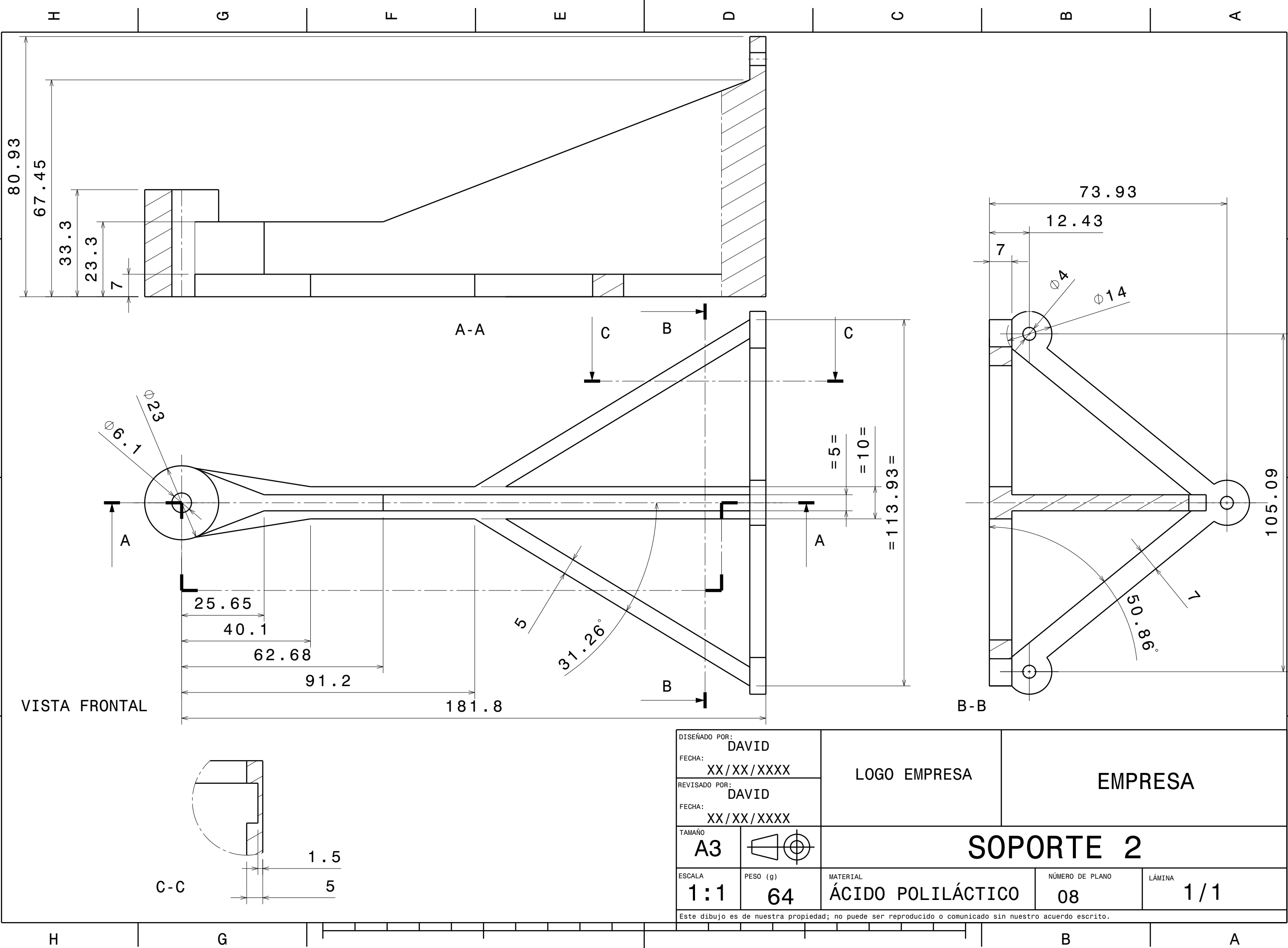


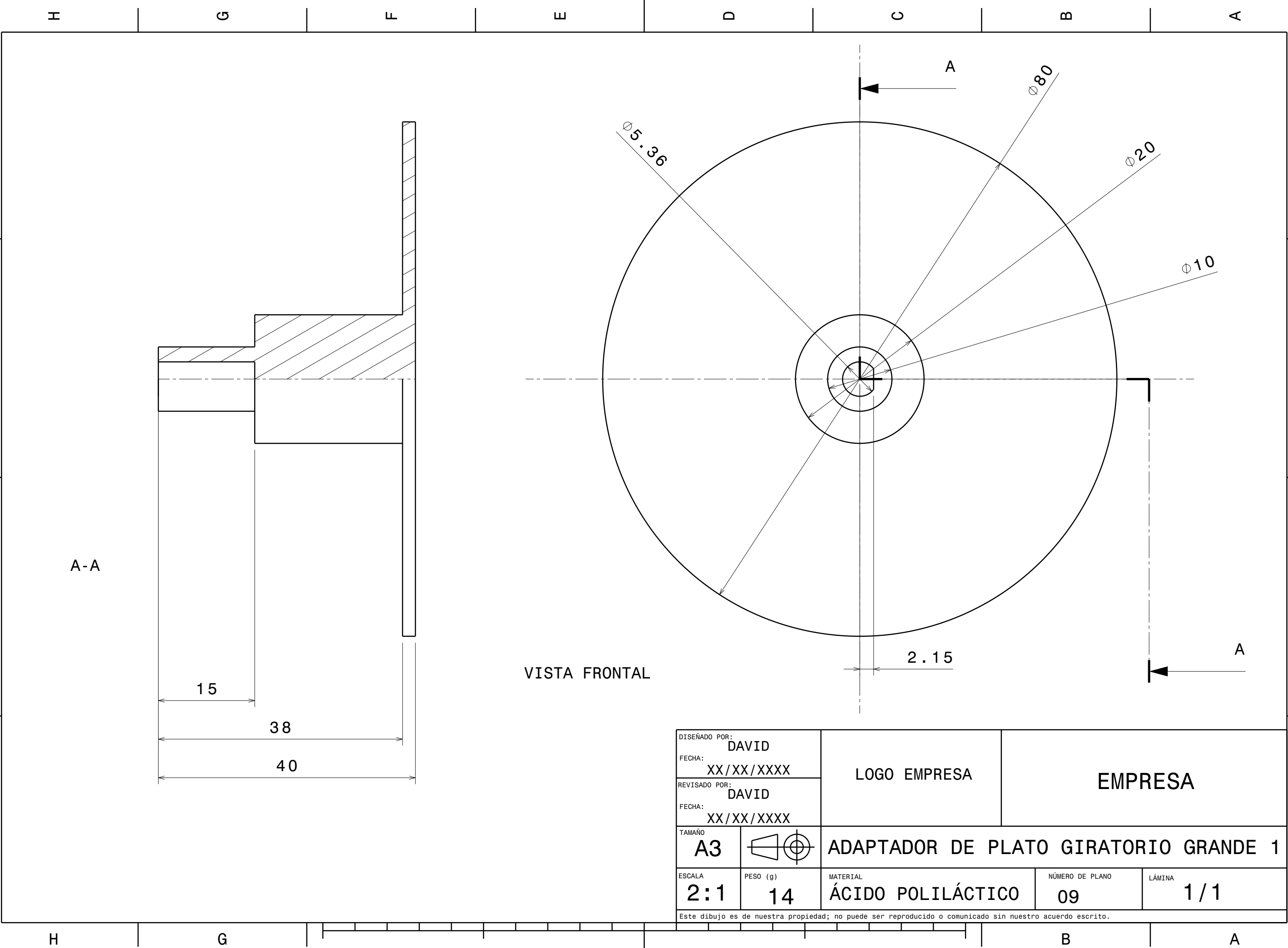
A-A

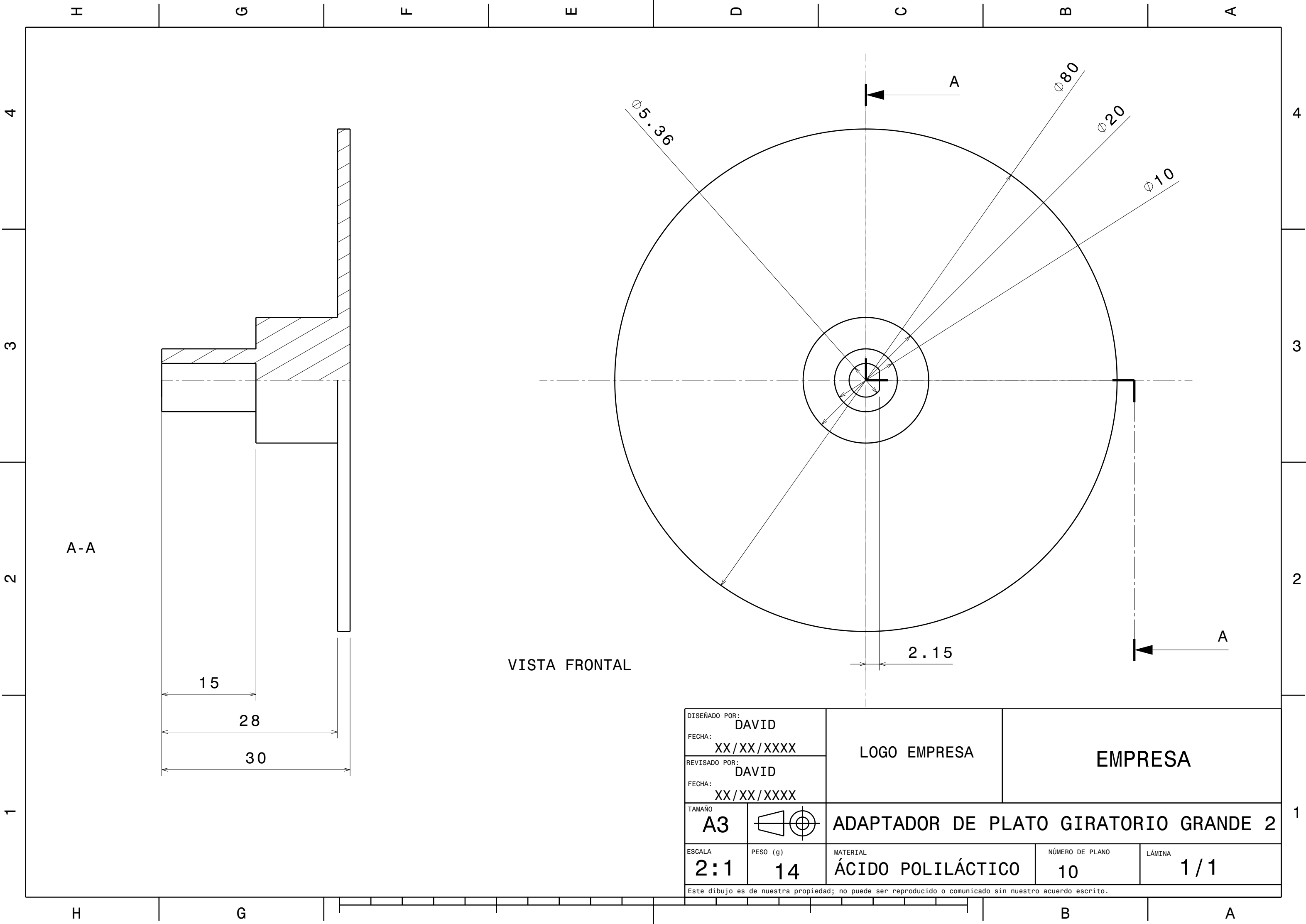
DISEÑADO POR: DAVID		LOGO EMPRESA	EMPRESA
FECHA: XX/XX/XXXX			
REVISADO POR: DAVID			
FECHA: XX/XX/XXXX			
TAMAÑO A3		ENGRANAJE PEQUEÑO 2	
ESCALA 3:1	PESO (g) 3	MATERIAL ÁCIDO POLILÁCTICO	NÚMERO DE PLANO 05
		LÁMINA 1 / 1	
Este dibujo es de nuestra propiedad; no puede ser reproducido o comunicado sin nuestro acuerdo escrito.			

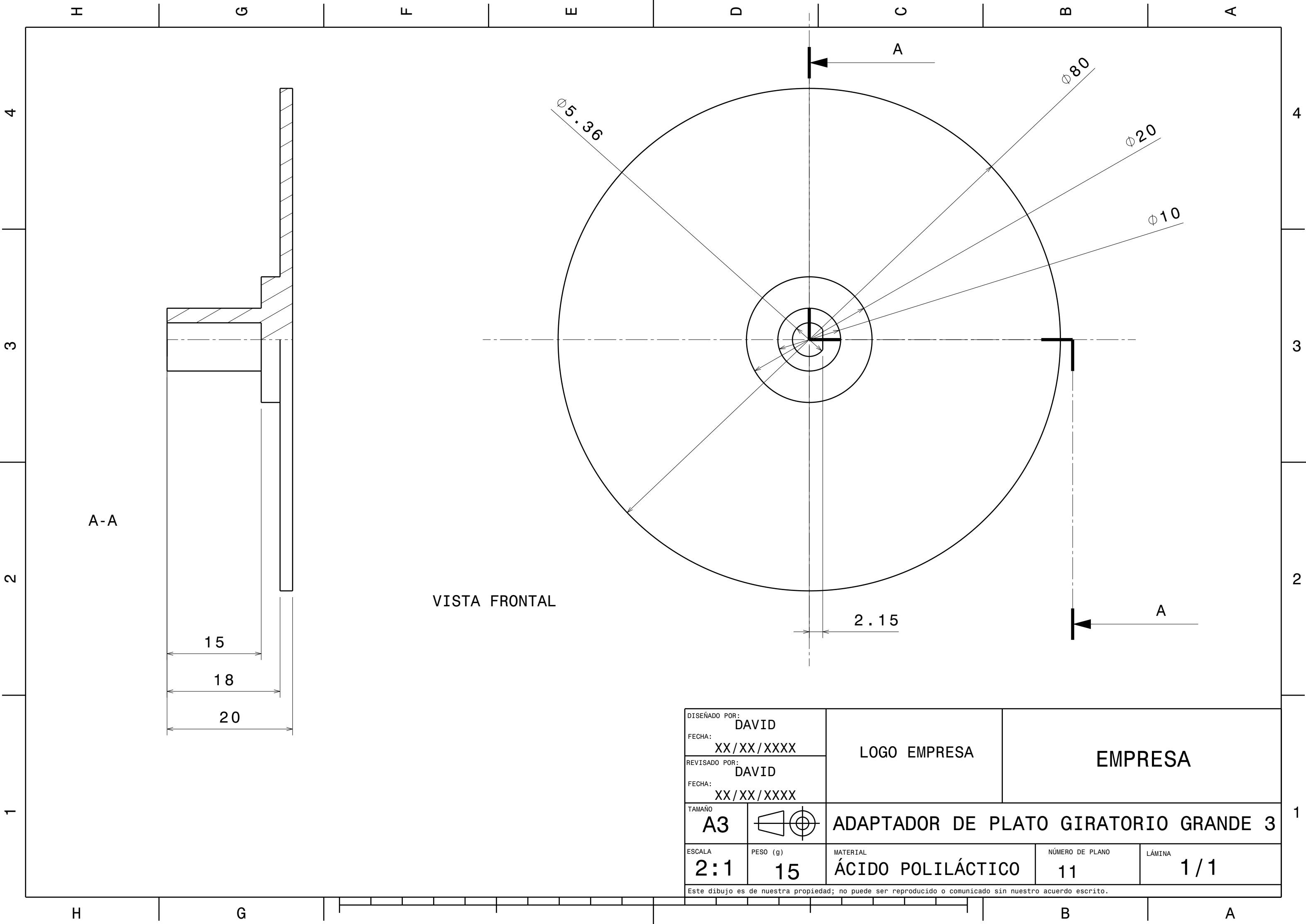


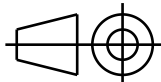










DISEÑADO POR: DAVID		LOGO EMPRESA	EMPRESA
FECHA: XX/XX/XXXX			
REVISADO POR: DAVID			
FECHA: XX/XX/XXXX			
TAMAÑO A3		ADAPTADOR DE PLATO GIRATORIO GRANDE 3	
ESCALA 2:1	PESO (g) 15	MATERIAL ÁCIDO POLILÁCTICO	NÚMERO DE PLANO 11
		LÁMINA 1 / 1	

Este dibujo es de nuestra propiedad; no puede ser reproducido o comunicado sin nuestro acuerdo escrito.

