

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DE MEDICIÓN SEMIAUTOMÁTICO PARA LEVANTAMIENTO DE PLANOS

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN ELECTROMECAÁNICA

Leandro Martín Vásquez Medina

leandro.vasquez@epn.edu.ec

Director: Ing. Alan Daniel Cuenca Sánchez Msc.

alan.cuenca@epn.edu.ec

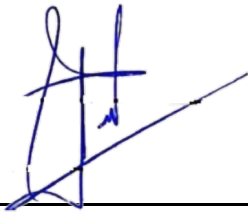
Codirector: Ing. Carlos Orlando Romo Herrera Msc.

carlos.romo@epn.edu.ec

Quito, junio 2021

CERTIFICACIÓN


Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por el Sr. Vásquez Medina Leandro Martín como requerimiento parcial a la obtención del título de TECNÓLOGO EN ELECTROMECAÁNICA nuestra supervisión:



**Alan Daniel Cuenca
Sánchez**

DIRECTOR DEL PROYECTO

CARLOS
ORLANDO
ROMO HERRERA



Firmado digitalmente por CARLOS
ORLANDO ROMO HERRERA
DN: cn=CARLOS ORLANDO
ROMO HERRERA, c=EC,
email=cromo36@hotmail.com
Fecha: 2021.08.18 20:49:06 -05'00'

**Carlos Orlando Romo
Herrera**

CODIRECTOR DEL PROYECTO

DECLARACIÓN

Yo Vásquez Medina Leandro Martín con CI: 1727168310 declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Sin perjuicio de los derechos reconocidos en el primer párrafo del artículo 144 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación – COESC-, soy titular de la obra en mención y otorgo una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva de uso con fines académicos a la Escuela Politécnica Nacional.

Entrego toda la información técnica pertinente, en caso de que hubiese una explotación comercial de la obra por parte de la EPN, se negociará los porcentajes de los beneficios conforme lo establece la normativa nacional vigente.



Vásquez Medina Leandro Martín

DEDICATORIA

A la memoria de Cristian Hurtado, 2016.

Vásquez Medina Leandro Martín

AGRADECIMIENTO

A mis padres, por brindarme la educación.

A la Escuela de Formación de Tecnólogos.

Al director de proyecto Msc. Alan Cuenca y al codirector Msc. Carlos Romo, por su asesoría.

Al lector, por su interés y tiempo.

Vásquez Medina Leandro Martín

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | Introducción | 1 |
| 1.1 | Objetivo general | 1 |
| 1.2 | Objetivos específicos | 1 |
| 2 | Metodología | 2 |
| 2.1 | Descripción de la metodología usada | 2 |
| 3 | Resultados y discusión | 3 |
| 3.1 | Requerimientos | 3 |
| | Características de equipos comerciales..... | 5 |
| | Componentes viables para la implementación | 8 |
| | Complejidad de la construcción | 8 |
| | Interfaz de usuario | 9 |
| 3.2 | Planos | 13 |
| | Diagrama de bloques..... | 13 |
| | Planos mecánicos..... | 15 |
| | Diagramas circuitales..... | 15 |
| | Protecciones | 22 |
| 3.3 | Componentes | 23 |
| | Medidor | 23 |
| | Circuitos | 31 |
| 3.4 | Implementación | 35 |
| | Circuito adaptador | 35 |
| | Unidad móvil | 36 |
| | Unidad central | 38 |
| | Calibración..... | 41 |
| 3.5 | Algoritmo de control..... | 43 |
| | Programación en Arduino IDE | 43 |
| | Programación en App Inventor | 46 |

| | |
|---|-------|
| Programación en Processing 3 | 48 |
| 3.6 Pruebas y análisis de resultados | 49 |
| Pruebas de medición | 49 |
| Velocidad de respuesta | 57 |
| Respuesta ante interferencias | 59 |
| Pruebas de sincronía | 60 |
| 3.7 Manual de uso y mantenimiento | 63 |
| Manual de uso | 63 |
| Manual de mantenimiento..... | 63 |
| 4 Conclusiones y recomendaciones | 64 |
| 4.1 Conclusiones | 64 |
| 4.2 Recomendaciones | 65 |
| 5 Referencias bibliográficas | 66 |
| ANEXOS..... | 69 |
| Anexo 1: Certificado de funcionamiento..... | i |
| Anexo 2: Planos y esquemas..... | iii |
| Anexo 3: Datos técnicos | xix |
| Anexo 4: Enlaces adicionales | xxvii |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|--------------------|---|----|
| Figura 3.1 | Ejemplo de representación de un plano medido..... | 3 |
| Figura 3.2 | Ejemplo de plano que requiere desplazar el equipo | 4 |
| Figura 3.3 | Mejora en la apariencia del plano levantado. | 5 |
| Figura 3.4 | Modelos de medidores empleados en arquitectura e ingeniería civil. | 5 |
| Figura 3.5 | Modelos LiDAR comerciales para mapeo | 6 |
| Figura 3.6 | Ejemplo de espacio escaneado con el LiDAR modelo OS1. | 6 |
| Figura 3.7 | Ejemplos de aplicación de LiDAR móviles en robótica. | 6 |
| Figura 3.8 | Ejemplo de espacio mapeado con sistemas LiDAR móviles..... | 7 |
| Figura 3.9 | Modelos LiDAR de la marca <i>YDLiDAR</i> | 7 |
| Figura 3.10 | Ejemplo de plano escaneado empleando un LiDAR X4. | 7 |
| Figura 3.11 | Distorsiones por desfase en sistemas de mapeo. | 8 |
| Figura 3.12 | Diagrama de ejemplificación del inicio del proceso. | 9 |
| Figura 3.13 | Ventana de editor gráfico. | 10 |
| Figura 3.14 | Editor de código. | 11 |
| Figura 3.15 | Ejemplo de algoritmo visualizado en la interfaz de Processing..... | 11 |
| Figura 3.16 | Componentes del editor de código de Processing..... | 12 |
| Figura 3.17 | Diagrama de bloques del equipo. | 13 |
| Figura 3.18 | Distribución de componentes (simplificación). | 15 |
| Figura 3.19 | Rueda omnidireccional diseñada..... | 15 |
| Figura 3.20 | Elementos conectados al microcontrolador de la unidad central | 16 |
| Figura 3.21 | PCB de la unidad central..... | 18 |
| Figura 3.22 | Circuito de la unidad móvil (simplificación). | 18 |
| Figura 3.23 | Curva característica de LEDs en función del color. | 19 |
| Figura 3.24 | Curva característica del TIP32C..... | 21 |
| Figura 3.25 | PCB de la unidad móvil | 21 |
| Figura 3.26 | Conexión de los fusibles de protección | 22 |
| Figura 3.27 | Medidor láser BOSCH (modelo GLM - 20). | 23 |
| Figura 3.28 | Esquema de componentes de un medidor láser..... | 23 |
| Figura 3.29 | Unidades de medida del medidor láser GLM - 20..... | 24 |
| Figura 3.30 | Agrupación de dígitos de la pantalla del medidor láser..... | 24 |
| Figura 3.31 | Despiece del medidor..... | 25 |
| Figura 3.32 | Pines del LCD del medidor láser. | 26 |
| Figura 3.33 | Señales obtenidas en los terminales "COM". | 26 |
| Figura 3.34 | Distribución de información en el LCD estudiado. | 27 |

| | | |
|--------------------|--|----|
| Figura 3.35 | Pines de encendido de los segmentos del grupo de medición actual. | 27 |
| Figura 3.36 | Ejemplo de señales obtenidas al realizar una medición. | 27 |
| Figura 3.37 | Ejemplo de ondas de voltaje para extracción de información. | 29 |
| Figura 3.38 | Circuito de detección de la interrupción. | 30 |
| Figura 3.39 | Circuito de lectura de cada dígito. | 31 |
| Figura 3.40 | PCB del adaptador. | 31 |
| Figura 3.41 | Placas de desarrollo de la marca Arduino empleadas. | 32 |
| Figura 3.42 | Motor Paso a Paso modelo 28BYJ- 48. | 32 |
| Figura 3.43 | Elementos de potencia empleados. | 32 |
| Figura 3.44 | Tipos de baterías empleadas. | 33 |
| Figura 3.45 | Densidad de energía gravimétrica y volumétrica de las baterías. | 33 |
| Figura 3.46 | Elementos de comunicación. | 34 |
| Figura 3.47 | Cargador de baterías y regulador de voltaje. | 34 |
| Figura 3.48 | Enlace al Instructivo detallado de ensamble. | 35 |
| Figura 3.49 | Conexión a los pines del medidor láser. | 35 |
| Figura 3.50 | Circuito adaptador. | 36 |
| Figura 3.51 | Conexión del LED al adaptador. | 37 |
| Figura 3.52 | Conexión de los controladores a la placa base de la unidad móvil. | 37 |
| Figura 3.53 | Motores de la unidad móvil. | 37 |
| Figura 3.54 | Conexiones finales de la unidad móvil. | 38 |
| Figura 3.55 | Unidad móvil completamente ensamblada. | 38 |
| Figura 3.56 | Prueba de funcionamiento de la unidad central. | 39 |
| Figura 3.57 | Ensamble del cabezal. | 39 |
| Figura 3.58 | Aseguramiento del medidor láser. | 39 |
| Figura 3.59 | Revisión final de voltajes. | 40 |
| Figura 3.60 | Cabezal ensamblado. | 40 |
| Figura 3.61 | Equipo completamente ensamblado. | 40 |
| Figura 3.62 | Offset de medición. | 41 |
| Figura 3.63 | Enlace a la plantilla de calibración. | 41 |
| Figura 3.64 | Inicio del proceso de calibración. | 41 |
| Figura 3.65 | Calibración del medidor láser. | 42 |
| Figura 3.66 | Algoritmo del adaptador (simplificación). | 43 |
| Figura 3.67 | Algoritmo de la unidad central (simplificación). | 44 |
| Figura 3.68 | Subrutina de envío por <i>bluetooth</i> de forma confiable. | 45 |
| Figura 3.69 | Algoritmo de la unidad móvil (simplificación). | 46 |
| Figura 3.70 | Algoritmo de la aplicación (simplificación). | 47 |

| | |
|--|----|
| Figura 3.71 Algoritmo de la HMI (simplificación) | 48 |
| Figura 3.72 Enlace a los algoritmos de control comentados..... | 48 |
| Figura 3.73 Enlace a las evidencias de funcionamiento. | 49 |
| Figura 3.74 Diagrama de ejemplo para obtención de medidas..... | 50 |
| Figura 3.75 Resumen de resultados de las pruebas estáticas. | 52 |
| Figura 3.76 Errores porcentuales en los planos sin refinado..... | 56 |
| Figura 3.77 Errores porcentuales en los planos con refinado en modo puntos..... | 56 |
| Figura 3.78 Errores porcentuales en los planos con refinado en modo líneas..... | 56 |
| Figura 3.79 Promedio de errores porcentuales en cada prueba. | 57 |
| Figura 3.80 Visualización de los resultados de las pruebas de transmisión. | 59 |
| Figura 3.81 Visualización de los resultados de las pruebas de sincronía (10 ms). | 60 |
| Figura 3.82 Visualización de los resultados de las pruebas de sincronía (20 ms). | 61 |
| Figura 3.83 Visualización de los resultados de las pruebas de sincronía (30 ms). | 62 |
| Figura 3.84 Enlace al video de manual de uso..... | 63 |
| Figura 3.85 Enlace al video del manual de mantenimiento..... | 63 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 3.1 Señales obtenidas para cada dígito posible..... | 28 |
| Tabla 3.2 Resultados de las pruebas estáticas (sin refinado)..... | 50 |
| Tabla 3.3 Resultados de las pruebas móviles (con refinado)..... | 52 |
| Tabla 3.4 Resultados de las pruebas de transmisión..... | 58 |
| Tabla 3.5 Resultados de la prueba de interferencias..... | 59 |
| Tabla 3.6 Resultados de la prueba de sincronía (velocidad de lectura de 10 ms)..... | 60 |
| Tabla 3.7 Resultados de la prueba de sincronía (velocidad de lectura de 20 ms)..... | 61 |
| Tabla 3.8 Resultados de la prueba de sincronía (velocidad de lectura de 30 ms)..... | 61 |

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo la construcción de un equipo semiautomático capaz de levantar planos arquitectónicos empleando un medidor láser comercial modificado, circuitería complementaria y una interfaz gráfica de usuario en un dispositivo Android para la representación de la superficie medida, la información es enviada mediante un algoritmo de transmisión confiable por *bluetooth*.

La presente documentación está distribuida de la siguiente manera:

En el Capítulo 1 se explica la problemática en torno al proceso de levantamiento de planos y los objetivos del proyecto.

En el Capítulo 2 se describe detalladamente la metodología empleada para el diseño y construcción del equipo.

El Capítulo 3 contiene los resultados del diseño y construcción, cálculos, resumen de la construcción, selección de componentes, algoritmos codificados y pruebas de funcionamiento para diferentes parámetros del sistema, así como el manual de usuario y de servicio técnico.

En el Capítulo 4 se exponen las conclusiones obtenidas para cada objetivo planteado y las recomendaciones para los interesados en el desarrollo de proyectos similares al presentado.

Por último, en el Capítulo 5 se muestran todas las fuentes consultadas en la fase de diseño del proyecto.

PALABRAS CLAVE: Planos Arquitectónicos, Medidor Láser, Bluetooth, Smartphone, GUI, HMI.

ABSTRACT

The present project aims to build a semi-automatic equipment capable of drawing up architectural plans using a modified commercial laser meter, complementary circuitry and a graphical user interface on an Android device for the representation of the measured surface, the information is sent through a reliable bluetooth transmission algorithm.

This documentation is distributed as follows:

In Chapter 1, the problems surrounding the process of drawing up plans and the objectives of the project are explained.

Chapter 2 describes in detail the methodology used for the design and construction of the equipment.

Chapter 3 contains design and build, calculations, build summary, component selection, coded algorithms, and function tests for different system parameters, as well as the user and service manual.

Chapter 4 presents the conclusions obtained for each objective set and the recommendations for those interested in the development of projects similar to the one presented.

Finally, Chapter 5 shows all the sources consulted in the project design phase.

KEY WORDS: Architectural Plans, Laser Meter, Bluetooth, Smartphone, GUI, HMI.

1 INTRODUCCIÓN

Para reconocer las dimensiones de edificaciones (levantamiento de planos) se requieren equipos de medición precisos [1] y personas encargadas de recolectar la información, graficarla y digitalizarla [2].

Dependiendo del área de estudio, un arquitecto emplea una gran cantidad de tiempo en realizar la medición de una superficie interior, sin embargo, un equipo semiautomático puede realizar la misma función en cuestión de minutos [3], dicha reducción de tiempo puede beneficiar tanto al profesional encargado de tomar las mediciones como a su cliente por la significativa reducción de costos y tiempo de trabajo empleado.

Los equipos “LiDAR” (*Light Detection and Ranging*) [4] existentes son capaces de automatizar esta función midiendo el tiempo que la señal tarda en reflejarse un haz de luz conociendo previamente el valor de la velocidad en el aire y la separación entre emisor y receptor láser [5]; sin embargo, los equipos mencionados poseen costos elevados, así como dificultades para su adquisición en el mercado ecuatoriano.

En el presente proyecto se construye un equipo de medición con características similares a LiDAR, empleando un medidor láser comercial para reducir su costo de forma significativa, con una interfaz para recolección de datos para el levantamiento de planos en un dispositivo Android.

El aval de funcionamiento del proyecto se encuentra disponible en el Anexo 1.

1.1 Objetivo general

Construir un equipo de medición semiautomático para levantamiento de planos.

1.2 Objetivos específicos

Determinar los requerimientos del equipo de medición.

Diseñar los diagramas circuitales para el equipo.

Seleccionar los componentes para la implementación.

Implementar el equipo de medición.

Desarrollar el algoritmo de control.

Realizar las pruebas de funcionamiento.

Elaborar un manual de usuario.

2 METODOLOGÍA

2.1 Descripción de la metodología usada

La construcción del equipo se realizó en función de los requerimientos y cualidades deseadas empleando como referencia las características de equipos comerciales, se consideró la alternativa más económica y los posibles inconvenientes de diseño.

Los diagramas circuitales se diseñaron empleando una amplia cantidad de periféricos, tal es el caso de un medidor láser comercial de marca BOSCH modelo GLM-20 en conjunto con un circuito de lectura para disponer de la información del instrumento con protocolo de circuito inter-integrado (I2C), dicho circuito emplea un ATmega 328P embebido en una placa de desarrollo Arduino Nano.

Se emplea un algoritmo de comparación del valor mostrado en la pantalla del instrumento con las matrices de números previamente medidos, se obtienen los dígitos mostrados y se reconstruye el valor original para visualizarse en la interfaz en el ordenador del operador.

Para la transmisión de los datos de la unidad central de mapeo (basada en un ATmega 2560 de la placa de desarrollo Arduino Mega) hacia el dispositivo Android del usuario se emplea un módulo *bluetooth* 2.0 Maestro/Esclavo modelo HC-05. La circuitería encargada de obtener el valor medido y la unidad central del equipo se encuentran dispuestas en un cabezal rotatorio sobre un mecanismo de movimiento (unidad móvil) manejado mediante motores a pasos modelo 28BJY-48.

La información se somete a un proceso de envío seguro y una descomposición rectangular para dibujar los píxeles en la pantalla del operador de forma adecuada y servirá para levantamiento de planos de determinadas superficies bidimensionales. Los datos recibidos se someten a un proceso final de refinado para entregar gráficos estéticamente más agradables y fáciles de entender.

La construcción mecánica se realizó empleando modelado e impresión 3D en conjunto con piezas cortadas mediante láser.

Finalmente, se realizaron pruebas de funcionamiento empleando paredes de prueba para emular la arquitectura de diversos escenarios, se evaluaron y midieron los parámetros complementarios como latencia, pérdidas generadas en el envío, efectos de distintas interferencias y calidad de los planos levantados.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se construyó un equipo para levantamiento de planos que emplea un medidor láser comercial, al cual se conectó un circuito para extracción de información capaz de simular las funciones de un operador humano. Tal circuitería se encuentra en un cabezal rotacional encargado de direccionar la medición hacia distintos puntos.

Las mediciones realizadas son enviadas a una aplicación en un teléfono celular o tablet, donde se descomponen rectangularmente y se dibujan a manera de pixeles en un plano.

3.1 Requerimientos

Se busca que el equipo sea fácil de manejar, con una interfaz de usuario intuitiva que incluya instrucciones de uso y entregue los valores medidos de forma simple. Se propone permitir al operador acceder a las funciones más complejas (como calibración, revisión de todos los valores enviados, ajustes, depuración, etc.) para evitar errores humanos durante el proceso.

Dada una edificación similar a la mostrada en la Figura 3.1a se propone que la aplicación pueda mostrar el plano levantado tanto en formato de puntos como líneas, tales modos pueden apreciarse en la representación de la Figura 3.1b.

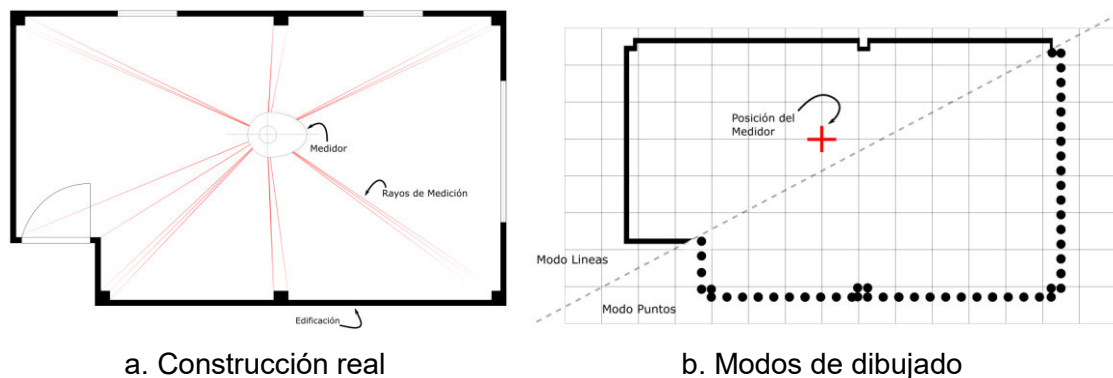


Figura 3.1 Ejemplo de representación de un plano medido.

El proceso es capaz de entregar resultados como los previamente mencionados sin intervención del operador para áreas pequeñas. Para realizar el levantamiento completo del plano de un área interior (departamentos, pasillos, oficinas, etc.) es necesario que el sistema se desplace y recolecte mediciones desde diferentes posiciones.

Tomando como ejemplo el diagrama mostrado en la Figura 3.2, se aprecia que cuando el equipo inicia el proceso (a) existe una zona que será obstruida de la vista del medidor. Una vez el equipo finaliza el mapeo primario (b) el plano levantado posee un área vacía (denominada “zona inconsistente”), el mecanismo completo debe desplazarse hacia una posición más adecuada (c) y procede a medir el desplazamiento del sistema con el posible desvío.

Se repite la medición desde una diferente referencia y se dibujan los nuevos puntos sobre los previamente medidos. En caso de que se sigan produciendo inconsistencias el proceso se repite hasta que el área se encuentre completamente mapeada.

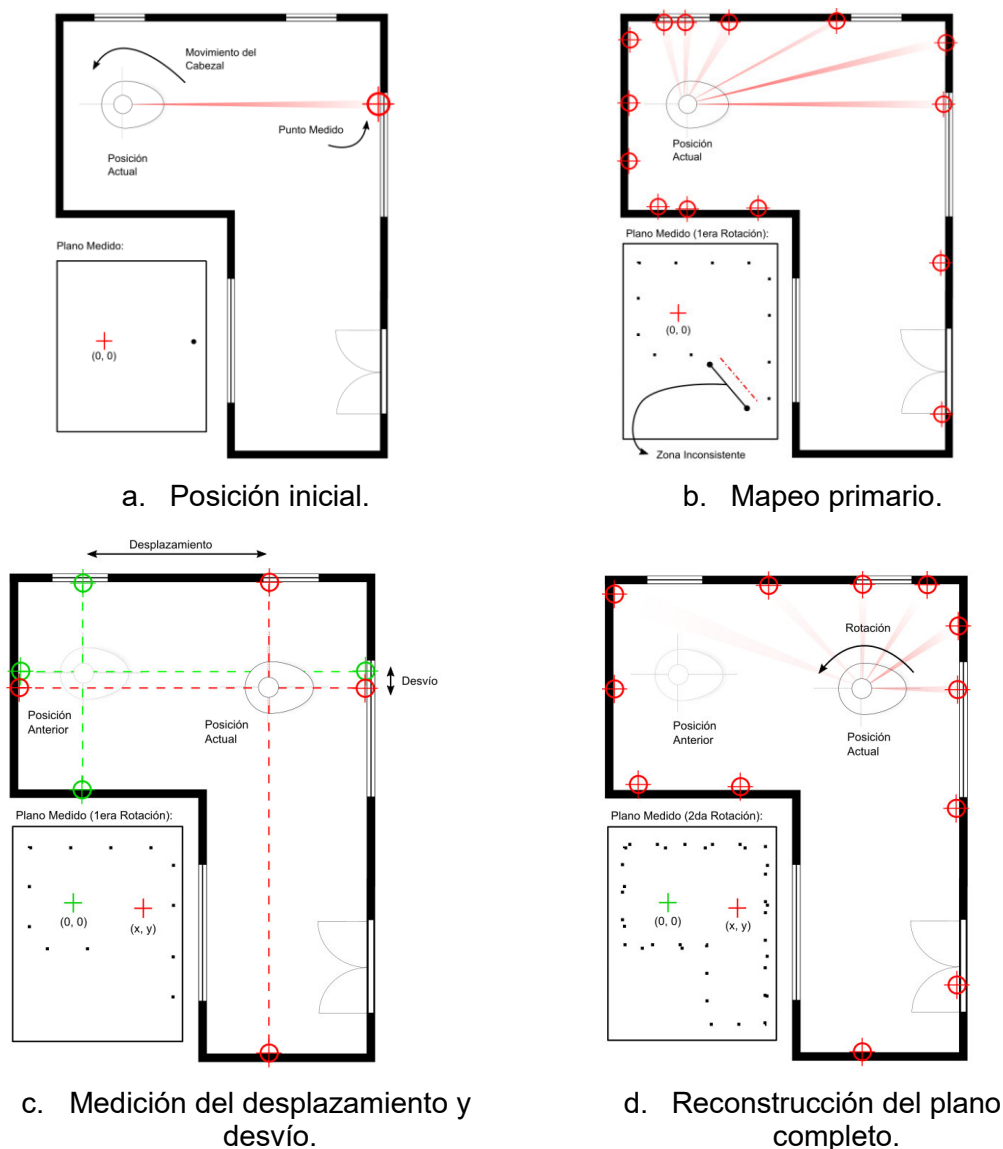


Figura 3.2 Ejemplo de plano que requiere desplazar el equipo

El plano medido únicamente consiste en un conjunto de puntos, por lo que es necesario realizar un tratamiento final a los mismos usando un algoritmo de refinado que mejore

la apariencia de las paredes horizontales y verticales de la imagen y la vuelva fácil de entender, los planos mostrados en la Figura 3.3 ejemplifican este proceso.

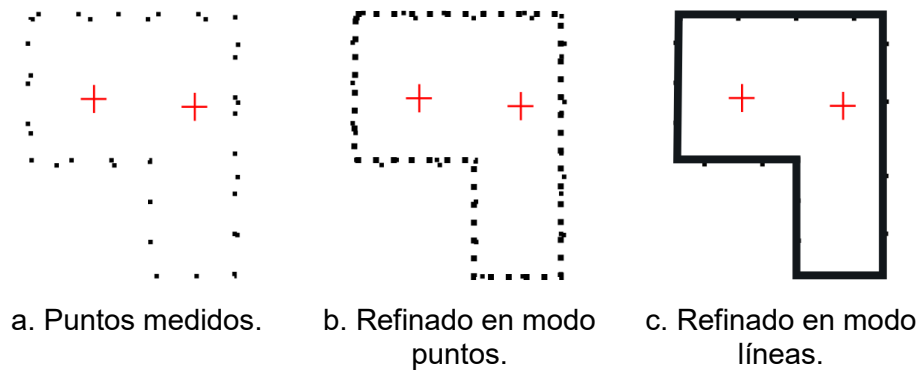


Figura 3.3 Mejora en la apariencia del plano levantado.

Características de equipos comerciales

Profesionales de los campos de arquitectura e ingeniería civil emplean medidores ultrasónicos o láser similares a los mostrados en la fotografía de la Figura 3.4 para levantamiento de planos. Estos requieren que el usuario solicite realizar una medición al oprimir el botón correspondiente, poseen funciones complementarias para realizar cálculos o simplemente para guardar el valor medido anteriormente y disponen de un láser para realizar la medición o apuntar a la dirección deseada.



Figura 3.4 Modelos de medidores empleados en arquitectura e ingeniería civil.

El proceso de mapeo se puede realizar empleando medidores láser (en el espectro no visible de luz) dispuestos en un cabezal rotatorio, existen dispositivos comerciales denominados LiDAR [4] similares a los modelos presentados en la Figura 3.5 de la marca *OUSTER*, capaces de escanear y presentar el espacio mapeado como se muestra en la representación de la Figura 3.6.



Figura 3.5 Modelos LiDAR comerciales para mapeo [6].

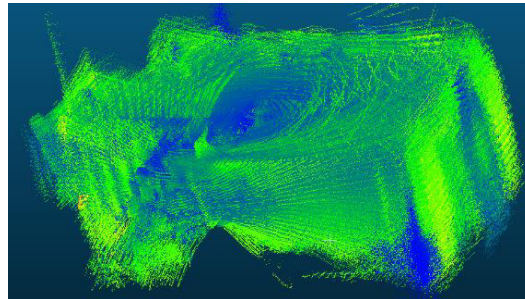


Figura 3.6 Ejemplo de espacio escaneado con el LiDAR modelo OS1 [7].

El tipo LiDAR expuesto se conoce como “Estático”, y se emplea típicamente para escaneo; el tipo “Móvil” realiza las mismas funciones y se aplica para mapeo o navegación, generalmente se usa en sistemas con conducción automática [8]. Algunas aplicaciones en el área de robótica se muestran en los gráficos de la Figura 3.7, tales sistemas son capaces de visualizar resultados como los mostrados en la Figura 3.8.



a. Robots *Spot Classic* de *Boston Dynamics* empleando sistemas LiDAR [9].



b. Robot *Atlas* de *Boston Dynamics* empleando un sistema LiDAR [10].

Figura 3.7 Ejemplos de aplicación de LiDAR móviles en robótica.

El costo del modelo LiDAR más sofisticado de OUSTER es de 24 000 dólares americanos (USD) [11], existen alternativas de costo reducidos similares a los modelos X4 y G4 de la marca *YDLiDAR* mostrados en las fotografías de la Figura 3.9 que únicamente realizan escaneo o mapeo de áreas (2D) y no de espacios (3D). De igual manera, existen modelos X2 y G2 con características similares y precios ligeramente más bajos. [12]

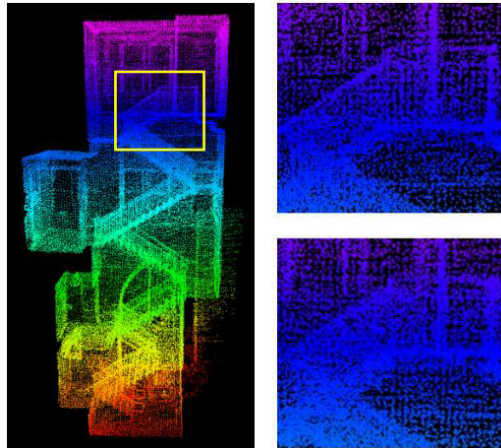


Figura 3.8 Ejemplo de espacio mapeado con sistemas LiDAR móviles [13].



a. Modelo X4.



b. Modelo G4.

Figura 3.9 Modelos LiDAR de la marca YDLiDAR [12].

Ambos modelos están disponibles para aficionados por 80.96 y 296.10 Euros (€) respectivamente, tal diferencia de precios se debe al rango de medición, para el modelo X4 es posible obtener hasta 10 (m), mientras que el modelo G4 puede medir distancias de hasta 16 (m). El fabricante provee su propia interfaz humano – máquina (HMI) y entregan imágenes similares a las mostrados en la captura de la Figura 3.10 empleando una protocolo Transmisor-Receptor Asíncrono Universal o “UART” [14, 15].



Figura 3.10 Ejemplo de plano escaneado empleando un LiDAR X4 [16].

Finalmente, es necesario considerar que los sistemas de mapeo poseen distorsiones inherentes debido a la naturaleza de su construcción, tómesese como ejemplo los planos de la Figura 3.11.

Es común que los sistemas con cabezales móviles introduzcan desfases o pierdan la alineación conforme se realizan mediciones consecutivas, en el caso expuesto, genera una nueva área (en color negro) y distorsiona la forma de las paredes.

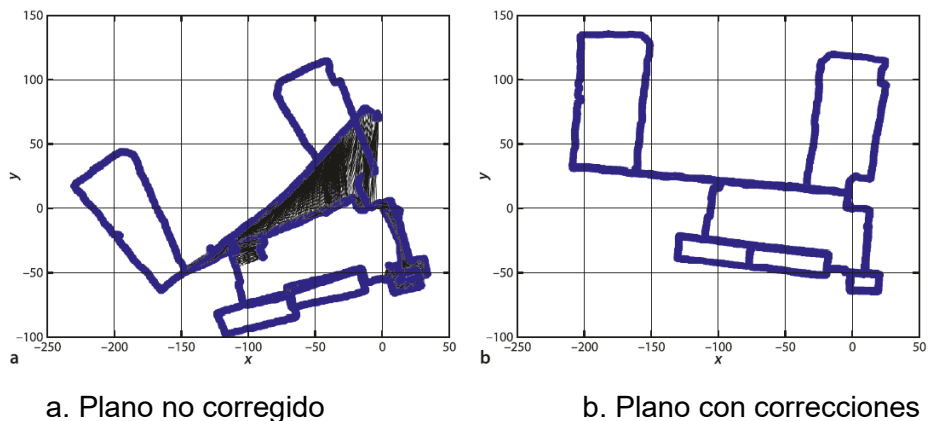


Figura 3.11 Distorsiones por desfase en sistemas de mapeo [17].

Componentes viables para la implementación

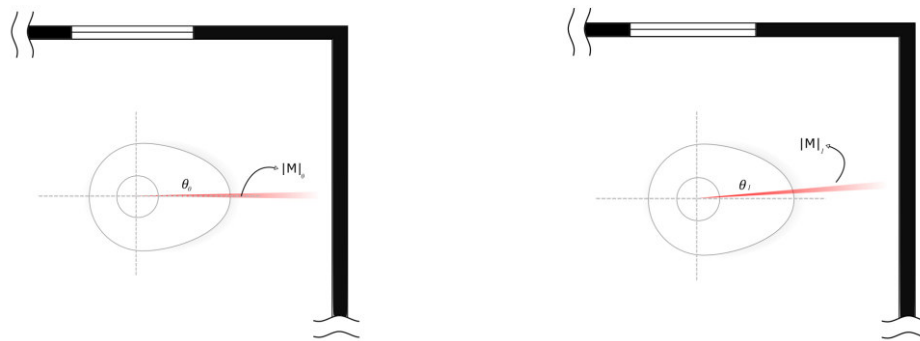
Con base en lo expuesto anteriormente, resulta evidente que el alcance de los equipos LiDAR disponibles para aficionados no poseen una adecuada relación costo – beneficio, los modelos de *OUSTER* poseen precios muy altos, mientras que los modelos de *YDLiDAR* no ofrecen alcances de medición lo suficientemente adecuados para levantamiento de planos arquitectónicos más que para determinadas superficies interiores, sin considerar que requieren un sistema de desplazamiento externo para realizar escaneos desde diferentes posiciones.

Medidores láser similares a los mostrados en la Figura 3.4 poseen alcances de medición similares, pero necesitan un operador para realizar cada medición.

Una solución viable es emplear un medidor láser manual y agregar un sistema de rotación externo en conjunto con un circuito adaptador que extraiga los valores y los entregue mediante protocolo UART o I2C.

Complejidad de la construcción

Se requiere que el equipo de medición disponga de una parte rotatoria denominada “cabezal” (destinada a realizar mediciones) y una parte estática denominada “unidad móvil” (destinada a desplazar el conjunto). Para facilitar la comunicación entre ambas partes del equipo se emplea comunicación unidireccional por radiofrecuencia (RF).



a. Cabezal midiendo en la posición 0. b. Cabezal midiendo en la posición 1.

Figura 3.12 Diagrama de ejemplificación del inicio del proceso.

Considérese los diagramas presentados en la Figura 3.12, al realizar una medición en la posición 0 ($\theta_0 = 0^\circ$) se acciona el medidor, lo que permite obtener el valor de la distancia medida en la posición inicial ($|M|_0$), posterior al envío de la información y graficado, se rota el cabezal hacia la posición 1 (θ_1) y nuevamente se ejecuta la medición. Nótese que, si el cabezal no reconoce que la rotación culminó, el valor de $|M|_1$ será erróneo, así como todos los valores medidos subsecuentemente.

Para evitar tal inconveniente, el sistema requiere una confirmación inalámbrica desde la unidad móvil, por lo que se emplea un emisor infrarrojo que enviará una confirmación hacia la unidad central antes de realizar la medición.

Interfaz de usuario

Se requiere que la interfaz de usuario esté preparada para asumir dos escenarios:

- Control normal: modo en el cual el equipo funciona de forma simple, permitiendo realizar las mediciones, calibrar el medidor y acceder al modo de ajustes.
- Depuración: modo en el cual el equipo funciona de la misma forma que el control normal, agregando las funciones de: monitoreo del estado de los subprocessos, control de errores producidos y registro de las mediciones realizadas, está pensado para supervisión y servicio técnico.

Para el control normal, el medio más cómodo de comunicación con el operador es en un dispositivo móvil (teléfono celular o *Tablet*) que disponga de sistema operativo Android (por ser el más común).

Para el modo de depuración, el medio más adecuado es el ordenador pues se requiere que el operador revise el estado del equipo en todo momento, por lo que no se espera que en éste modo el operador de prioridad al plano levantado, sino a las subrutinas que componen el algoritmo.

App inventor 2

Para la interfaz del dispositivo Android se empleó App Inventor 2, que es un entorno de desarrollo gratuito basado en Java que emplea bloques de programación en lugar de líneas de código, está pensado para propósitos educativos. Posee algunas funciones útiles para el desarrollo del proyecto como: editor de interfaz gráfica, amplia cantidad de componentes para el desarrollo de la interfaz gráfica de usuario (GUI), facilidad para establecer conexión por *bluetooth*, uso de lienzos que brindan control completo sobre los pixeles para graficado.

Su interfaz se divide en editor gráfico y editor de código.

- Editor gráfico: es la sección en que el usuario dispone de manera adecuada de los componentes para la aplicación, posee algunas herramientas útiles como el selector de ventana, la lista de componentes agregados y las propiedades de cada componente seleccionado, la apariencia del editor se aprecia en la Figura 3.13. En esta pantalla se cargan archivos de imagen y audio para emplearse como objetos dentro del programa.