Este dibujo es de nuestra propiedad; no puede ser reproducido o comunicado sin nuestro acuerdo escrito.

4

3

2

1

H

G

F

E

D

C

B

A

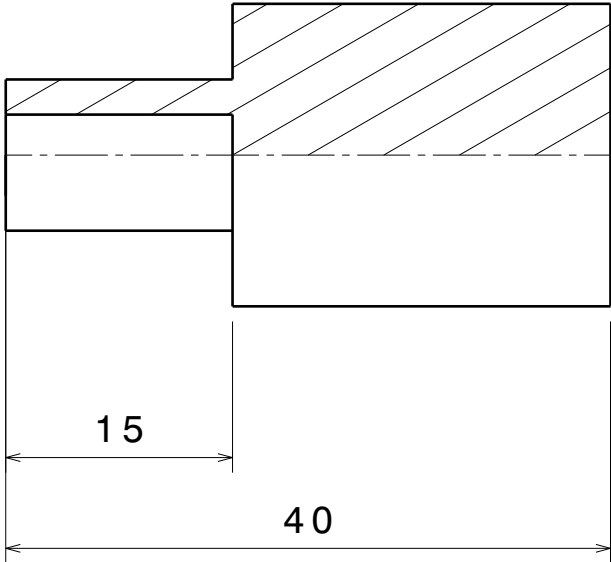
4

3

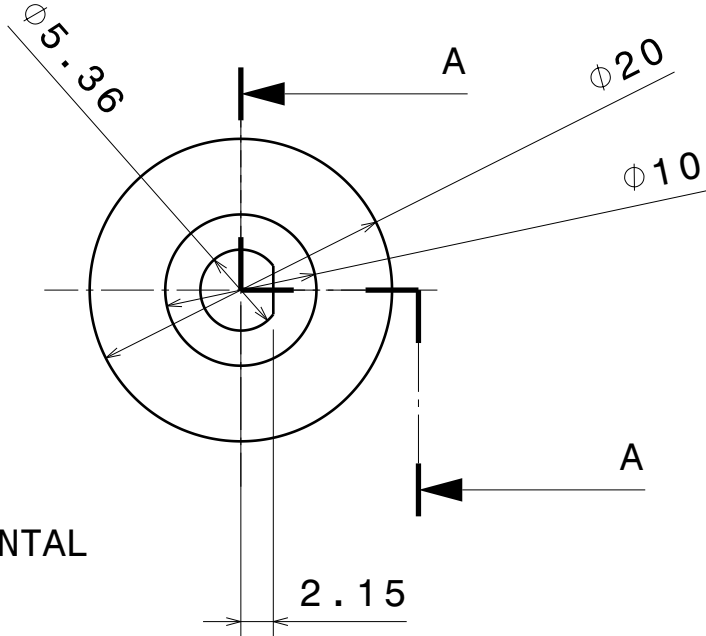
2

1

A-A



VISTA FRONTAL



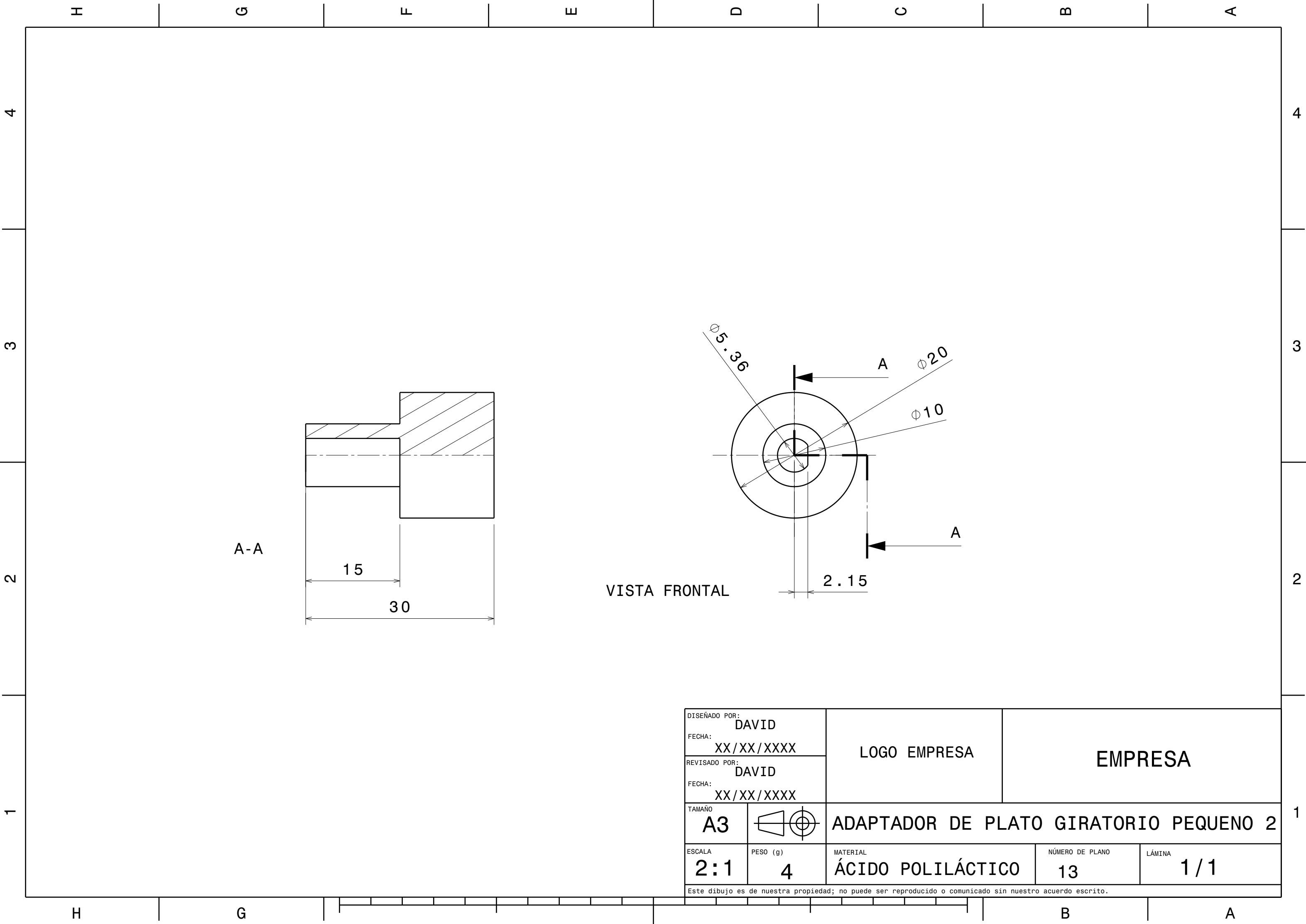
DISEÑADO POR: DAVID		LOGO EMPRESA	EMPRESA			
FECHA: XX/XX/XXXX						
REVISADO POR: DAVID						
FECHA: XX/XX/XXXX						
TAMAÑO A3		ADAPTADOR DE PLATO GIRATORIO PEQUENO 1				
ESCALA 2:1	PESO (g) 5	MATERIAL ÁCIDO POLILÁCTICO	NÚMERO DE PLANO 12	LÁMINA 1 / 1		
Este dibujo es de nuestra propiedad; no puede ser reproducido o comunicado sin nuestro acuerdo escrito.						

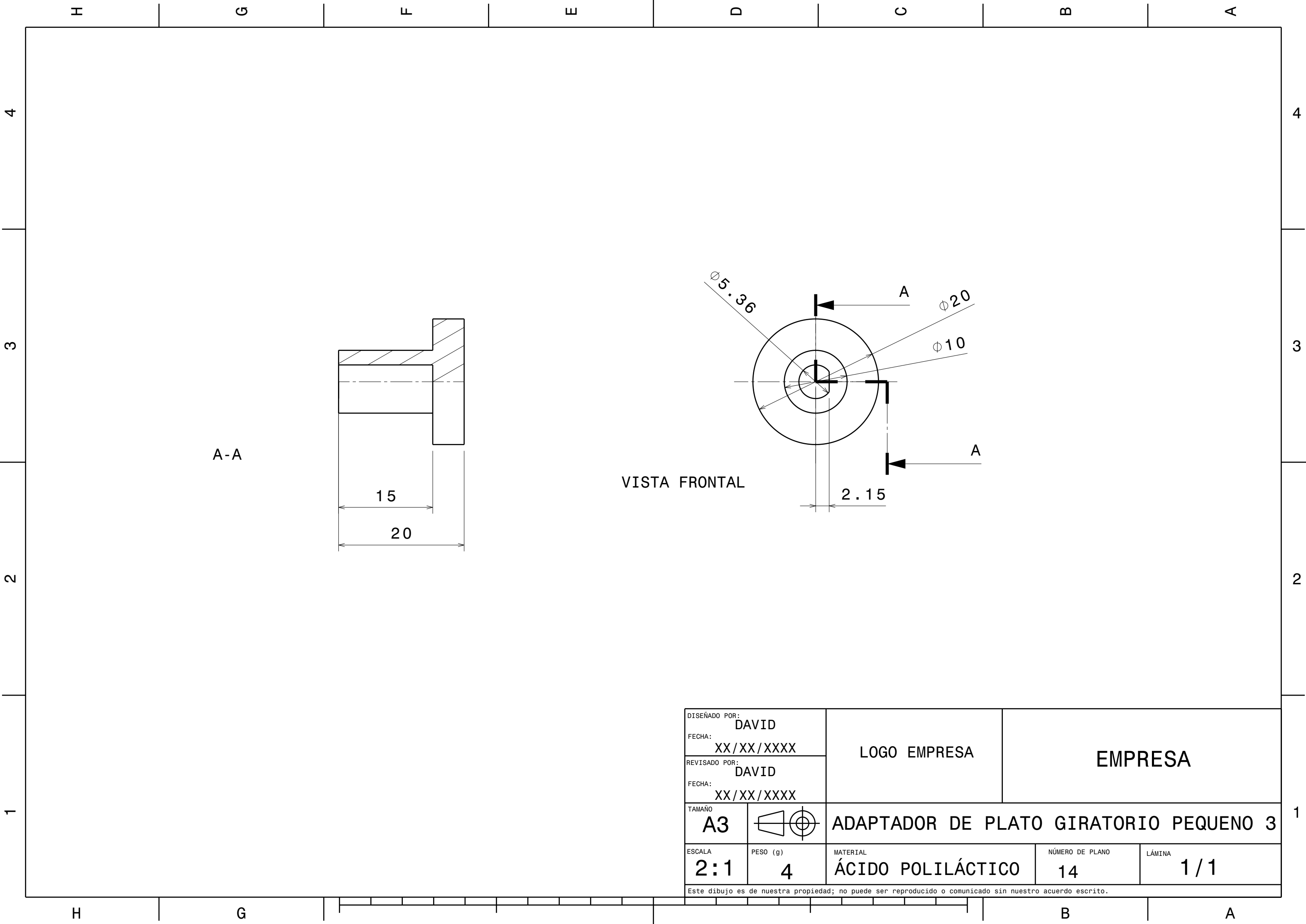
H

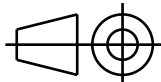
G

B

A

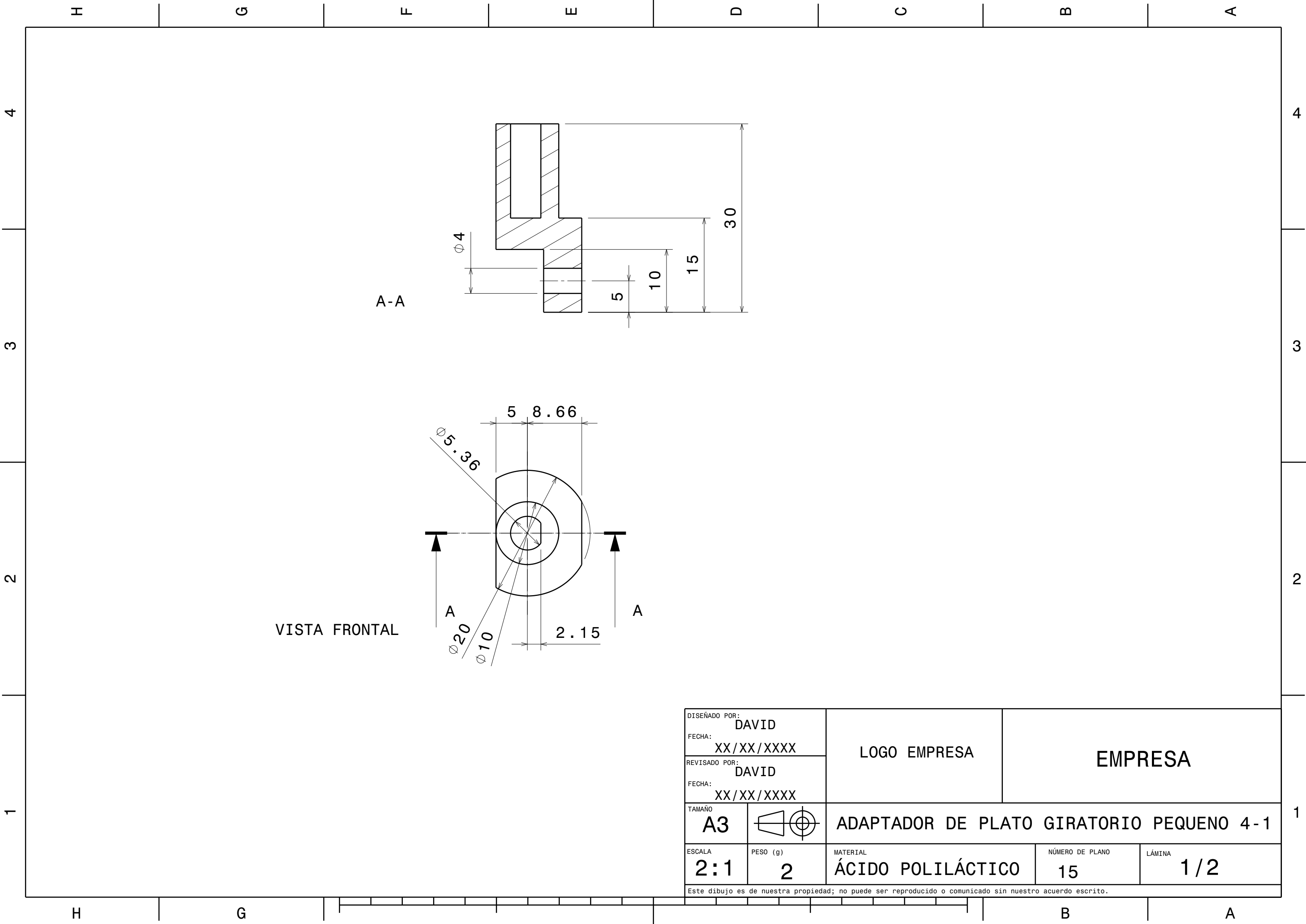


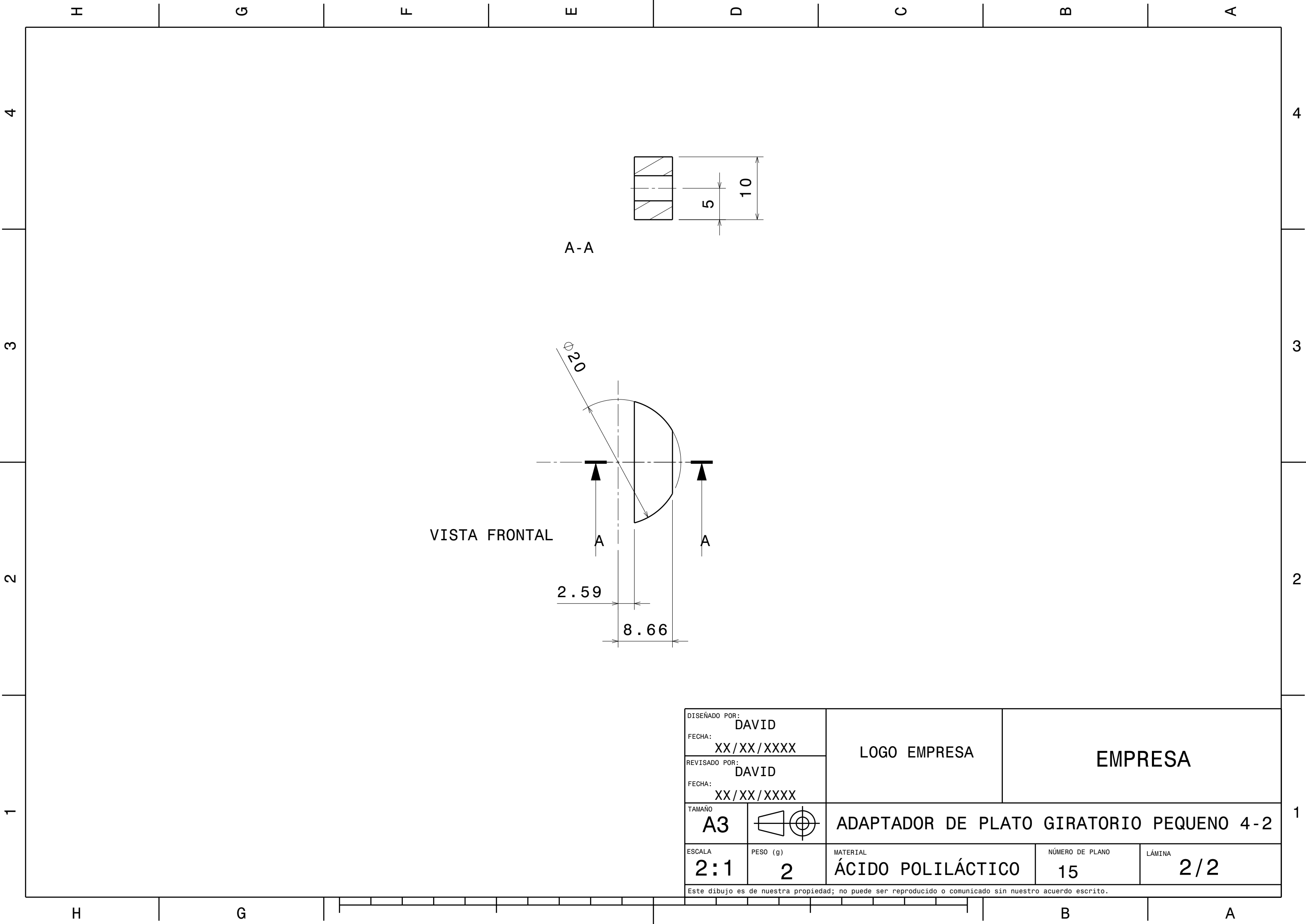


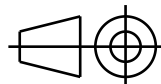
DISEÑADO POR: DAVID		LOGO EMPRESA	EMPRESA	
FECHA: XX/XX/XXXX				
REVISADO POR: DAVID		ADAPTADOR DE PLATO GIRATORIO PEQUENO 3	NÚMERO DE PLANO 14	LÁMINA 1 / 1
FECHA: XX/XX/XXXX				
TAMAÑO A3				
ESCALA 2:1	PESO (g) 4	MATERIAL ÁCIDO POLILÁCTICO		

Este dibujo es de nuestra propiedad; no puede ser reproducido o comunicado sin nuestro acuerdo escrito.

Este dibujo es de nuestra propiedad; no puede ser reproducido o comunicado sin nuestro acuerdo escrito.

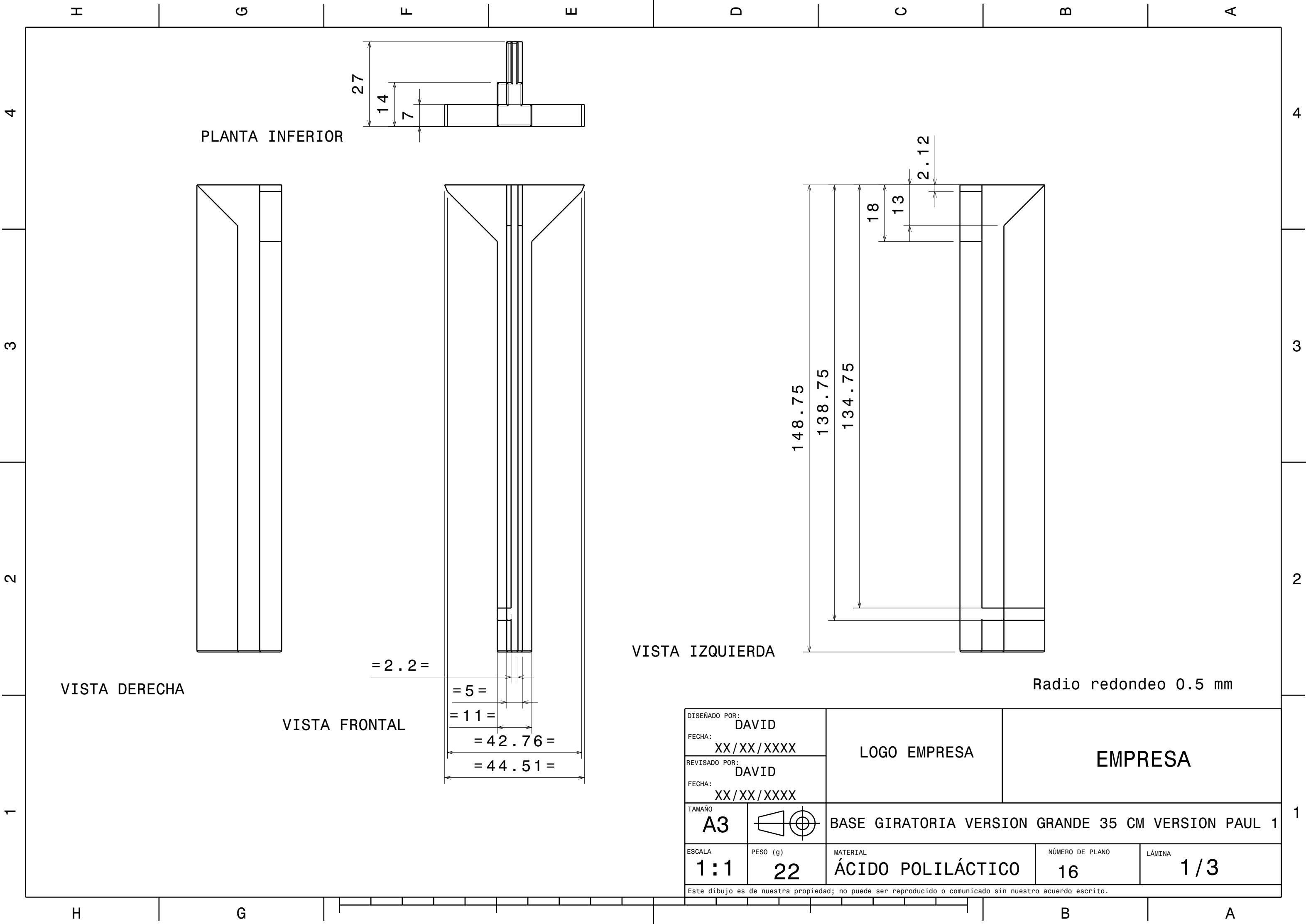




DISEÑADO POR: DAVID		LOGO EMPRESA	EMPRESA	
FECHA: XX/XX/XXXX				
REVISADO POR: DAVID				
FECHA: XX/XX/XXXX				
TAMAÑO A3		ADAPTADOR DE PLATO GIRATORIO PEQUENO 4-2		
ESCALA 2:1	PESO (g) 2	MATERIAL ÁCIDO POLILÁCTICO	NÚMERO DE PLANO 15	LÁMINA 2/2

Este dibujo es de nuestra propiedad; no puede ser reproducido o comunicado sin nuestro acuerdo escrito.

Este dibujo es de nuestra propiedad; no puede ser reproducido o comunicado sin nuestro acuerdo escrito.