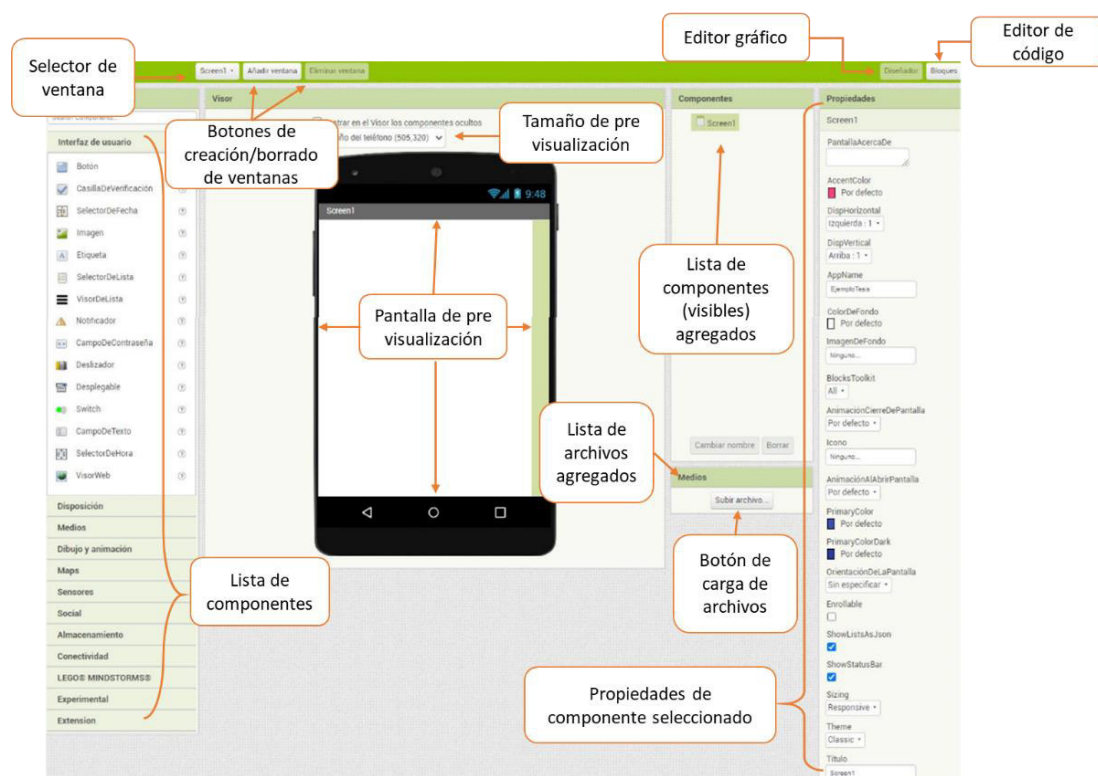


Figura 3.13 Ventana de editor gráfico.

- Editor de código: posee un lienzo para disponer de los bloques de programación comunes (sentencias de control, condicionales, variables, procesos, etc.), de igual manera se dispone de los bloques asociados a cada objeto o entidad dentro del

editor gráfico, herramientas de navegación y un notificador de errores, posee la apariencia mostrada en la Figura 3.14.

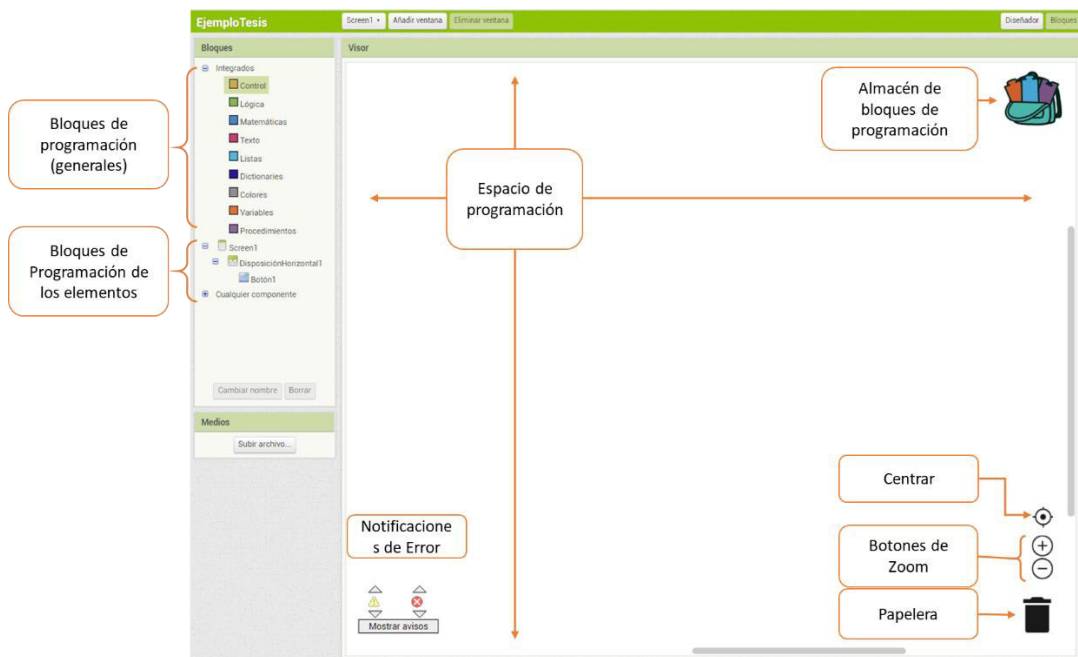


Figura 3.14 Editor de código.

Processing 3

Para la interfaz del computador se empleó Processing 3, que es un IDE de código abierto pensado para programación creativa, está basado en Java y generalmente se emplea para generar formas mediante modelamiento matemático y visualización de algoritmos empleando pocas líneas de código como se muestra en la captura de la Figura 3.15.

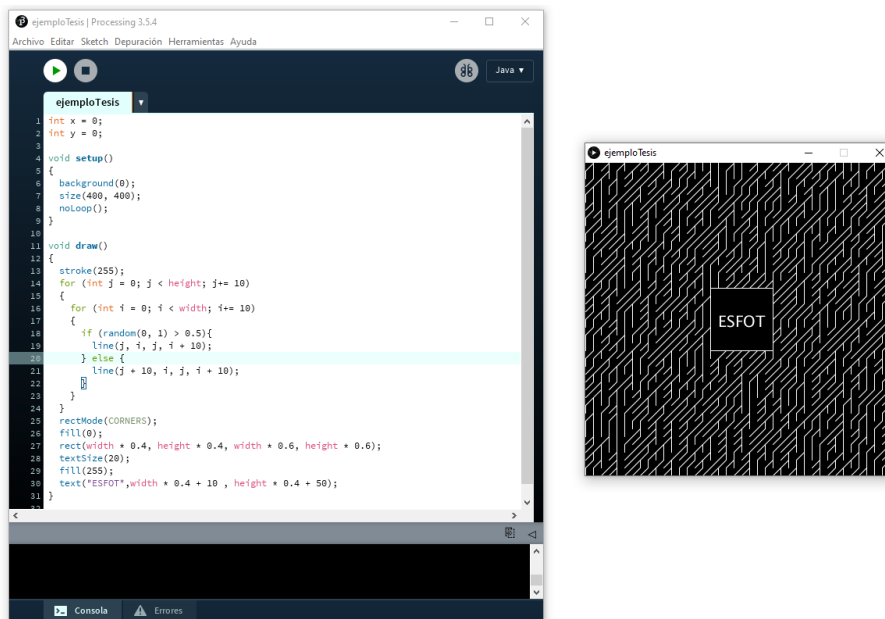


Figura 3.15 Ejemplo de algoritmo visualizado en la interfaz de Processing.

Este IDE resulta particularmente atractivo para el desarrollo de la HMI del computador, debido a que es fácil de usar y posee la librería “*processing.serial*” que facilita la comunicación mediante protocolo UART. Posee únicamente el editor de código, los botones de ejecución y paro del programa, un botón de control de pestañas, depurador, selector de lenguaje de programación y la terminal útil para depuración.

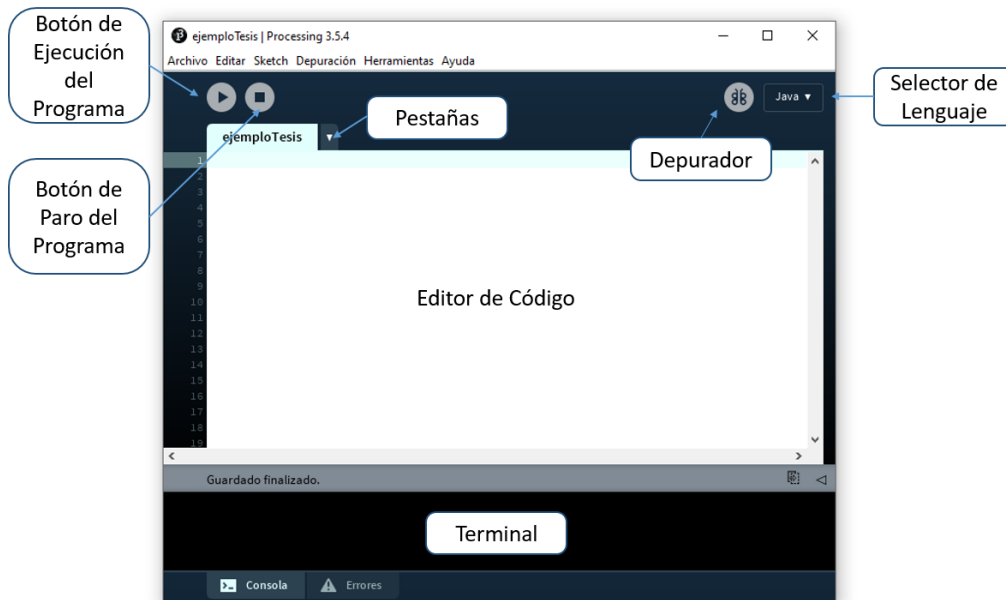


Figura 3.16 Componentes del editor de código de Processing.

3.2 Planos

En la presente sección se detalla el principio de funcionamiento del equipo, se muestran esquemas y representaciones para facilitar su entendimiento, así como los diagramas electrónicos de cada bloque funcional.

Diagrama de bloques

El equipo se diseñó con base en el diagrama de bloques de la Figura 3.17, posee cuatro componentes principales:

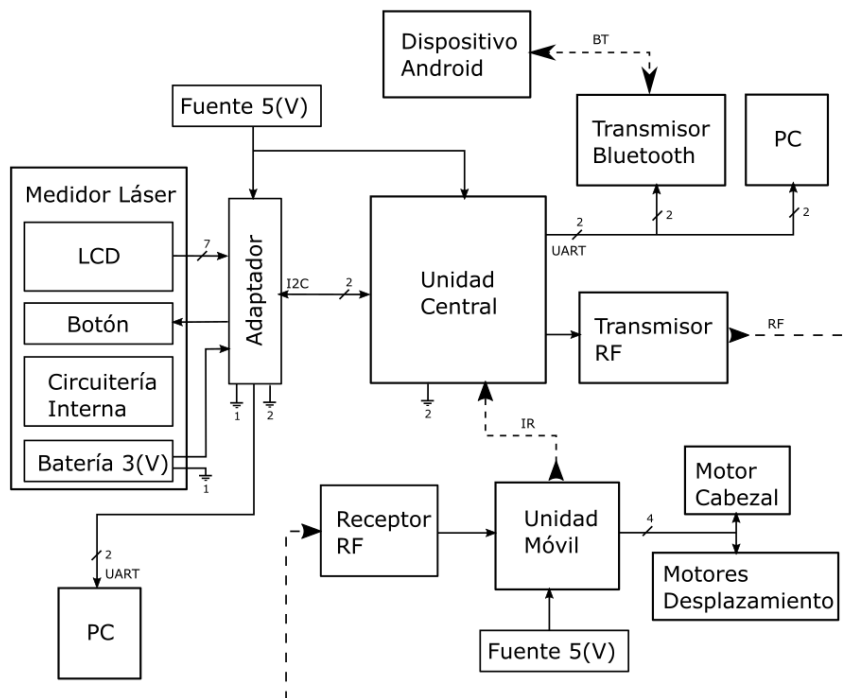


Figura 3.17 Diagrama de bloques del equipo.

- El dispositivo Android (smartphone o Tablet) del operador: destinado a graficar y controlar el equipo.
- Medidor Láser y Circuito Adaptador: elementos encargados de obtener el valor medido y entregarlo mediante protocolo I2C a la unidad central o al computador personal (PC) del operador.
- La unidad central: encargada de tomar los valores del medidor, procesarlos y enviarlos al dispositivo del operador.
- La unidad móvil: encargada de todos los movimientos del equipo.

Los componentes principales se relacionan de la siguiente manera:

Todas las fuentes de alimentación emplean baterías para asegurar la libre movilidad del conjunto y protecciones independientes a la circuitería de control.

El circuito adaptador toma como entradas los pines asociados a la pantalla del medidor láser, empleando una interrupción en las señales COM del mismo se leen los dígitos de la última medición del instrumento. Se emplea una salida del adaptador para emular las funciones del botón multifunción y controlar el medidor. Los datos obtenidos se envían mediante protocolo I2C a la unidad central y por UART al PC del operador.

El dispositivo Android del operador actúa como GUI, permite iniciar el proceso, realizar ajustes, calibrar el equipo, revisar el manual de funcionamiento, monitorear la información recibida y controlar manualmente el equipo.

Se emplea comunicación inalámbrica por medio de *bluetooth* (BT) para enviar comandos y valores a la unidad central empleando un módulo BT 2.0 modelo HC-05 (tipo maestro / esclavo) en protocolo UART a 9600 baudios. Se comparten los mismos hilos de comunicación para mostrar la información en el PC del operador para el modo de depuración.

La unidad central desempeña las siguientes funciones:

- Actúa como maestro en la comunicación I2C con el adaptador del medidor láser: envía los comandos para leer el valor mostrado en el LCD del instrumento y para realizar la medición (presión y liberación del botón multifunciones), por último, reinicia completamente el circuito adaptador para evitar que las interferencias electromagnéticas (EMI) afecten el funcionamiento del circuito adaptador.
- Gestiona la comunicación con la GUI: recibe los comandos de los modos de funcionamiento (inicio de proceso, calibración y ajustes), envía los valores medidos durante el proceso y recibe confirmaciones desde el dispositivo Android y realiza comparaciones para asegurar que la información sea transmitida correctamente.
- Dirige la unidad móvil: envía la cantidad de grados que el cabezal debe rotar para realizar la siguiente medición con una comunicación *simplex* por (RF), recibe confirmaciones por infrarrojo (IR) para asegurar que el cabezal haya alcanzado la posición solicitada y envía la dirección en que el equipo debe desplazarse en caso de conducir manualmente.

La unidad móvil recibe un byte y evalúa si se ha solicitado la rotación del cabezal o el desplazamiento del equipo, activa el motor o motores correspondiente(s) debidamente multiplexados para cumplir la función solicitada y envía una confirmación hacia la unidad central para continuar el proceso.

Planos mecánicos

De forma resumida, el equipo posee la disposición de componentes principales mostrada en el diagrama de la Figura 3.18.

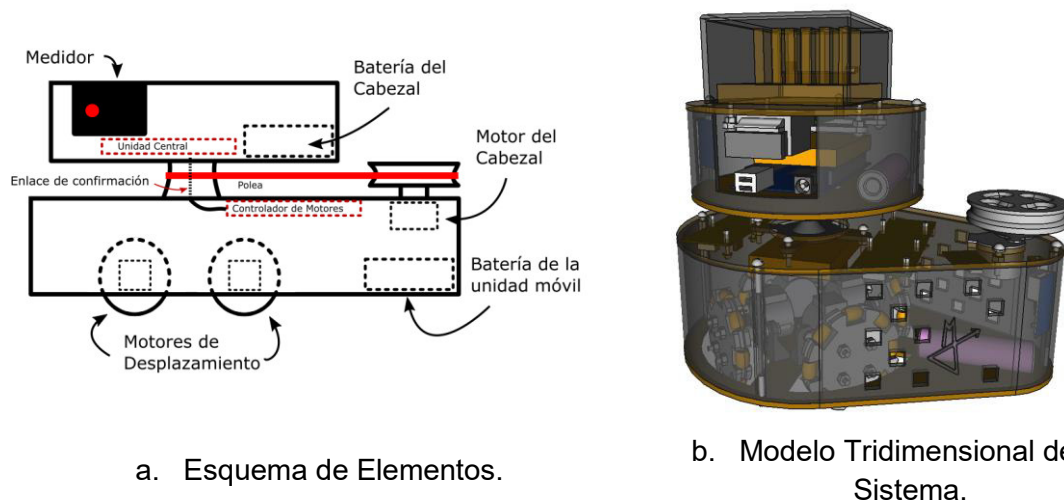


Figura 3.18 Distribución de componentes (simplificación).

Para permitir la libre movilidad del equipo, se emplean ruedas omnidireccionales en la unidad móvil.

Para reducción de costos, se emplea un modelo de rueda diseñado por el autor del presente documento, que consiste en un arreglo de láminas de 3 (mm) de espesor con un acoplamiento para el motor, el modelo ensamblado y despiece pueden apreciarse en la representación de la Figura 3.19.

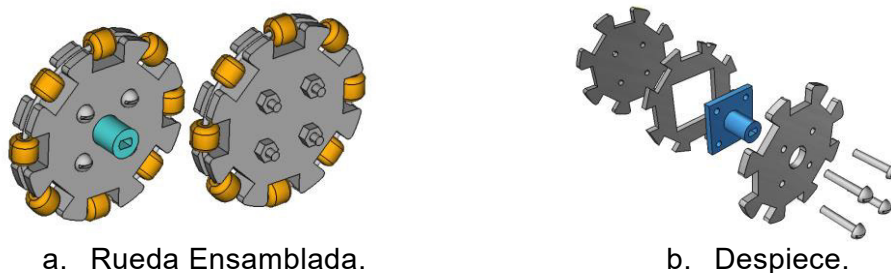


Figura 3.19 Rueda omnidireccional diseñada.

Los planos de todas las piezas diseñadas se encuentran en el Anexo 2 (Láminas desde la 1 a la 13).

Diagramas circuitales

Con base en lo descrito anteriormente, las conexiones y componentes de los circuitos del equipo se describen a continuación.

Unidad central

El circuito a cargo de las operaciones fundamentales del equipo posee los periféricos conectados al microcontrolador (MCU) que pueden apreciarse en los diagramas de la Figura 3.20, cumplen las siguientes funciones:

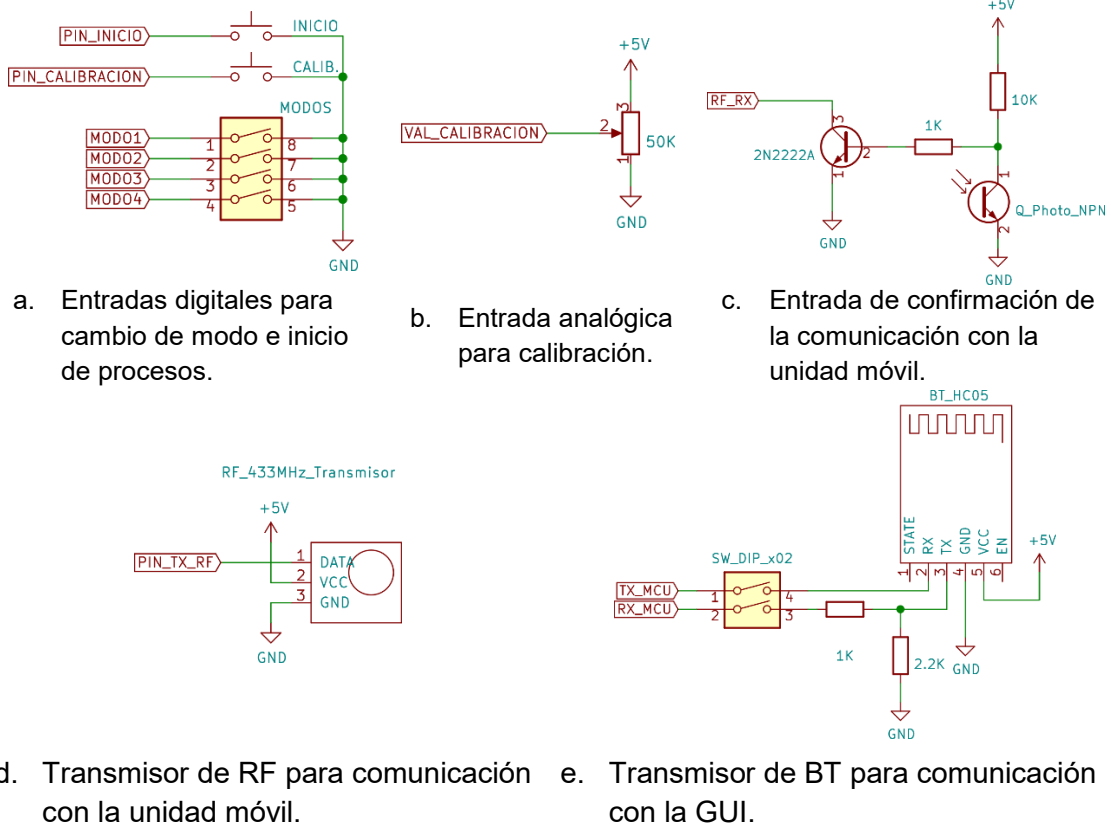


Figura 3.20 Elementos conectados al microcontrolador de la unidad central

- Botón de inicio: Dependiendo del modo (normal o calibración), inicia el mapeo del área escaneada o realiza una medición de prueba para revisar si el valor ingresado como *offset* es adecuado.
- Botón de calibración: cambia de modo “normal” a “calibración” y viceversa.
- *DIP Switch*: Permite ingresar los niveles lógicos al MCU para cambiar el modo de funcionamiento en la función de mapeo o acceder al modo de prueba de entradas:
 - Modo depuración: Entrega los valores para ser visualizado en la HMI del PC.
 - Modo pruebas: Ignora al medidor láser, para obtener las mediciones del plano hace uso de un ejemplo predefinido, la función de este modo es actuar como demostración de la capacidad de cálculo del algoritmo de reubicación.

- Prueba de entradas: El proceso es ignorado por completo, únicamente se leen los niveles lógicos en las entradas del *MCU*, esta función permite localizar errores en los periféricos del equipo.
- Potenciómetro: entrega un valor en el intervalo de 0 (V) a 5 (V) que es interpretado por el *MCU* como un *offset* de medición de 0 (cm) a 10 (cm).
- Fototransistor: Recibe la señal de confirmación de la unidad móvil, el transistor conectado actúa como interruptor para generar un nivel lógico ALTO en la entrada del *MCU* cuando se recibe luz infrarroja en el encapsulado del fototransistor.
- Transmisor de Radiofrecuencia (RF): Es el elemento a cargo de la comunicación con la unidad móvil.
- Transmisor *bluetooth* (BT): Es el elemento a cargo de la comunicación con la GUI en el dispositivo móvil del operador, posee comunicación bidireccional compartida con la interfaz UART del microcontrolador, por lo que, se requiere un *DIP Switch* de dos líneas para desconectar los pines de transmisión y recepción cuando sea requerido. Debido a que el transmisor trabaja con 3.3 (V), se requiere un divisor de tensión para evitar el deterioro del periférico.

El voltaje de salida de un divisor de tensión posee la expresión mostrada en la Ecuación 3.1:

$$V_{R2} = V_F \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Ecuación 3.1 Voltaje de salida del divisor de voltaje

Donde:

- V_{R2} : Voltaje a la salida del divisor
- R_1 : 1 (k Ω)
- R_2 : 2.2 (k Ω)
- V_F : 5 (V) Voltaje de alimentación del divisor

De la Ecuación 3.1 se obtiene:

$$V_{R2} = 3.43 \text{ (V)}$$

Además, de los periféricos presentados, la unidad central se conecta mediante protocolo I2C al circuito adaptador del medidor láser, tales conexiones se aprecian en el diagrama completo que se encuentra debidamente presentado en la Lámina 14 del Anexo 2.

La mayoría de elementos conectados son dispositivos de maniobra, debido a que la complejidad del proceso es manejada totalmente por el algoritmo de control.

Para optimizar el espacio, se diseñó la placa de circuito impreso (PCB) aprovechando el área de la placa de desarrollo Arduino Mega, de tal manera que la PCB de la unidad central se acople a ésta sin problemas.

La ilustración de la Figura 3.21 muestra el circuito diseñado, el plano completo y una versión imprimible de la placa mostrada están disponibles en la Lámina 14 del Anexo 2.

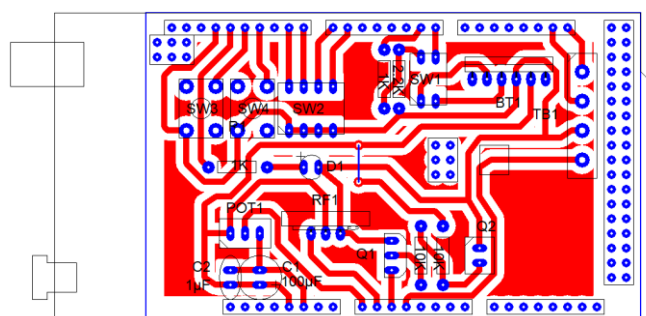
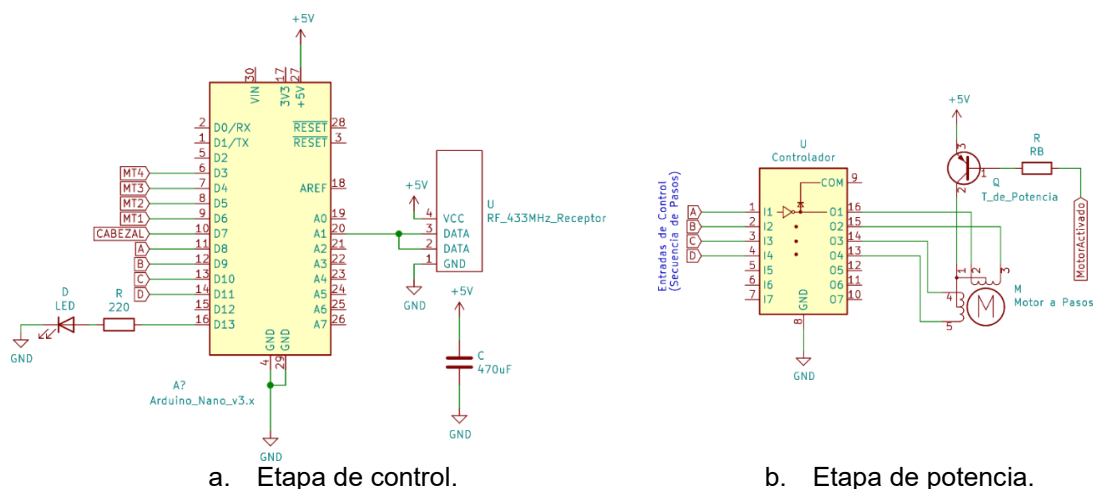


Figura 3.21 PCB de la unidad central.

Unidad Móvil

El circuito a cargo de generar todos los movimientos requeridos por el equipo posee la apariencia del diagrama de la Figura 3.22.



a. Etapa de control.

b. Etapa de potencia.

Figura 3.22 Circuito de la unidad móvil (simplificación).

Funciona de la siguiente manera:

- Etapa de control: Recibe la información de la unidad central por RF, identifica si se ha solicitado rotación o desplazamiento y enciende o apaga sus salidas en función de la instrucción recibida.
 - Modo rotación: Se activa únicamente el motor del cabezal, y se generan las combinaciones necesarias en los pines etiquetados como ABCD para producir movimiento en secuencias de paso doble y medio paso según se requiera.

- o Modo desplazamiento: Se activan los motores del MT1 al MT4 en sentidos horario o anti horario según se requiera para movilizar el equipo en la dirección solicitada por el operador desde la GUI.

Al culminar con la tarea encomendada, se enciende un diodo emisor de luz (LED) para enviar una confirmación hacia la unidad central.

Conociendo que los LEDs consumen un determinado voltaje dependiendo de su color (véase curva característica de la Figura 3.23) la resistencia de limitación de corriente para un LED infrarrojo puede calcularse empleando la expresión de la Ecuación 3.2.

$$R_{LED} = \frac{V_F - V_{LED@I}}{I_{LED}}$$

Ecuación 3.2 Resistencia de limitación de corriente para LEDs.

Donde:

R_{LED} : Resistencia de limitación de corriente.

V_F : 5 (V) Voltaje de alimentación.

I_{LED} : 15 (mA) Corriente deseada a través del LED

$V_{LED@I}$: ~ 1(V) Voltaje del LED a la corriente deseada

De la Ecuación 3.2 se obtiene:

$$R_{LED} = 266.66 (\Omega), \quad R_{LED,Comercial} = 220 (\Omega)$$

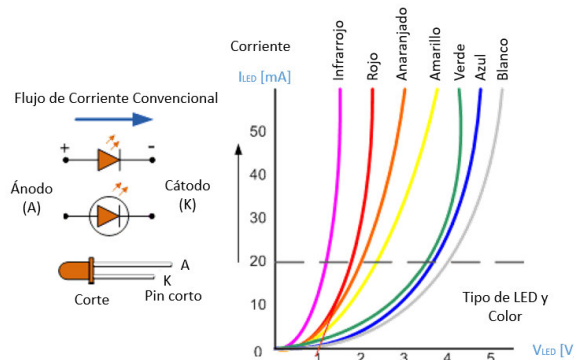


Figura 3.23 Curva característica de LEDs en función del color [18].

- Etapa de potencia: Formada por el controlador del motor paso a paso (PAP) y un transistor de potencia, es la sección encargada de encender o apagar los actuadores en función de las órdenes del MCU de la etapa de control.

Todas las etapas de potencia se encuentran multiplexadas para emplear únicamente 4 salidas del MCU para las combinaciones necesarias por los motores PAP.

Los transistores se emplean en las regiones de corte y saturación, se emplea un transistor de potencia de la familia TIP modelo 32C de tipo PNP, para generar saturación fuerte en el mismo, es necesario considerar que se obtienen hasta 20 (mA) en cada salida del MCU (en modo fuente o sumidero), el valor de la resistencia de base se calcula empleando la Ecuación 3.3:

$$R_B = \frac{V_{EE} - V_{BE} - V_{BB}}{I_B}$$

Ecuación 3.3 Resistencia de base

Donde:

- R_B : Resistencia de limitación de corriente.
- V_{BB} : 0 (V) Voltaje suministrado por el microcontrolador para saturación
- I_B : 20 (mA) Corriente máxima de base.
- V_{BE} : ~ 0.7 (V) Voltaje Base - Emisor
- V_{EE} : 5 (V) Voltaje conectado al Emisor

De la Ecuación 3.3, se obtiene:

$$R_B = 215 (\Omega)$$

$$R_{B,Comercial} = 220 (\Omega)$$

Considerando que la corriente en el colector del transistor puede expresarse como se muestra en la Ecuación 3.4, es posible obtener:

$$I_C = \beta I_B$$

Ecuación 3.4 Corriente de Colector en Función de la Corriente de Base

Donde:

- I_C : Corriente de colector
- β : 25 a 50 Ganancia de corriente DC. [19]
- I_B : 20 (mA) Corriente máxima de base.

La corriente de colector puede oscilar entre:

$$I_{C,mín} = 500 (\text{mA})$$

$$I_{C,máx} = 1000 (\text{mA})$$

Conociendo que los actuadores no consumen más de 200 (mA), es posible asegurar que el transistor se encuentra en saturación fuerte, con base en la curva

característica provista por el fabricante *STMicroelectronics* mostrada en la Figura 3.24, se estima la potencia disipada por estos elementos como:

$$P_Q = V_{CE} \cdot I_C$$

Ecuación 3.5 Potencia Disipada por los Transistores

Donde:

P_Q : Potencia disipada por el Transistor

V_{CE} : 0.1 (V) Voltaje Colector – Emisor para la I_C

I_C : 200 (mA) Corriente máxima consumida por el actuador.

De la Ecuación 3.5, se obtiene una potencia de:

$$P_Q = 20 \text{ (mW)}$$

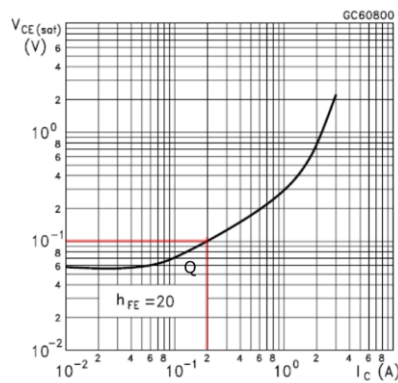


Figura 3.24 Curva característica del TIP32C [19].

El circuito completo se aprecia en la Lámina 15 del Anexo 2 y su PCB en la representación de la Figura 3.25.

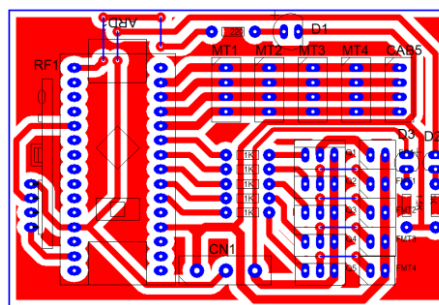


Figura 3.25 PCB de la unidad móvil

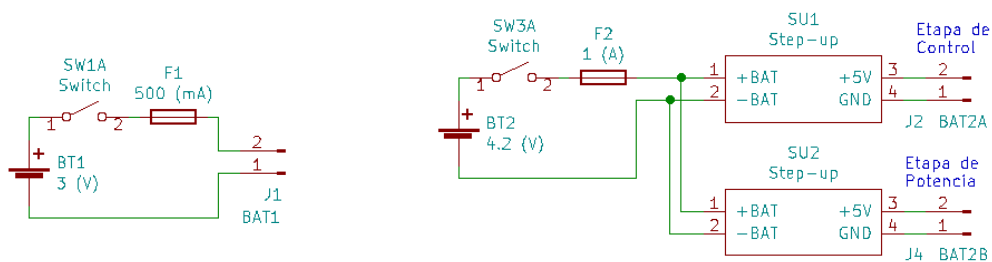
Circuito adaptador

El circuito adaptador se presenta en la selección de componentes debido a que el diseño se realizó en función de las características del medidor láser.

Protecciones

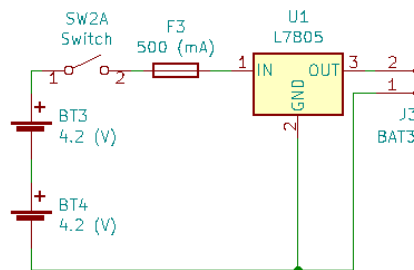
Para evitar el deterioro de las baterías en caso de cortocircuito, se emplean fusibles para cada componente del equipo:

- Medidor láser: Emplea hasta 300 (mA) cuando el puntero láser está encendido, se emplea el fusible F1 de 500 (mA), las conexiones se muestran en el diagrama de la Figura 3.26a.
- Unidad Móvil: Para la rotación de los motores se consumen hasta 200 (mA) cuando el equipo está en movimiento, debido a la alta corriente producida en el transitorio de arranque de los motores, se emplea un fusible F2 capaz de soportar hasta 5 veces la corriente nominal de los motores, es decir, 1 (A); el circuito se muestra en la Figura 3.26b.
- Unidad Central: Consume un máximo de 80 (mA) durante la transmisión de información, antes de que el módulo HC-05 entre en modo de suspensión, se emplea el fusible F3 de 200 (mA); las conexiones se muestran en la Figura 3.26c.



a. Protección del circuito adaptador del medidor láser

b. Protección de la unidad móvil



c. Protección del cabezal

Figura 3.26 Conexión de los fusibles de protección

3.3 Componentes

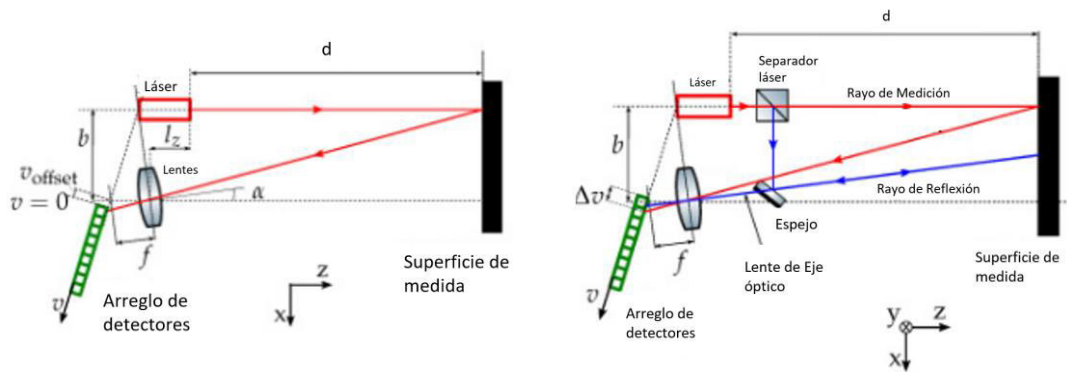
En la presente sección se explican las características que hacen de los componentes seleccionados una alternativa viable para la implementación.

Medidor

El medidor mostrado en la Figura 3.27 funciona emitiendo un haz de luz a una determinada frecuencia, la onda reflejada retorna al medidor atravesando una lente de recepción (o un espejo para compensar el tramado y un separador óptico) y se calcula la distancia recorrida conociendo que la velocidad de la luz en el aire es de 299 792 458 (m/s), en los diagramas de las Figura 3.28 se muestra el principio de funcionamiento del instrumento.



Figura 3.27 Medidor láser BOSCH (modelo GLM - 20).



a. Disposición sin el compensador de tramado.

b. Disposición de componentes con compensador de tramado y separador óptico.

Figura 3.28 Esquema de componentes de un medidor láser [5].

El instrumento presentado es un modelo GLM 20 de la marca BOSCH, mismo que posee las partes descritas en el despiece de la Figura 3.31, por propósitos de conservación, no se accede a la circuitería de control y la etapa de instrumentación no es modificada.

Características

- Voltaje de trabajo: 3 (V).
- Uso de un solo botón para todos los procesos (visible en la fotografía de la Figura 3.29a), lo que facilita el control del instrumento mediante microcontroladores externos.
- Realiza mediciones continuas.
- Entra en modo de suspensión después de 10 segundos de inactividad.
- Permite el cambio de unidades a metros, pulgadas y pies al oprimir el botón multifunción por más de dos segundos en el encendido (véase representaciones de la Figura 3.29b).