H

G

F

E

D

C

B

A

4

4

3

3

2

2

1

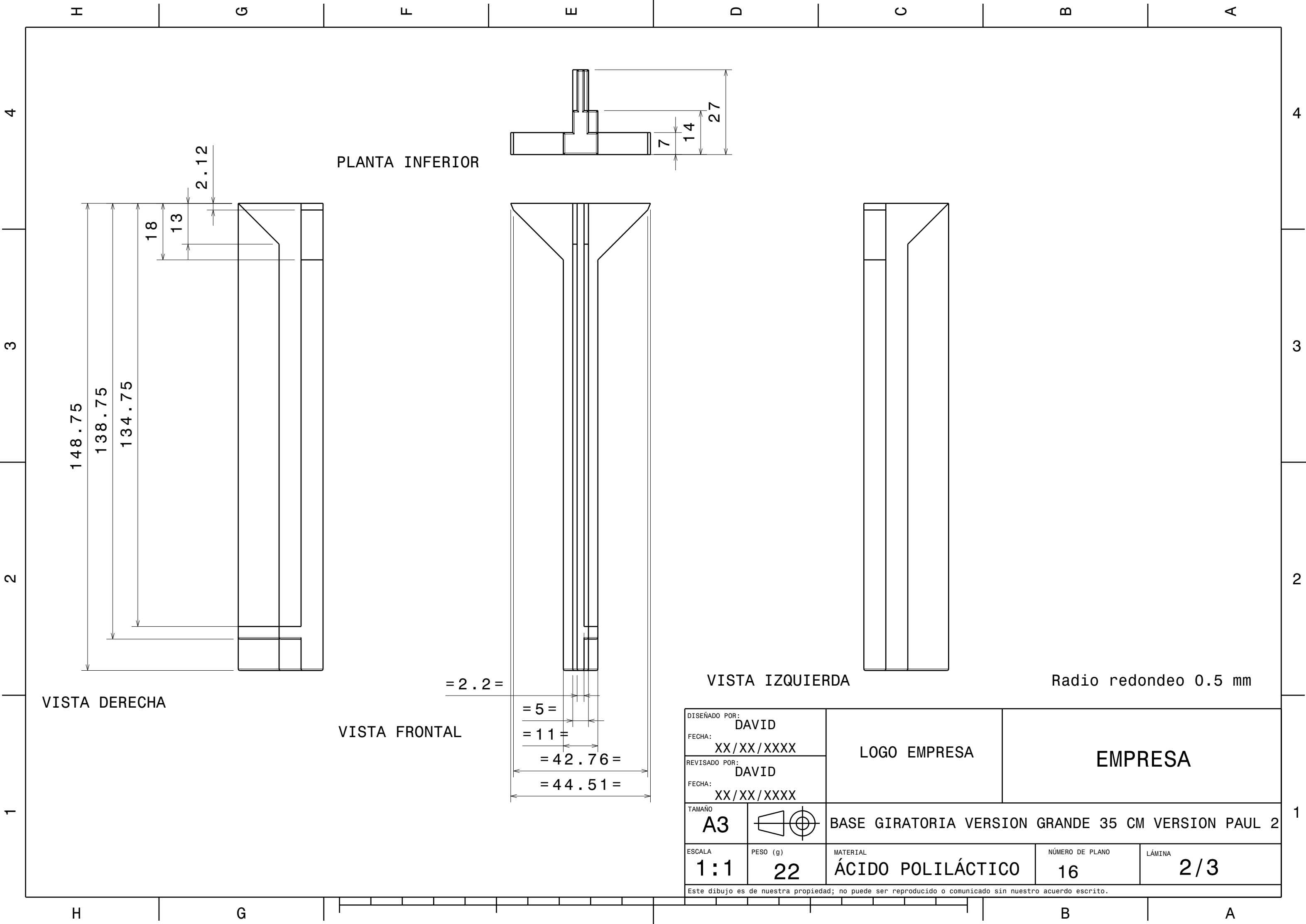
1

H

G

B

A

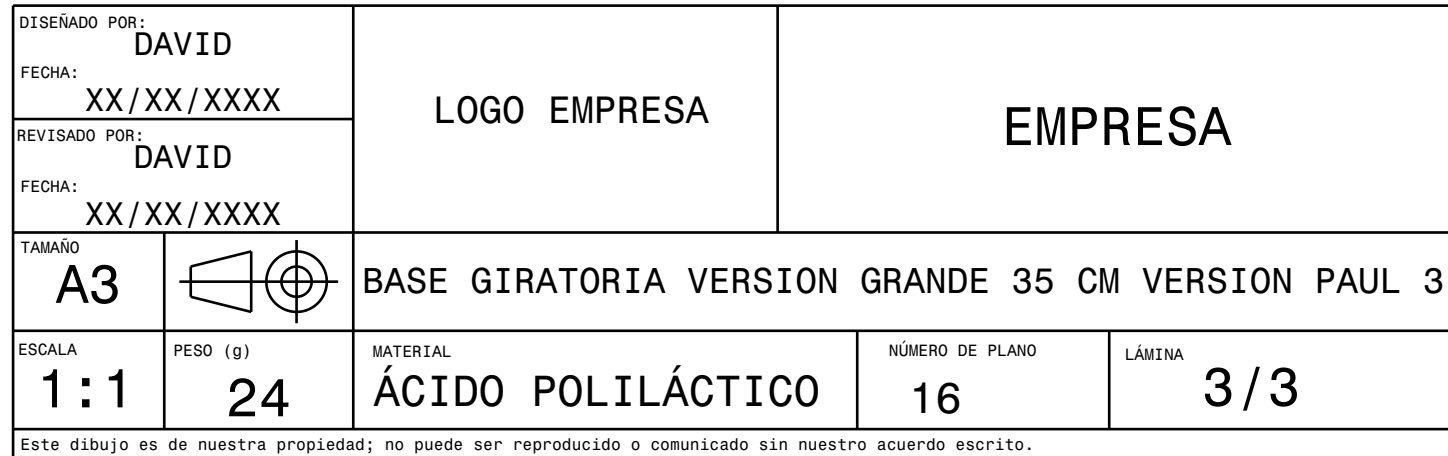




1

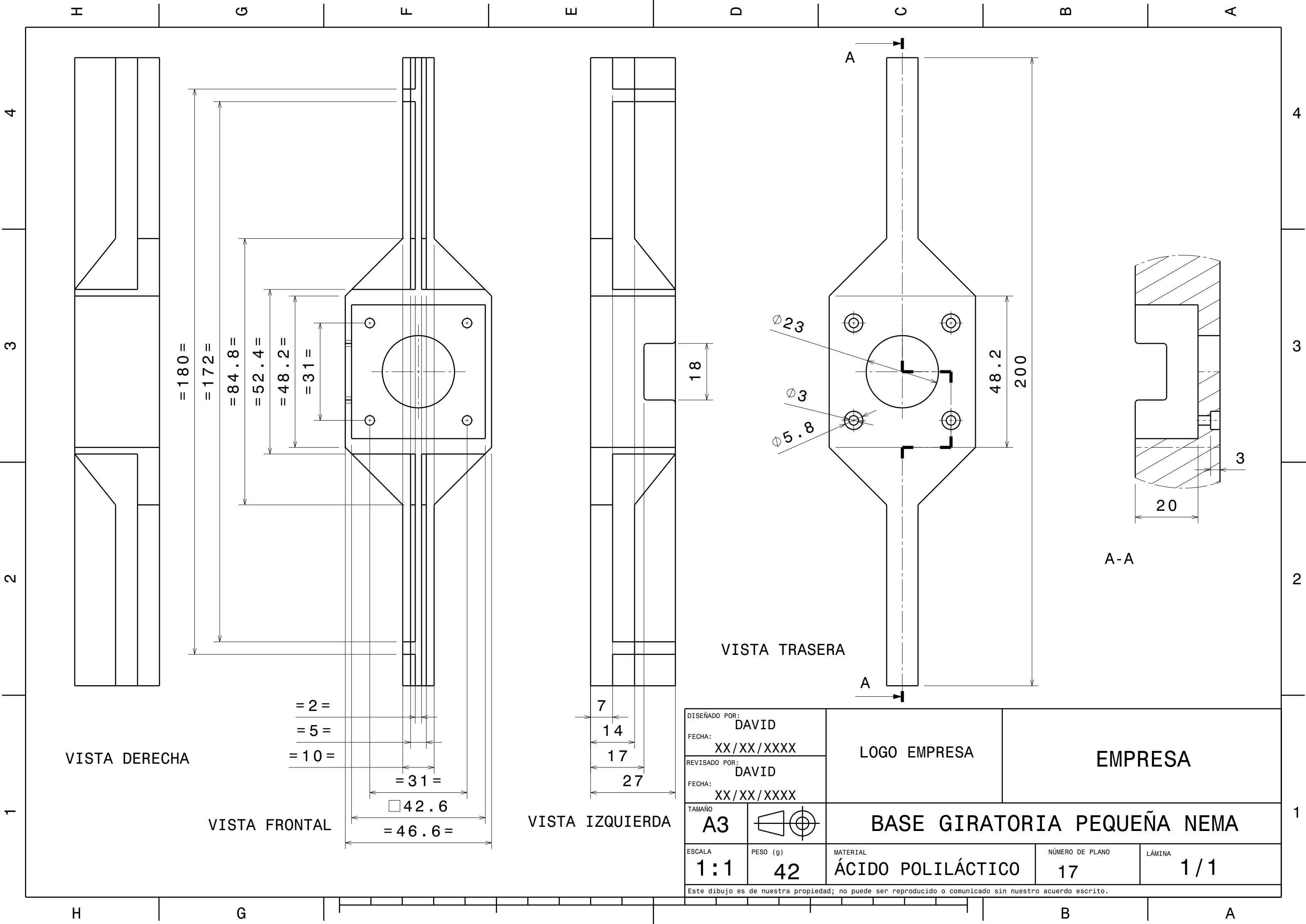


1

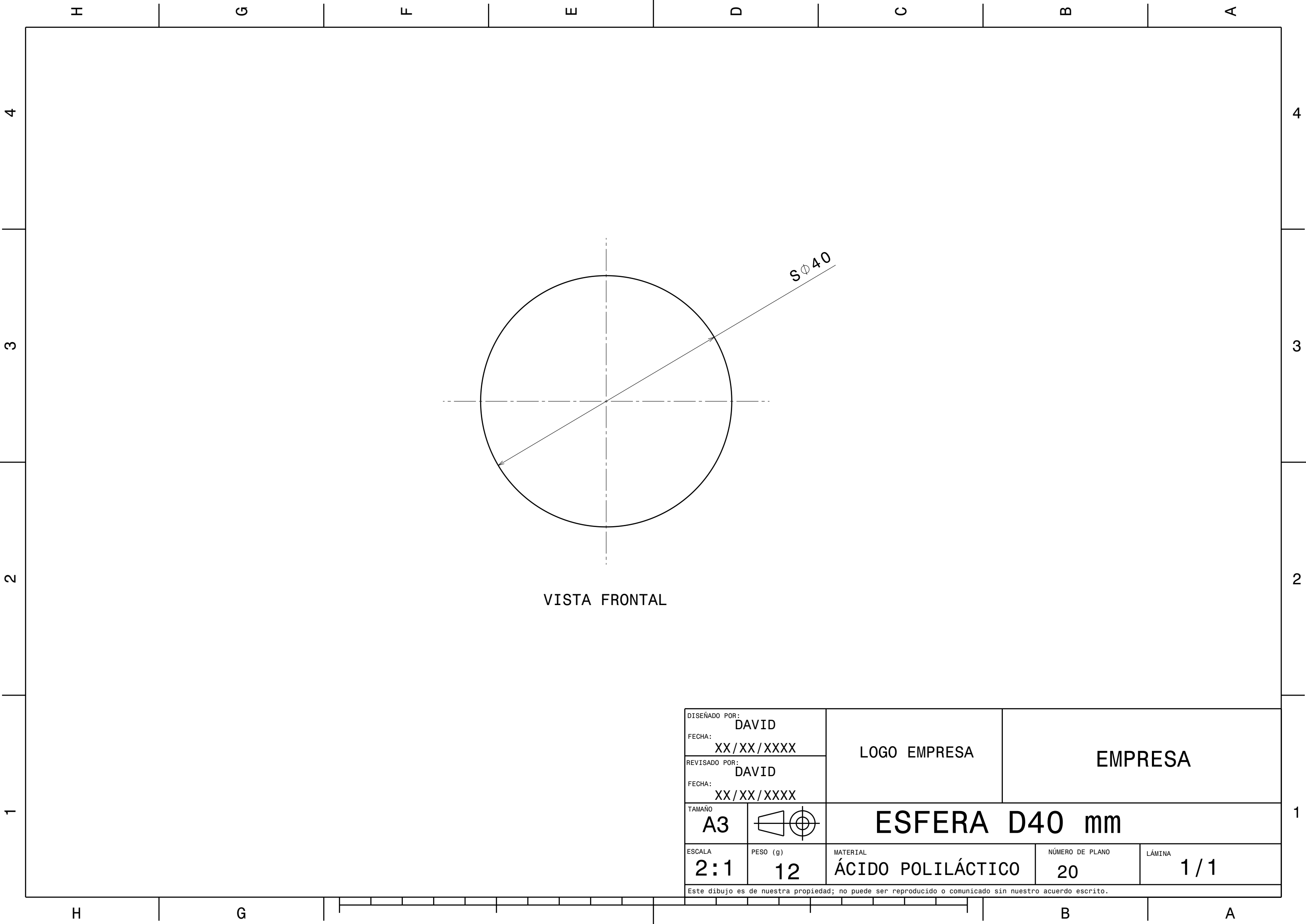


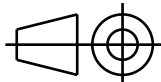
A-A

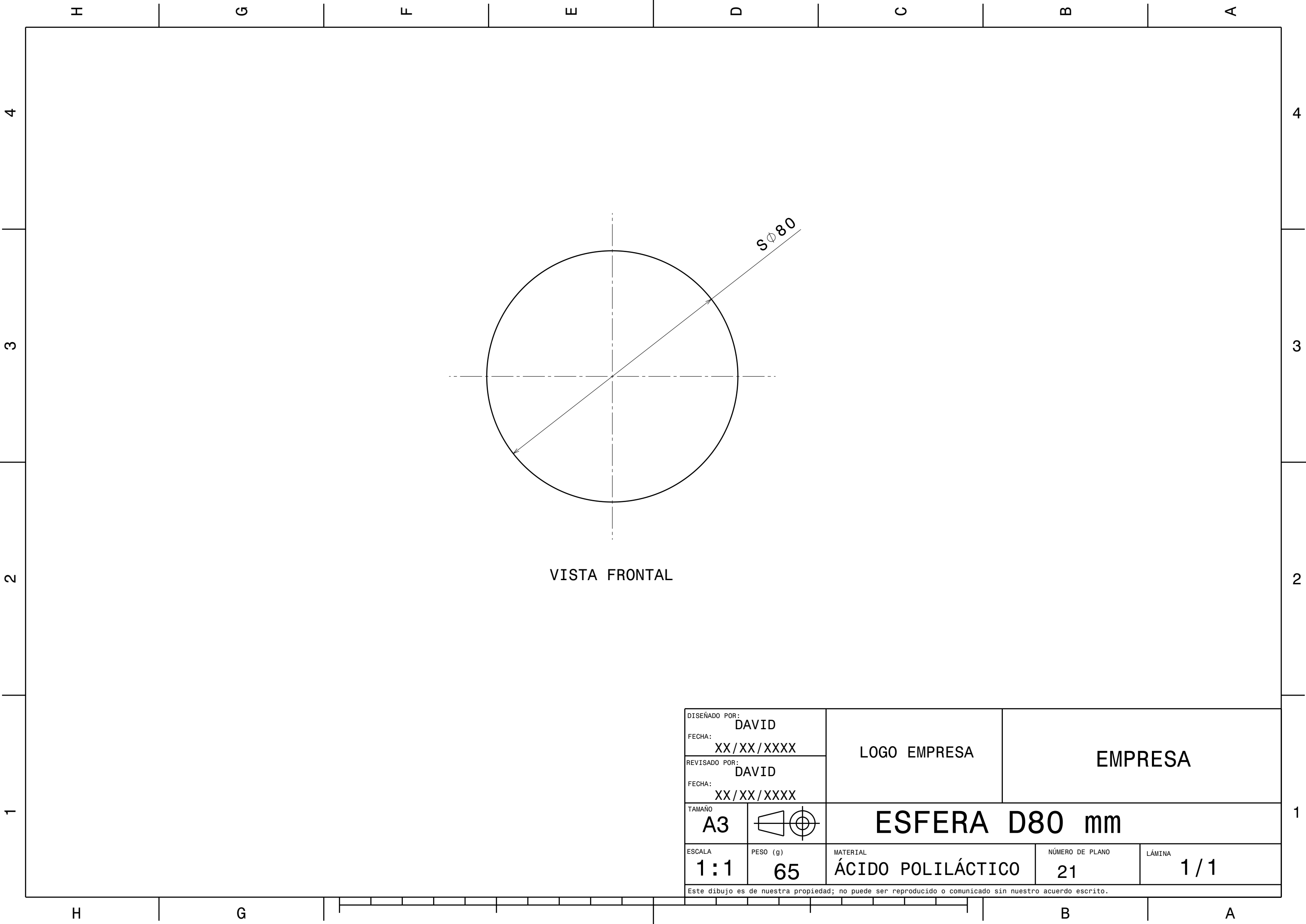




ANEXO 2: PLANOS DE OBJETOS DE PRUEBA



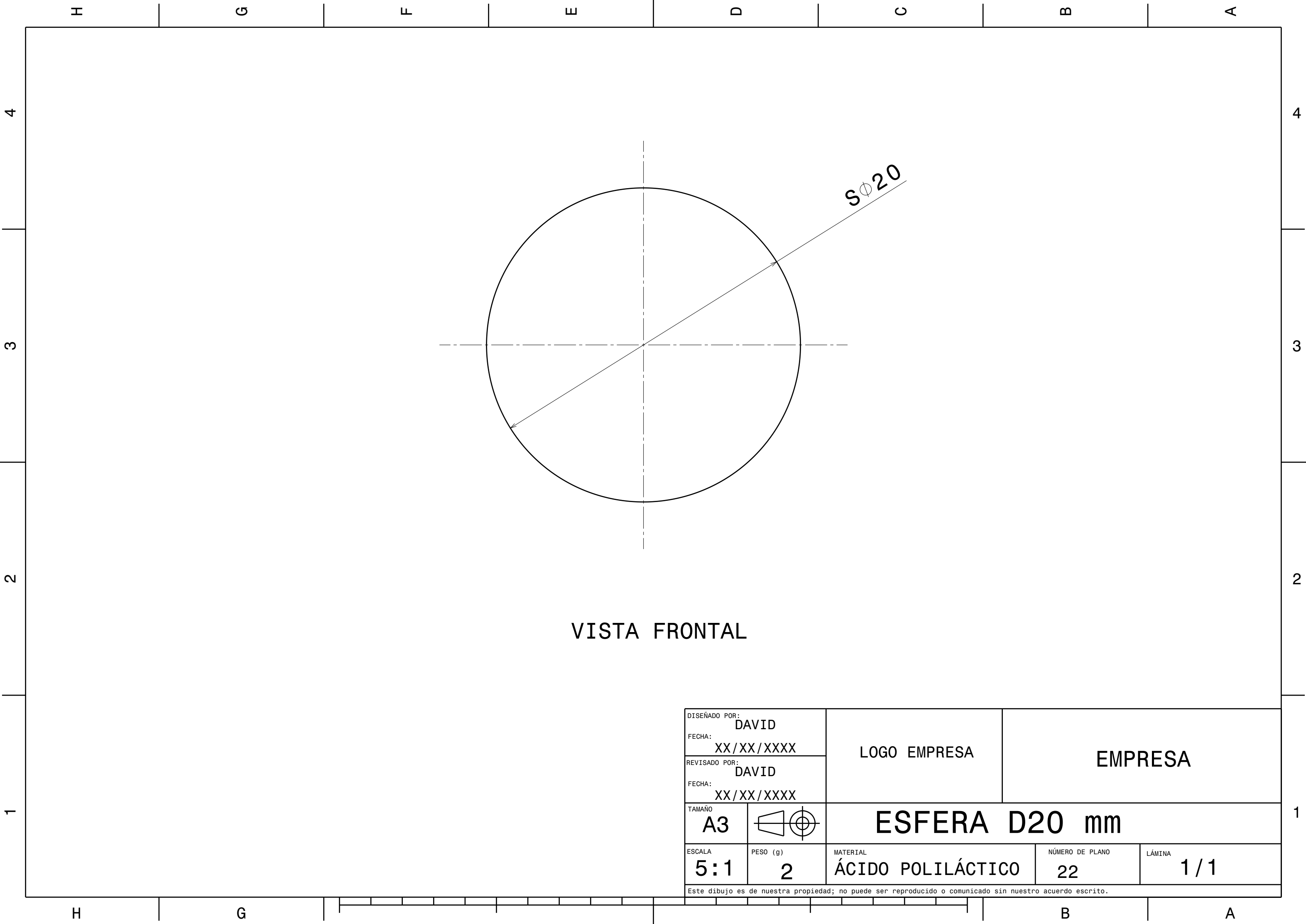
DISEÑADO POR: DAVID		LOGO EMPRESA	EMPRESA		
FECHA: XX/XX/XXXX					
REVISADO POR: DAVID					
FECHA: XX/XX/XXXX					
TAMAÑO A3		ESFERA D40 mm			
ESCALA 2:1	PESO (g) 12	MATERIAL ÁCIDO POLILÁCTICO	NÚMERO DE PLANO 20	LÁMINA 1 / 1	
Este dibujo es de nuestra propiedad; no puede ser reproducido o comunicado sin nuestro acuerdo escrito.					



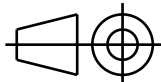
DISEÑADO POR: DAVID		LOGO EMPRESA	EMPRESA	
FECHA: XX/XX/XXXX				
REVISADO POR: DAVID		LOGO EMPRESA	EMPRESA	
FECHA: XX/XX/XXXX				
TAMAÑO A3		ESFERA D80 mm		
ESCALA 1 : 1	PESO (g) 65	MATERIAL ÁCIDO POLILÁCTICO	NÚMERO DE PLANO 21	LÁMINA 1 / 1

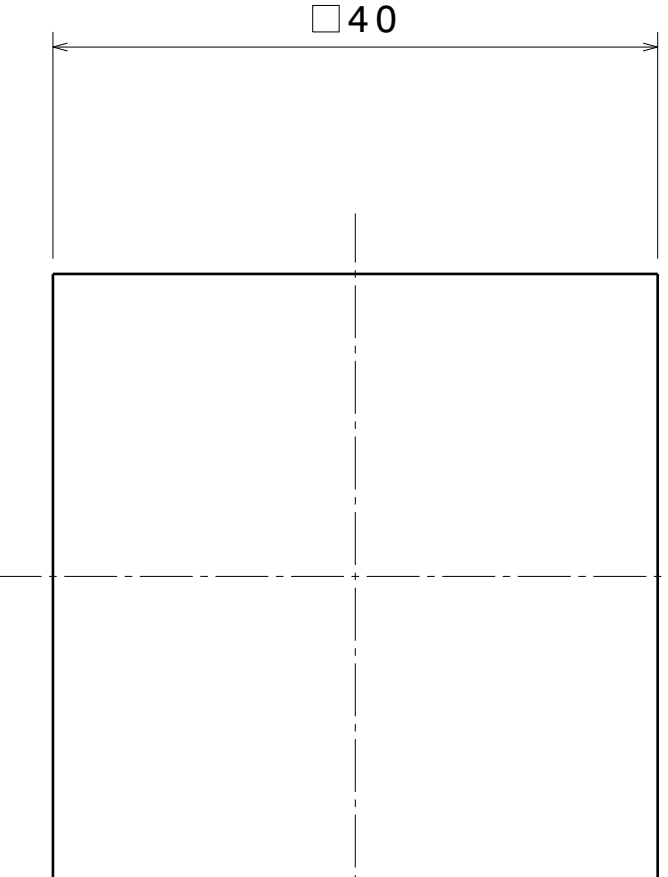
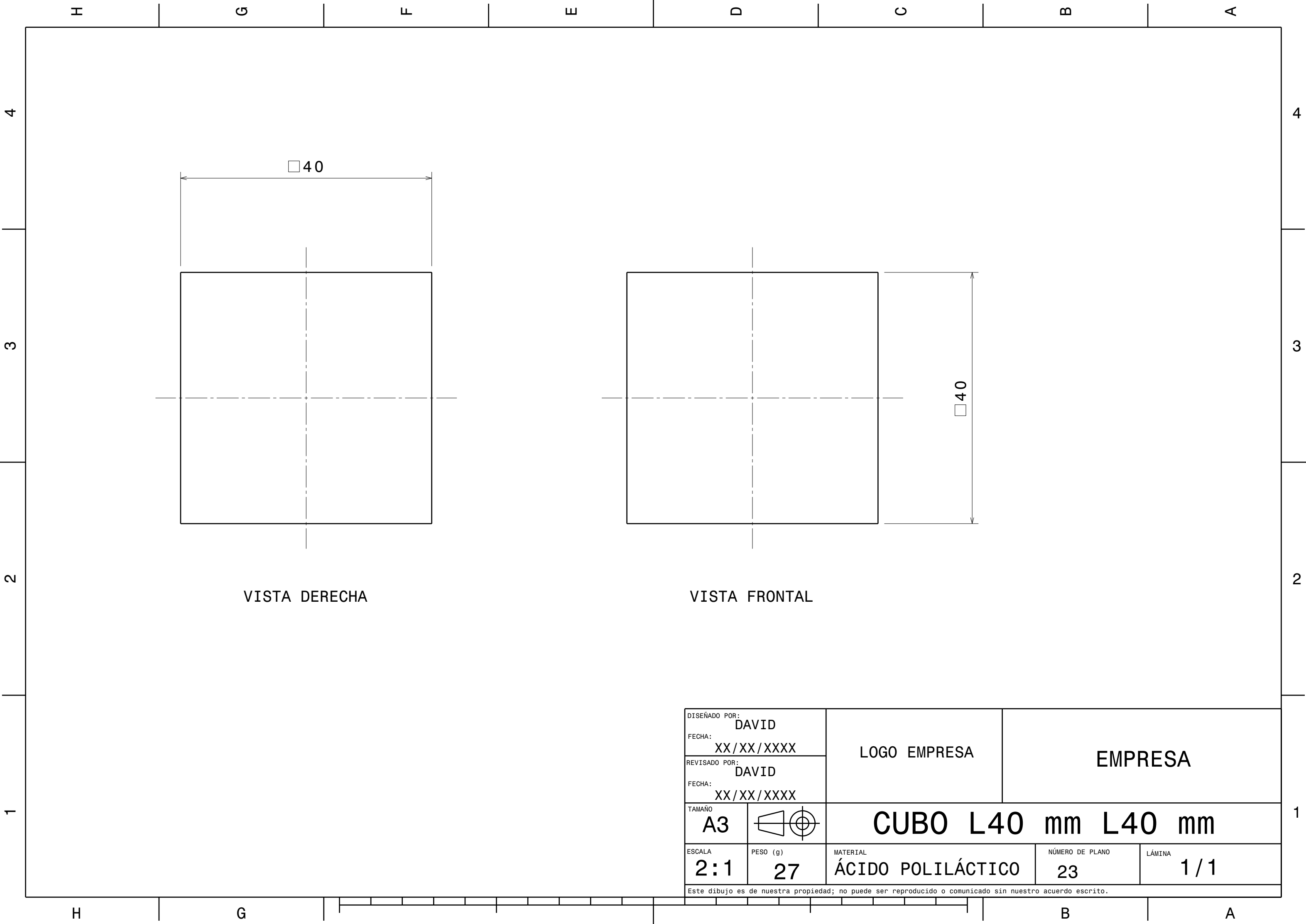
Este dibujo es de nuestra propiedad; no puede ser reproducido o comunicado sin nuestro acuerdo escrito.

Este dibujo es de nuestra propiedad; no puede ser reproducido o comunicado sin nuestro acuerdo escrito.

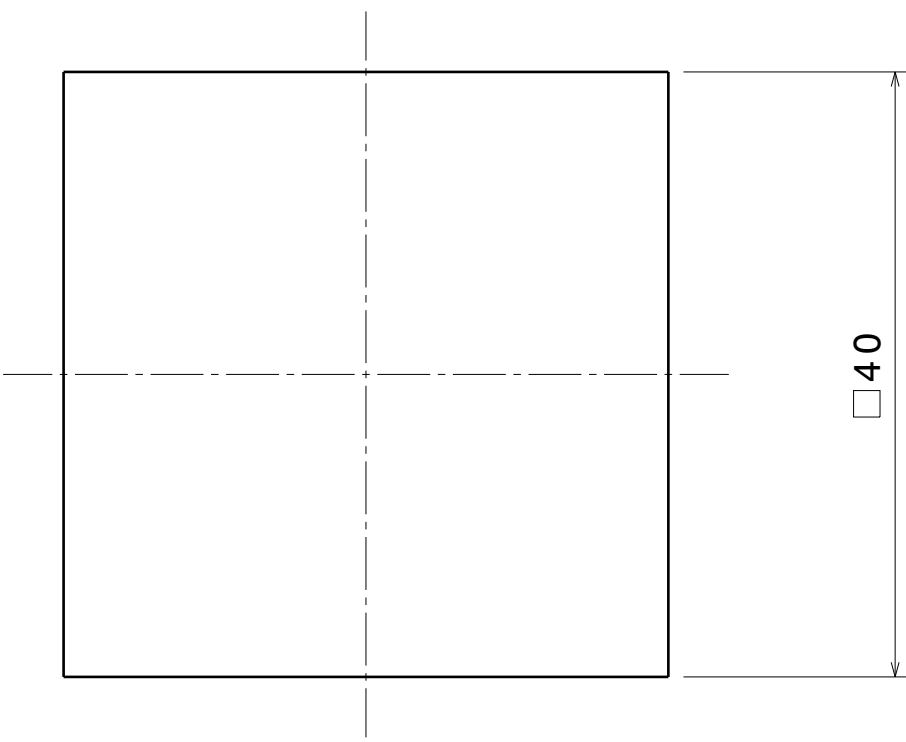


VISTA FRONTAL

DISEÑADO POR: DAVID		LOGO EMPRESA	EMPRESA	
FECHA: XX/XX/XXXX				
REVISADO POR: DAVID				
FECHA: XX/XX/XXXX				
TAMAÑO A3		ESFERA D20 mm		
ESCALA 5:1	PESO (g) 2	MATERIAL ÁCIDO POLILÁCTICO	NÚMERO DE PLANO 22	LÁMINA 1 / 1
Este dibujo es de nuestra propiedad; no puede ser reproducido o comunicado sin nuestro acuerdo escrito.				