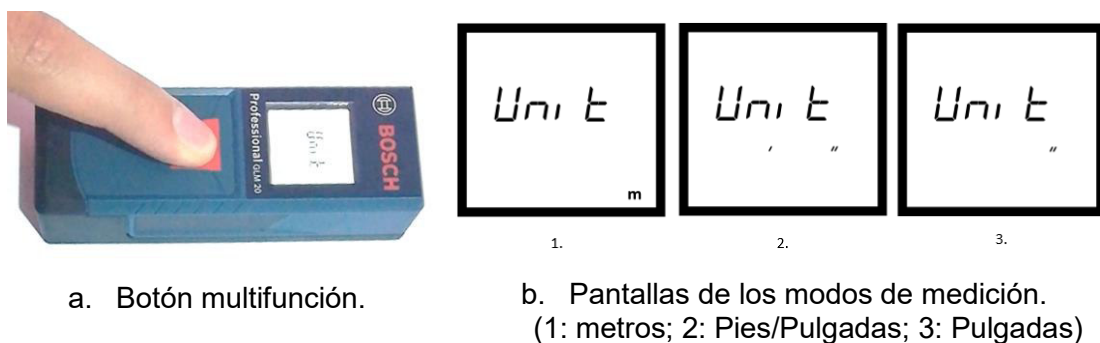


Figura 3.29 Unidades de medida del medidor láser GLM - 20

- El display de cristal líquido (LCD), posee la disposición de dígitos mostrado en la Figura 3.30 lo que resulta útil para leer la medición actual y la anterior, de igual manera es posible hacer uso de los indicadores en la parte superior.

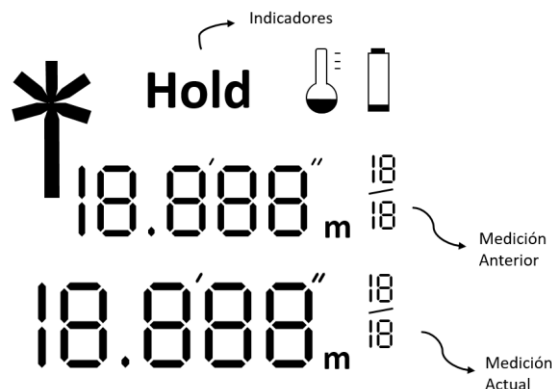


Figura 3.30 Agrupación de dígitos de la pantalla del medidor láser

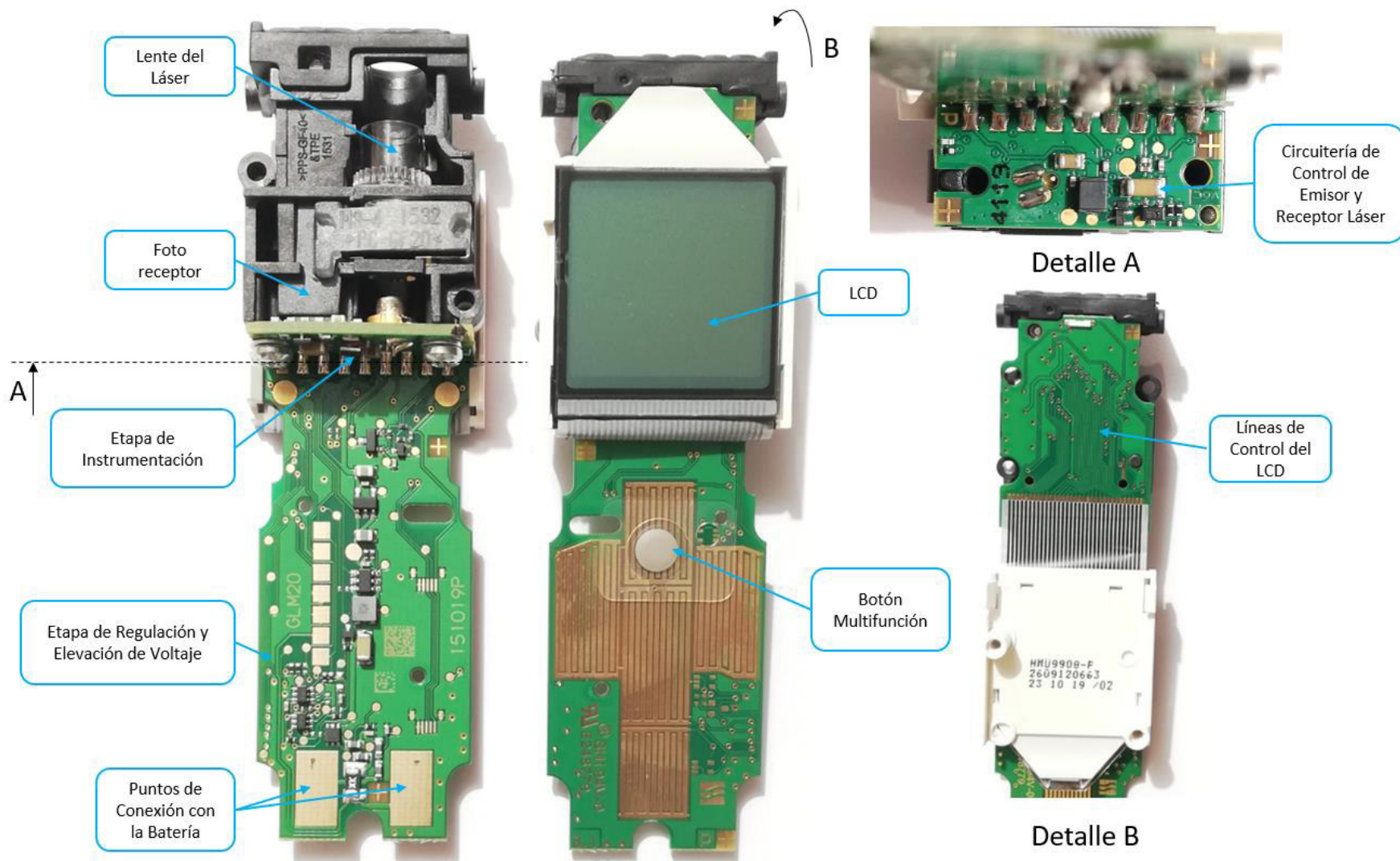


Figura 3.31 Despiece del medidor

Extracción de la información del medidor

Considerando que la hoja de datos del fabricante no es información pública y el medidor no posee un decodificador visible, realizar ingeniería inversa a las señales leídas no es una alternativa viable, por lo que, se procedió a localizar una señal de referencia a partir de la cual leer todos los estados de los pines del LCD.

El *display* estudiado posee 33 pines (visibles en la fotografía de la Figura 3.32), de los cuales:

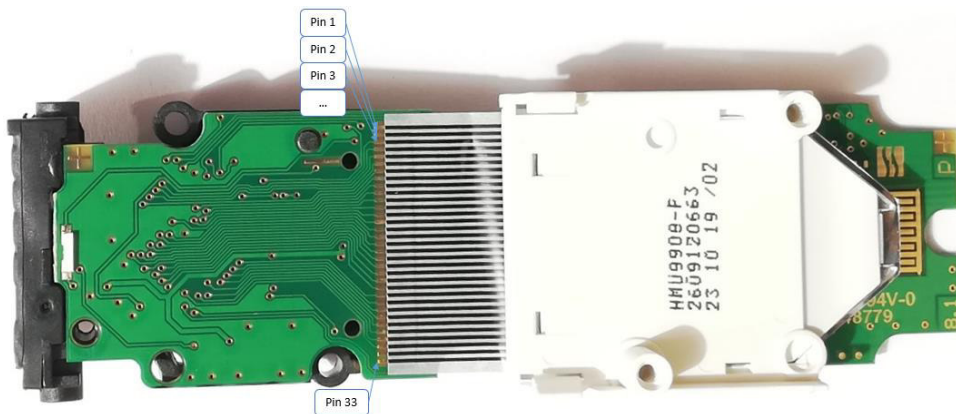


Figura 3.32 Pines del LCD del medidor láser.

- Pines 1, 2, 32, 33: no conectados:
- Pines 3, 4, 5: Señales COM1, COM2, COM3, respectivamente, poseen las formas de onda de la captura de la Figura 3.33.
- Pines 6 al 31 control de segmentos, emplean señales digitales de 0 a 3.3V

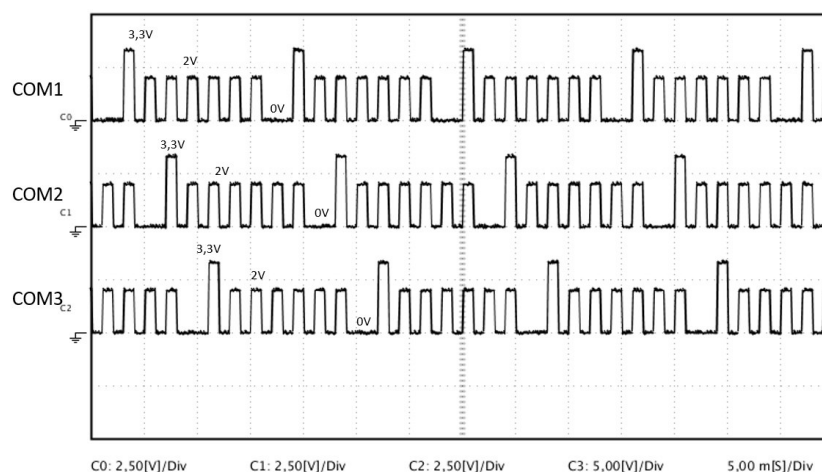


Figura 3.33 Señales obtenidas en los terminales "COM".

La única medida relevante del medidor es la última realizada, por lo que con base en la distribución de información del LCD mostrada en la representación de la Figura 3.34, se estudian los segmentos asociados al grupo de la medición actual.

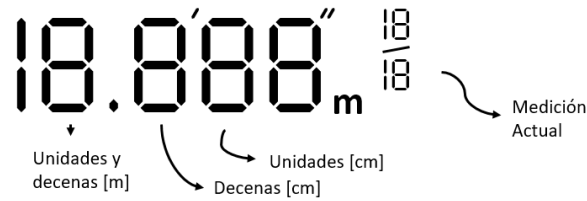


Figura 3.34 Distribución de información en el LCD estudiado.

Al estimular los pines con electricidad estática, es posible identificar los segmentos activados, obteniéndose los resultados mostrados en la Figura 3.35.

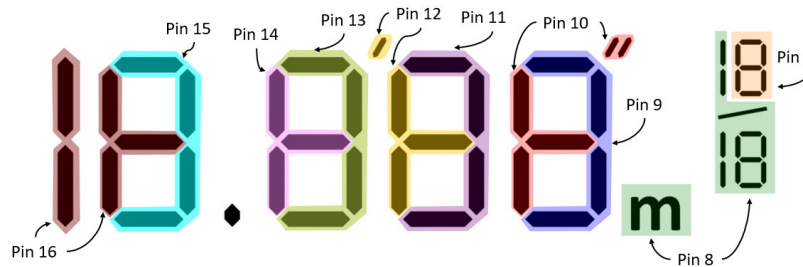


Figura 3.35 Pines de encendido de los segmentos del grupo de medición actual.

Puede apreciarse que se necesitan 2 pines (2 señales) para dibujar 1 dígito en el LCD, por facilidad únicamente se lee el estado de 2 decimales. Asignando como referencia el COM1, la información obtenida posee la representación de la Figura 3.36.

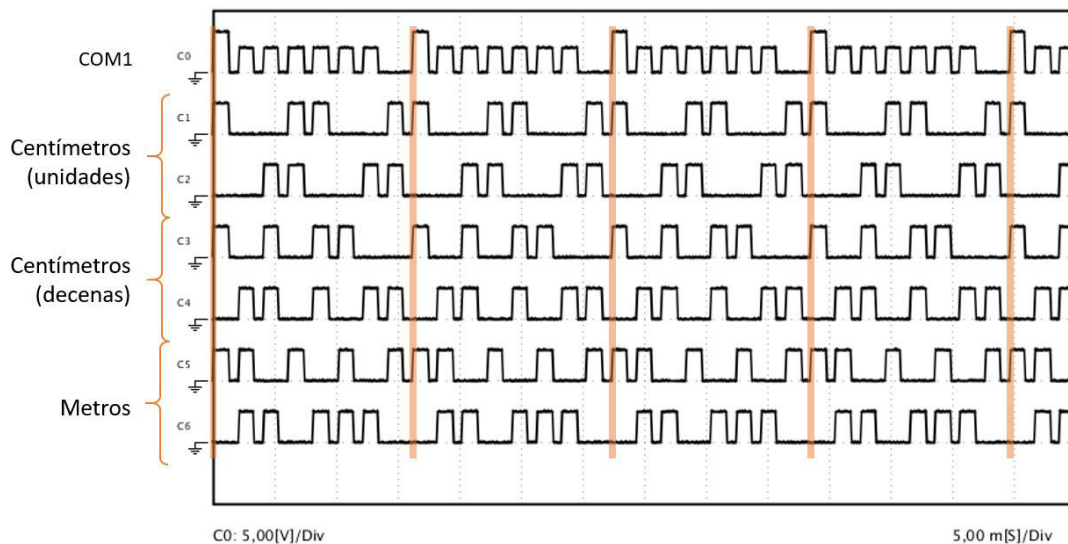


Figura 3.36 Ejemplo de señales obtenidas al realizar una medición.

Para cada momento en que la señal COM1 alcanza el valor de 3.3 (V), se dispone de una combinación periódica asociada, misma que puede leerse como un conjunto de valores lógicos mostrados en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Señales obtenidas para cada dígito posible.

| Posición | Dígito | Señal 1 | | | | | | | | Señal 2 | | | | | | | |
|----------|--------|---------|---|---|---|---|---|---|---|---------|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,0X0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | 3 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | 4 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | 5 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | 6 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | 7 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| | 8 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | 9 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0,X00 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | 3 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | 4 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| | 5 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| | 6 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| | 7 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | 8 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| | 9 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| X,000 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | 3 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | 4 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | 5 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | 6 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | 7 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| | 8 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | 9 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | 10 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| | 11 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| | 12 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| | 13 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| | 14 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| | 15 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| | 16 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| | 17 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| | 18 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| | 19 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |

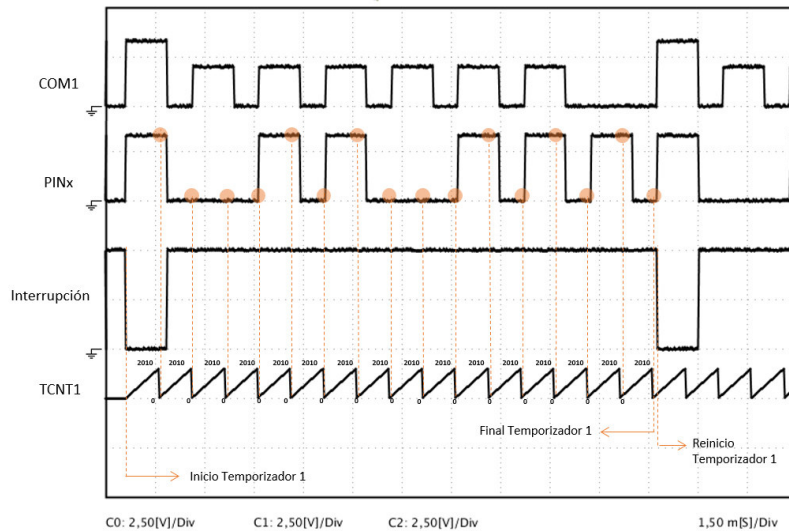


Figura 3.37 Ejemplo de ondas de voltaje para extracción de información.

Con base en el oscilograma de la Figura 3.37, el plan de acción para adquisición de dígitos es el siguiente:

- Localizar la señal del COM1 (pin 3 del LCD) y las señales de los dígitos útiles (pines desde el 11 al 16), mostrados en el oscilograma como “COM1” y “PINx”.
- Empleando el circuito de la Figura 3.38 el análisis es el siguiente: El voltaje de COM1 excita la base de Q1 que enciende el LED del opto acoplador U1 variando de intensidad en función de la señal de voltaje recibida. Debido a que el LCD tiene una configuración similar a la de un FET, es asumible que el circuito de control del mismo no está diseñado para proveer una corriente excesiva, por lo que la función de Q1 es actuar como seguidor de emisor, la impedancia conectada al transistor puede calcularse como:

$$Z_B = \beta Z_E$$

Ecuación 3.6 Impedancia medida desde la base de un transistor.

Donde:

- Z_B : Impedancia vista desde la base.
- β : 50 ganancia de corriente DC [20].
- Z_E : > 330 (Ω) Impedancia conectada al emisor.

De la Ecuación 3.6 se obtiene:

$$Z_B > 16.5 \text{ (k}\Omega\text{)}$$

Adicionalmente, considerando la ley de Ohm y que el circuito funciona con 3 (V), se consume una corriente de:

$$I_B < 181 (\mu A)$$

Dada la baja corriente consumida para leer la señal del COM1, se asume este valor como adecuado.

El opto acoplador U1 cumple la función de aislar eléctricamente el circuito de lectura de la circuitería del instrumento para reducir cualquier tipo de interferencia electromagnética que pueda afectar a la integridad del medidor láser.

La corriente que fluye a través de R2 aparenta la forma de onda original del COM, sin embargo, oscila entre valores desde 0 (V) hasta V_x (V), mismos que no son calculables debido a la ausencia de información en la hoja de datos del fabricante *Vishay Semiconductors*.

- Se ajusta el potenciómetro RV1 para que el voltaje V_z sea cercano a 5 (V), esto con el propósito de que el valor de la salida del Amplificador Operacional U2A sea 0 (V) cuando el instrumento se ha conectado y se encuentra mostrando cualquier valor en pantalla.
- Se procede a reducir el voltaje V_z progresivamente hasta el instante en que la salida UA2 sea distinta de 0 (V), en ese momento se ha producido la detección de la señal COM1 de forma adecuada, la onda en el colector de Q2 permite al circuito adaptador conocer cuándo medir los pulsos de cada dígito.
- Cada pin asociado a los dígitos, requiere el adaptador de la Figura 3.39, la única función que realiza es cambiar el nivel de voltaje para la señal de cada pin a un máximo de 5 (V) con una resistencia de *Pull-Down* (despreciando el caída de voltaje del opto acoplador).

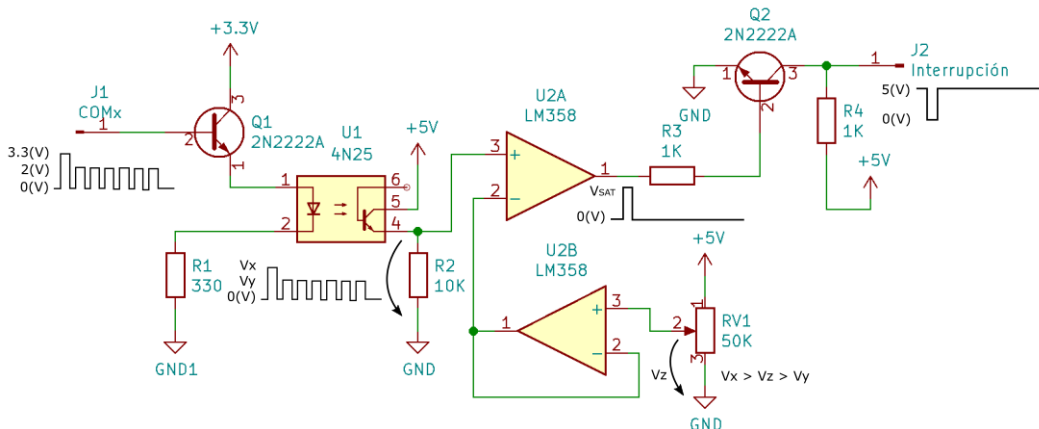


Figura 3.38 Circuito de detección de la interrupción.

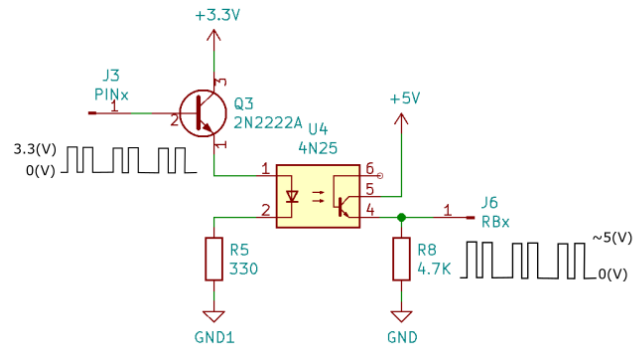


Figura 3.39 Circuito de lectura de cada dígito.

- Empleando un temporizador ajustado para disparar una interrupción cada 1000 (μ s), se procede a leer todo el contenido de un puerto y se guarda a manera de matrices, posteriormente, se compara la matriz leída por el circuito con los valores mostrados en la Tabla 3.1.
- Se reinicia el temporizador cada vez que se detecta la interrupción.
- Se emplea el protocolo I2C para entregar dos bytes: valor entero y decimal.

La PCB del circuito se muestran en la Figura 3.40.

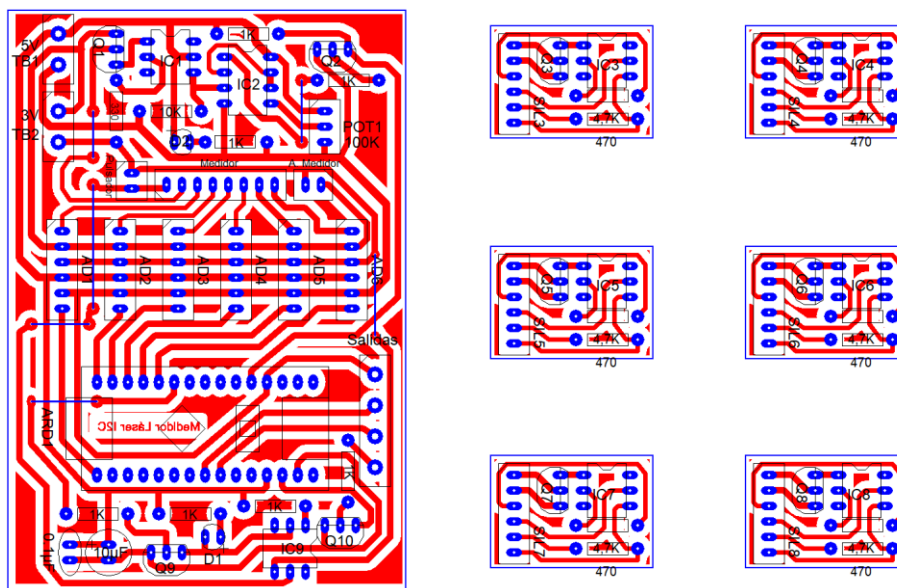


Figura 3.40 PCB del adaptador.

El circuito completo y las PCBs se encuentran en la Lámina 16 del Anexo 2.

Circuitos

Una vez que el diseño realizado para el medidor láser es considerado apto para cumplir las funciones deseadas en el equipo, se selecciona el resto componentes principales.

Microcontroladores

Por facilidad de pruebas, programación, depuración y reducción de costos, se emplearon microcontroladores ATmega328P-PU y ATmega2560 dispuestos en placas de la marca Arduino, tales elementos se aprecian en la fotografía de la Figura 3.41.



Arduino MEGA

Arduino Nano

Figura 3.41 Placas de desarrollo de la marca Arduino empleadas

Actuadores

Los actuadores del proceso requieren ser motores fiables debido a que el sistema de control realiza acciones precisas, los motores paso a paso (PAP) son ideales para este cometido, se emplearon motores como el mostrado en la fotografía de la Figura 3.42 para rotación del cabezal y desplazamiento del equipo.



Figura 3.42 Motor Paso a Paso modelo 28BYJ- 48

Elementos de potencia

La única acción que los elementos de potencia realizan es, esencialmente, conmutado; los transistores de potencia son ideales para este cometido, los dispositivos empleados se visualizan en la fotografía de la Figura 3.43.

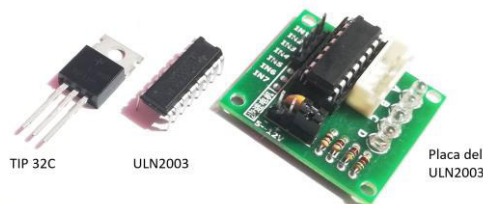


Figura 3.43 Elementos de potencia empleados

Fuentes de alimentación

Debido a que el equipo requiere moverse libremente en una determinada superficie de medición se emplean baterías para energizar todos los circuitos. Los modelos mostrados en la fotografía de la Figura 3.44 fueron empleados.



Figura 3.44 Tipos de baterías empleadas.

Los tipos de baterías mencionados fueron seleccionados con base en el diagrama de la Figura 3.45. El motor del cabezal requiere la menor carga mecánica posible, por lo que se emplea una batería tipo Li-ion por poseer la mayor densidad de energía gravimétrica y volumétrica, es decir, posee la mejor relación vatios – hora por kilogramo y vatios – hora por litro. También se emplearon este tipo de baterías en la unidad móvil.

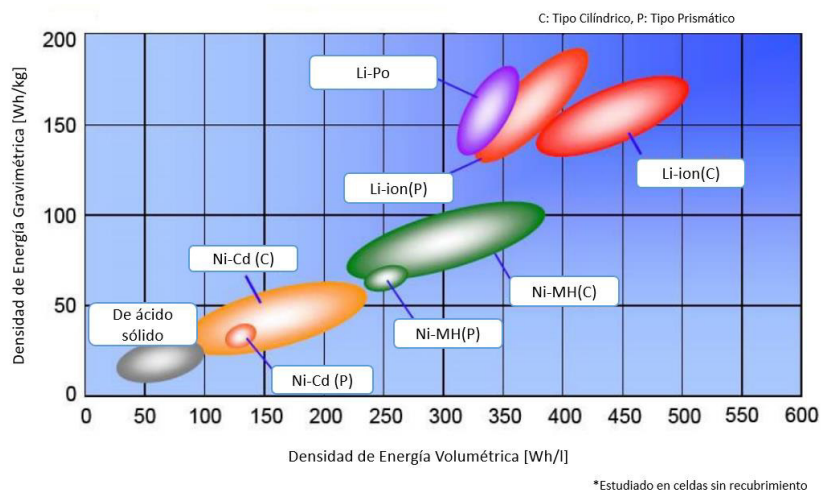


Figura 3.45 Densidad de energía gravimétrica y volumétrica de las baterías [21]

Se emplearon baterías alcalinas para el medidor láser debido a que la opción recargable (baterías de hidruro de metal – Níquel, o NiMH) únicamente se vende como modelos comerciales de voltaje nominal de 1.2 (V) que al emplearse se interpretan por el instrumento como baterías descargadas. La opción no recargable posee 1.5 (V) nominales, tal valor no genera problemas en el instrumento.

Misceláneos

Las funciones complementarias del equipo son las de comunicación, carga y regulación de baterías, para tales cometidos se emplearon los siguientes componentes:

- Elementos para comunicación

Para la comunicación con el dispositivo Android se empleó el módulo *bluetooth* HC – 05 debido a que es de tipo maestro / esclavo, lo que permite enviar y recibir información de manera adecuada.

La comunicación de la unidad móvil con la unidad central se realiza mediante módulos de radiofrecuencia genéricos de 433 (MHz), el transmisor es un modelo XD-FST, mientras que el receptor es un XD-RF-5V; ambos emplean modulación por desplazamiento de amplitud (ASK) para enviar y recibir la información.

Los elementos descritos pueden apreciarse en la fotografía de la Figura 3.46.

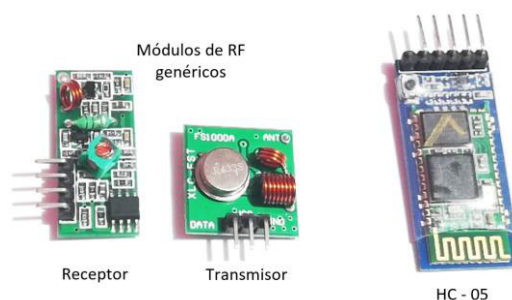


Figura 3.46 Elementos de comunicación.

- Carga de baterías y regulación

Para cargar las baterías li-ion se empleó un módulo de carga basado en el integrado TP4056 que emplea el método de carga de Corriente Constante y Voltaje Constante (CCCV). Debido a que el voltaje de las baterías disminuye con el consumo de energía se requiere un regulador intensificador genérico con salida fija de 5 (V).

Los elementos mencionados pueden apreciarse en la fotografía de la Figura 3.47.

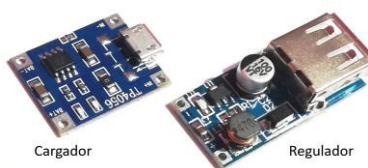


Figura 3.47 Cargador de baterías y regulador de voltaje

La información detallada de los componentes descritos se encuentra disponible en el Anexo 4.

3.4 Implementación

En la presente sección se resume el proceso de construcción del equipo, las consideraciones más importantes asociadas a los circuitos del mismo y el proceso necesario para asegurar que el sistema entregue mediciones fiables. El instructivo de ensamble detallado se encuentra disponible en el enlace de la Figura 3.48.



Figura 3.48 Enlace al Instructivo detallado de ensamble.

Circuito adaptador

La parte más crítica de la construcción del equipo es la lectura adecuada de valores medidos, por lo que inicialmente fue necesario adaptar y conectar el medidor láser al circuito respectivo y revisar la información leída.

Inicialmente se conectó un bus de datos a los pines del botón y LCD como se muestra en la Figura 3.49 manteniendo las soldaduras eléctricamente aisladas entre sí.

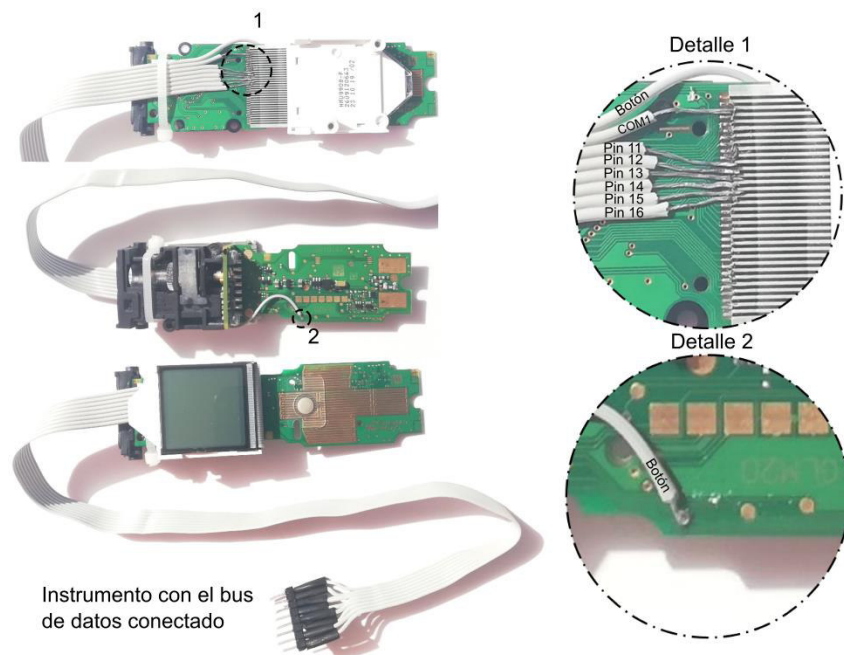


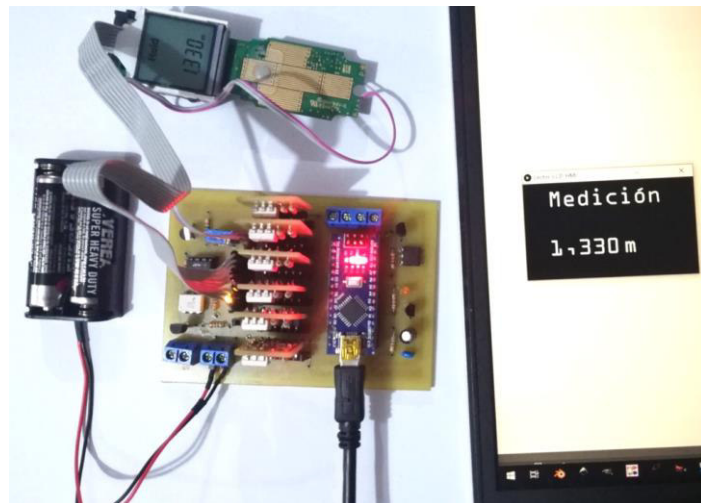
Figura 3.49 Conexión a los pines del medidor láser.

Se conectaron los adaptadores de alta impedancia a la placa base del adaptador en conjunto con el medidor láser; posteriormente, se procedió a revisar que los valores sean leídos adecuadamente en el PC del operador empleando la HMI del medidor láser como se muestra en las imágenes de la Figura 3.50.



a. Componentes del circuito.

b. Circuito conectado completamente.



c. Revisión de funcionamiento.

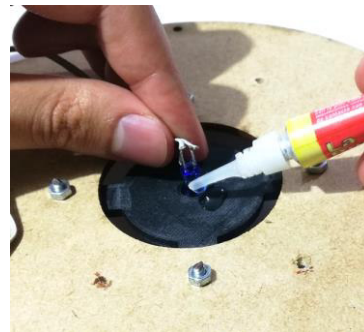
Figura 3.50 Circuito adaptador.

Unidad móvil

Para el ensamble de la unidad de movimiento fue necesario conectar el LED infrarrojo de confirmación al adaptador base – cabezal empleando pegamento para asegurar su verticalidad como se detalla en la Figura 3.51.



a. Aseguramiento del adaptador.



b. Fijación del LED de confirmación.

Figura 3.51 Conexión del LED al adaptador.

Una vez asegurado el LED, se procedió a atornillar la placa base, a ésta se conectó cada controlador compartiendo las líneas de control, posteriormente se conectó la alimentación de cada integrado a la placa. Por facilidad de manipulación, los reguladores de voltaje se conectaron al final.

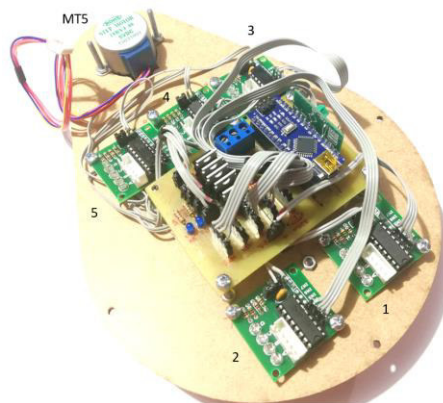


Figura 3.52 Conexión de los controladores a la placa base de la unidad móvil.

Se conecta cada controlador a su actuador correspondiente según se muestra en las fotografías de la Figura 3.52 y Figura 3.53.

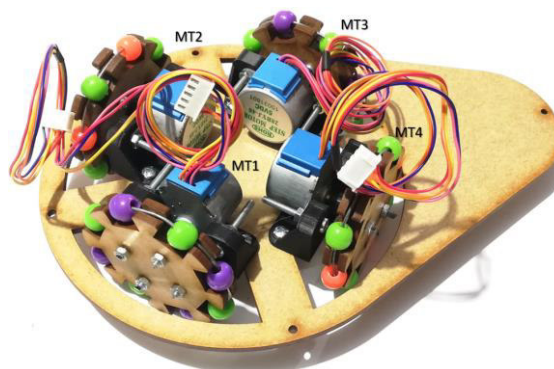


Figura 3.53 Motores de la unidad móvil.

Debido a la gran cantidad de cables del circuito, es recomendable conectar la alimentación y cerrar la carcasa cuidando que las ruedas no sean obstruidas, como se muestra en las imágenes de la Figura 3.54.



a. Conexión de la alimentación del circuito.



b. Conexión de los actuadores y cerrado de la carcasa.

Figura 3.54 Conexiones finales de la unidad móvil.

El ensamble de la base tiene la apariencia mostrada en la fotografía de la Figura 3.55.

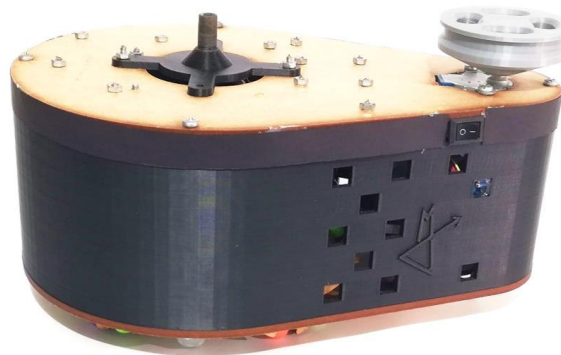


Figura 3.55 Unidad móvil completamente ensamblada.

Unidad central

La circuitería de la unidad central es la más crítica, debido a la presencia del medidor láser, es recomendable que este paso se realice al final pues las piezas fueron impresas con acrílico, material que no puede soportar mucho estrés mecánico.

Para revisar el funcionamiento, es preferible disponer del circuito completo y poner al equipo en modo pruebas, empleando la aplicación del dispositivo Android o la HMI es posible asegurar que el circuito se encuentre trabajando de forma adecuada, el

resultado y el circuito pueden apreciarse en la Figura 3.56 (revítese el manual de mantenimiento para una explicación más detallada).

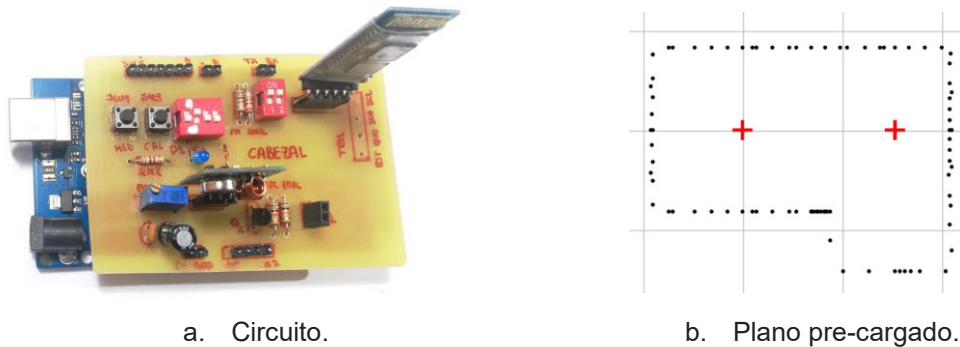


Figura 3.56 Prueba de funcionamiento de la unidad central.