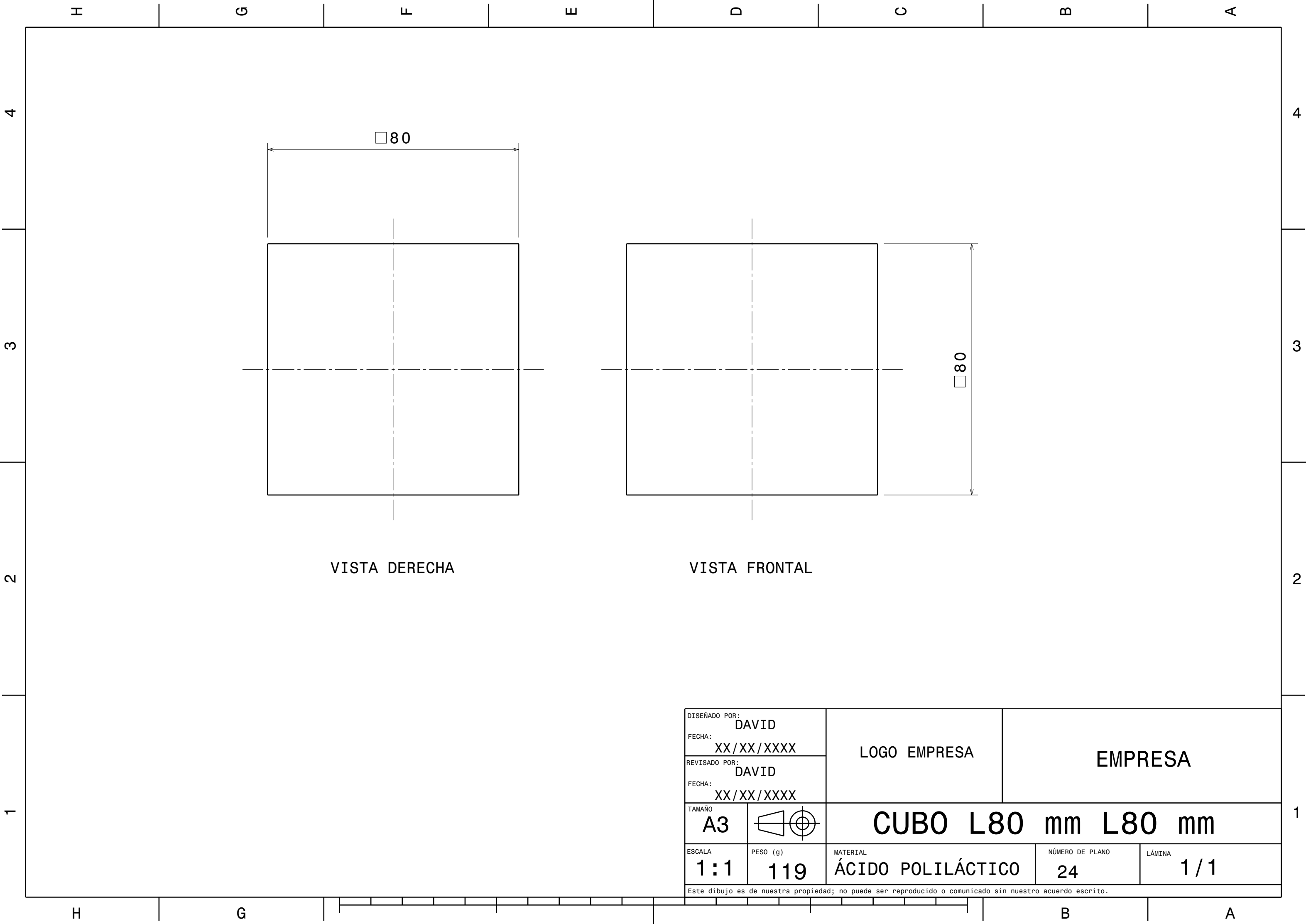


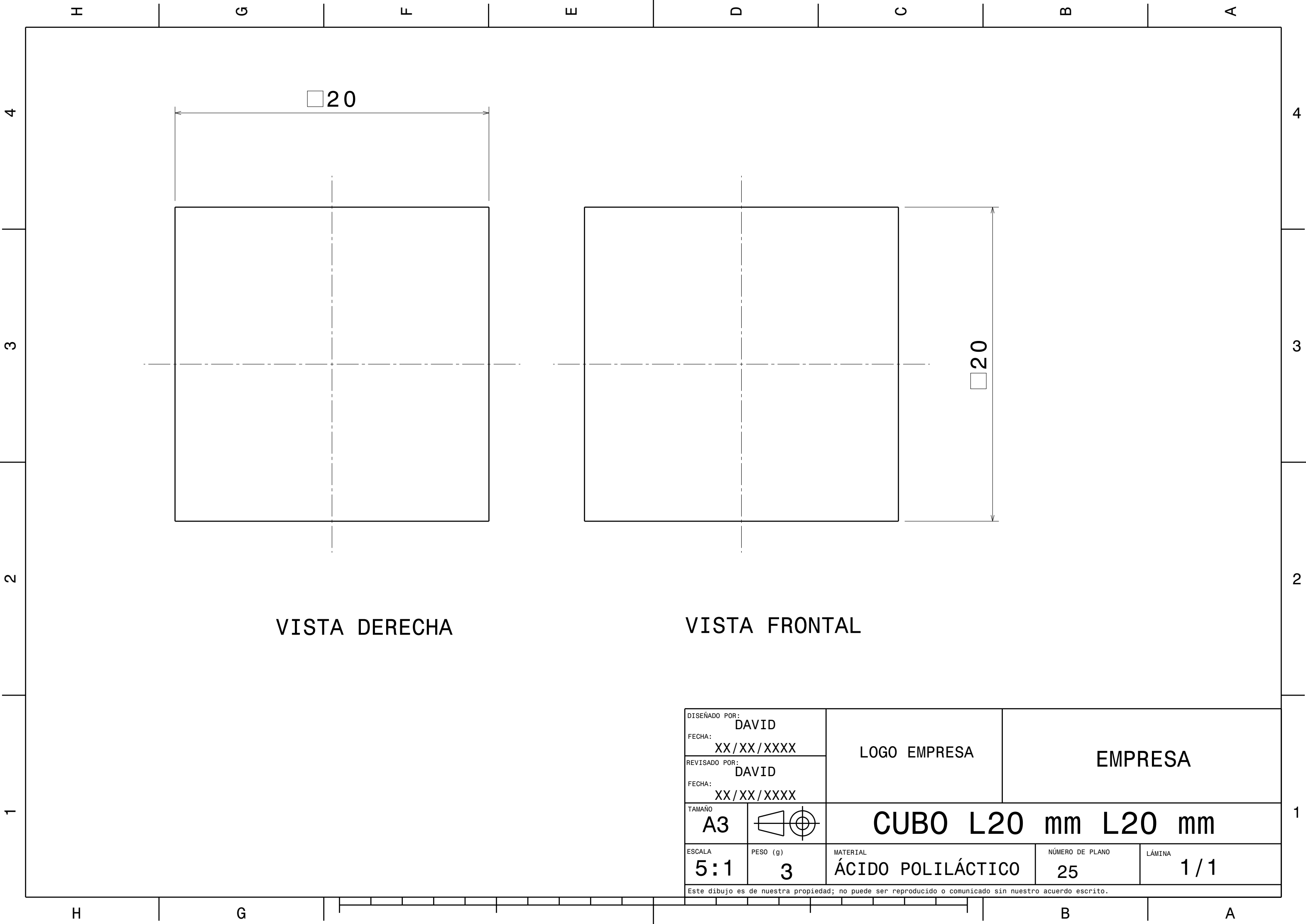
VISTA DERECHA

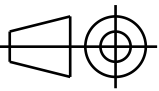


VISTA FRONTAL

DISEÑADO POR: DAVID		LOGO EMPRESA	EMPRESA	
FECHA: XX/XX/XXXX				
REVISADO POR: DAVID		CUBO L40 mm L40 mm	NÚMERO DE PLANO 23	LÁMINA 1 / 1
FECHA: XX/XX/XXXX				
TAMAÑO A3				
ESCALA 2:1	PESO (g) 27	MATERIAL ÁCIDO POLILÁCTICO		
Este dibujo es de nuestra propiedad; no puede ser reproducido o comunicado sin nuestro acuerdo escrito.				

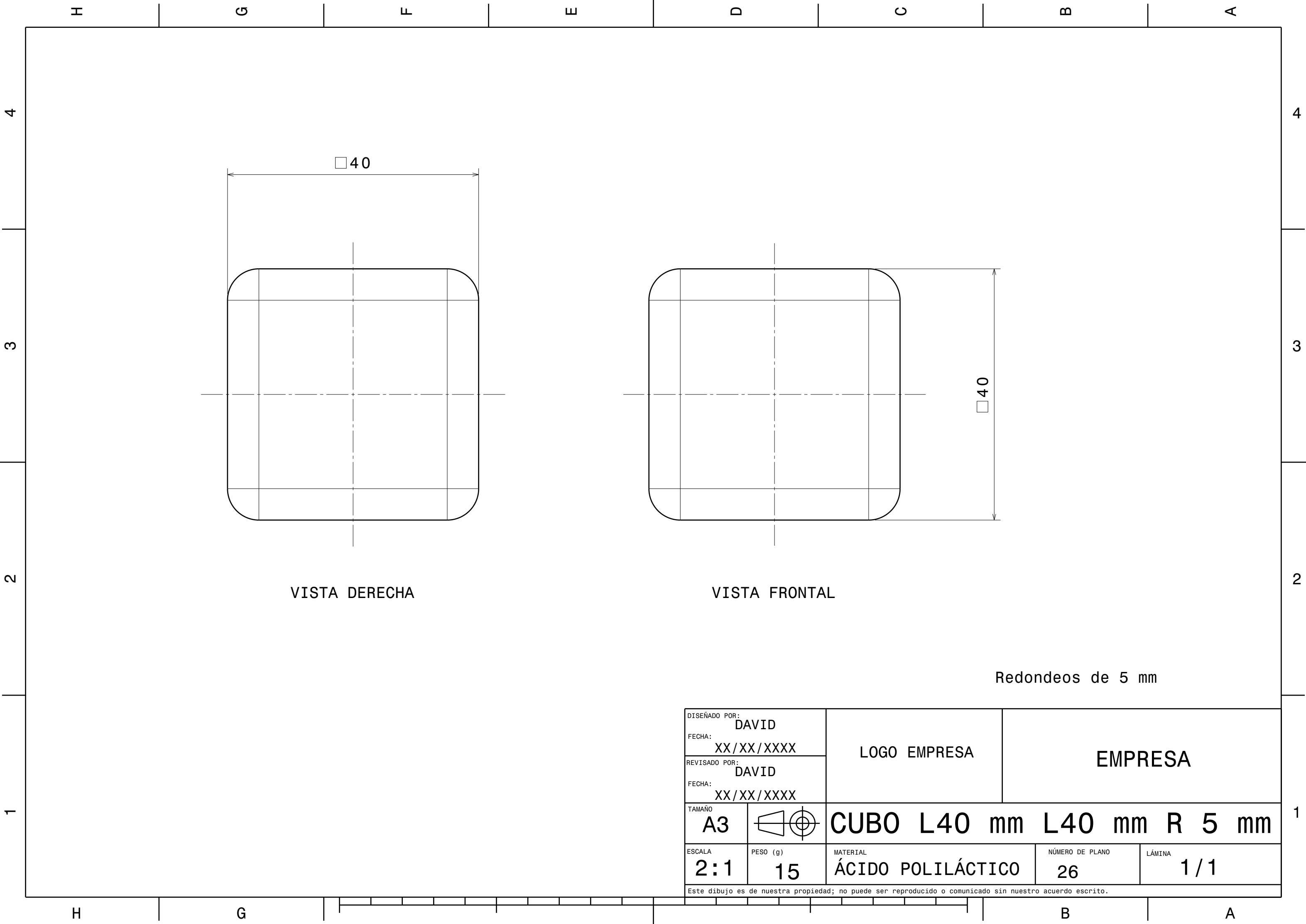


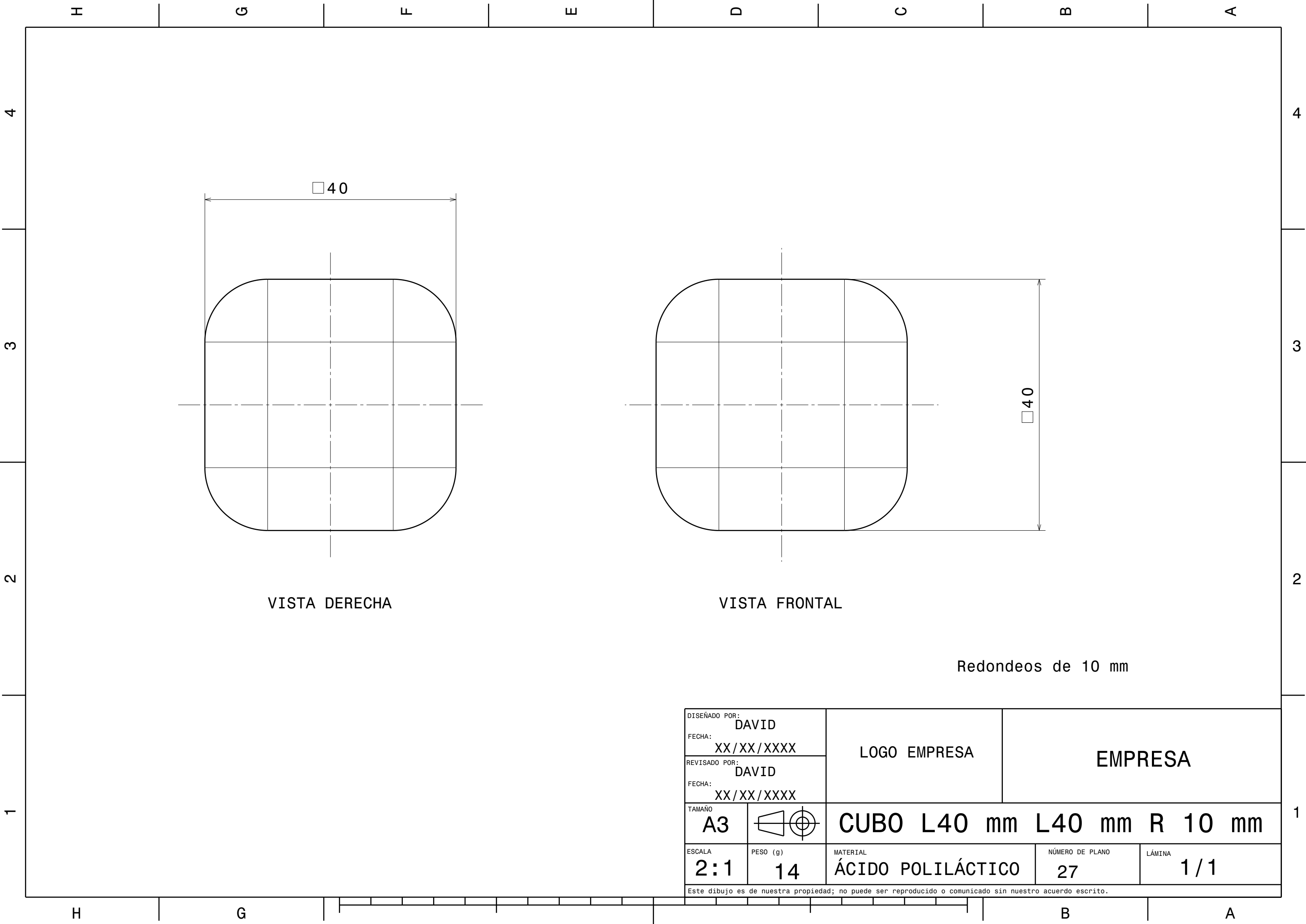


DISEÑADO POR: DAVID		LOGO EMPRESA	EMPRESA			
FECHA: XX/XX/XXXX						
REVISADO POR: DAVID						
FECHA: XX/XX/XXXX						
TAMAÑO A3		CUBO L20 mm L20 mm				
ESCALA 5:1	PESO (g) 3	MATERIAL ÁCIDO POLILÁCTICO	NÚMERO DE PLANO 25	LÁMINA 1 / 1		

Este dibujo es de nuestra propiedad; no puede ser reproducido o comunicado sin nuestro acuerdo escrito.