El ensamble se inició fijando el adaptador rodamiento – cabezal y receptor infrarrojo a la cubierta inferior de la base como se muestra en la Figura 3.57.



Figura 3.57 Ensamble del cabezal

Se atornilló el medidor sin la carcasa a la cubierta superior, después de fijar todos los pulsadores y el interruptor general se procedió a ubicar el bus del medidor a la parte superior de la cubierta y situar el circuito adaptador como se muestra en la fotografía de la Figura 3.58.

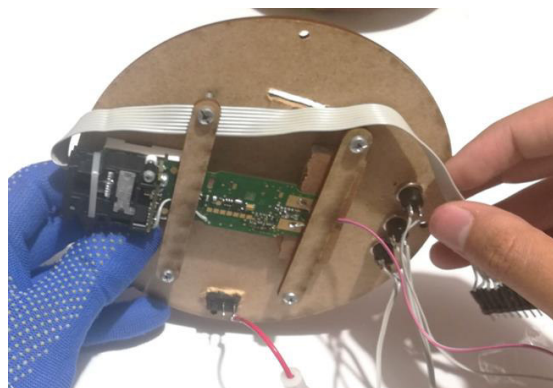


Figura 3.58 Aseguramiento del medidor láser

Después de revisar que los voltajes sean adecuados para el circuito (véase Figura 3.59), es decir, que el medidor sea alimentado con 3 (V) y el MCU con 5 (V), se procedió a cerrar el cabezal.

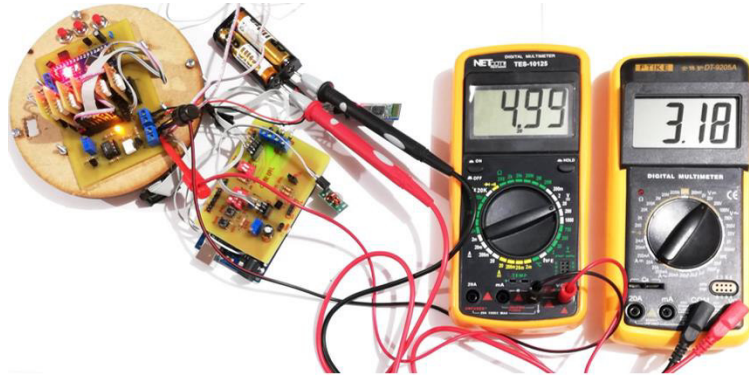


Figura 3.59 Revisión final de voltajes

El ensamble posee la apariencia mostrada en la fotografía Figura 3.60.



Figura 3.60 Cabezal ensamblado

Finalmente, se colocó el cabezal sobre la unidad móvil, el equipo completo posee la apariencia de la fotografía mostrada en la Figura 3.61.



Figura 3.61 Equipo completamente ensamblado

Calibración

El único parámetro del equipo que requiere calibración es el *offset* de medición, que es la distancia desde la base del medidor láser y el centro de rotación del cabezal, la ilustración de la Figura 3.62 muestra una representación de este parámetro.

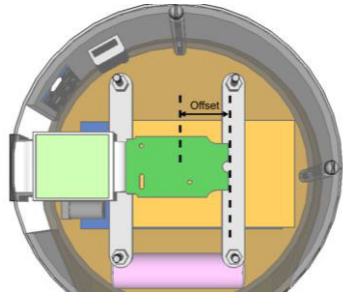


Figura 3.62 Offset de medición

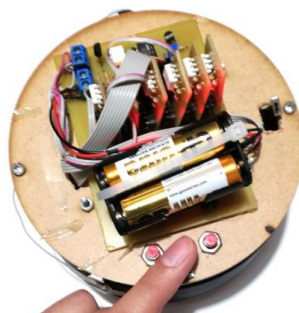
El proceso de calibración se realizó de la siguiente manera:

1. Conectar el equipo a la aplicación
2. Disponer de la plantilla provista en el siguiente enlace:



Figura 3.63 Enlace a la plantilla de calibración

3. Presionar el pulsador de calibración mostrado en la Figura 3.64 (a), el equipo iniciará la subrutina de calibración, al ingresar a la pantalla de mediciones se desplegará la siguiente ventana:



a. Botón de calibración

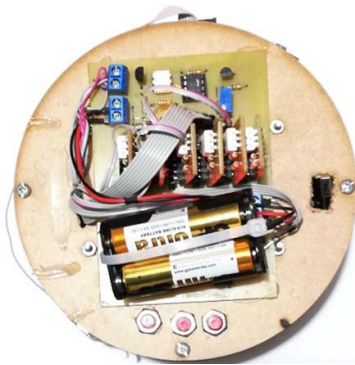


b. Pantalla de Calibración

Figura 3.64 Inicio del proceso de calibración

Nótese que el valor de medición de prueba no se ha registrado, es recomendable ajustar el potenciómetro hasta que el valor de *offset* sea 0.00, o cercano.

4. Asegurando que el cabezal se encuentre centrado en la plantilla de calibración, se coloca un obstáculo en una de las marcas provistas, en el caso de la Figura 3.65a se colocó un obstáculo a 20 (cm) y se registró la información mostrada en la Figura 3.65b.
5. El valor de *offset* debe ajustarse hasta que la medición de prueba sea de 20 (cm), una vez realizado este proceso se recomienda repetir la medición para corroborar que la calibración ha sido efectiva como se muestra en la captura de la Figura 3.65c.



a. Obstáculo a 20 (cm) del cabezal.



b. Resultados de la medición sin calibrar.



c. Calibración exitosa.

Figura 3.65 Calibración del medidor láser.

6. Este subproceso finaliza al volver a oprimir el botón de calibraciones.

3.5 Algoritmo de control

En la presente sección se explica, de manera simplificada, los algoritmos codificados mediante diagramas de flujo, al final del capítulo se encuentra el enlace a los códigos completos comentados.

Programación en Arduino IDE

Los circuitos que conforman el equipo poseen los siguientes programas:

Algoritmo del Adaptador

El algoritmo encargado de leer los valores del LCD del Medidor láser funciona mediante estados, dependiendo de la orden enviada desde el MCU de la Unidad Central se simulará una presión, se leerá el valor o se entrará en modo de reposo.

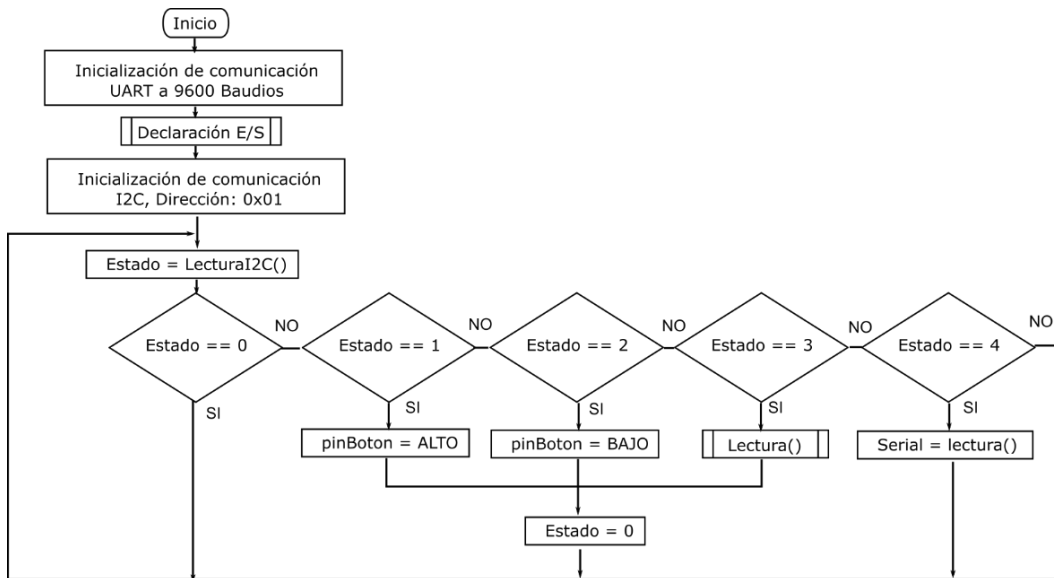


Figura 3.66 Algoritmo del adaptador (simplificación).

Por defecto, el estado del adaptador es igual a 4, lo que permite conectarlo directamente a la HMI y verificar los valores medidos por el instrumento desde el PC, el algoritmo simplificado se aprecia en el diagrama de flujo de la Figura 3.66.

Algoritmo de la Unidad Central

El algoritmo de la unidad central se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 3.67.

Funciona evaluando qué subrutina se ha solicitado, y cumpliendo el proceso respectivo, en el caso de iniciar el modo normal (mapeo) el proceso es el siguiente:

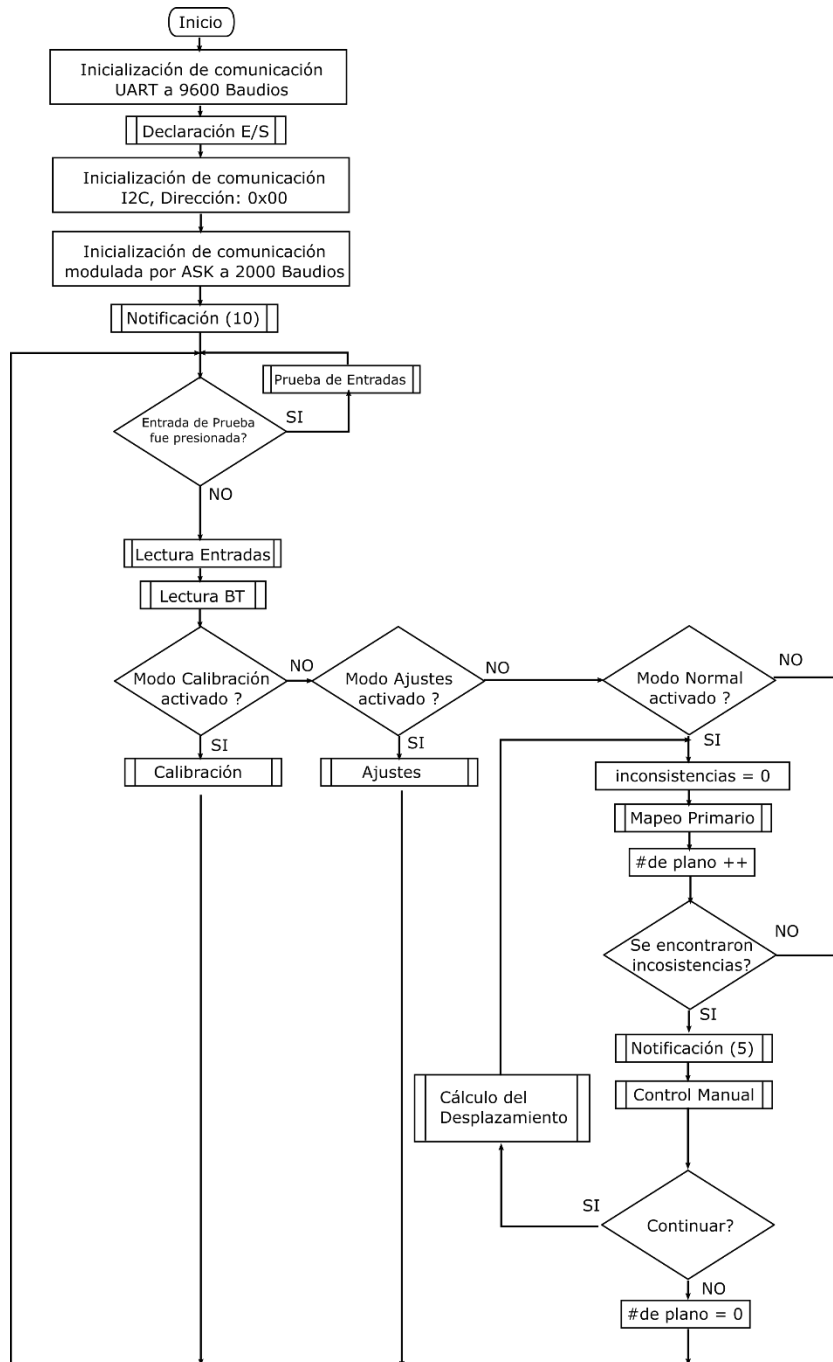


Figura 3.67 Algoritmo de la unidad central (simplificación).

1. Realizar un mapeo primario mediante un bucle de tantas mediciones como dicte el parámetro de la resolución.
2. Evaluar si existen inconsistencias.
3. En caso de existir, se solicita al operador tomar el control.
4. Se calcula la distancia recorrida o culmina el proceso dependiendo de la decisión del operador.

- En caso de que el operador elija seguir midiendo, el proceso se repite desde el punto 1.

La subrutina de envío de información por *bluetooth* posee el algoritmo mostrado en la Figura 3.68, de manera general, la comunicación se realiza bidireccionalmente intentando enviar un nuevo valor mientras se espera que la aplicación procese y retorne el valor enviado previamente, en caso de que el dato enviado sea igual al recibido se asume que el proceso ha sido exitoso.

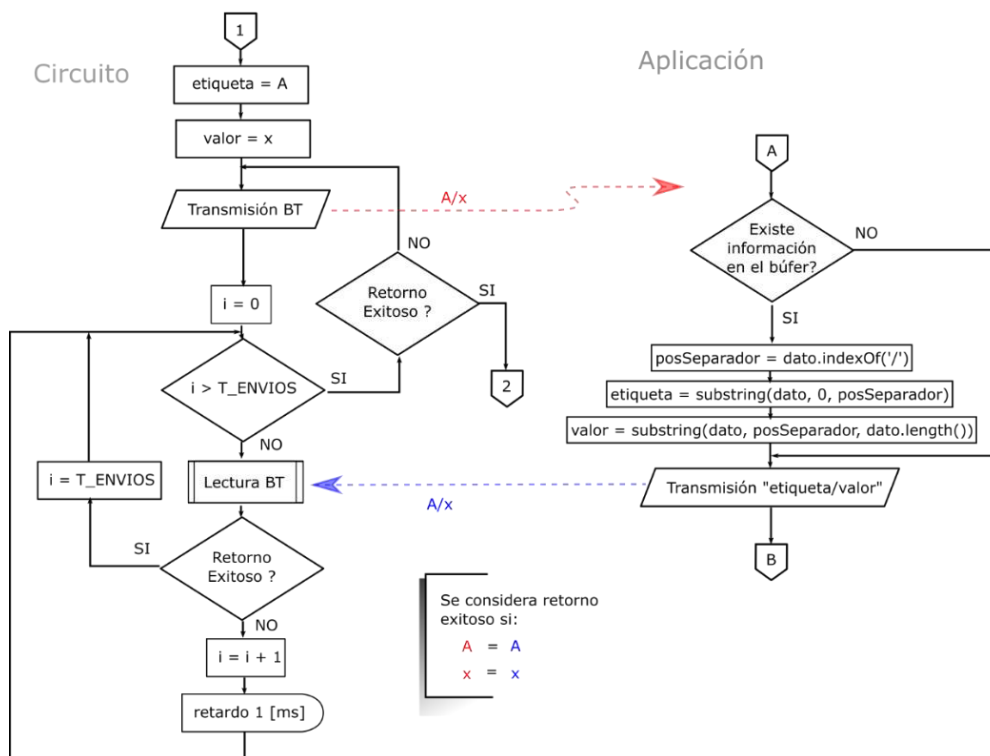


Figura 3.68 Subrutina de envío por *bluetooth* de forma confiable.

Algoritmo de la Unidad Móvil

La unidad móvil recibe un solo byte desde la unidad central, se evalúa el valor recibido y se decide si se ha solicitado rotar el cabezal o movilizar el equipo, se emplean algoritmos recursivos para mejorar la precisión del giro y cambiar fácilmente de tipo de paso de cada motor. El algoritmo simplificado se aprecia en el diagrama de flujo de la Figura 3.69.

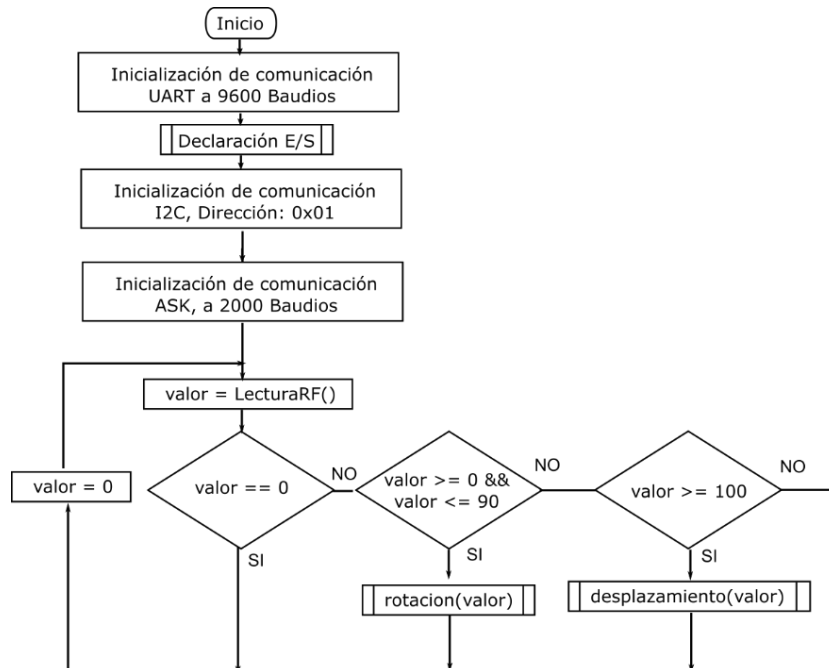


Figura 3.69 Algoritmo de la unidad móvil (simplificación).

Programación en App Inventor

La aplicación funciona leyendo la información recibida por *bluetooth*, se obtiene una etiqueta y un valor desde el circuito, el programa actúa en función del valor recibido.

Las acciones fundamentales son:

- Graficado
- Mostrar / Ocultar ventanas
- Solicitar confirmaciones
- Leer valores de diferentes variables

En caso de recibir el valor del módulo de medición y el ángulo, se espera hasta que la orden de graficado sea recibida, una vez obtenida se dibuja un punto en pantalla respecto al centro de medición elegido por el operador.

Internamente, se almacenan y preparan los puntos medidos en caso de que el usuario haya elegido refinar la forma final.

El algoritmo simplificado puede apreciarse en el diagrama de flujo de la Figura 3.70.

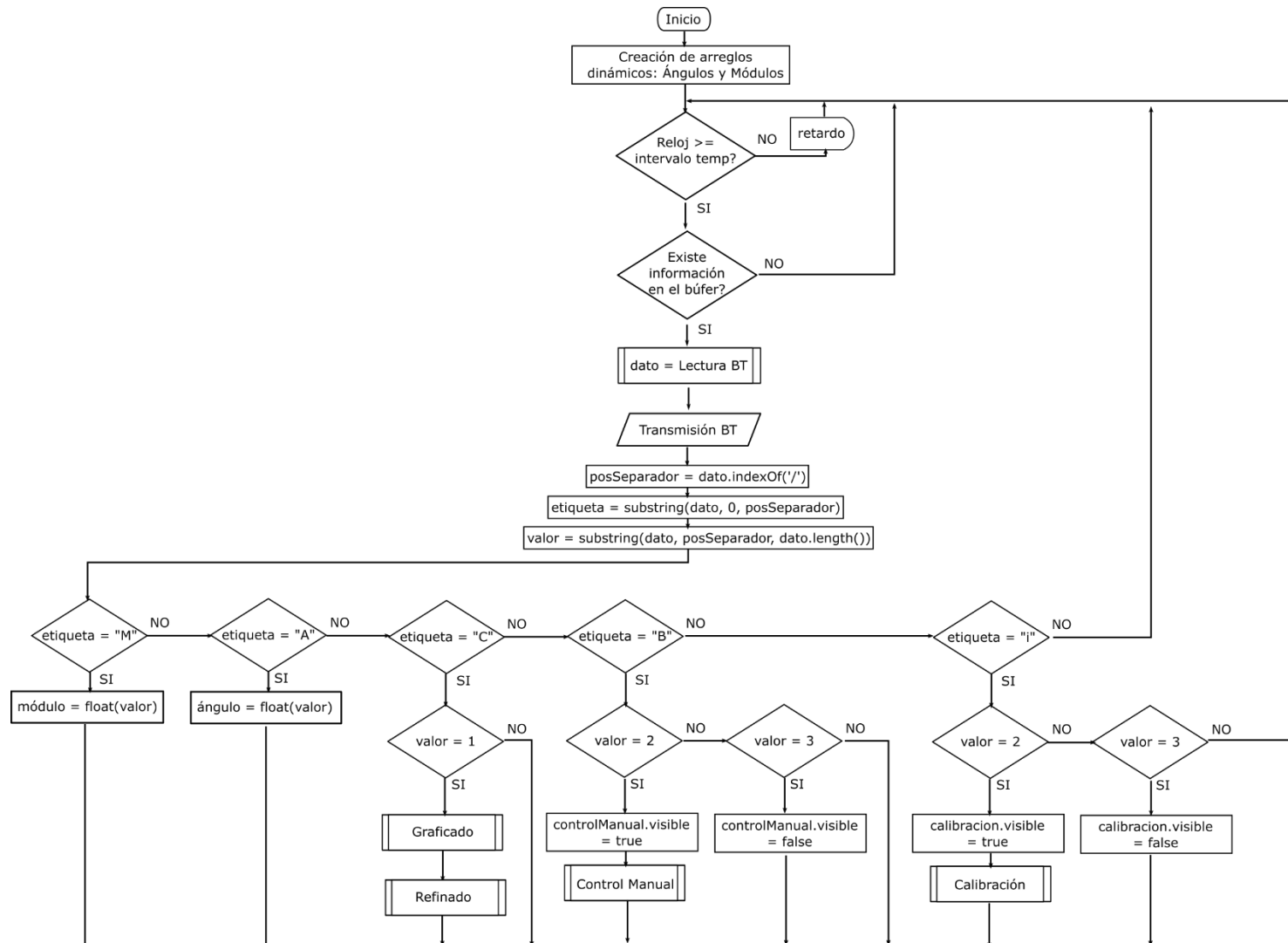
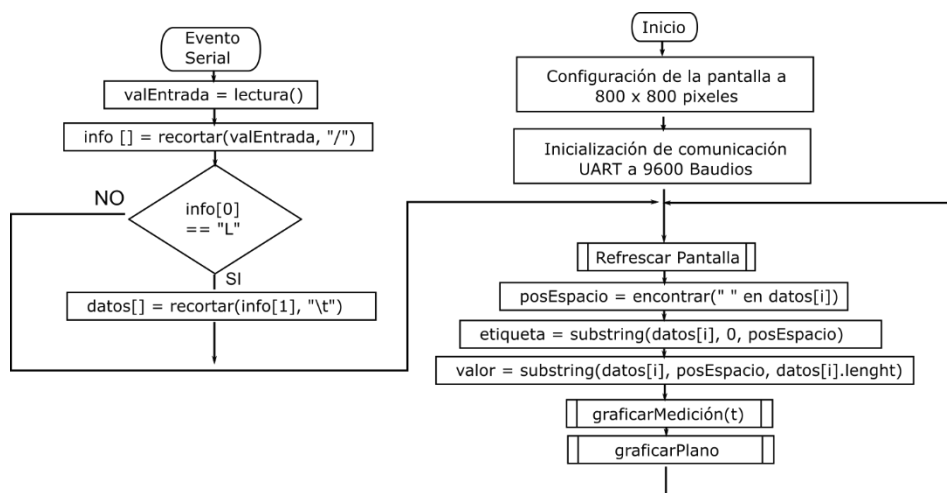


Figura 3.70 Algoritmo de la aplicación (simplificación)

Programación en Processing 3

El algoritmo de la HMI únicamente actúa como registro de funciones, no transmite información hacia la unidad central. La información recibida por USB genera un evento externo al programa, cuando se detectan datos se evalúa si realmente tienen como destino la HMI, posteriormente cada dato recibido se lee y descompone, se grafican las mediciones realizadas respecto al tiempo y se grafica un plano referencial. El algoritmo simplificado se observa en el diagrama de flujo de la Figura 3.71



3.6 Pruebas y análisis de resultados

Una vez el equipo se ha ensamblado y programado adecuadamente, se realizaron las pruebas de funcionamiento descritas en la presente sección.

Pruebas de medición

Para evaluar la calidad de las mediciones se emplean paredes de prueba y se sitúa el medidor en un punto dentro de la construcción a medir, se comparan las distancias reales y las obtenidas al final del proceso.

Se dispone de las paredes formando polígonos convexos para evaluar la forma obtenida, y se emplean construcciones con varias paredes internas para evaluar el algoritmo de desplazamiento y reubicación.

Las evidencias de funcionamiento pueden apreciarse en el enlace provisto en el código QR de la Figura 3.73.

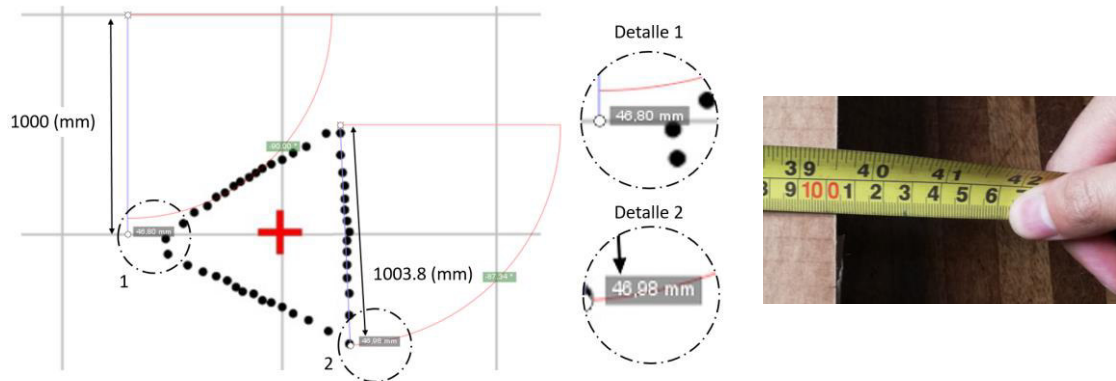


Figura 3.73 Enlace a las evidencias de funcionamiento.

La aplicación entrega una imagen cuyo tamaño depende de los ajustes establecidos, por lo que, para obtener la distancia real se emplea la rejilla de la imagen, misma que posee 100 pixeles de longitud y de altura, cada pixel dibujado equivale a 1 / escala (cm), por tanto, cada rejilla mide 1 x 1 x escala (m²).

Tómese como ejemplo el polígono mostrado en el plano de la Figura 3.74, conociendo que la rejilla mide 46.80 (mm) de lado, una de las paredes medidas mide 46.98 (mm); conociendo que 46.8 (mm) de la imagen equivale a 1000 (mm) de la edificación, es posible calcular que una de las paredes mide 1003.84 (mm). La pared de prueba real mide aproximadamente 1003 (mm), por lo que el valor medido posee solo un 0.084%

de error. En cada prueba se especifica la cantidad de mediciones por rotación (MPR) y el tamaño de la rejilla.



a. Polígono de ejemplo.

b. Tamaño real de las paredes (largas) de prueba.

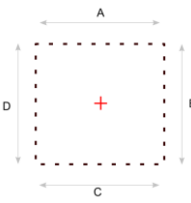
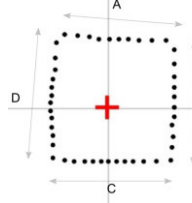
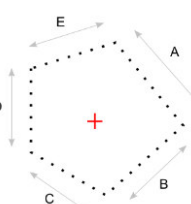
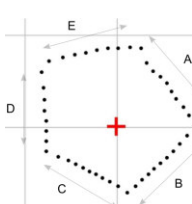
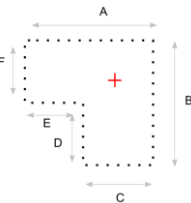
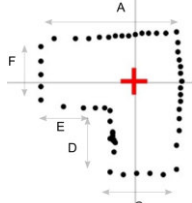
Figura 3.74 Diagrama de ejemplo para obtención de medidas.

- Pruebas Estáticas

Con base en lo detallado anteriormente, se evaluaron los polígonos mostrados en la Tabla 3.2, para esta prueba no se emplea refinamiento.

Tabla 3.2 Resultados de las pruebas estáticas (sin refinado).

| Polígono Construido | Polígono Medido | Dimensiones (mm) | | | Error (%) |
|---------------------|-----------------|--------------------------------------|---------|----------------|-----------|
| | | Medición | | Valor esperado | |
| | | Imagen | Real | | |
| | | Rejilla: 49.51 Resolución: 45 MPR | | | |
| | | A: 50.70 | A: 1024 | A: 1003 | A: 2.09 |
| | | B: 50.08 | B: 1011 | B: 1003 | B: 0.84 |
| | | C: 50.92 | C: 1028 | C: 1003 | C: 2.54 |
| | | Error promedio: | | | 1.82 |
| | | Rejilla: 59.15 Resolución: 45 MPR | | | |
| | | A: 60.95 | A: 1030 | A: 1003 | A: 2.73 |
| | | B: 30.11 | B: 509 | B: 501 | B: 1.60 |
| | | C: 60.83 | C: 1028 | C: 1003 | C: 2.53 |
| | | D: 30.21 | D: 510 | D: 501 | D: 1.94 |
| Error promedio: | | | 2.20 | | |

| Polígono Construido | Polígono Medido | Dimensiones (mm) | | | Error (%) |
|---|---|--------------------|---------|----------------|-----------|
| | | Medición | | Valor esperado | |
| | | Imagen | Real | | |
|  |  | Rejilla: 52.46 | | | |
| | | Resolución: 45 MPR | | | |
| | | A: 52.83 | A: 1007 | A: 1003 | A: 0.40 |
| | | B: 52.55 | B: 1001 | B: 1003 | B: 0.12 |
| | | C: 52.93 | C: 1008 | C: 1003 | C: 0.59 |
| | | D: 53.31 | D: 1016 | D: 1003 | D: 1.35 |
| Error promedio: | | | | 0.62 | |
|  |  | Rejilla: 42.76 | | | |
| | | Resolución: 45 MPR | | | |
| | | A: 43 | A: 1005 | A: 1003 | A: 0.26 |
| | | B: 43.47 | B: 1016 | B: 1003 | B: 1.35 |
| | | C: 42.87 | C: 1002 | C: 1003 | C: 0.04 |
| | | D: 42.85 | D: 1002 | D: 1003 | D: 0.08 |
| | | E: 43.05 | E: 1006 | E: 1003 | E: 0.37 |
| Error promedio: | | | | 0.42 | |
|  |  | Rejilla: 58.87 | | | |
| | | Resolución: 72 MPR | | | |
| | | A: 59.93 | A: 1021 | A: 1003 | A: 1.80 |
| | | B: 59.96 | B: 1021 | B: 1003 | B: 1.85 |
| | | C: 29.50 | C: 502 | C: 501 | C: 0.32 |
| | | D: 29.07 | D: 495 | D: 501 | D: 1.14 |
| | | E: 29.69 | E: 505 | E: 501 | E: 0.96 |
| | | F: 29.77 | F: 507 | F: 501 | F: 1.23 |
| Error promedio: | | | | 1.10 | |

Como puede apreciarse, el error máximo producido es de 2.73% y el más pequeño fue de 0.04%, es posible asegurar que el sistema es adecuado para cumplir sus funciones en posiciones fijas.

El gráfico de la Figura 3.75 muestra la tendencia decreciente del error promedio en cada escenario; nótese que para las pruebas 3 y 4 el equipo está físicamente más alejado de cualquier pared, tales resultados indican que los errores producidos son menos notorios conforme aumenta el área de medición. Este comportamiento se debe a pequeños errores de calibración que se vuelven más visibles conforme las mediciones hacia un punto son más pequeñas.

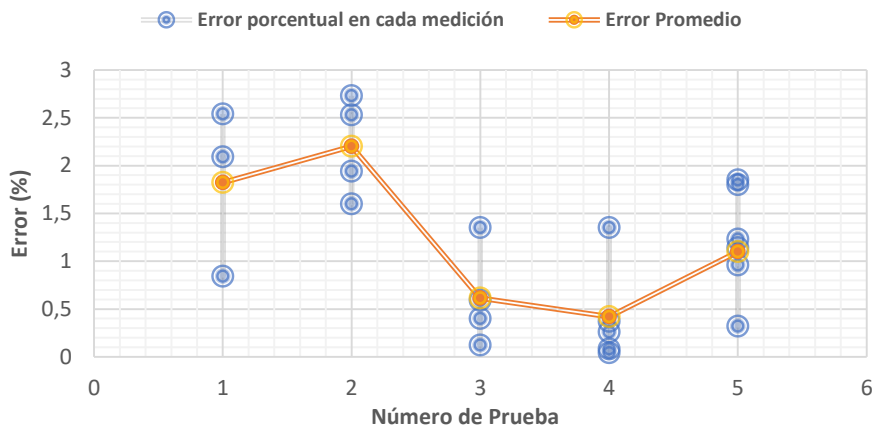


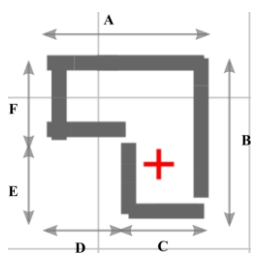
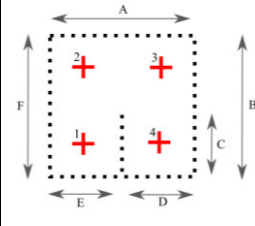
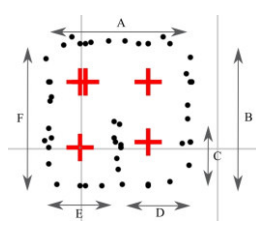
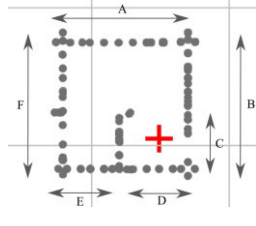
Figura 3.75 Resumen de resultados de las pruebas estáticas.

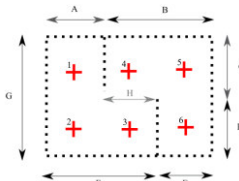
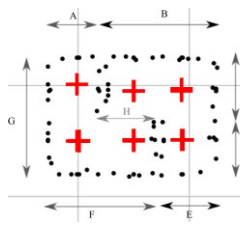
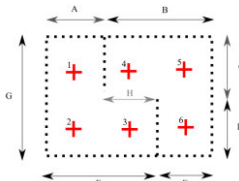
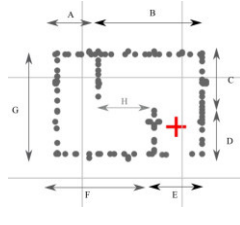
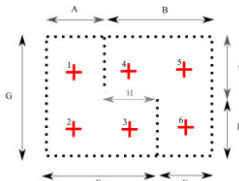
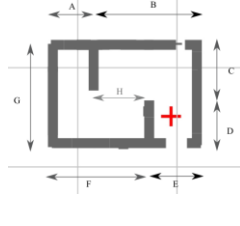
- Pruebas Móviles

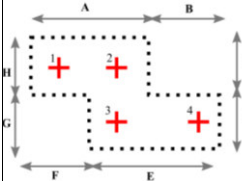
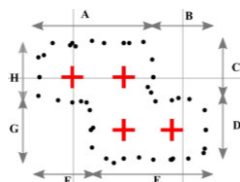
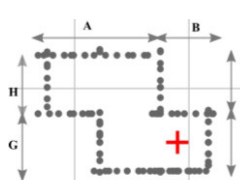
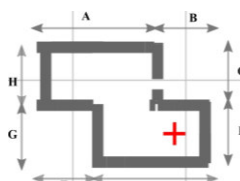
Los resultados de las pruebas móviles se muestran en la Tabla 3.3, nótese que se emplea la función de refinado debido a las distorsiones introducidas por la naturaleza de los sistemas LiDAR.

Tabla 3.3 Resultados de las pruebas móviles (con refinado)

| Construcción | Plano Levantado | Dimensiones (mm) | | | Error (%) |
|--|-----------------|---|------------|----------------|-----------|
| | | Medición | | Valor esperado | |
| | | Imagen | Real | | |
| <p>Posiciones de medición: 3</p> <p>Resolución: 12 MPR</p> | | Sin refinado. | | | |
| | | Rejilla: 38.89 | | | |
| | | A: 28.96 | A: 1001.80 | A: 1003 | A: 0.12 |
| | | B: 37.98 | B: 976.60 | B: 1003 | B: 2.63 |
| | | C: 18.63 | C: 479.04 | C: 501 | C: 4.38 |
| | | D: 18.62 | D: 478.78 | D: 501 | D: 4.43 |
| | | E: 18.70 | E: 480.84 | E: 501 | E: 4.02 |
| | | F: 19.55 | F: 502.70 | F: 501 | F: 0.34 |
| | | Error promedio: | | | 2.65 |
| | | Modo de refinado: Puntos (Fino). | | | |
| Rejilla: 35.92 | | | | | |
| A: 36.48 | A: 1015.59 | A: 1003 | A: 1.26 | | |
| B: 35.36 | B: 984.41 | B: 1003 | B: 1.85 | | |
| C: 17.59 | C: 489.70 | C: 501 | C: 2.26 | | |
| D: 19.18 | D: 533.96 | D: 501 | D: 6.58 | | |
| E: 18.54 | E: 516.15 | E: 501 | E: 3.02 | | |
| F: 18.32 | F: 510.02 | F: 501 | F: 1.80 | | |
| Error Promedio: | | | 2.80 | | |

| Construcción | Plano Levantado | Dimensiones (mm) | | | Error (%) |
|--|---|--|---|---|--|
| | | Medición | | Valor esperado | |
| | | Imagen | Real | | |
| |  | Modo de refinado: Líneas (Fino). | | | |
| | | Rejilla: 36.11 | | | |
| | | A: 36.86 B: 37.96 C: 18.52 D: 18.27 E: 18.32 F: 18.98 | A: 1020.77 B: 1051.23 C: 512.88 D: 505.95 E: 507.34 F: 525.62 | A: 1003 B: 1003 C: 501 D: 501 E: 501 F: 501 | A: 1.77 B: 4.81 C: 2.37 D: 0.99 E: 1.27 F: 4.91 |
| | | Error promedio: | | | 2.69 |
| <p>Resolución: 12 MPR</p> <p>Posiciones de medición: 4</p>  |  | Sin refinado. | | | |
| | | Rejilla: 38.91 | | | |
| |  | Modo de refinado: Puntos (Fino). | | | |
| | | Rejilla: 38.91 | | | |
| | | A: 39.76 B: 40.60 C: 17.96 D: 20.58 E: 18.54 F: 41.81 | A: 1021.85 B: 1043.43 C: 461.58 D: 528.91 E: 476.48 F: 1074.53 | A: 1003 B: 1003 C: 501 D: 501 E: 501 F: 1003 | A: 1.88 B: 4.03 C: 7.87 D: 5.57 E: 4.89 F: 7.13 |
| | | Error promedio: | | | 5.23 |
| | | Modo de refinado: Líneas (Fino). | | | |
| | | Rejilla: 38.91 | | | |
| | | A: 39.29 B: 39.95 C: 19.08 D: 18.90 E: 18.54 F: 40.04 | A: 1009.77 B: 1026.73 C: 490.36 D: 485.74 E: 476.48 F: 1029.04 | A: 1003 B: 1003 C: 501 D: 501 E: 501 F: 1003 | A: 0.67 B: 2.37 C: 2.12 D: 3.05 E: 4.89 F: 2.60 |
| | | Error promedio: | | | 2.62 |

| Construcción | Plano Levantado | Dimensiones (mm) | | | Error (%) |
|--|---|---|---|----------------|-----------|
| | | Medición | | Valor esperado | |
| | | Imagen | Real | | |
| <p>Resolución: 12 MPR</p> <p>Posiciones de medición: 6</p>  |  | Sin refinado. | | | |
| | | Rejilla: 38.89 | | | |
| | | A: 18.53 | A: 476.47 | A: 501 | A: 4.90 |
| | | B: 37.84 | B: 973.00 | B: 1003 | B: 2.99 |
| | C: 19.86 | C: 510.67 | C: 501 | C: 1.93 | |
| | D: 18.13 | D: 466.19 | D: 501 | D: 6.95 | |
| | E: 18.26 | E: 469.53 | E: 501 | E: 6.28 | |
| | F: 35.98 | F: 925.17 | F: 1003 | F: 7.76 | |
| | G: 35.95 | G: 924.40 | G: 1003 | G: 7.84 | |
| | H: 20.64 | H: 530.73 | H: 501 | H: 5.93 | |
| | Error promedio: | | | 5.57 | |
| |  |  | Modo de refinado: Puntos (Fino). | | |
| Rejilla: 38.89 | | | | | |
| A: 18.52 | | | A: 476.21 | A: 501 | A: 4.95 |
| B: 40.48 | | | B: 1040.88 | B: 1003 | B: 3.78 |
| C: 19.18 | C: 493.19 | C: 501 | C: 1.56 | | |
| D: 19.45 | D: 500.13 | D: 501 | D: 0.17 | | |
| E: 19.58 | E: 503.47 | E: 501 | E: 0.49 | | |
| F: 39.56 | F: 1017.23 | F: 1003 | F: 1.42 | | |
| G: 39.57 | G: 1017.49 | G: 1003 | G: 1.44 | | |
| H: 20.11 | H: 517.10 | H: 501 | H: 3.21 | | |
| Error promedio: | | | 2.13 | | |
|  |  | Modo de refinado: Líneas (Fino). | | | |
| | | Rejilla: 38.89 | | | |
| | | A: 18.61 | A: 478.53 | A: 501 | A: 4.49 |
| | | B: 40.88 | B: 1051.17 | B: 1003 | B: 4.80 |
| C: 19.71 | C: 506.81 | C: 501 | C: 1.16 | | |
| D: 18.92 | D: 486.50 | D: 501 | D: 2.89 | | |
| E: 20.11 | E: 517.10 | E: 501 | E: 3.21 | | |
| F: 39.56 | F: 1017.23 | F: 1003 | F: 1.42 | | |
| G: 40.62 | G: 1044.48 | G: 1003 | G: 4.14 | | |
| H: 19.05 | H: 489.84 | H: 501 | H: 2.23 | | |
| Error promedio: | | | 3.04 | | |

| Construcción | Plano Levantado | Dimensiones (mm) | | | Error (%) |
|--|---|---|---|----------------|-----------|
| | | Medición | | Valor esperado | |
| | | Imagen | Real | | |
|  <p>Posiciones de medición: 4</p> <p>Resolución: 12 MPR</p> |  | Sin refinado. | | | |
| | | Rejilla: 32.27 | | | |
| | | A: 30.68 | A: 950.73 | A: 1003 | A: 5.21 |
| | | B: 14.59 | B: 452.12 | B: 501 | B: 9.76 |
| | | C: 15.06 | C: 466.69 | C: 501 | C: 6.85 |
| | | D: 13.19 | D: 408.74 | D: 501 | D: 18.42 |
| | | E: 33.02 | E: 1023.24 | E: 1003 | E: 2.02 |
| | | F: 14.41 | F: 446.54 | F: 501 | F: 10.87 |
| | | G: 14.78 | G: 458.01 | G: 501 | G: 8.58 |
| | | H: 15.25 | H: 472.58 | H: 501 | H: 5.67 |
| | | Error promedio: | | | 8.42 |
| | |  | Modo de refinado: Puntos (Fino). | | |
| | | Rejilla: 32.27 | | | |
| | A: 31.24 | A: 968.08 | A: 1003 | A: 3.48 | |
| | B: 17.21 | B: 533.31 | B: 501 | B: 6.45 | |
| | C: 15.90 | C: 492.72 | C: 501 | C: 1.65 | |
| | D: 16.56 | D: 513.17 | D: 501 | D: 2.43 | |
| | E: 32.27 | E: 1000.00 | E: 1003 | E: 0.30 | |
| | F: 16.65 | F: 515.96 | F: 501 | F: 2.99 | |
| | G: 15.06 | G: 466.69 | G: 501 | G: 6.85 | |
| | H: 16.28 | H: 504.49 | H: 501 | H: 0.70 | |
| | Error promedio: | | | 3.11 | |
| |  | Modo de refinado: Líneas (Fino). | | | |
| | | Rejilla: 32.27 | | | |
| | A: 32.83 | A: 1017.35 | A: 1003 | A: 1.43 | |
| | B: 16.56 | B: 513.17 | B: 501 | B: 2.43 | |
| | C: 16.47 | C: 510.38 | C: 501 | C: 1.87 | |
| | D: 16.09 | D: 498.61 | D: 501 | D: 0.48 | |
| | E: 31.52 | E: 976.76 | E: 1003 | E: 2.62 | |
| | F: 16.28 | F: 504.49 | F: 501 | F: 0.70 | |
| | G: 16.09 | G: 498.61 | G: 501 | G: 0.48 | |
| | H: 16.00 | H: 495.82 | H: 501 | H: 1.03 | |
| | Error promedio: | | | 1.38 | |

Los resultados obtenidos en las pruebas sin refinado se aprecian en la gráfica de la Figura 3.76.

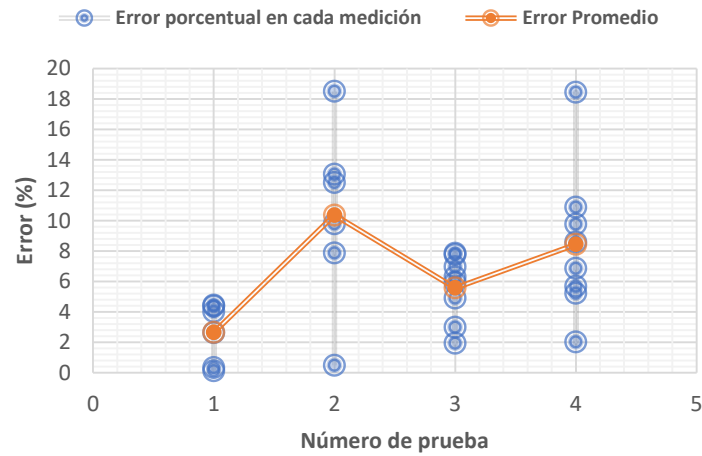


Figura 3.76 Errores porcentuales en los planos sin refinado.

Los resultados obtenidos en las pruebas con refinado se aprecian en las gráficas de las Figura 3.77, Figura 3.76 y Figura 3.78.

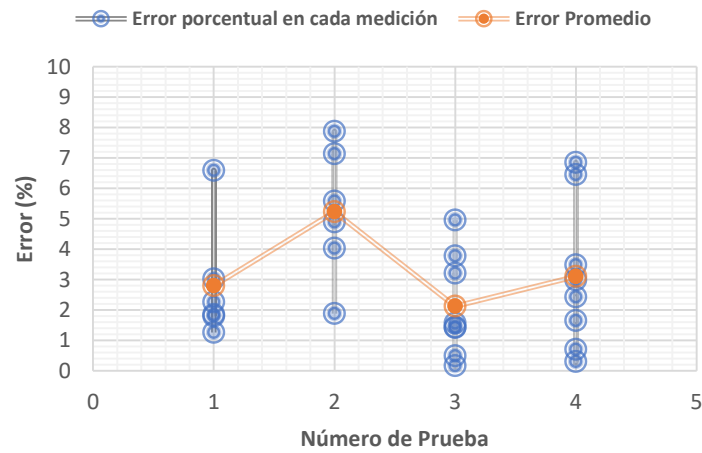


Figura 3.77 Errores porcentuales en los planos con refinado en modo puntos.

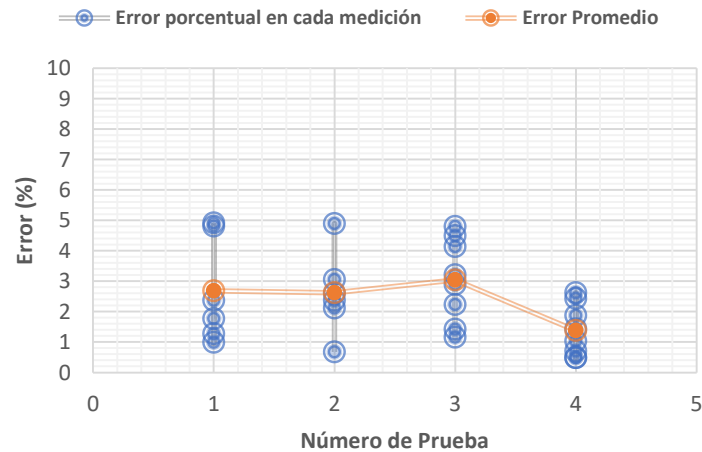


Figura 3.78 Errores porcentuales en los planos con refinado en modo líneas.

Los resultados de las pruebas móviles se encuentran comparadas en la gráfica de la Figura 3.79.

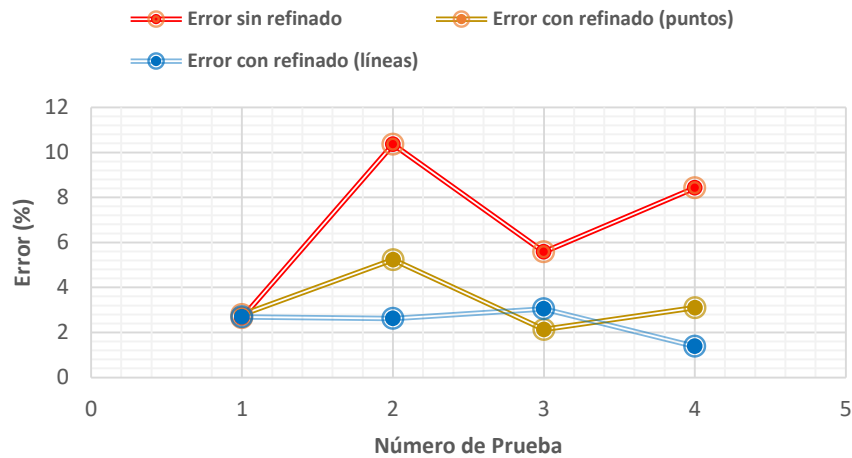


Figura 3.79 Promedio de errores porcentuales en cada prueba.

Como se aprecia en los resultados de la Tabla 3.3 los errores producidos en los planos sin refinado son superiores, esta situación estaba prevista debido a la naturaleza de los sistemas LiDAR, debido a que en los capítulos anteriores se explica esta singularidad, tales resultados no serán tomados en cuenta en este análisis.

En los planos con refinado, el error más alto es de 7.87%, mientras que el más bajo es de 0.17%, ambos extremos se produjeron en el refinado en modo puntos, en el modo líneas los extremos fueron de 0.48% y 4.89%.

De los gráficos de la Figura 3.76, Figura 3.77 y Figura 3.78 es posible identificar que el refinado en modo líneas posee errores menores que los otros modos de dibujado, este comportamiento puede apreciarse claramente en la gráfica de la Figura 3.79.

La explicación de tal característica es la imagen mental que el operador asume del plano, el algoritmo de refinado es el mismo en ambos modos de graficado, sin embargo, las esquinas y espacios vacíos tienden a ser menos notorios gracias al ancho de la línea de dibujado, el modo puntos no es capaz de cubrir tales imperfecciones.

Velocidad de respuesta

Para conocer el tiempo que demora cada elemento conectado a la unidad central para entregar un valor fiable se emplearon algoritmos de prueba para transmisión de información. Este parámetro permite identificar posibles optimizaciones.

Adquisición de medidas fiables

Debido al ruido generado por el regulador - elevador interno del medidor, es necesario esperar a que el instrumento encienda su láser para comenzar a recolectar los valores medidos, posteriormente se realizan 50 mediciones para asegurar que el circuito adaptador no haya introducido ningún error¹, por último, la unidad central recolecta la información revisando que no se haya tomado erróneamente el valor anterior.

Para obtener el tiempo de respuesta se emplea el algoritmo de mediciones, se procede a medir la distancia hacia varios objetivos y a promediar el tiempo que demora el sistema en recolectar 10 mediciones.

De la prueba realizada, se obtiene que el equipo demora 18253.20 (ms) en promedio para obtener una medición fiable, tal demora se debe a que se emula el comportamiento humano para manejo del instrumento, este tiempo se podría reducir empleando un medidor láser que permanezca siempre encendido y midiendo sin entrar al modo de suspensión, lo que a su vez evitaría los problemas por EMI.

Latencia

La prueba de transmisión entre circuito y dispositivo Android mide el tiempo de latencia promedio desde que la información es enviada hasta que es leída adecuadamente. Se requiere conocer este valor debido a la posibilidad de mejorar el equipo empleando una generación de *bluetooth* superior a la 2.0.

Para obtener el tiempo transcurrido desde el envío de un valor hasta que es recibido y procesado adecuadamente, se emplea el algoritmo de transmisión programado y la función *millis()*, se obtiene la diferencia desde el tiempo inicial hasta el final para 500 valores transmitidos y se obtiene un promedio, los resultados de la prueba se aprecian en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4 Resultados de las pruebas de transmisión.

| Interferencia | Envíos | Respuestas | Pérdidas | Pérdidas (%) | Latencia Promedio (ms) |
|--------------------|--------|------------|----------|--------------|------------------------|
| Medida de Control | 646 | 500 | 146 | 22.60 | 134.69 |
| Distancia de 3 (m) | 656 | 500 | 156 | 23.78 | 141.08 |

¹ Debido a EMI, en ocasiones el valor mostrado por el instrumento se ve distorsionado, lo que se lee como un valor de 0.00 (m) que es considerado inválido.

| Interferencia | Envíos | Respuestas | Pérdidas | Pérdidas (%) | Latencia Promedio (ms) |
|---------------|--------|------------|----------|--------------|------------------------|
| Muro | 659 | 500 | 159 | 24.13 | 141.65 |
| Puerta | 633 | 500 | 133 | 21.01 | 129.11 |
| Humano | 606 | 500 | 106 | 17.49 | 116.27 |

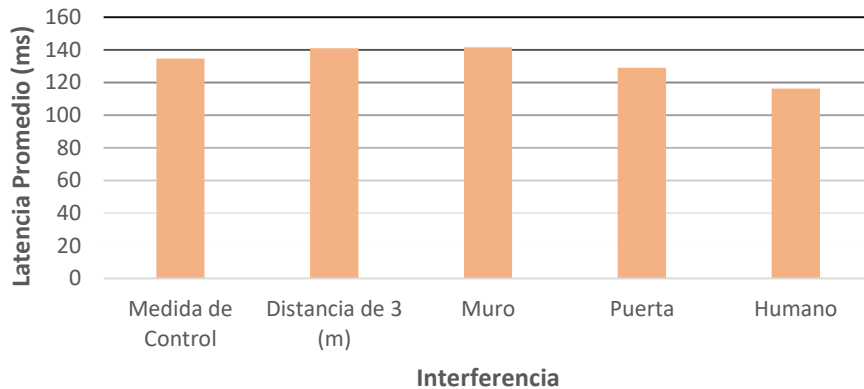


Figura 3.80 Visualización de los resultados de las pruebas de transmisión.

Del gráfico de la Figura 3.80, puede apreciarse que no existe una correlación muy significativa entre el obstáculo y la latencia del sistema, por lo que puede asumirse que *bluetooth* 2.0 es un protocolo suficientemente fiable para la transmisión.

Respuesta ante interferencias

En la presente prueba se evalúa la eficiencia del algoritmo de envíos al trabajar considerando diferentes interferencias entre el circuito y el dispositivo móvil. Los resultados de la prueba se muestran en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5 Resultados de la prueba de interferencias.

| Interferencia | Nro. De Prueba | Envíos | Respuestas | Pérdidas | Pérdidas (%) |
|---------------|----------------|--------|------------|----------|--------------|
| Ninguna | 1 | 1301 | 1000 | 301 | 23.13 |
| | 2 | 1315 | 1000 | 315 | 23.95 |
| | Promedio | 1308 | 1000 | 308 | 23.55 |
| Muro | 1 | 1301 | 1000 | 301 | 23.14 |
| | 2 | 1281 | 1000 | 281 | 21.94 |
| | Promedio | 1291 | 1000 | 291 | 22.54 |
| Puerta | 1 | 1281 | 1000 | 281 | 21.94 |
| | 2 | 1246 | 1000 | 246 | 19.74 |
| | Promedio | 1263,5 | 1000 | 263,5 | 20.85 |

| Interferencia | Nro. De Prueba | Envíos | Respuestas | Pérdidas | Pérdidas (%) |
|---------------|----------------|--------|------------|----------|--------------|
| Humano | 1 | 1314 | 1000 | 314 | 23.90 |
| | 2 | 1301 | 1000 | 301 | 23.14 |
| | Promedio | 1307,5 | 1000 | 307,5 | 23.52 |

La prueba realizada muestra que no existe gran diferencia entre la medida de control y las interferencias a las que el circuito fue expuesto, por lo que, mientras el operador mantenga el dispositivo conectado, el módulo HC - 05 es capaz de enviar y recibir la información adecuadamente.

Pruebas de sincronía

En la presente prueba se evalúa la efectividad del algoritmo de envíos al variar las velocidades de transmisión y lectura entre dispositivo Android y circuito.

- Velocidad de lectura de la aplicación de 10 (ms)

Los resultados y condiciones de la prueba se aprecian en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6 Resultados de la prueba de sincronía (velocidad de lectura de 10 ms).

| T. de Espera del Circuito (ms) | Envíos | Respuestas | Pérdidas | Pérdidas (%) | Errores de Lectura |
|--------------------------------|--------|------------|----------|--------------|--------------------|
| 50 | 5211 | 2500 | 2711 | 52.02 | > 10 |
| 100 | 3439 | 2500 | 939 | 27.30 | 0 |
| 150 | 3991 | 2500 | 1491 | 37.36 | 1 |
| 200 | 3455 | 2500 | 955 | 27.64 | 0 |
| 250 | 3372 | 2500 | 872 | 25.86 | 0 |

El tiempo de espera medido en la prueba se aprecia en la gráfica de la Figura 3.81 junto con la tendencia de los resultados.

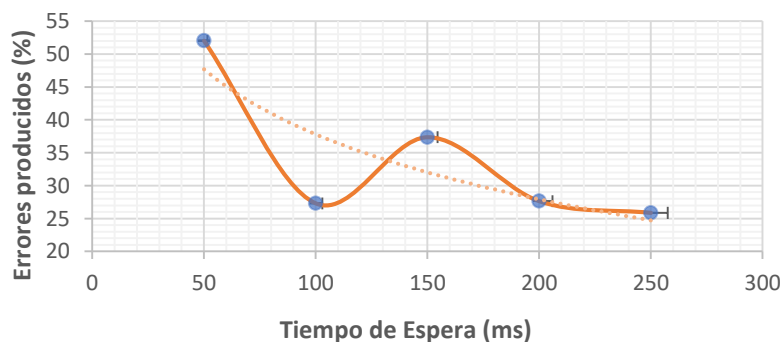


Figura 3.81 Visualización de los resultados de las pruebas de sincronía (10 ms).

- Velocidad de lectura de la aplicación de 20 (ms)

Los resultados y condiciones de la prueba se aprecian en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7 Resultados de la prueba de sincronía (velocidad de lectura de 20 ms).

| T. de Espera del Circuito (ms) | Envíos | Respuestas | Pérdidas | Pérdidas (%) | Errores de Lectura |
|--------------------------------|--------|------------|----------|--------------|--------------------|
| 50 | 4821 | 2500 | 2321 | 48.14 | 1 |
| 100 | 3542 | 2500 | 1042 | 29.42 | 0 |
| 150 | 3697 | 2500 | 1197 | 32.38 | 1 |
| 200 | 3549 | 2500 | 1049 | 29.56 | 0 |
| 250 | 3403 | 2500 | 903 | 26.53 | 0 |

El tiempo de espera medido en la prueba se aprecia en la gráfica de la Figura 3.82 junto con la tendencia de los resultados.

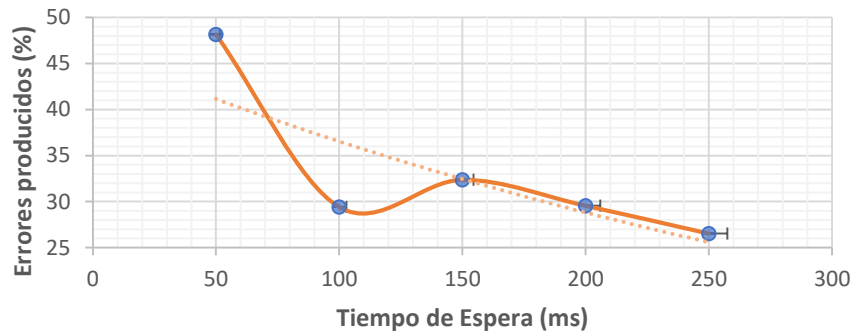


Figura 3.82 Visualización de los resultados de las pruebas de sincronía (20 ms).

- Velocidad de lectura de la aplicación de 30 (ms)

Los resultados y condiciones de la prueba se aprecian en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8 Resultados de la prueba de sincronía (velocidad de lectura de 30 ms).

| T. de Espera del circuito (ms) | Envíos | Recibidos | Pérdidas | Pérdidas (%) | Errores de Lectura |
|--------------------------------|--------|-----------|----------|--------------|--------------------|
| 50 | 3010 | 2500 | 510 | 16.94 | 0 |
| 100 | 3110 | 2500 | 610 | 19.61 | 0 |
| 150 | 3133 | 2500 | 633 | 20.20 | 1 |
| 200 | 3614 | 2500 | 1114 | 30.82 | 0 |
| 250 | 3614 | 2500 | 1114 | 30.82 | 0 |

El tiempo de espera medido en la prueba se aprecia en la gráfica de la Figura 3.83 junto con la tendencia de los resultados.

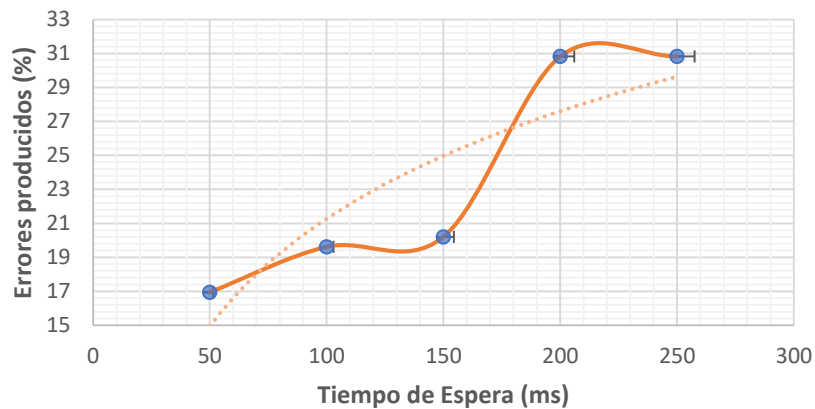


Figura 3.83 Visualización de los resultados de las pruebas de sincronía (30 ms).

Las pruebas realizadas muestran que el algoritmo de envíos es suficientemente fiable para varias configuraciones, sin embargo, es importante aclarar que, cuando los tiempos de aplicación y circuito son múltiples o muy bajos, aumenta la posibilidad de que los valores no se procesen adecuadamente.

Para las velocidades de lectura de 10 y 20 (ms) puede apreciarse una tendencia decreciente en las pérdidas producidas conforme aumenta el tiempo de espera del circuito. Esto se debe a que el circuito brinda más tiempo para que el valor sea descompuesto y reenviado, por lo que los errores debido a una incorrecta lectura de la confirmación son menos frecuentes.

Se esperaría que a una mayor espera del circuito las pérdidas presenten una tendencia decreciente nuevamente con valores máximos en torno a los 200 (ms).

3.7 Manual de uso y mantenimiento

Los manuales en cuestión se encuentran disponibles como instructivos audiovisuales en los enlaces provistos en la Figura 3.84 y Figura 3.85, respectivamente.

Manual de uso



Figura 3.84 Enlace al video de manual de uso.

Manual de mantenimiento



Figura 3.85 Enlace al video del manual de mantenimiento.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se implementó un equipo de medición para levantamiento de planos con errores de medición desde 0.04% hasta 2.73% de forma estática, por lo que puede declararse que el sistema es suficientemente fiable para las aplicaciones planteadas.
- Las pruebas móviles evidenciaron errores distintos dependiendo del modo de refinado, para el modo puntos se obtuvieron errores desde 0.17% hasta 7.87%, mientras que el modo líneas presentó límites desde 0.48% hasta 4.89%, tales valores sugieren que el modo líneas es más apropiado para levantamiento de planos arquitectónicos.
- Realizar un refinado a las figuras obtenidas mejora la calidad estética y asegura que los errores producidos por la construcción de sistemas rotacionales sean menos notorios en las dimensiones de los planos finales.
- La extracción de información de un instrumento comercial es un proceso considerablemente complicado debido a que el diseño electrónico del fabricante puede influir negativamente al circuito de lectura.
- Emplear el circuito adaptador como un esclavo de la unidad central resultó un sistema adecuado para gobernar las funciones del medidor láser Bosch GLM – 20, mediante pocas líneas de código, empleando 3 conexiones y el cable de tierra.
- La remoción de material de cada pieza impresa en 3D permitió optimizar costos, material y tiempo de impresión sin perder características mecánicas en las piezas: adaptador cabezal – rodamiento, adaptador base – motor, base y polea.
- La plataforma App Inventor 2 permite realizar aplicaciones de manera rápida empleando una interfaz fácil de usar, sin embargo, las funciones orientadas al control de cadenas y caracteres se vuelven más complicadas debido a que su interfaz no está pensada para ejecutar algoritmos computacionalmente complicados.
- Emplear comunicación bidireccional entre el equipo y aplicación móvil retarda significativamente la velocidad del procesamiento, pero asegura que ambas partes posean la misma información.
- El prototipo implementado se encuentra en posesión del autor del presente proyecto y tuvo un costo de construcción de 300 USD aproximadamente.

4.2 Recomendaciones

- Extraer las mediciones de la pantalla de cualquier instrumento comercial es mucho menos riesgoso que rastrear la señal analógica en las etapas de instrumentación de las *PCBs* de dichos equipos.
- Instrumentos con algún tipo de controlador para LCDs facilitan la extracción debido a que funcionan únicamente con combinaciones lógicas, si esta opción no está disponible la mejor alternativa es emplear el proceso descrito en el presente documento.
- Los mecanismos cuyo movimiento es transmitido por poleas son menos precisos debido a la elasticidad, para proyectos similares una alternativa más adecuada es emplear engranes o, si están disponibles en el mercado, correas dentadas no elásticas.
- Para un correcto diseño mecánico, las piezas que van a soportar algún tipo de carga mecánica deben someterse a un análisis de elementos finitos (*FEM Analisis*) empleando un estimado de la fuerza en newtons que la pieza va a soportar.
- El control de motores con ruedas omnidireccionales puede implementarse de mejor manera mediante controladores dedicados para motores paso a paso mediante señales PWM, considérese que esto elevaría el costo de la implementación y requeriría un algoritmo con un temporizador dedicado exclusivamente al control de motores.
- Para mejorar el tiempo de respuesta, es preferible emplear un medidor que no entre en modo de reposo y disponga de mediciones continuas.
- Diseñar las ruedas omnidireccionales con más rodillos asegura un diámetro más constante, lo que a su vez estabiliza el movimiento y evita la utilización de ruedas esféricas para distribuir la carga.
- Motores a pasos que puedan controlarse a mayor velocidad que los 28BYJ-48 son más adecuados para propósitos de desplazamiento.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] F. Deijtiar, «Calculo de metros cuadrados en superficies interiores,» 04 Junio 2019. [En línea]. Available: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/918267/como-calculiar-metros-cuadrados-en-arquitectura>.
- [2] DeMáquinasYHerramientas, «Instrumentos de Medición en el sector de la Construcción en Argentina,» 15 Marzo 2015. [En línea]. Available: <https://www.demaquinasyherramientas.com/herramientas-de-medicion/instrumentos-de-medicion-en-la-construccion-en-argentina>.
- [3] HACKADAY, «DIGITIZE YOUR ROOM WITH LIDAR,» 2019. [En línea]. Available: <https://hackaday.com/2017/05/15/digitize-your-room-with-lidar/>.
- [4] VelodyneLiDAR, «LiDAR 101: What is Lidar?,» 09 Agosto 2019. [En línea]. Available: <https://velodynelidar.com/what-is-lidar/>. [Último acceso: 4 Marzo 2021].
- [5] P. Kienle, L. Batarillo, M. Akgül, M. Köhler, K. Wang, M. Jakobi y A. Korch, «Optical Setup for Error Compensation in a Laser Triangulation System,» p. 6, 01 Septiembre 2020.
- [6] OUSTER, «Products,» OUSTER, 2021. [En línea]. Available: <https://ouster.com/products/>. [Último acceso: 4 Marzo 2021].
- [7] M. Sadowski, «Ouster OS1 - first impressions,» 26 Junio 2020. [En línea]. Available: <https://msadowski.github.io/ouster-os1-ros-review/>. [Último acceso: 4 Marzo 2021].
- [8] ArcGIS, «Tipos de LIDAR,» 2019. [En línea]. Available: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/types-of-lidar.htm#:~:text=Hay%20dos%20tipos%20principales%20de,un%20tr%C3%ADPOde%20o%20dispositivo%20estacionario..> [Último acceso: 4 Marzo 2021].
- [9] Boston Dynamics, «Legacy Robots,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.bostondynamics.com/legacy>. [Último acceso: 4 Marzo 2021].
- [10] Boston Dynamics, «Atlas,» 24 Septiembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.bostondynamics.com/atlas>. [Último acceso: 4 Marzo 2021].
- [11] SPAR 3D, «Ouster has a new \$3.5k, 16-channel lidar (and a 64-channel sensor with longer range),» 28 Marzo 2018. [En línea]. Available:

- <https://www.spar3d.com/news/lidar/ouster-launches-3-5k-16-channel-lidar-64-channel-sensor-longer-range/#:~:text=Ouster%20notes%20that%2C%20despite%20the,in%20price%3A%20%2424%2C000%20per%20unit..> [Último acceso: 4 Marzo 2021].
- [12] YDLIDAR, «Triangulation Products,» [En línea]. Available: <https://www.ydlidar.com/lidars/Triangulation.html>. [Último acceso: 4 Marzo 2021].
- [13] J. Zhang y S. Singh, «LOAM: Lidar Odometry and Mapping in Real-time,» Julio 2014. [En línea]. Available: https://www.ri.cmu.edu/pub_files/2014/7/Ji_LidarMapping_RSS2014_v8.pdf. [Último acceso: 4 Marzo 2021].
- [14] Elektor magazine, «YDLIDAR X4 Lidar – 360-degree Laser Range Scanner (10 m),» [En línea]. Available: <https://www.elektor.com/ydlidar-x4-lidar-360-degree-laser-range-scanner-10-m>. [Último acceso: 04 Agosto 2020].
- [15] «YDLIDAR G4 Lidar – 360-degree Laser Range Scanner (16 m),» 2020. [En línea]. Available: <https://www.elektor.com/ydlidar-g4-16-m-range-ultra-thin-lidar>. [Último acceso: 4 Marzo 2021].
- [16] GreatScott!, «Is LIDAR easy to use for hobbyists? DIY Roomba? Obstacle Avoidance System for Robotics,» 18 Agosto 2019. [En línea]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=_-8K1BW_O4. [Último acceso: 4 Marzo 2021].
- [17] P. Corke, Robotics, Vision and Control. Fundamental Algorithms in MATLAB, Berlin: Springer, 2011.
- [18] Electronics Tutorials, «The Light Emitting Diode,» 13 Agosto 2013. [En línea]. Available: https://www.electronics-tutorials.ws/diode/diode_8.html. [Último acceso: 04 Marzo 2021].
- [19] STMicroelectronics, «TIP32C Power Transistor,» Noviembre 2006. [En línea]. Available: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/tip32c.pdf>. [Último acceso: 4 Marzo 2021].
- [20] ON Semiconductor, «Small Signal Switching Transistor,» Noviembre 2013. [En línea]. Available: <http://web.mit.edu/6.101/www/reference/2N2222A.pdf>. [Último acceso: 4 Marzo 2021].
- [21] EPEC, «Battery cell comparison,» EPEC, 2021. [En línea]. Available: <https://www.epectec.com/batteries/cell-comparison.html>. [Último acceso: 4 Marzo 2021].

- [22] Atmel, «8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes In-System Programmable Flash,» 2015. [En línea]. Available: https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf. [Último acceso: 4 Marzo 2021].
- [23] Atmel, «8-bit Atmel Microcontroller with 16/32/64KB In-System Programmable Flash,» 2014. [En línea]. Available: https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/atmel-2549-8-bit-avr-microcontroller-atmega640-1280-1281-2560-2561_datasheet.pdf. [Último acceso: 4 Marzo 2021].
- [24] Kiatronics, «28BYJ-48 – 5V Stepper Motor,» Instructables, [En línea]. Available: <https://cdn.instructables.com/ORIG/FQY/RHST/HMVJ7U24/FQYRHSTHMVJ7U24.pdf>. [Último acceso: 4 Marzo 2021].
- [25] STMicroelectronics, «ULN2001, ULN2002, ULN2003, ULN2004. Seven Darlington Arrays,» Agosto 2020. [En línea]. Available: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/uln2001.pdf>. [Último acceso: 4 Marzo 2021].
- [26] Samsung, «SPECIFICATION OF PRODUCT SPECIFICATION OF PRODUCT for Lithium-ion Rechargeable Cell Model : ICR18650-26F,» Mayo 2009. [En línea]. Available: <https://www.batteryspace.com/prod-specs/ICR18650-26F.pdf>. [Último acceso: 21 Marzo 2021].
- [27] Components 101, «HC - 05 Bluetooth Module,» Components 101, 10 Marzo 2018. [En línea]. Available: <https://components101.com/wireless/hc-05-bluetooth-module>. [Último acceso: 4 Marzo 2021].
- [28] Mantech Electronics, «433Mhz RF Transmitter With Receiver Kit For Arduino ARM MCU Wireless,» Mantech Electronics, [En línea]. Available: http://www.mantech.co.za/Datasheets/Products/433Mhz_RF-TX&RX.pdf. [Último acceso: 4 Marzo 2021].
- [29] NanJing Top Power ASIC Corp., «TP4056 1A Standalone Linear Li-Ion Battery Charger with Thermal Regulation in SOP-8,» [En línea]. Available: <https://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Prototyping/TP4056.pdf>. [Último acceso: 4 Marzo 2021].

ANEXOS

ANEXO 1: CERTIFICADO DE FUNCIONAMIENTO



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

Campus Politécnico "J. Rubén Orellana R"

Quito, 31 de mayo de 2021

CERTIFICADO DE FUNCIONAMIENTO DE PROYECTO DE TITULACIÓN

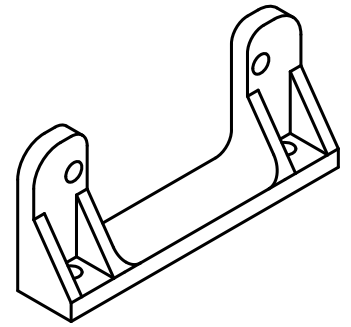
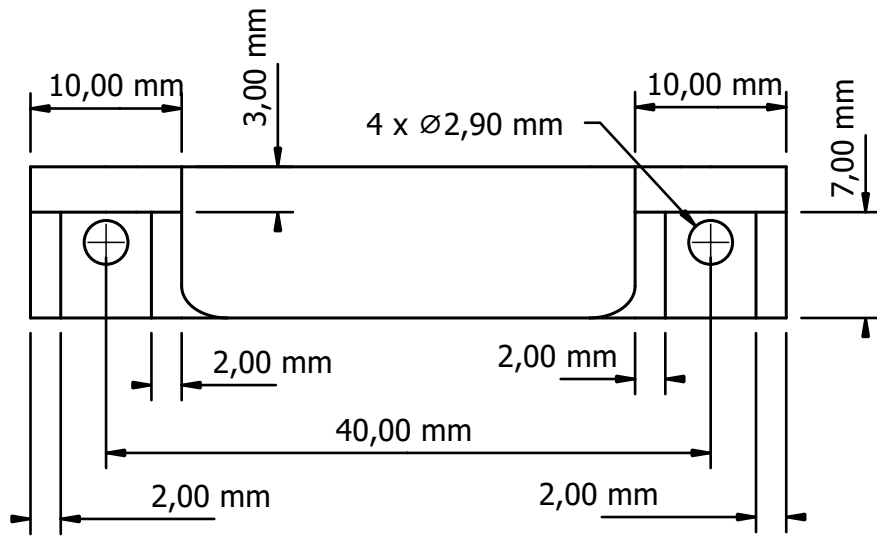
Yo, Alan Daniel Cuenca Sánchez, docente a tiempo completo de la Escuela Politécnica Nacional y como director de este trabajo de titulación, certifico que he constatado el correcto funcionamiento del equipo de medición semiautomático para levantamiento de planos, mismo que fue diseñado y construido por el estudiante Leandro Martín Vásquez Medina.