Este dibujo es de nuestra propiedad; no puede ser reproducido o comunicado sin nuestro acuerdo escrito.

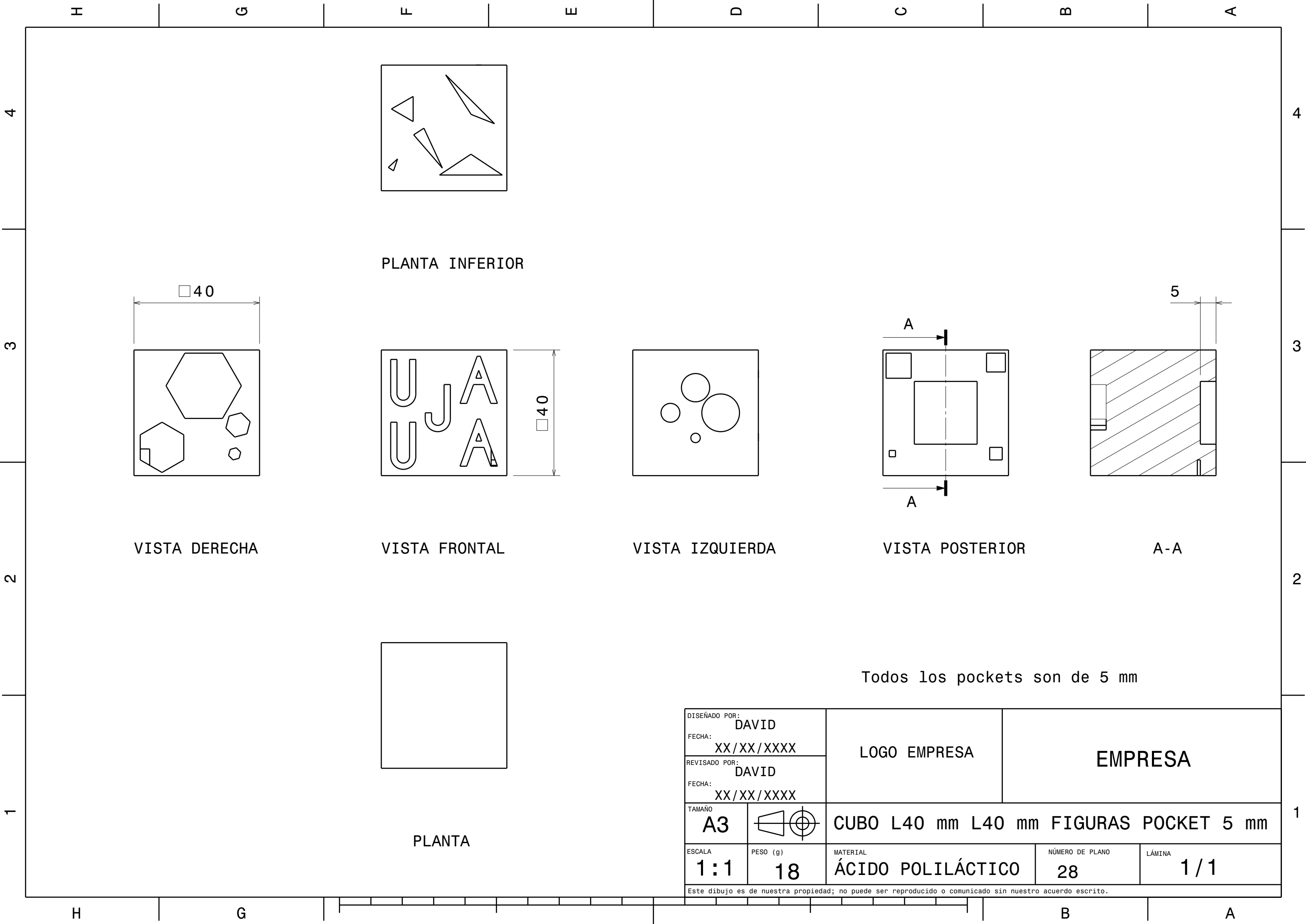


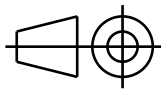


VISTA DERECHA

VISTA FRONTAL

Redondeos de 10 mm



DISEÑADO POR: DAVID		LOGO EMPRESA	EMPRESA
FECHA: XX/XX/XXXX			
REVISADO POR: DAVID			
FECHA: XX/XX/XXXX			
TAMAÑO A3		CUBO L40 mm L40 mm FIGURAS POCKET 5 mm	
ESCALA 1:1	PESO (g) 18	MATERIAL ÁCIDO POLILÁCTICO	NÚMERO DE PLANO 28
		LÁMINA 1 / 1	

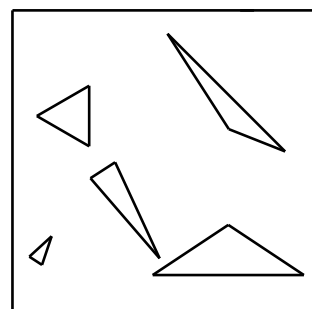
Este dibujo es de nuestra propiedad; no puede ser reproducido o comunicado sin nuestro acuerdo escrito.

4

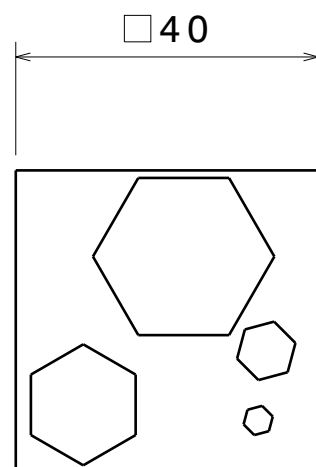
3

2

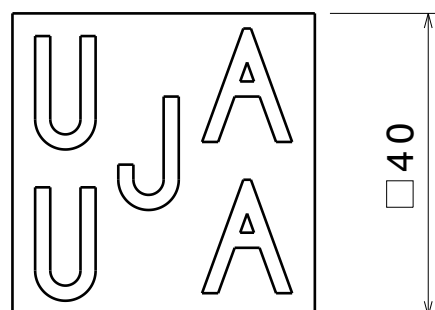
1



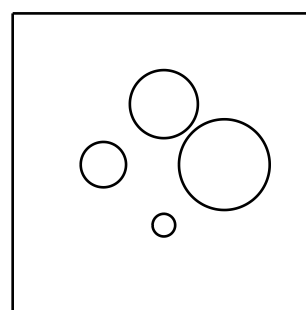
PLANTA INFERIOR



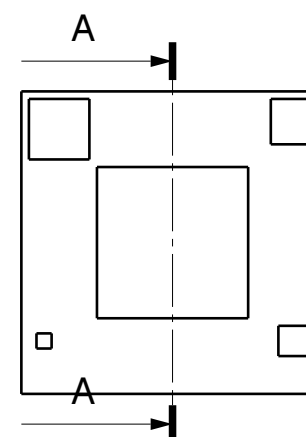
VISTA DERECHA



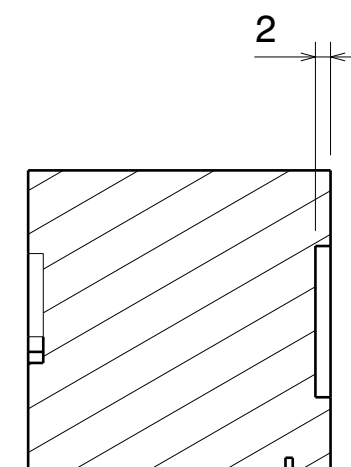
VISTA FRONTAL



VISTA IZQUIERDA

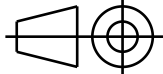


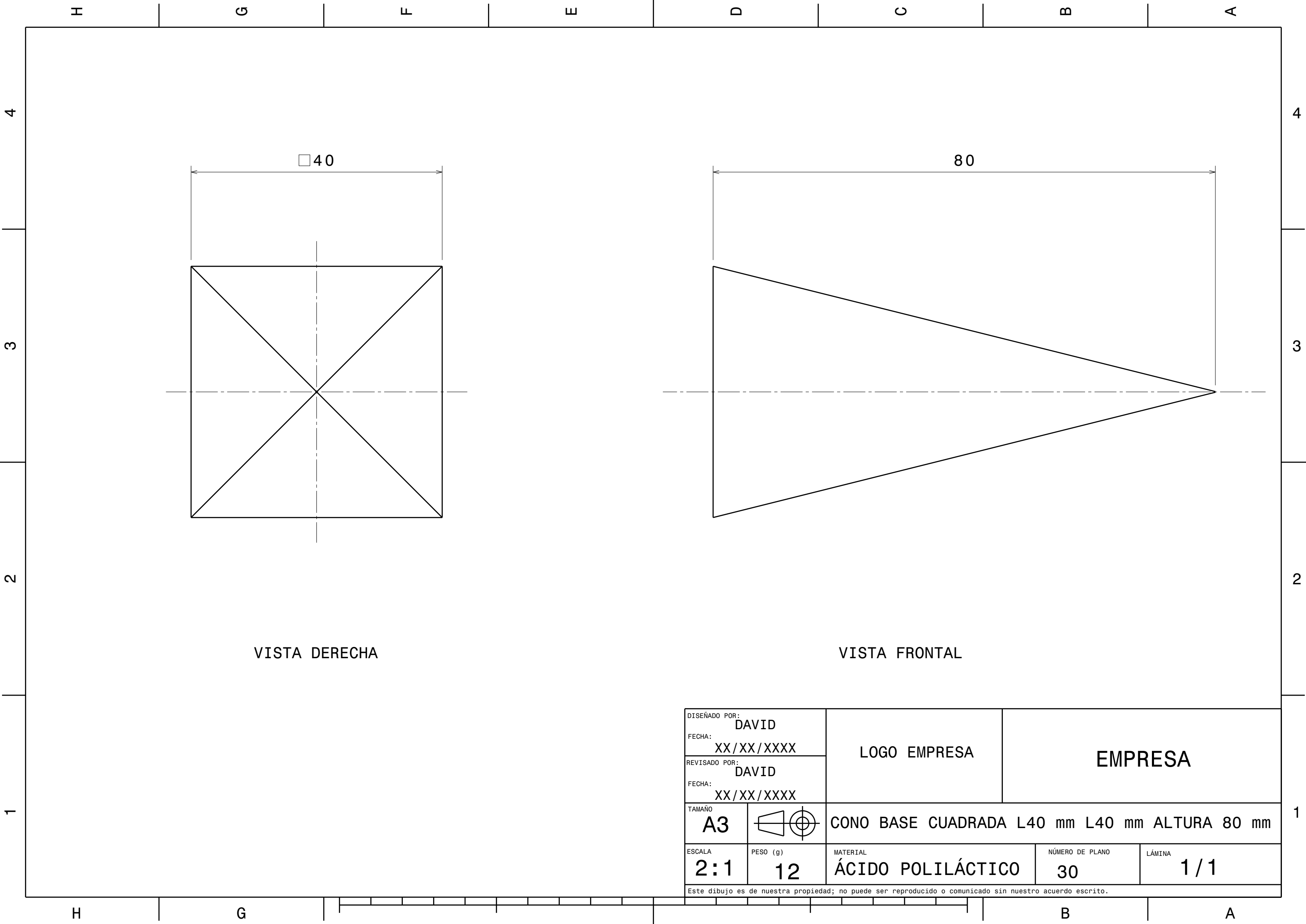
VISTA POSTERIOR



A-A

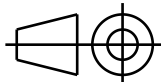
Todos los pockets son de 2 mm

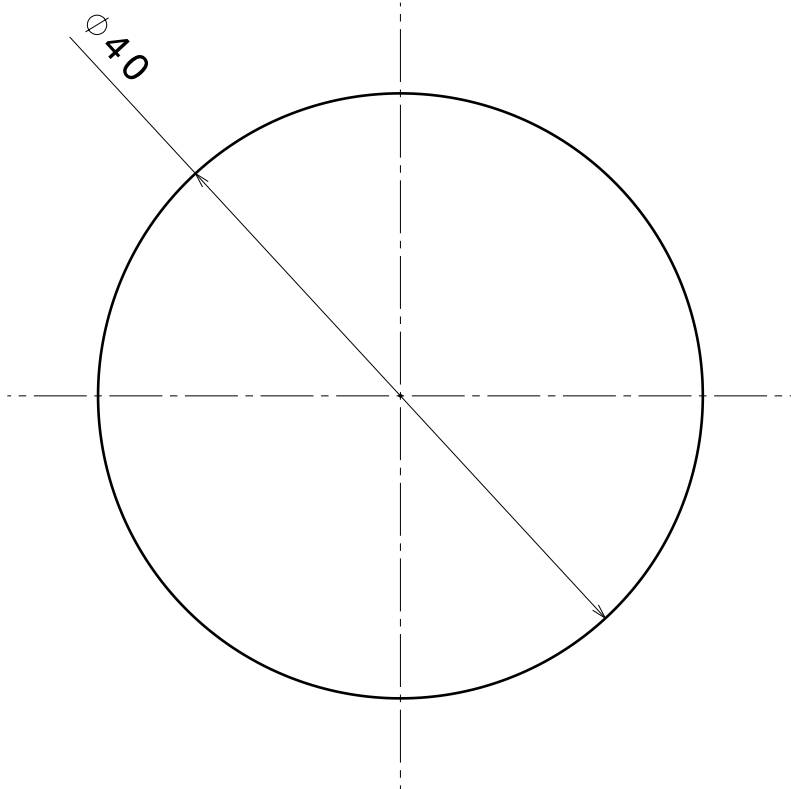
DISEÑADO POR: DAVID FECHA: XX/XX/XXXX		LOGO EMPRESA		EMPRESA	
REVISADO POR: DAVID FECHA: XX/XX/XXXX					
TAMAÑO A3		CUBO L40 mm L40 mm FIGURAS POCKET 2 mm			
ESCALA 1 : 1	PESO (g) 17	MATERIAL ÁCIDO POLILÁCTICO	NÚMERO DE PLANO 29	LÁMINA 1 / 1	
Este dibujo es de nuestra propiedad; no puede ser reproducido o comunicado sin nuestro acuerdo escrito.					