El proyecto cumple con los requerimientos de diseño y parámetros necesarios para que los usuarios del mismo puedan usarlo en construcciones arquitectónicas con seguridad para los equipos y las personas.

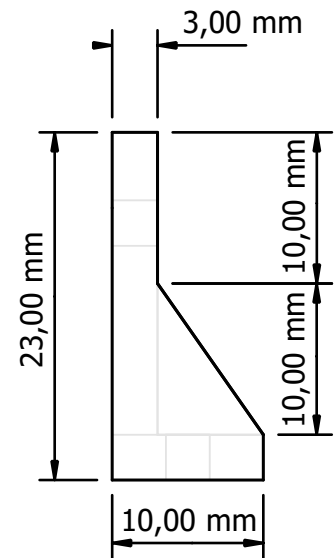
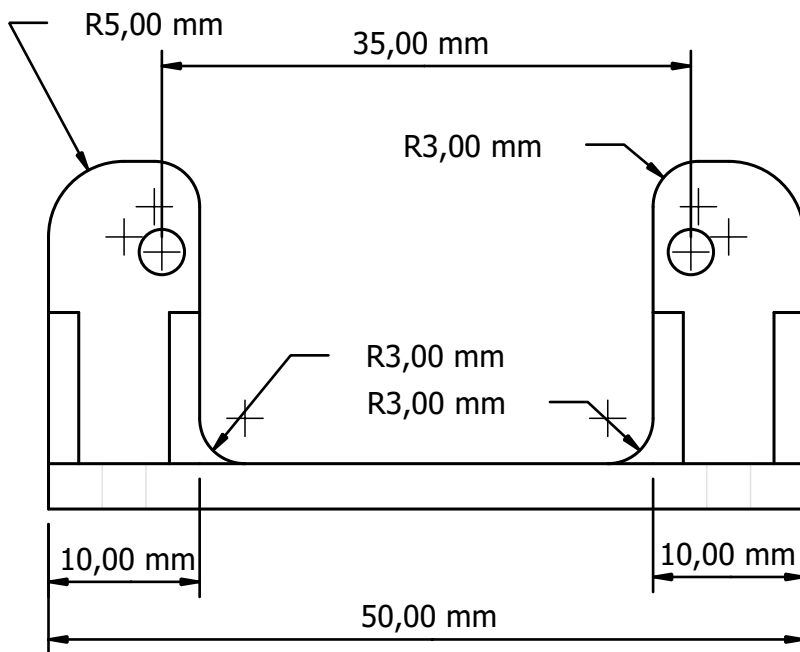
DIRECTOR

Ing. Alan Daniel Cuenca Sánchez., Msc.

ANEXO 2: PLANOS Y ESQUEMAS

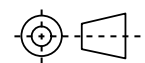


Perspectiva (1:1)

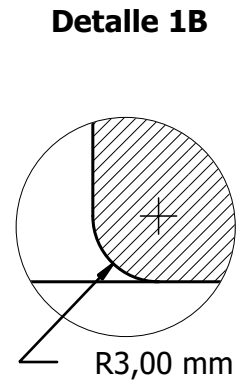
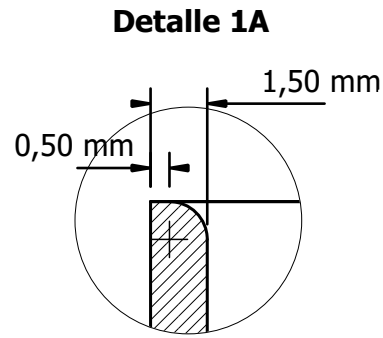
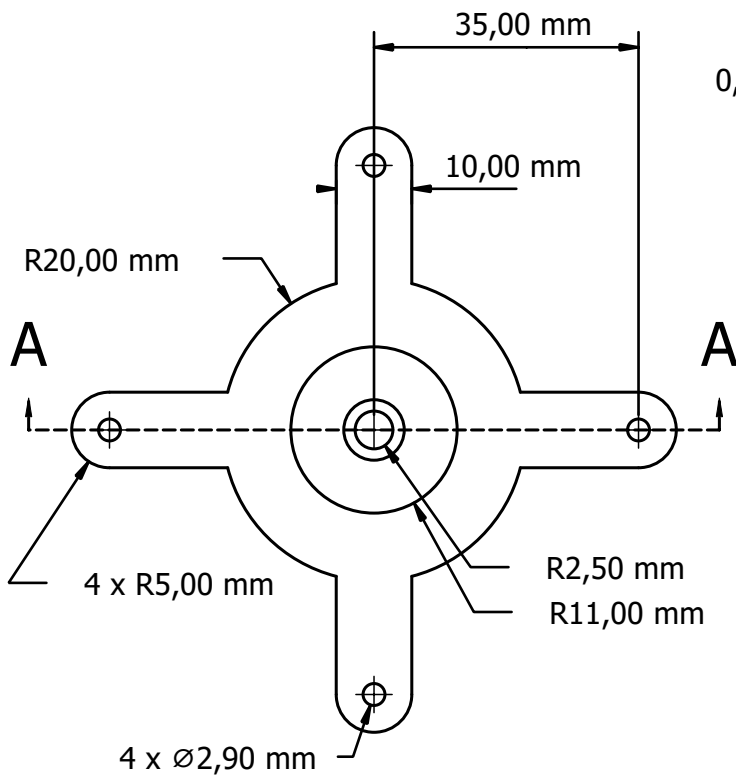


Tolerancia ± 0.2 [mm]
 Boquilla de 1.75 [mm] a 200 °C
 Cama de Impresion a 60 °C
 Velocidad de impresión de 60 [mm/s]

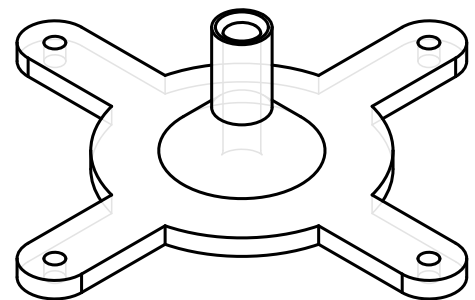
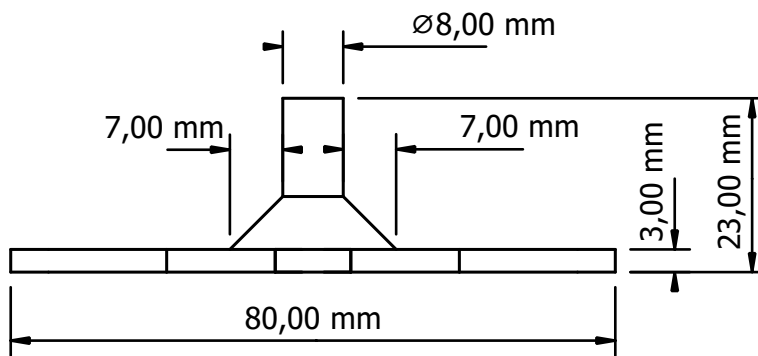
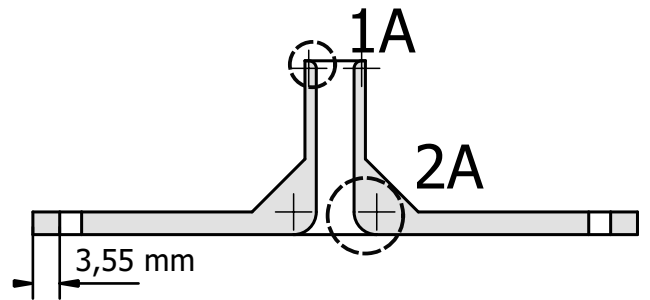
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT



| | | |
|---|-------------------------------------|----------------------|
| NOMBRE DE LA PIEZA: Acoplamiento Base - Motor | TRATAMIENTO TÉRMICO: Ninguno | MATERIAL: ABS |
| | ESCALA: 2:1 | FORMATO: A4 |
| DISEÑADO POR: L. Martín Vásquez M. | FECHA: 2021 - 05 - 31 | LÁMINA: 01 |



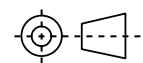
Corte A



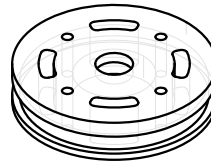
Perspectiva (1:1)

Tolerancia ± 0.2 [mm]
 Boquilla de 1.75 [mm] a 200 °C
 Cama de Impresion a 60 °C
 Velocidad de impresión de 60 [mm/s]

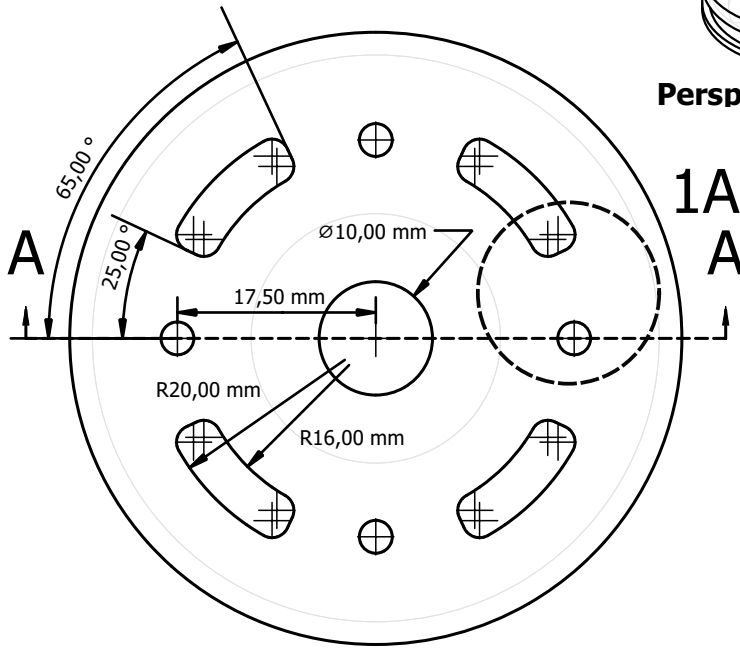
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT



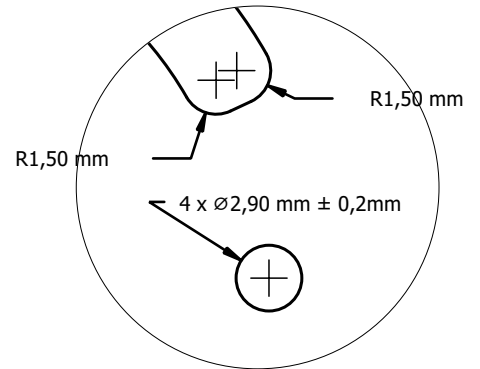
| | | |
|---|-------------------------------------|----------------------|
| NOMBRE DE LA PIEZA: Acoplamiento Base - Cabezal | TRATAMIENTO TÉRMICO: Ninguno | MATERIAL: ABS |
| | ESCALA: 1:1 | FORMATO: A4 |
| DISEÑADO POR: L. Martín Vásquez M. | FECHA: 2021 - 05 - 31 | LÁMINA: 02 |



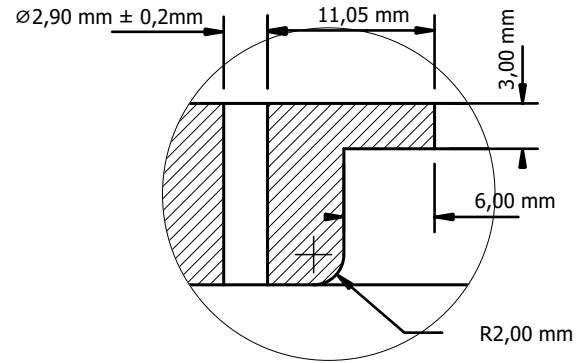
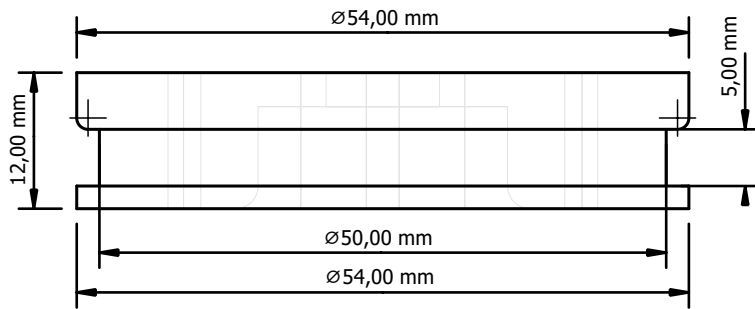
Perspectiva (1:2)



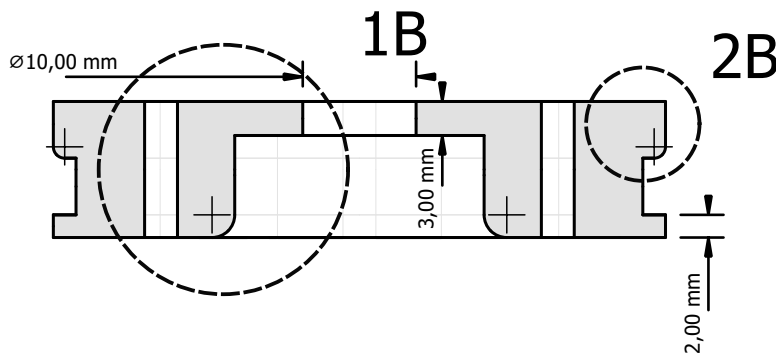
Detalle 1A



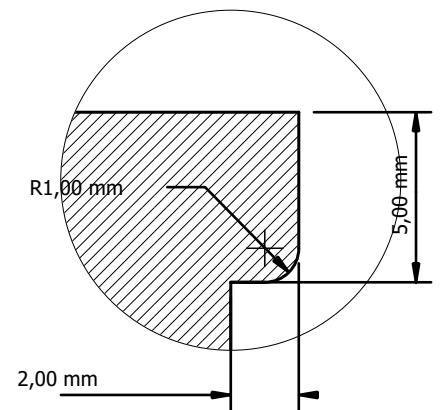
Detalle 1B



Corte A

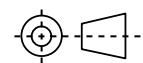


Detalle 2B



Tolerancia ± 0.2 [mm]
 Boquilla de 1.75 [mm] a 200 °C
 Cama de Impresion a 60 °C
 Velocidad de impresi3n de 60 [mm/s]

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT



NOMBRE DE LA PIEZA:
 Adaptador Cabezal - Rodamiento

TRATAMIENTO TÉRMICO: Ninguno

MATERIAL: ABS

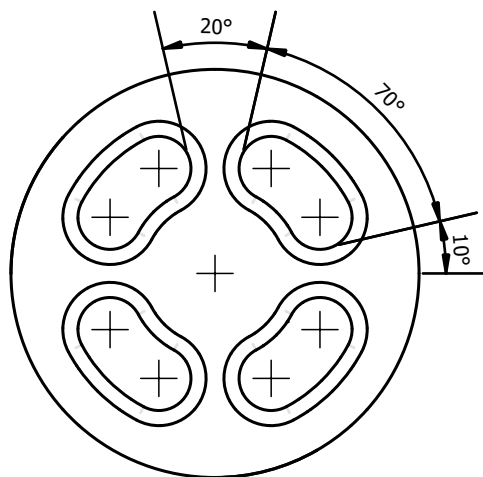
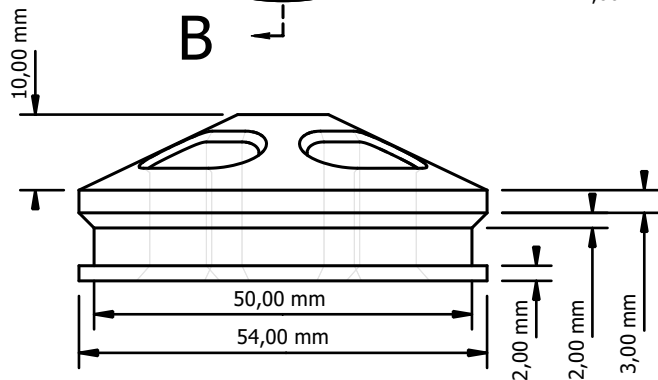
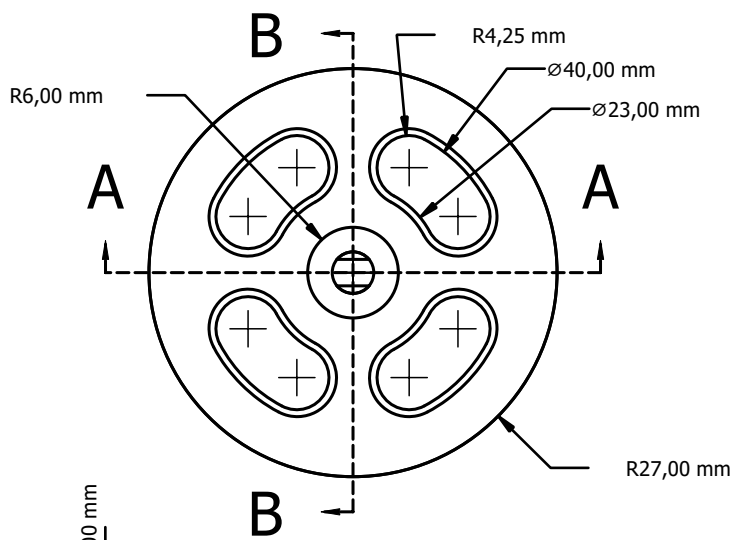
ESCALA: 3:2

FORMATO: A4

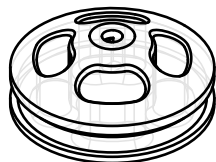
DISEÑADO POR:
 L. Mart3n V3squez M.

FECHA: 2021 - 05 - 31

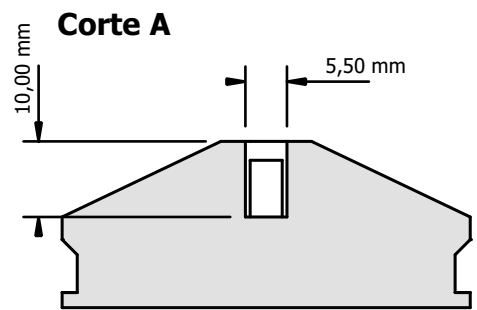
LÁMINA: 03



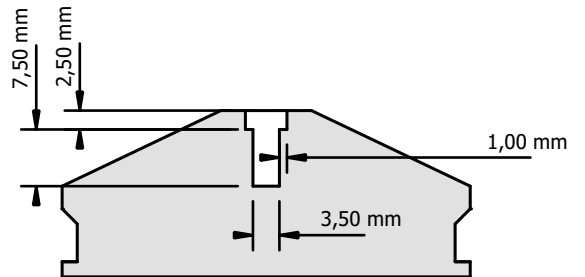
Perspectiva (1:2)



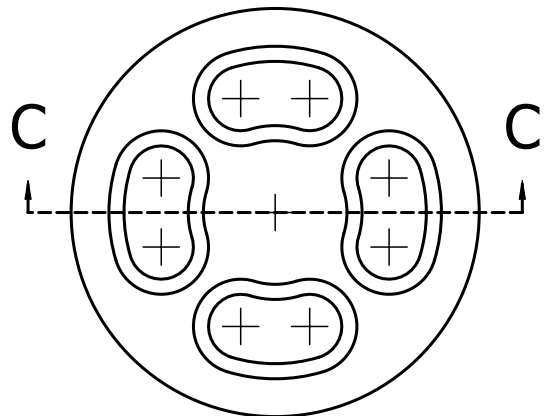
Tolerancia ± 0.2 [mm]
 Boquilla de 1.75 [mm] a 200 °C
 Cama de Impresion a 60 °C
 Velocidad de impresi3n de 60 [mm/s]



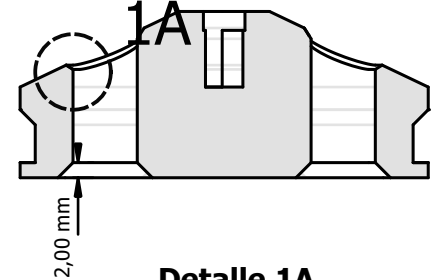
Corte B



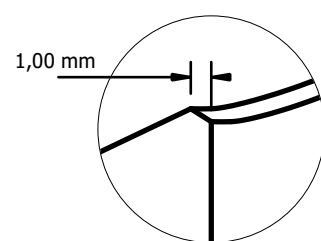
Rotaci3n 45°



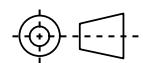
Corte C



Detalle 1A



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT



NOMBRE DE LA PIEZA:

Polea

TRATAMIENTO

TÉRMICO: Ninguno

MATERIAL:

ABS

ESCALA:

1 : 1

FORMATO: A4

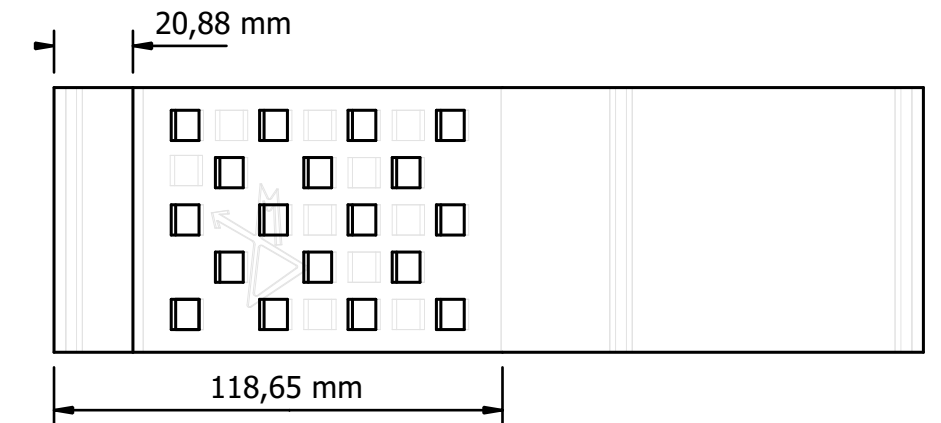
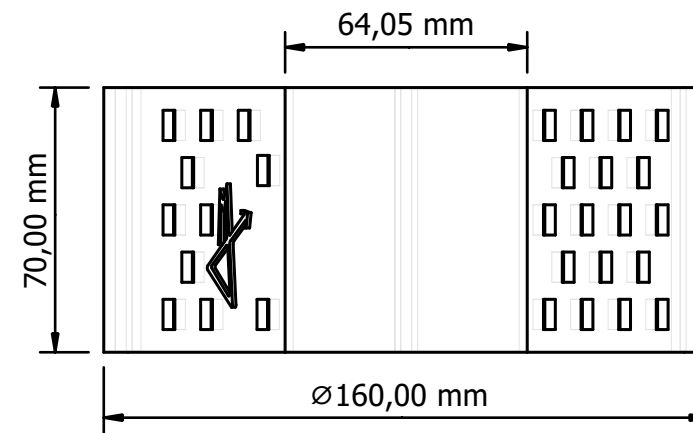
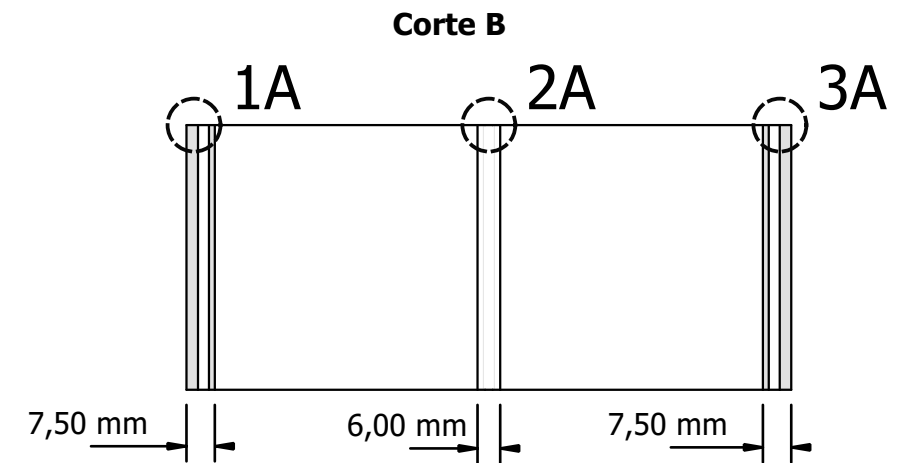
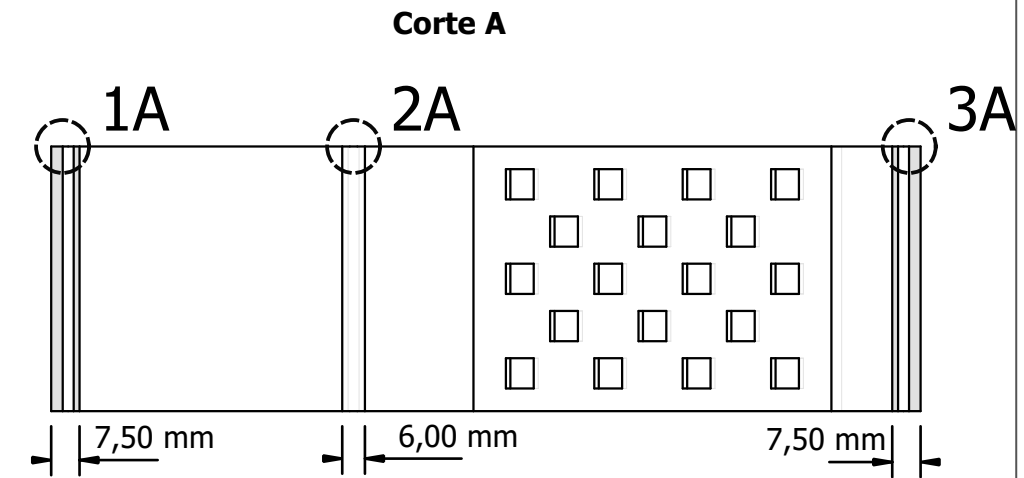
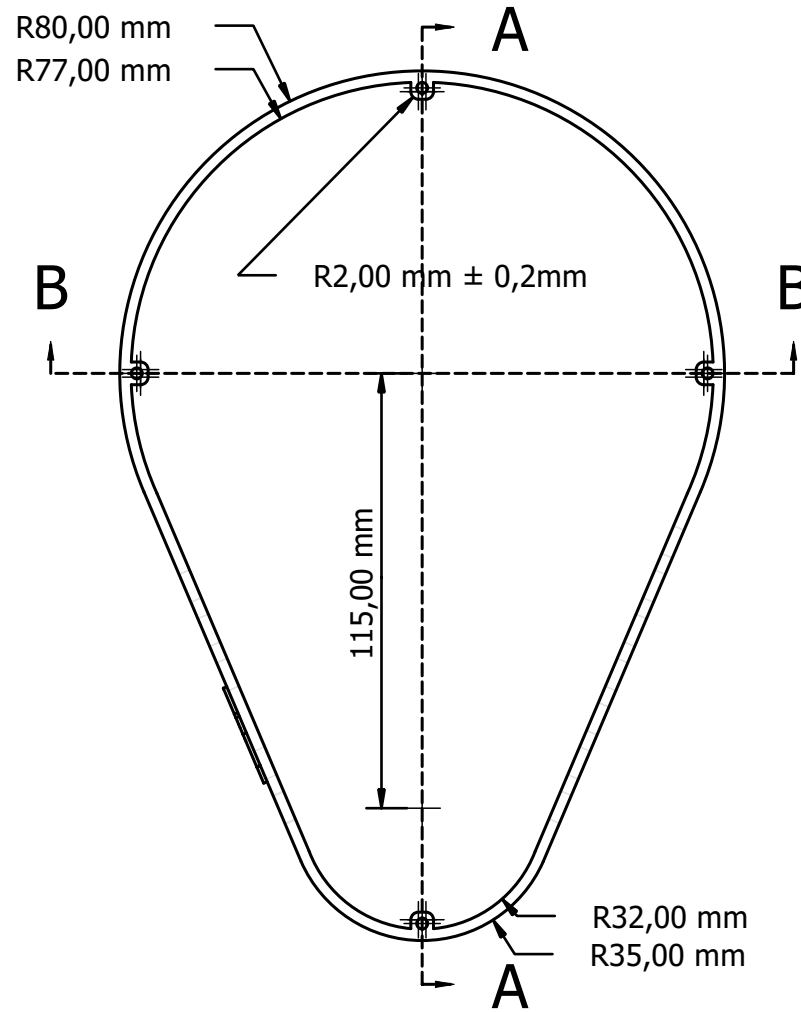
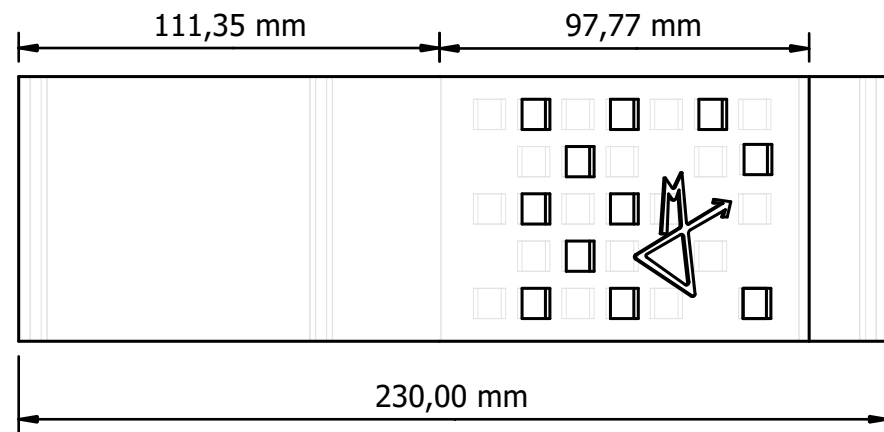
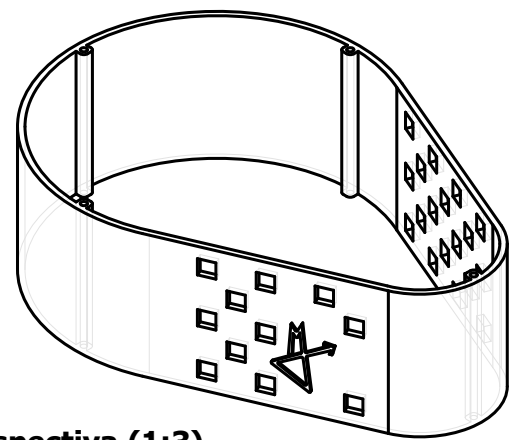
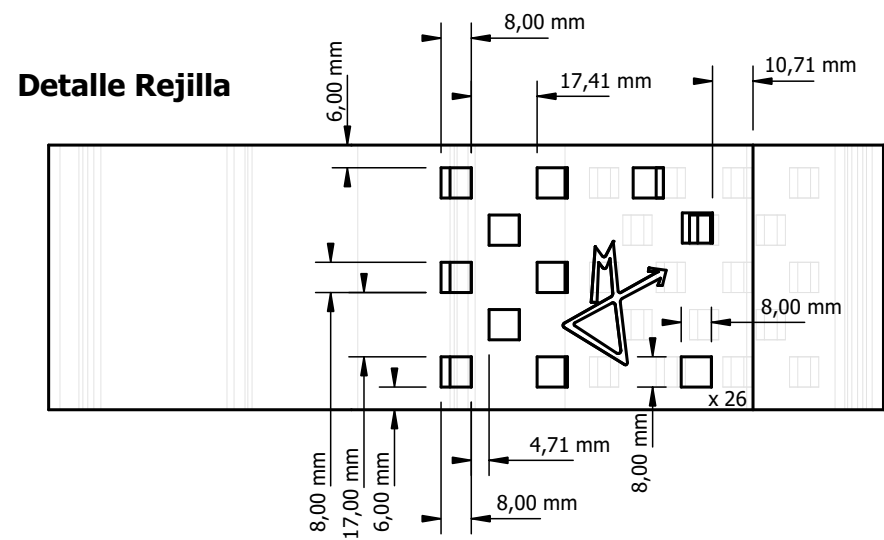
DISEÑADO POR:

L. Mart3n V3squez M.

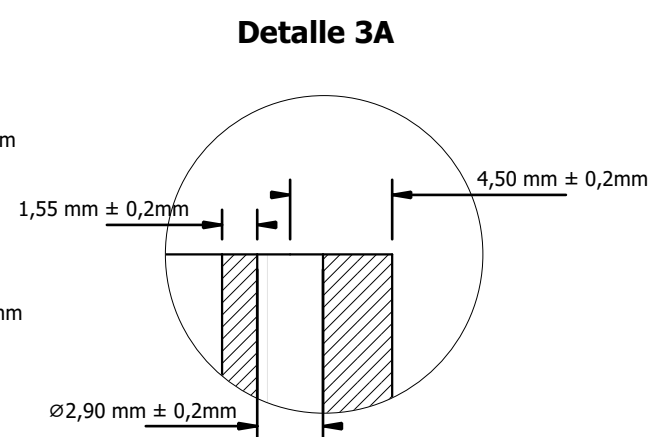
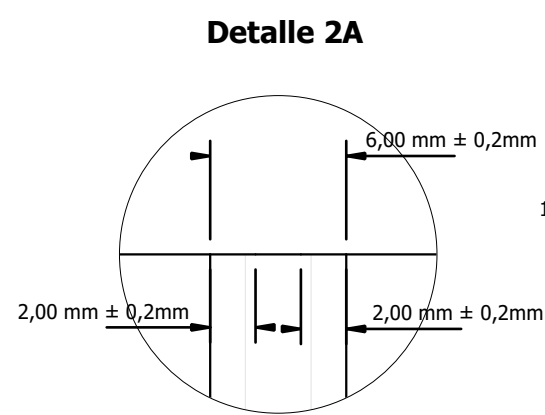
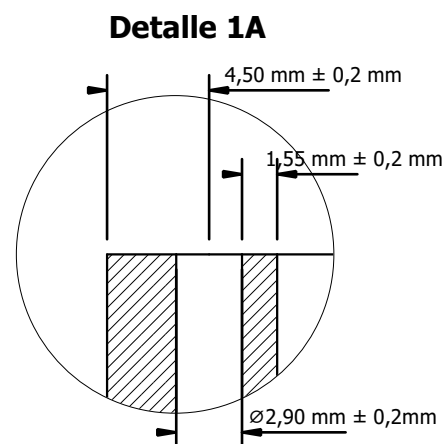
FECHA:

2021 - 05 - 31

LÁMINA: 04

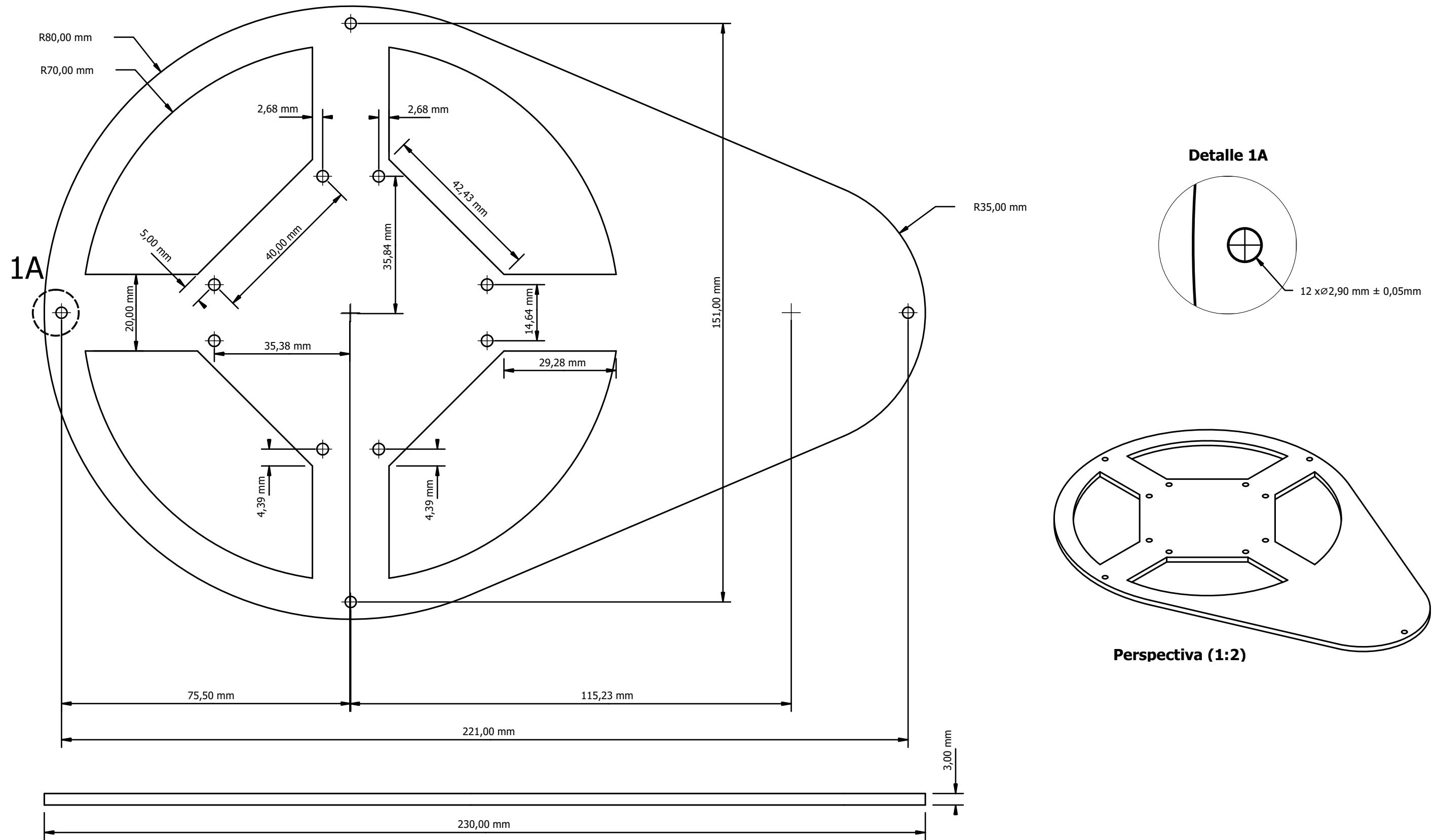


Tolerancia ± 0.2 [mm]
 Boquilla de 1.75 [mm] a 200 °C
 Cama de Impresion a 60 °C
 Velocidad de impresi3n de 60 [mm/s]



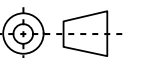
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT

| | | |
|--|-------------------------------------|----------------------|
| NOMBRE DE LA PIEZA: Base | TRATAMIENTO TÉRMICO: Ninguno | MATERIAL: ABS |
| | ESCALA: 1:2 | FORMATO: A3 |
| DISEÑADO POR: L. Martín Vásquez M. | FECHA: 2021 - 05 - 31 | LÁMINA: 05 |

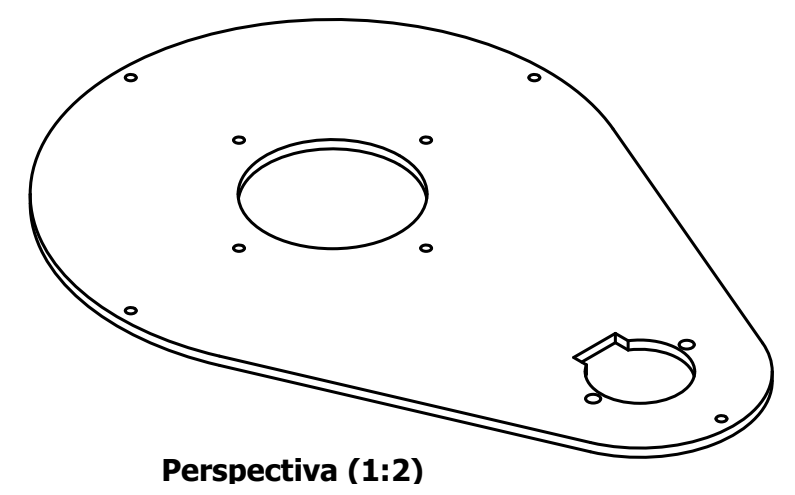
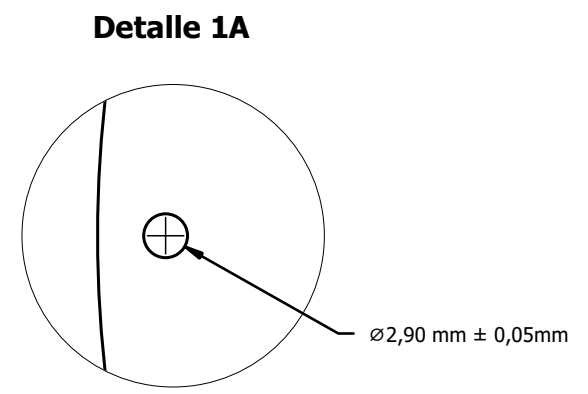
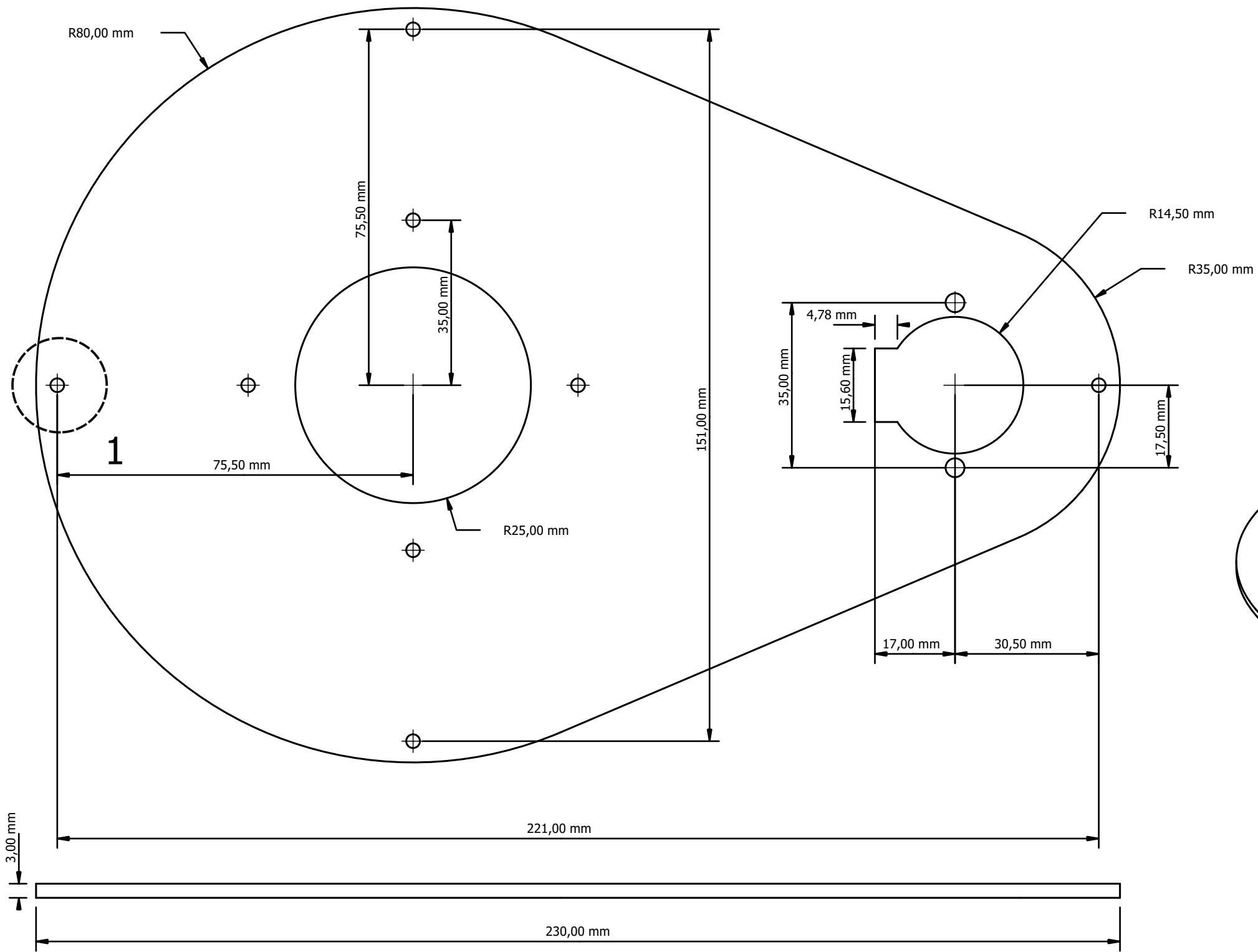


Tolerancia ± 0.05 [mm]

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT



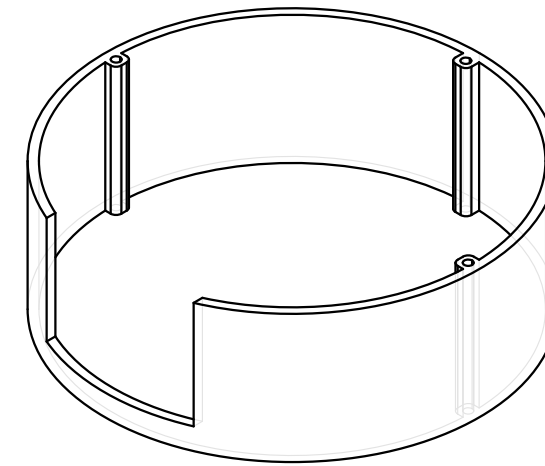
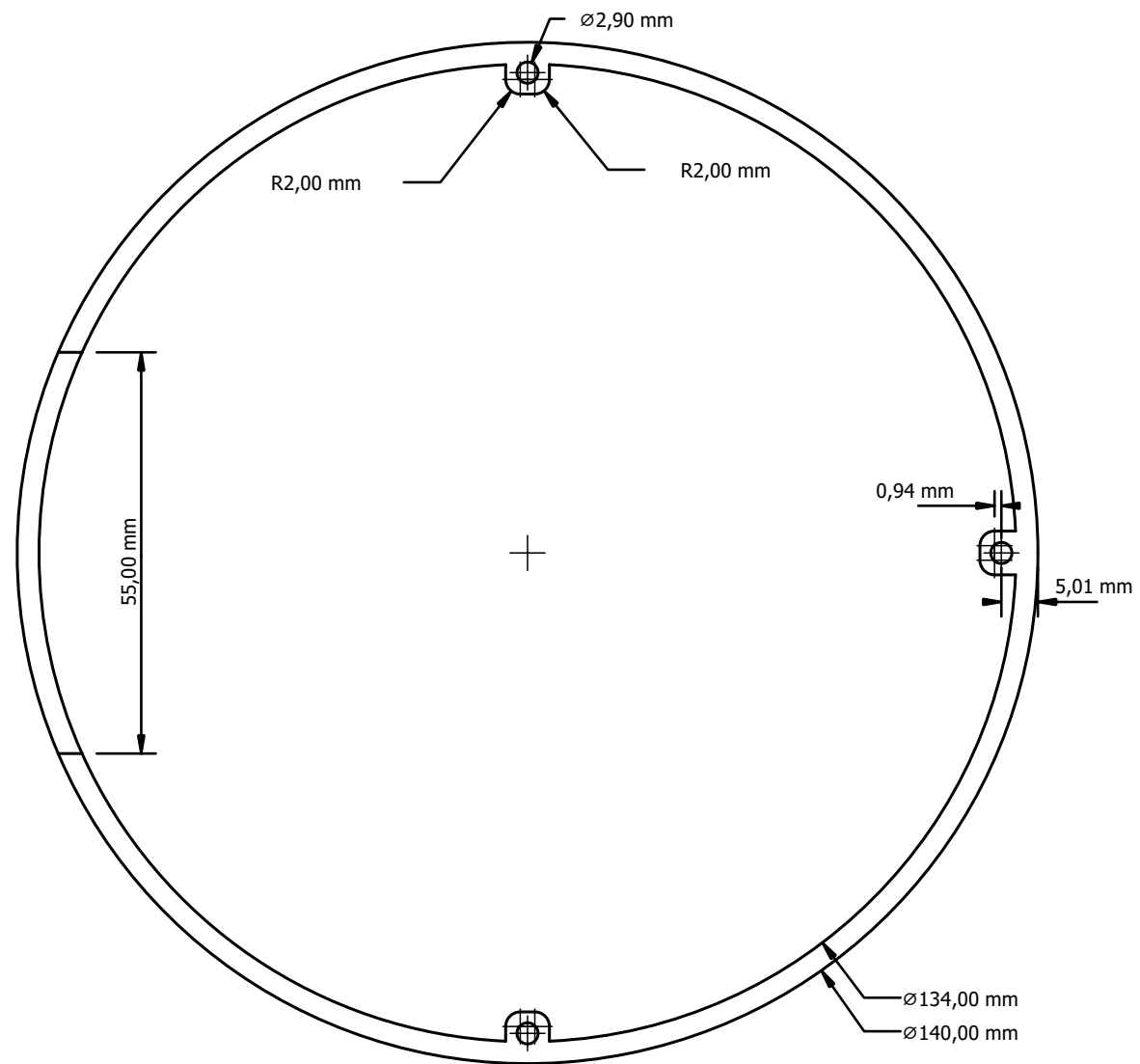
| | | |
|--|-------------------------------------|----------------------|
| NOMBRE DE LA PIEZA: Cubierta Inferior Base | TRATAMIENTO TÉRMICO: Ninguno | MATERIAL: MDF |
| | ESCALA: 1:1 | FORMATO: A3 |
| DISEÑADO POR: L. Martín Vásquez M. | FECHA: 2021 - 05 - 31 | LÁMINA: 06 |



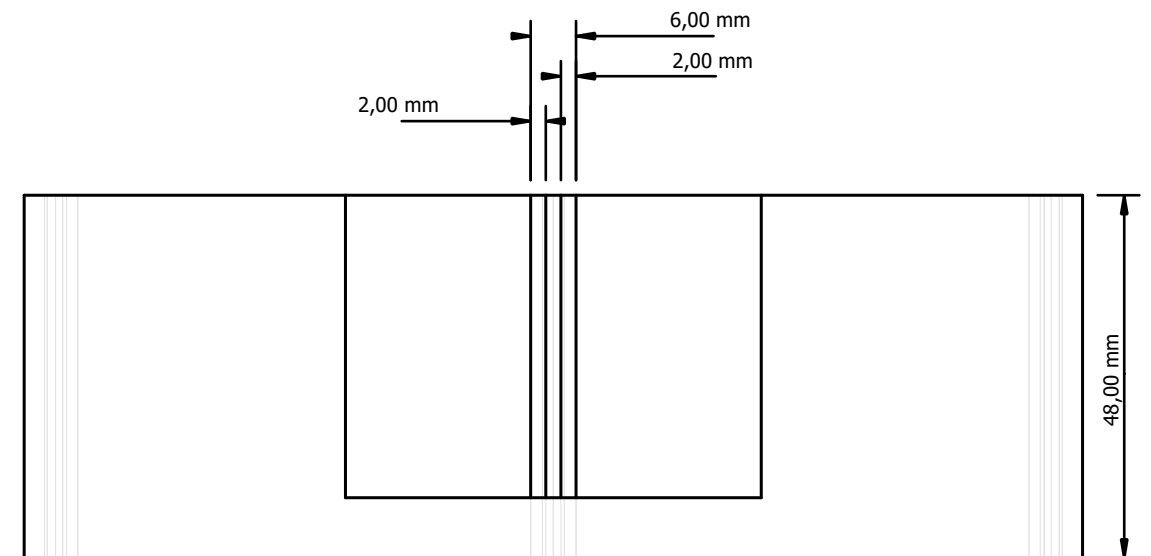
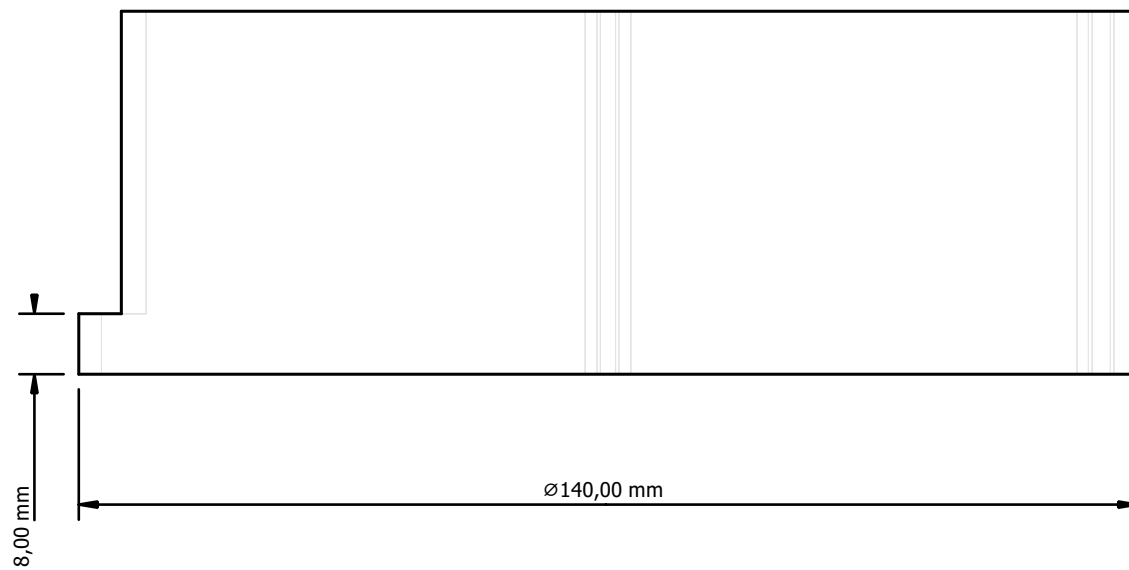
3,00 mm

Tolerancia ± 0.05 [mm]

| ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT  | | |
|--|------------------------------|---------------|
| NOMBRE DE LA PIEZA: Cubierta Superior Base | TRATAMIENTO TÉRMICO: Ninguno | MATERIAL: MDF |
| | ESCALA: 1:1 | FORMATO: A3 |
| DISEÑADO POR: L. Martín Vásquez M. | FECHA: 2021 - 05 -31 | LÁMINA: 07 |



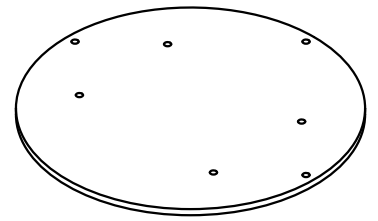
Perspectiva (1:2)



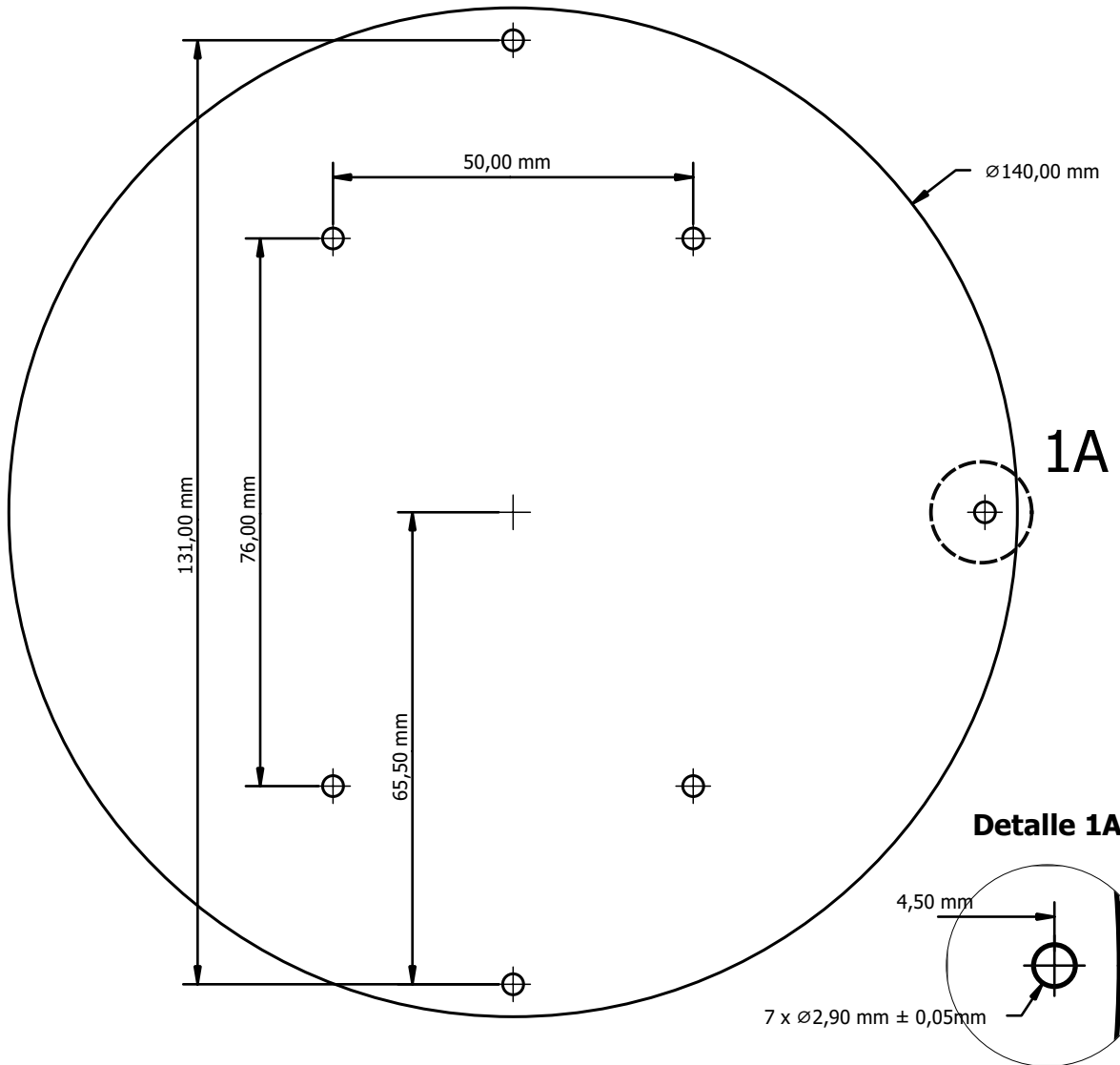
Tolerancia ± 0.2 [mm]
 Boquilla de 1.75 [mm] a 200 °C
 Cama de Impresion a 60 °C
 Velocidad de impresión de 60 [mm/s]

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT

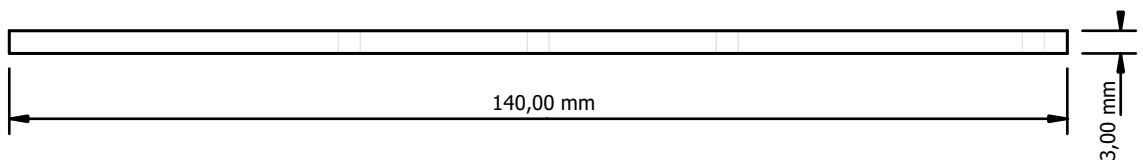
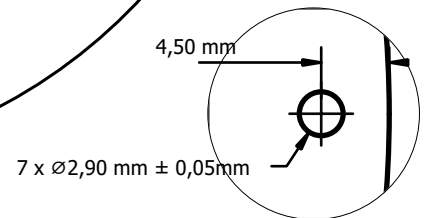
| | | |
|---------------------------------------|---------------------------------|---------------|
| NOMBRE DE LA PIEZA: Cabezal | TRATAMIENTO TÉRMICO: Ninguno | MATERIAL: ABS |
| | ESCALA: 1:1 | FORMATO: A3 |
| DISEÑADO POR: L. Martín Vásquez M. | FECHA: 2021 - 05 - 31 | LÁMINA: 08 |



Perspectiva (1:3)

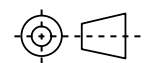


Detalle 1A

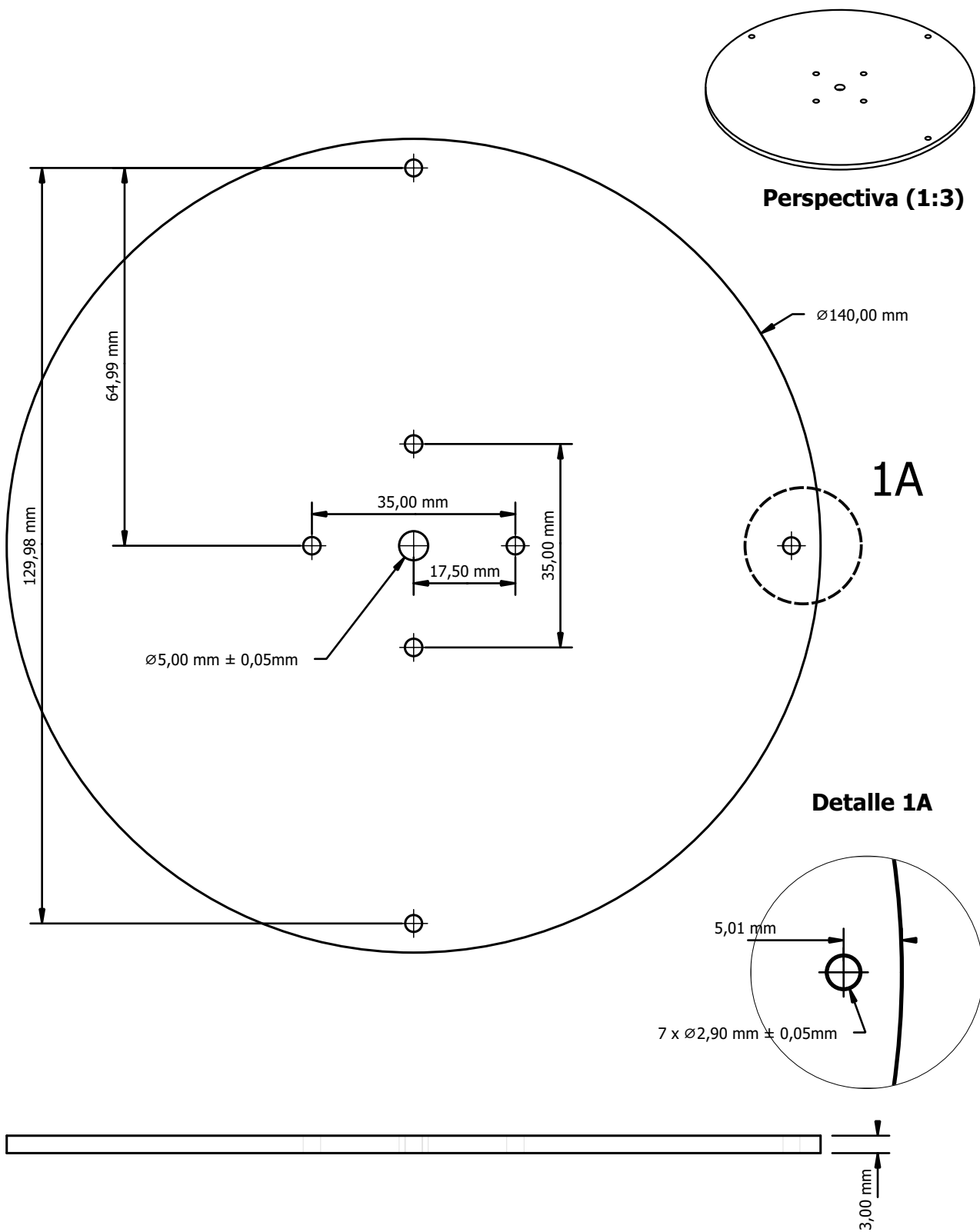


Tolerancia ± 0.05 [mm]

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT

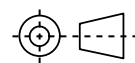


| | | |
|---|-------------------------------------|----------------------|
| NOMBRE DE LA PIEZA: Cubierta Superior Cabezal | TRATAMIENTO TÉRMICO: Ninguno | MATERIAL: MDF |
| | ESCALA: 1:1 | FORMATO: A4 |
| DISEÑADO POR: L. Martín Vásquez M. | FECHA: 2021 - 05 - 31 | LÁMINA: 09 |



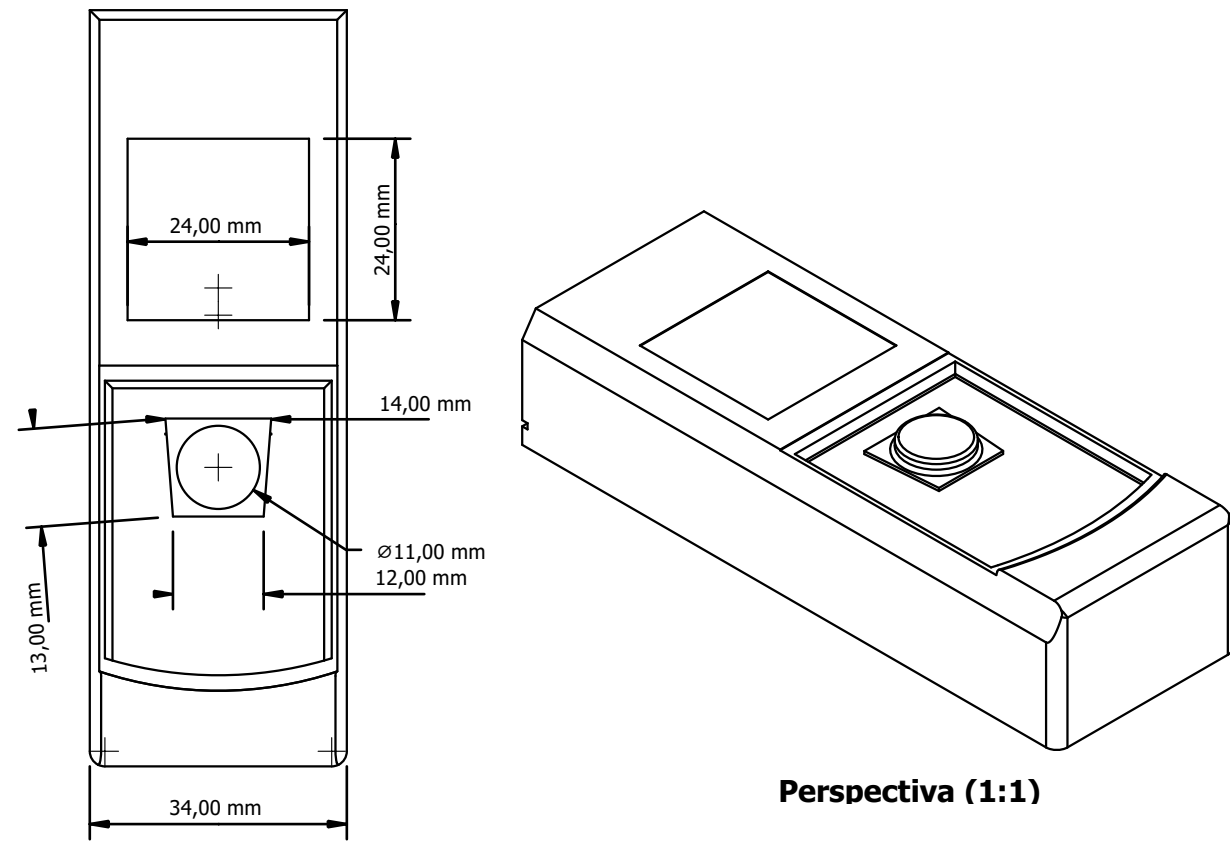
Tolerancia $\pm 0.05 \text{ mm}$

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT



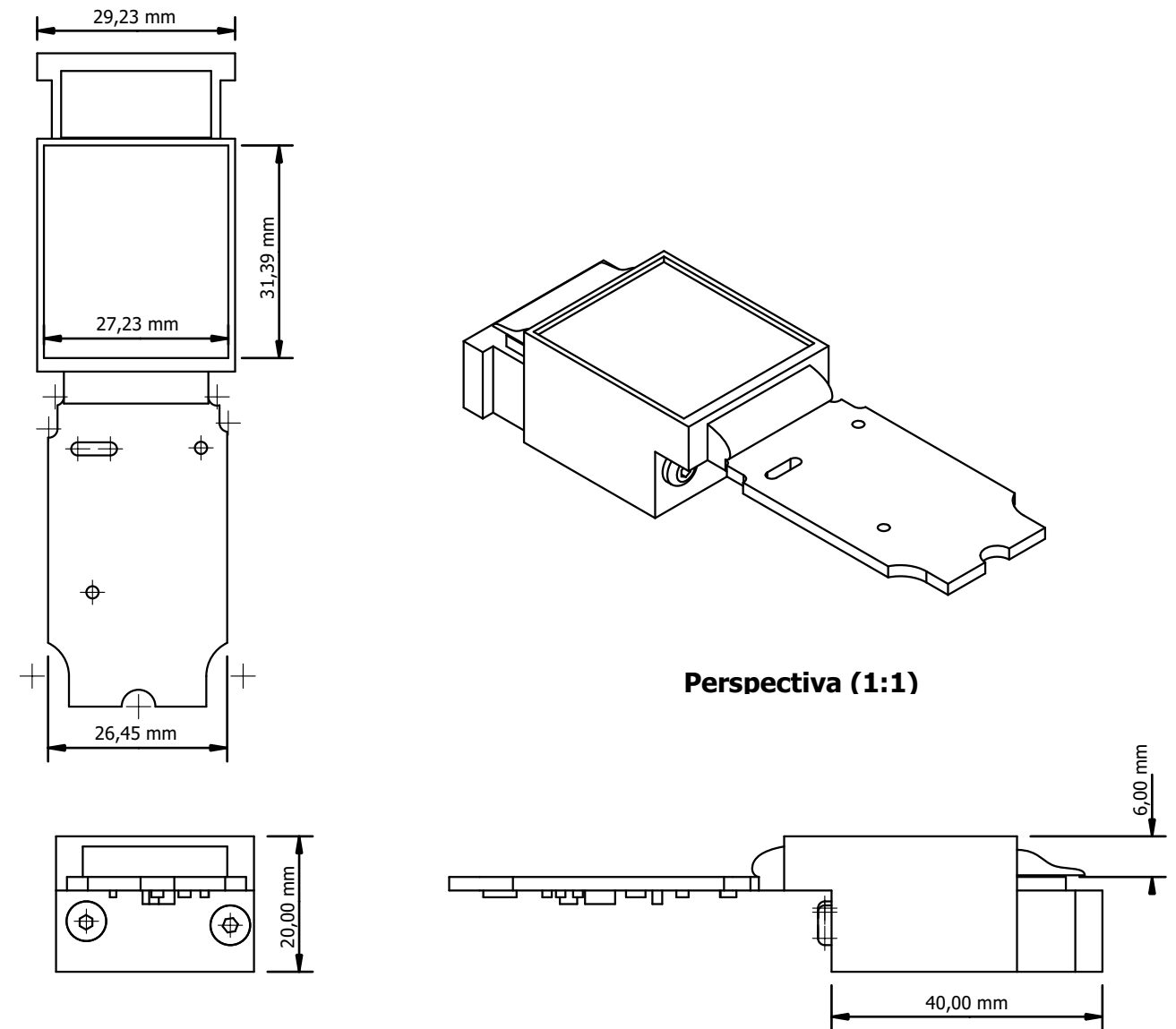
| | | |
|---|-------------------------------------|----------------------|
| NOMBRE DE LA PIEZA: Cubierta Inferior Cabezal | TRATAMIENTO TÉRMICO: Ninguno | MATERIAL: MDF |
| | ESCALA: 1:1 | FORMATO: A4 |
| DISEÑADO POR: L. Martín Vásquez M. | FECHA: 2021 - 05 - 31 | LÁMINA: 10 |

Medidor Con Carcasa



Perspectiva (1:1)

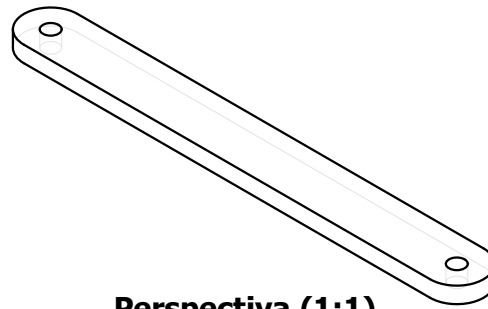
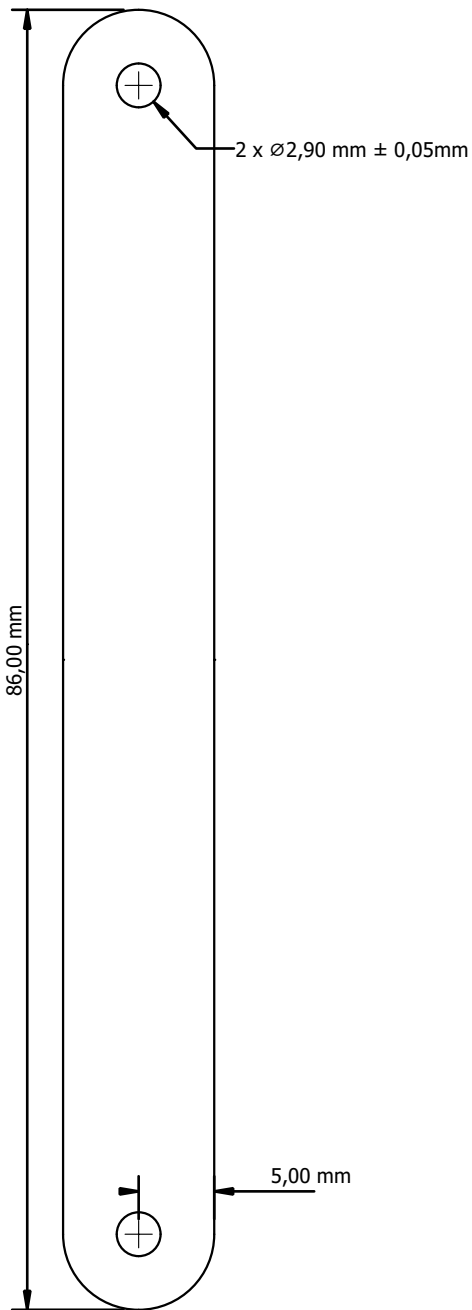
Medidor Sin Carcasa



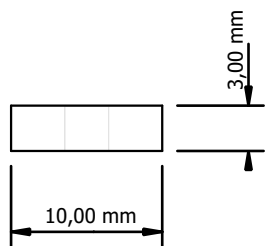
Perspectiva (1:1)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT

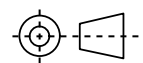
| | | |
|---|----------------------------------|-----------------------|
| NOMBRE DE LA PIEZA: Medidor Láser BOSCH GLM - 20 | TRATAMIENTO TÉRMICO: N.A. | MATERIAL: N.A. |
| | ESCALA: 1:1 | FORMATO: A3 |
| DISEÑADO POR: L. Martín Vásquez M. | FECHA: 2021 - 05 - 31 | LÁMINA: 11 |