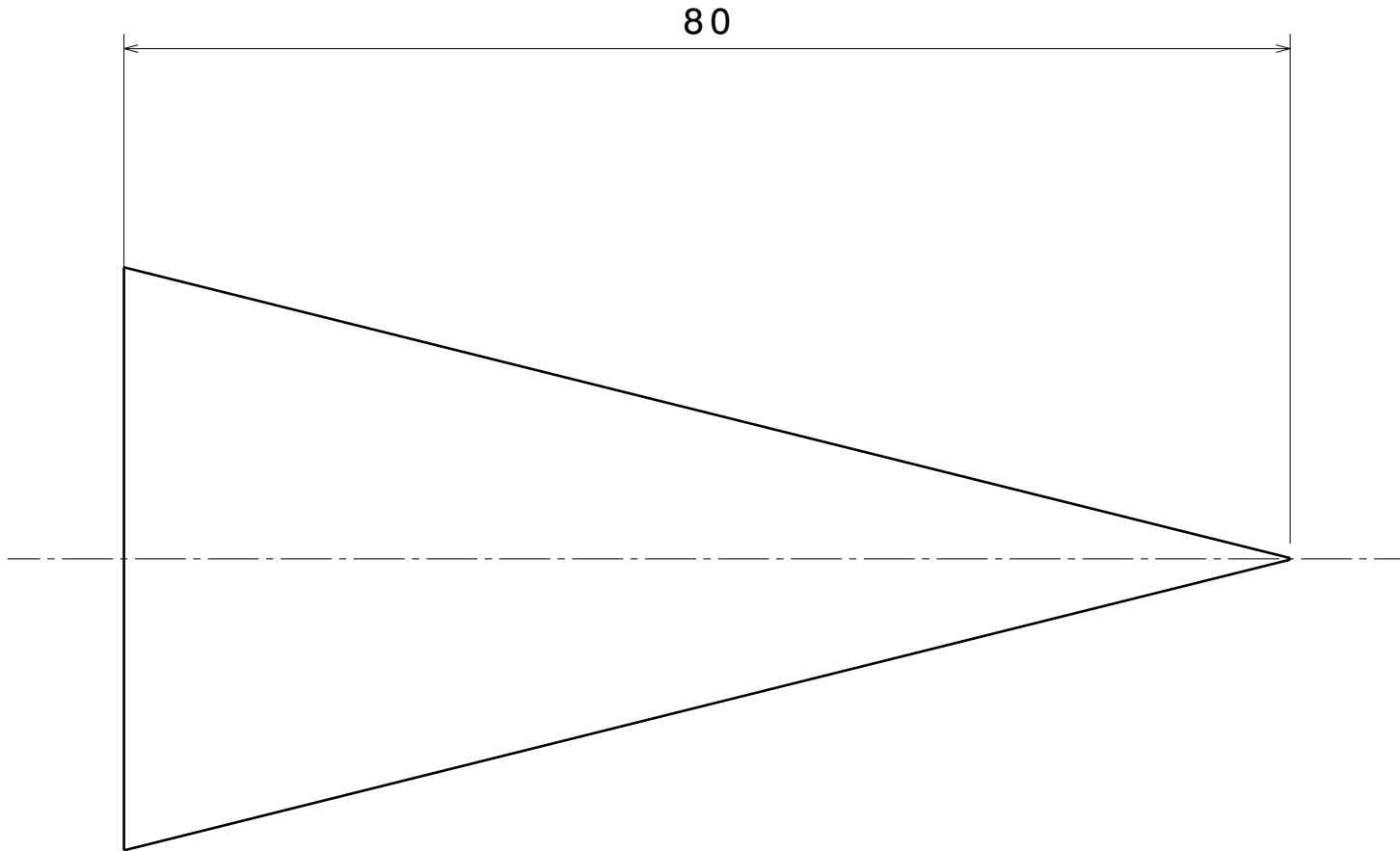
VISTA DERECHA

VISTA FRONTAL

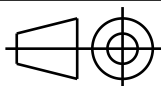
DISEÑADO POR: DAVID		LOGO EMPRESA	EMPRESA
FECHA: XX/XX/XXXX			
REVISADO POR: DAVID		CONO BASE CUADRADA L40 mm L40 mm ALTURA 80 mm	NÚMERO DE PLANO 30
FECHA: XX/XX/XXXX			
TAMAÑO A3			
ESCALA 2:1	PESO (g) 12	MATERIAL ÁCIDO POLILÁCTICO	LÁMINA 1 / 1
Este dibujo es de nuestra propiedad; no puede ser reproducido o comunicado sin nuestro acuerdo escrito.			



VISTA DERECHA



VISTA FRONTAL

DISEÑADO POR: DAVID		LOGO EMPRESA	EMPRESA	
FECHA: XX/XX/XXXX				
REVISADO POR: DAVID		LOGO EMPRESA	EMPRESA	
FECHA: XX/XX/XXXX				
TAMAÑO A3		CONO BASE CIRCULAR D40 mm ALTURA 80 mm		
ESCALA 2:1	PESO (g) 10	MATERIAL ÁCIDO POLILÁCTICO	NÚMERO DE PLANO 31	LÁMINA 1 / 1
Este dibujo es de nuestra propiedad; no puede ser reproducido o comunicado sin nuestro acuerdo escrito.				

ANEXO 3: INSTRUCCIONES PARA UTILIZAR EL ESCÁNER

Cuando se tiene completamente construido el escáner sobre una base o plataforma, con todo el cableado conectado correctamente y se ha realizado la programación de la placa Arduino como se ha explicado en los diferentes apartados del documento, entonces es cuando se puede escanear los objetos.

Con la siguiente guía ilustrativa se va a poder utilizar fácilmente el escáner y configurar en el caso de que se necesite:

Lo primero que hay que realizar es encender el sistema a través del botón ON/OFF que se puede observar en la siguiente ilustración en el interior de un cuadrado de color negro. Existen otros tres botones el que se encuentra dentro del cuadrado rojo sirve para subir, el del cuadrado verde para bajar y el del cuadrado azul para seleccionar la opción en la que se encuentre el cursor "→".



Ilustración 117: Funcionamiento de los botones

Lo primero en aparecer es elegir entre dos opciones ejecutar programa o ajustes. Al seleccionar la opción de ajustes te permite modificar los programas, el tiempo de mantener el obturador de la cámara abierto, el ángulo vertical mínimo y ajustar la elección de la cámara fotográfica. Todo esto se puede observar en la siguiente ilustración.

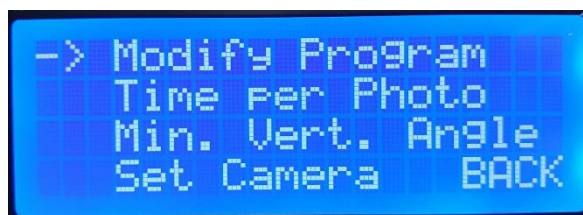
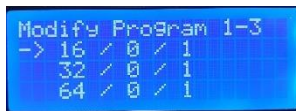


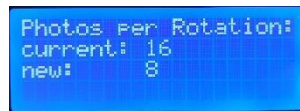
Ilustración 118: Menú ajustes

Al acceder a cualquiera de los 4 menús aparece siempre en la pantalla la misma estructura, la primera línea hace referencia a la variable que se está modificando, la segunda línea el valor actual y la tercera línea el valor nuevo que se le va a asignar. En la opción modificar programa es un caso especial porque tiene 3 variables que cambiar, cantidad de fotografías a realizar, ángulo máximo realizado por el motor Nema 17 "Rotor" y cantidad de pausas, la única diferencia con respecto a las otras opciones es que se tiene que elegir el programa a modificar y

posteriormente pasar por tres menús diferentes antes de terminar de modificar la opción completa, uno por cada variable a modificar. Todo esto se puede ver representado en las siguientes ilustraciones.



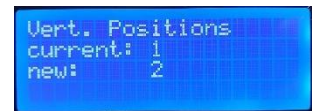
(1)



(2)



(3)



(4)

Ilustración 119: Pasos para modificar programa



Ilustración 120: Modificar el tiempo de mantener el obturador de la cámara abierto



Ilustración 121: Modificar el ángulo vertical mínimo

Para cambiar el nuevo valor de la variable se utilizan los botones de arriba y abajo y cuando se tenga el valor o la opción que se desea hay que pulsar aceptar.



Ilustración 122: Ajustar la elección de la cámara fotográfica

Una vez que se han realizado todos los ajustes necesarios el siguiente paso es escanear el objeto. Antes hay que realizar una serie de preparativos:

- Colocar un fondo blanco no brillante, una opción puede ser un folio A4 o A3
- Utilizar un soporte para que la cámara fotográfica no se mueva, en este caso al disponer de una impresora 3D se ha fabricado uno
- Iluminar el objeto para que se creen el mínimo número de sombras y se pueda ver claramente el objeto, por ejemplo, se puede utilizar un flexo

Al aceptar ejecutar el programa se pueden elegir entre dos opciones, la primera ejecutar el último programa y la segunda cargar el programa, esto se puede observar en la siguiente ilustración.

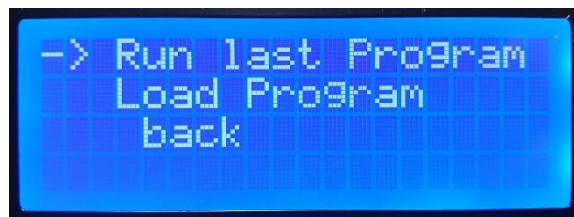


Ilustración 123: Menú ejecutar el programa

En el caso de elegir la primera opción se ejecutará el último programa cargado. Para el segundo caso se abrirá otro menú donde se podrá elegir entre 12 opciones diferentes de programas. Cada programa tiene tres variables, la primera la cantidad de fotografías a realizar en cada pausa que se realiza mientras se realiza una vuelta completa del objeto sobre sí mismo gracias al motor Nema 17 "TT", la segunda el ángulo máximo, por ejemplo, si esta variable tiene el valor de 50° , la base giratoria rotará gracias al motor Nema 17 "Rotor" desde $+50^\circ$ hasta -50° . La tercer y última variable define la cantidad de pausas que va a realizar en los diferentes ángulos de la base giratoria teniendo en cuenta los ángulos máximos. Se van a realizar dos ejemplos aclarativos de programas:

- Ejemplo 1: Programa 16/50/3, va a realizar 3 pausas una en el ángulo $+50^\circ$, otra en 0° y la última en -50° , en cada pausa se realizarán 16 fotografías mientras el objeto realiza una vuelta completa sobre sí mismo
- Ejemplo 2: Programa 32/25/5, va a realizar 5 pausas en los ángulos $+25^\circ$, $+12.5^\circ$, 0° , -12.5° , -25° , en cada pausa se realizarán 32 fotografías mientras el objeto realiza una vuelta completa sobre sí mismo

En la siguiente ilustración se muestran 3 posibles opciones de programas a ejecutar.



Ilustración 124: Opciones de programas a ejecutar

Antes de seleccionar un programa se debe colocar la cámara fotográfica en su posición, lo más cercana posible al objeto. Tras pulsar aceptar en el programa elegido, aparecerá un menú en el que nombrará cada variable explicada en el apartado anterior y su valor, tras aceptar en la opción “YES” se pasará al siguiente menú, en este se podrá mover el motor Nema 17 “Rotor” utilizando los botones arriba y abajo, al pulsar aceptar se pasará al último menú donde se podrá mover el motor Nema 17 “TT” dejando pulsados de nuevo los botones arriba o abajo. Tras aceptar, aparecerá en la pantalla “listo?”, entonces se debe comprobar que todo esta correcto y pulsar de nuevo aceptar.



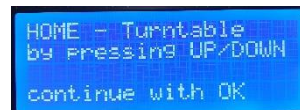
```
Start Program?
-Photos: 16
-Angle: 0
-Pos.: 1
YES
NO
```

(1)



```
HOME - Rotor
by pressing UP/DOWN
continue with OK
```

(2)



```
HOME - Turntable
by pressing UP/DOWN
continue with OK
```

(3)



```
READY?
```

(4)

Ilustración 125: Pasos para ejecutar un programa

El escáner automáticamente empezará a realizar los movimientos programados y la cámara fotográfica a realizar las fotografías cuando la placa Arduino se lo ordene, como está definido en la programación. Terminado este proceso los pasos a seguir a continuación no se realizan con el escáner.

Las fotografías realizadas se copian en un ordenador y utilizando un software de reconstrucción 3D, en este caso se ha utilizado MESHROOM por ser gratuito y de código abierto, se puede crear una malla texturizada utilizando las fotografías realizadas.