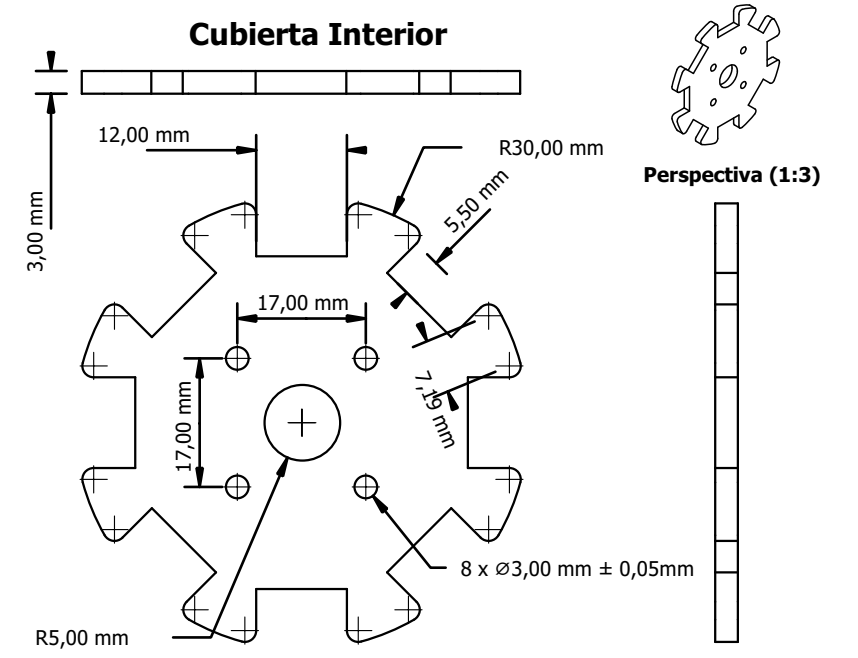
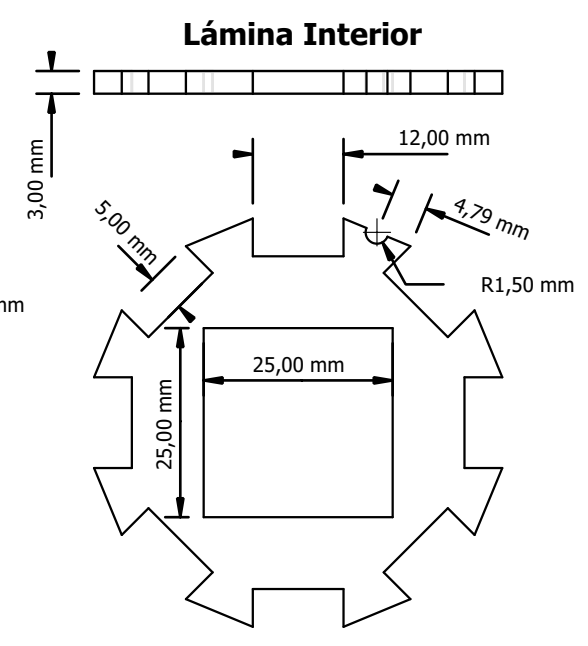
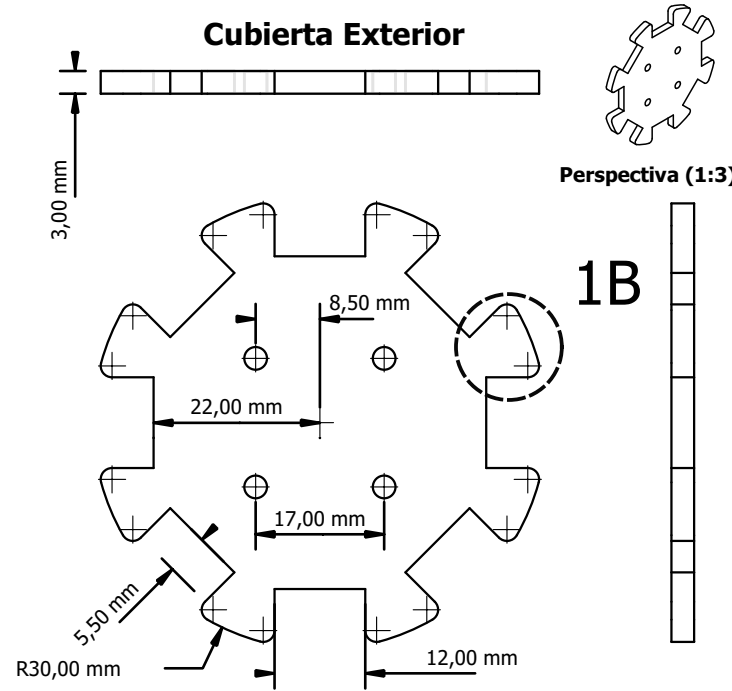
Perspectiva (1:1)



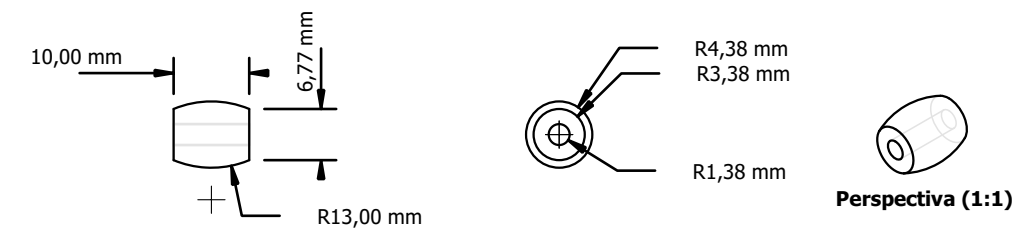
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT



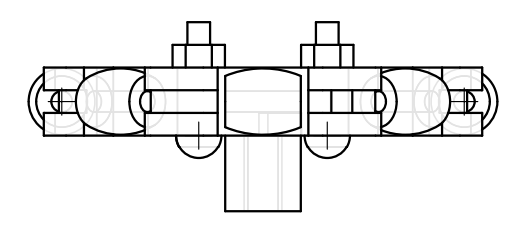
| | | |
|---|-------------------------------------|----------------------|
| NOMBRE DE LA PIEZA: Soporte Medidor | TRATAMIENTO TÉRMICO: Ninguno | MATERIAL: MDF |
| | ESCALA: 2:1 | FORMATO: A4 |
| DISEÑADO POR: L. Martín Vásquez M. | FECHA: 2021 - 05 - 31 | LÁMINA: 12 |



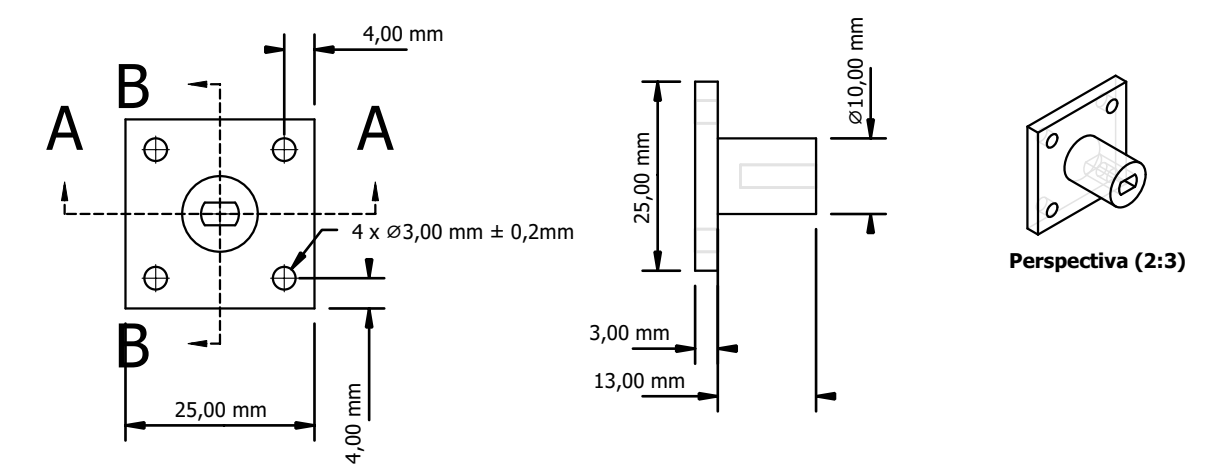
Rodillo



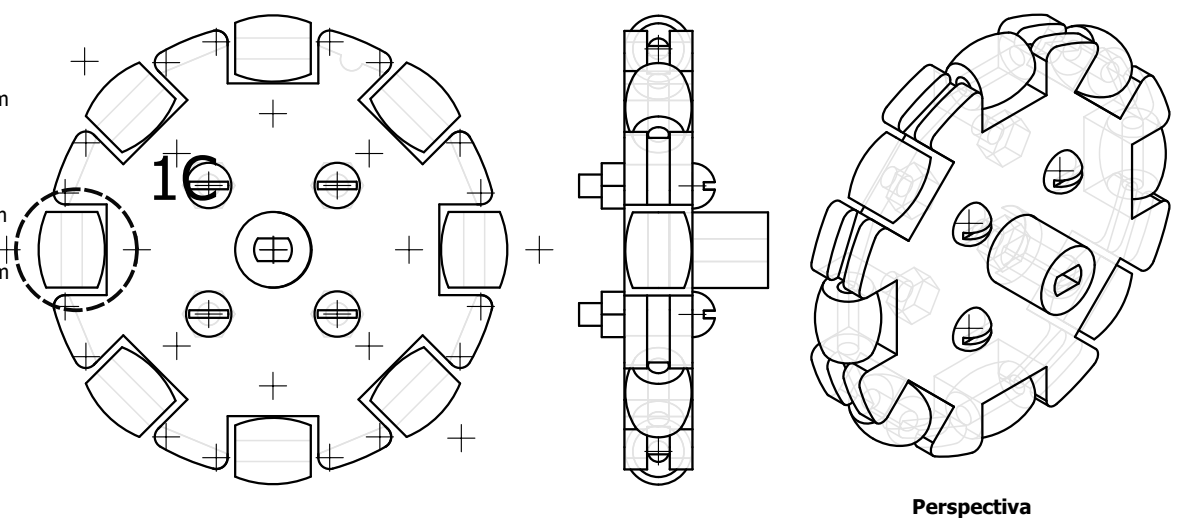
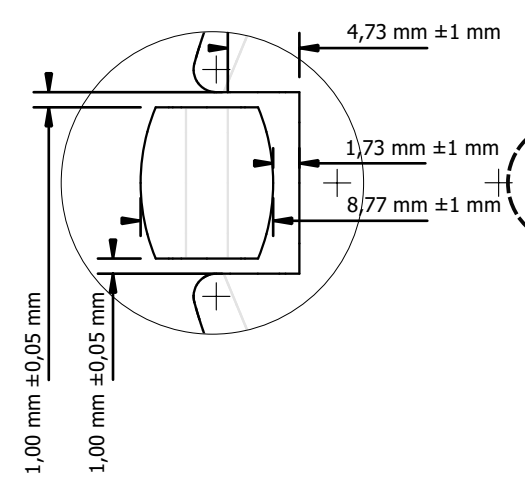
Ensamble



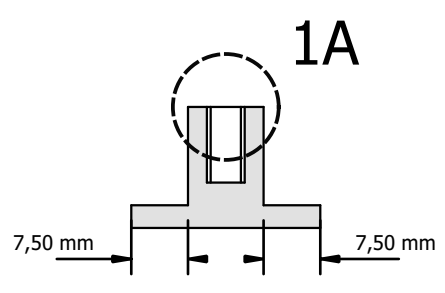
Adaptador Rueda - Motor



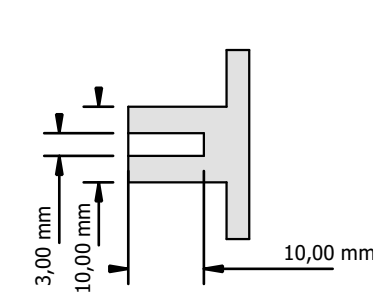
Detalle 1C



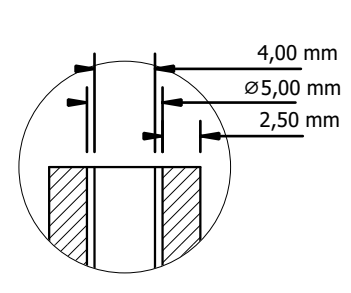
Corte A



Corte B

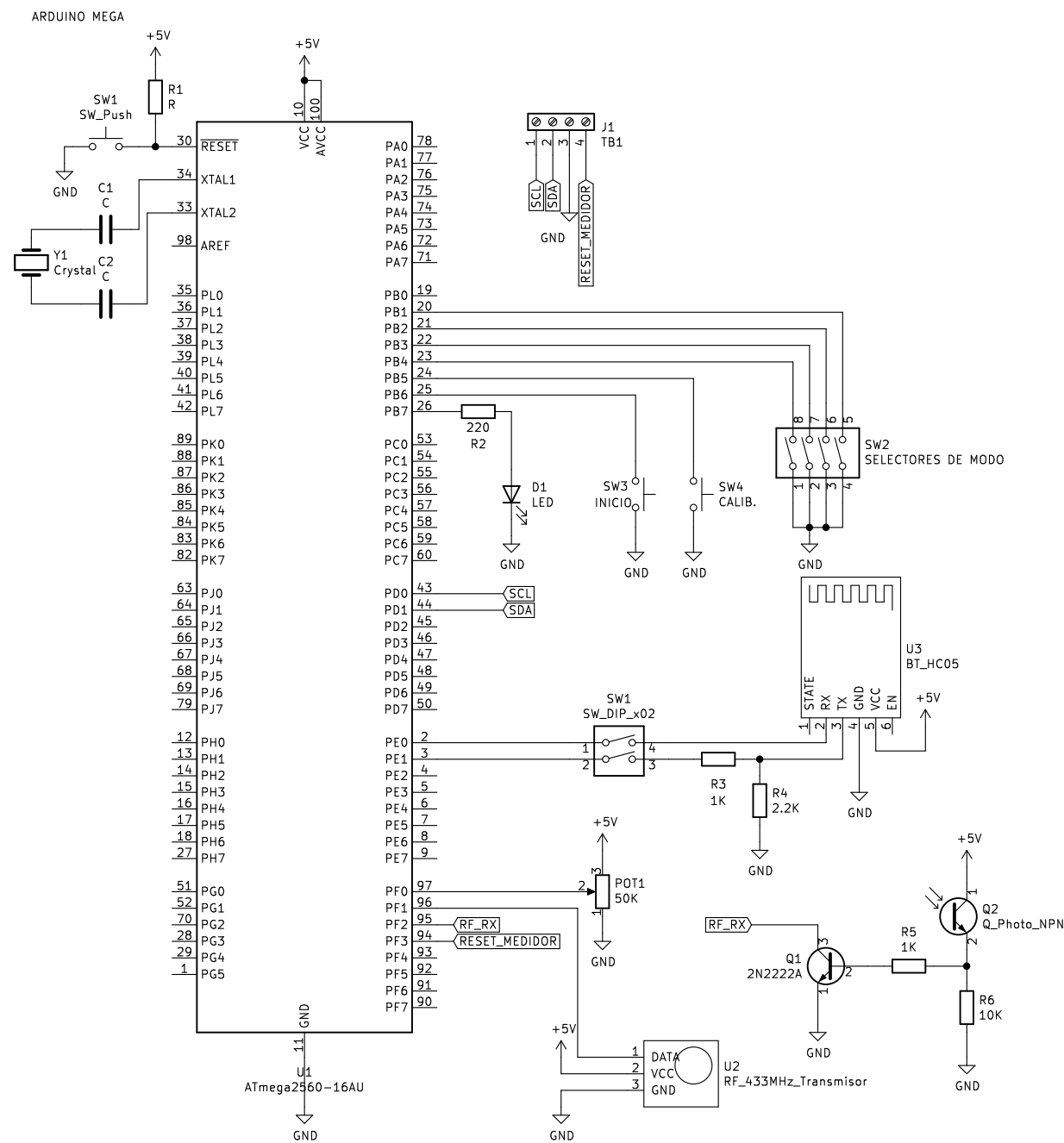


Detalle 1A



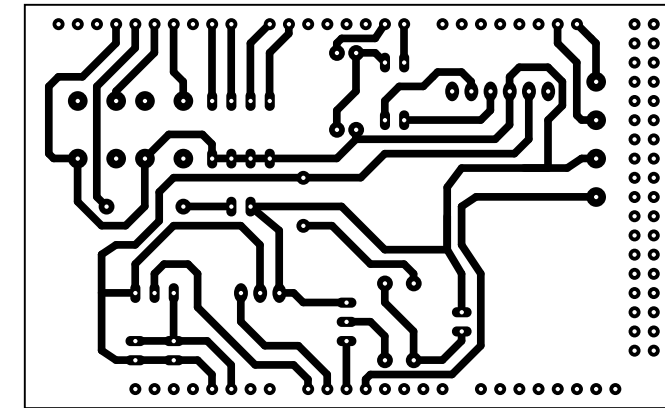
Impresiones 3D:
Tolerancia ± 0.2 [mm]
Boquilla de 1.75 [mm] a 200 °C
Cama de Impresion a 60 °C
Velocidad de impresión de 60 [mm/s]
Cortes Láser:
Tolerancia ± 0.05mm

| ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT | | |
|--|------------------------------|---------------------|
| NOMBRE DE LA PIEZA: Rueda Omnidireccional | TRATAMIENTO TÉRMICO: Ninguno | MATERIAL: MDF / ABS |
| | ESCALA: 1:1 | FORMATO: A3 |
| DISEÑADO POR: L. Martín Vásquez M. | FECHA: 2021 - 05 - 31 | LÁMINA: 13 |

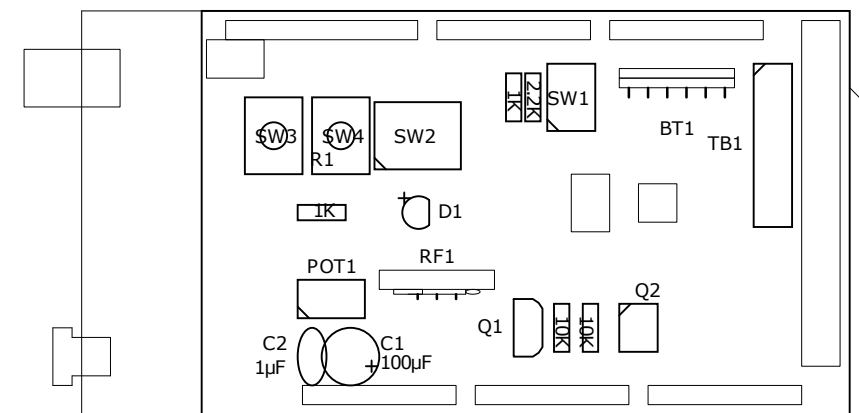


PCB

Pistas



Componentes



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT

Unidad Central

TRATAMIENTO
TÉRMICO: N.A.

MATERIAL: N.A.

ESCALA: N.A.

FORMATO: A3

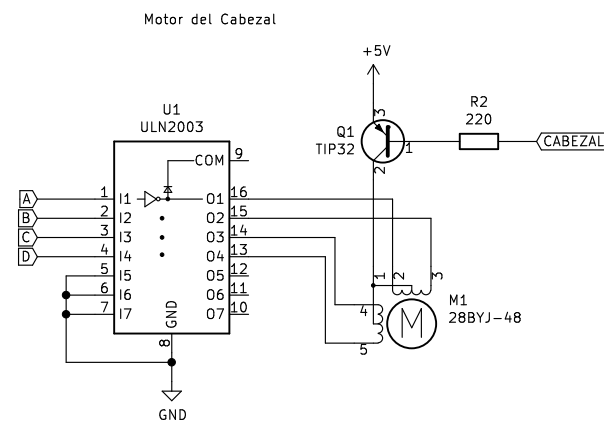
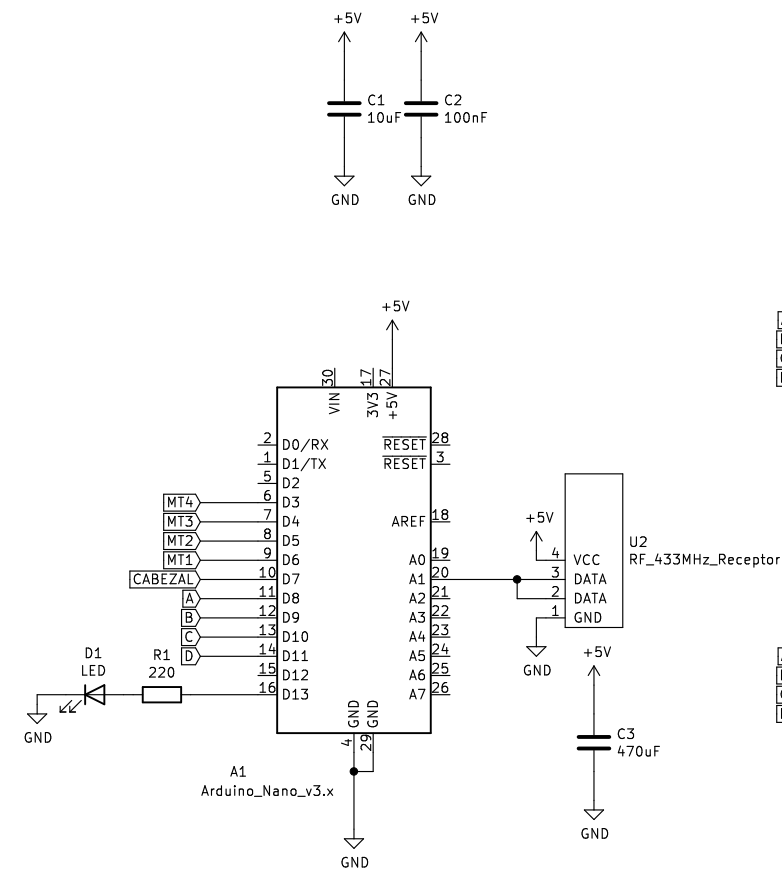
DISEÑADO POR:

FECHA:

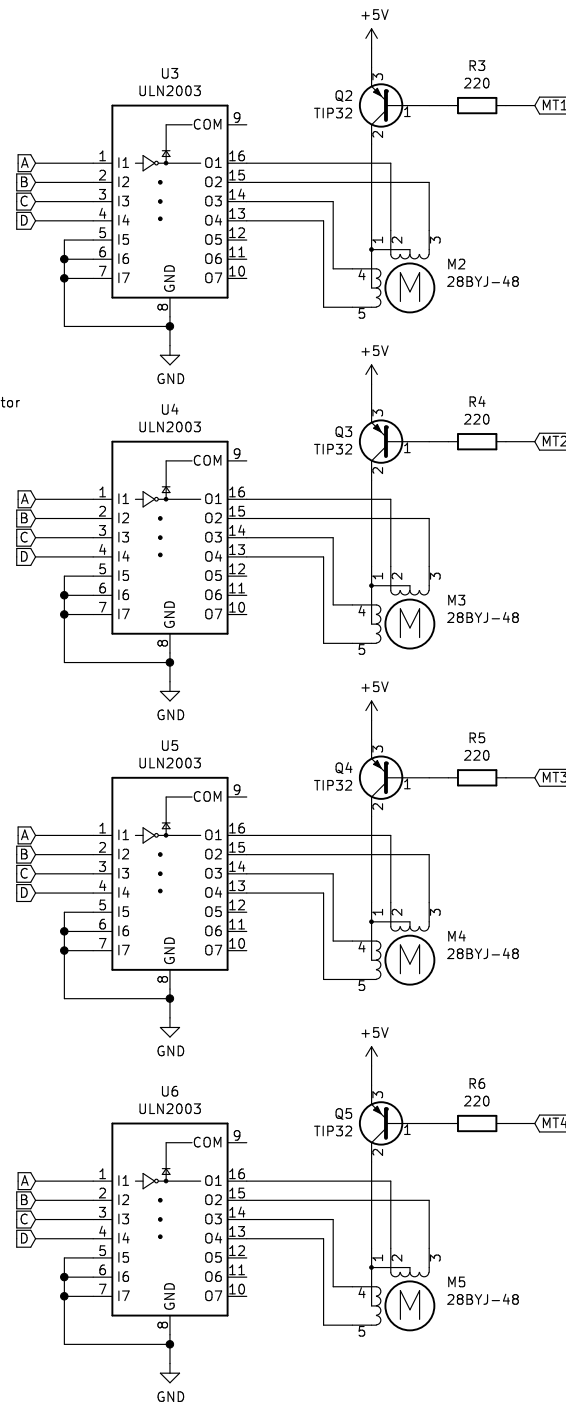
LÁMINA: 14

L. Martín Vásquez M.

2021 - 05 - 31

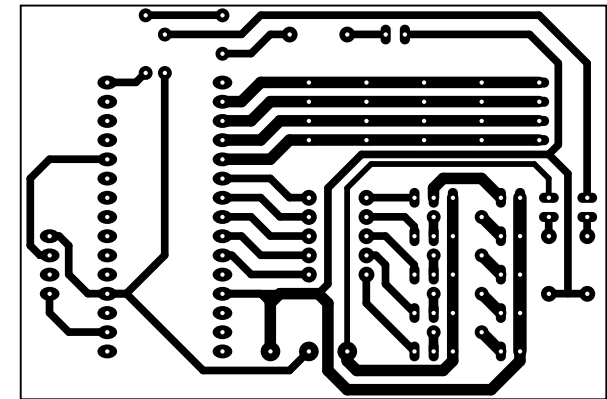


Motores de Desplazamiento

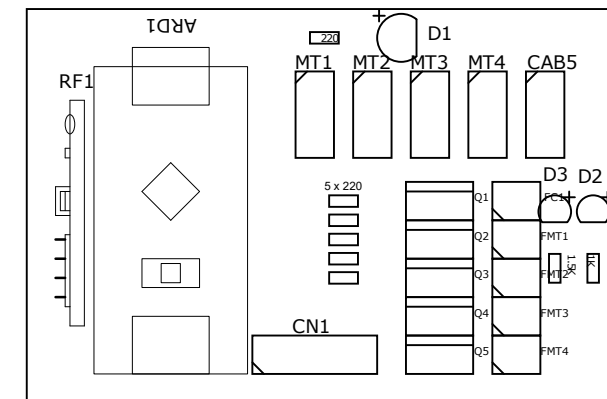


PCB

Pistas



Componentes



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT

Unidad Móvil

TRATAMIENTO
TÉRMICO: N.A.

MATERIAL: N.A.

ESCALA: N.A.

FORMATO: A3

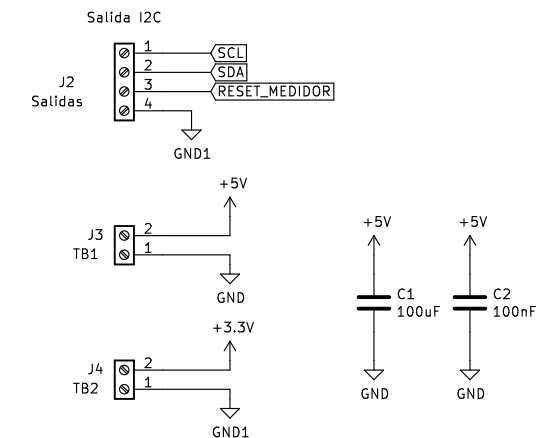
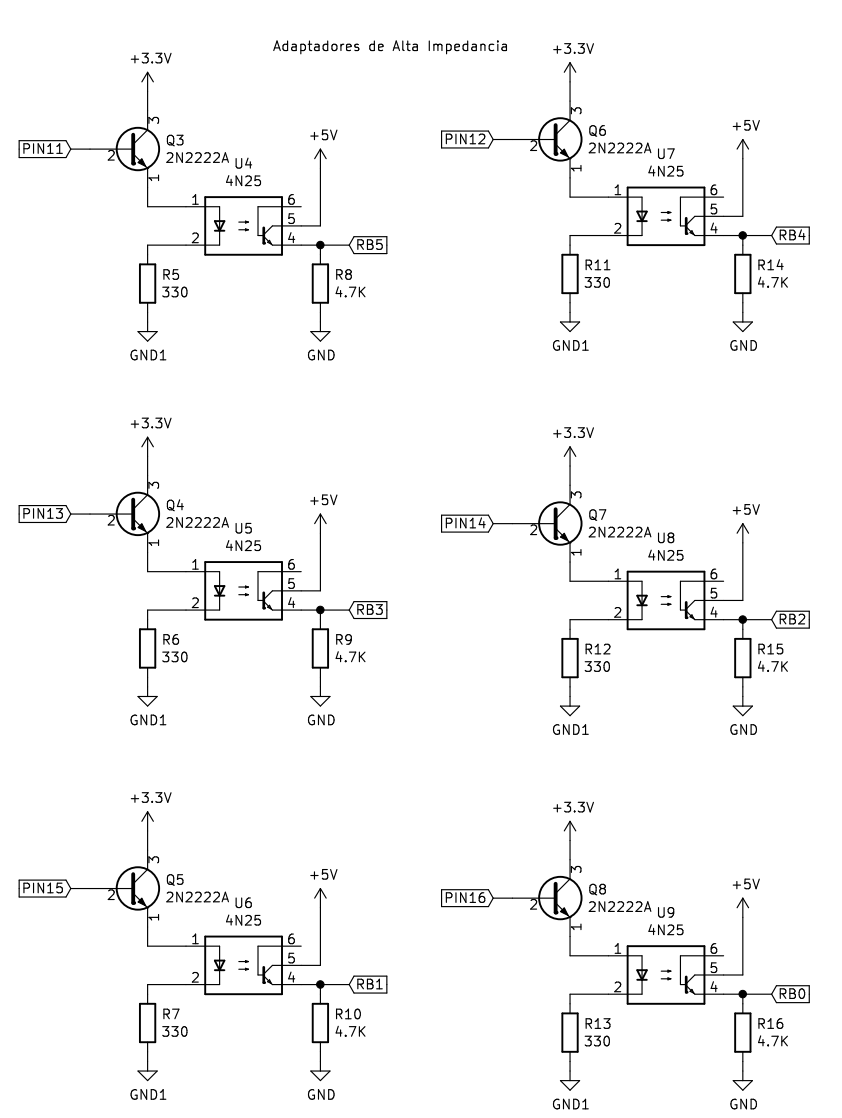
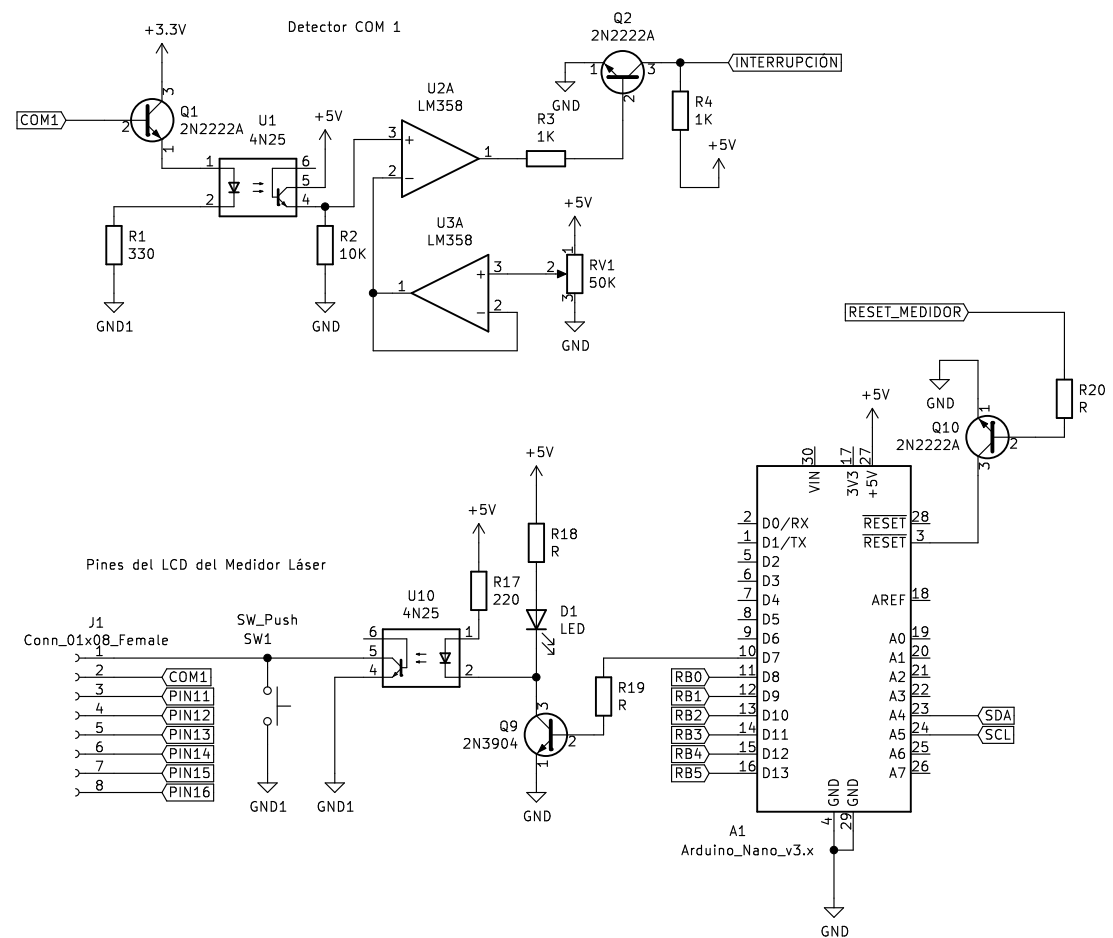
DISEÑADO POR:

FECHA:

LÁMINA: 15

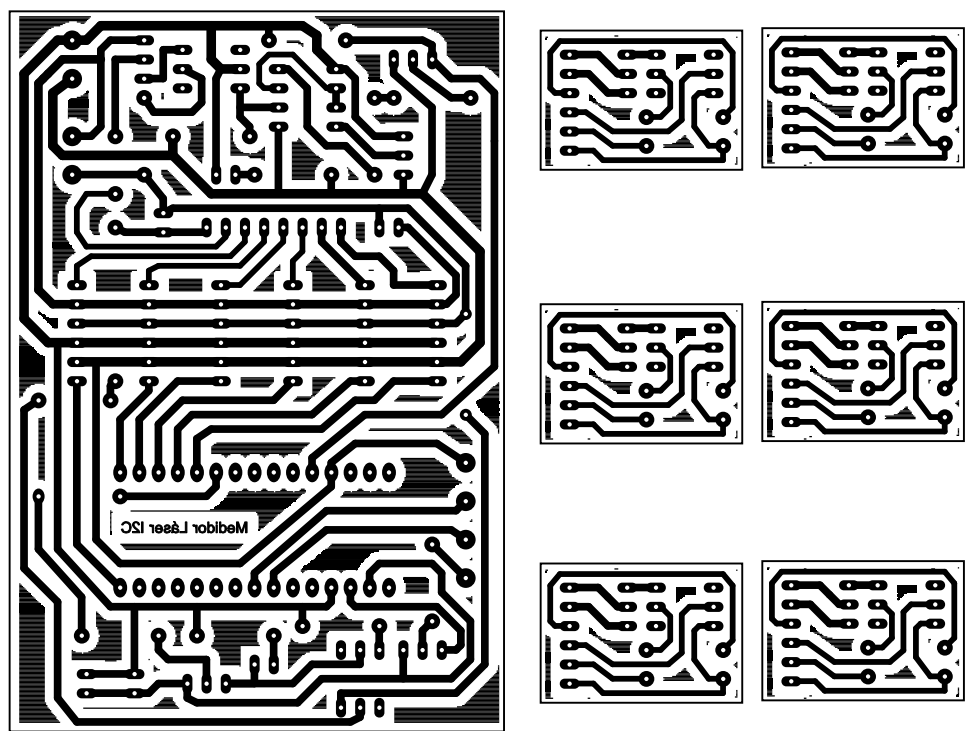
L. Martín Vásquez M.

2021 - 05 - 31

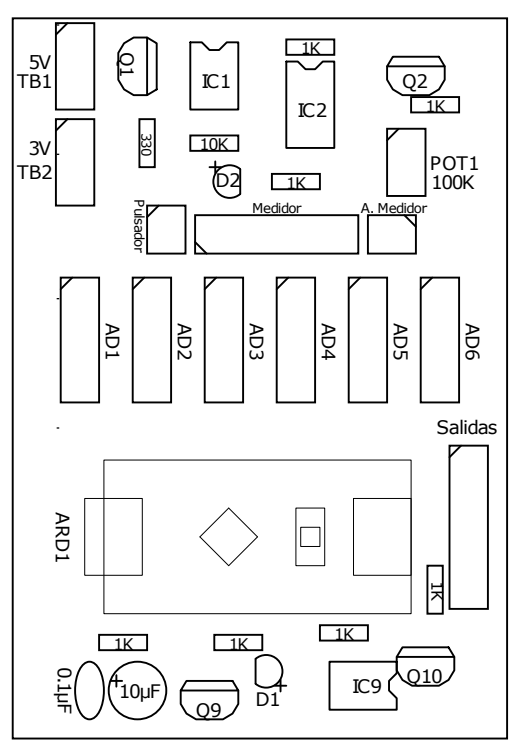


PCB

Pistas



Componentes



| ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT | | |
|--------------------------------------|---------------------------|----------------|
| Adaptador del Medidor Láser | TRATAMIENTO TÉRMICO: N.A. | MATERIAL: N.A. |
| | ESCALA: N.A. | FORMATO: A3 |
| DISEÑO POR: L. Martín Vásquez M. | FECHA: 2021 - 05 - 31 | LÁMINA: 16 |

ANEXO 3: DATOS TÉCNICOS



Figura A.1 Microcontrolador ATmega328 embebido en la placa Arduino Nano.

Tabla A.1 Características principales del microcontrolador ATmega328 [22].

| Característica | Descripción |
|--|---------------------------------------|
| Tipo de Microcontrolador | AVR |
| Arquitectura | RISC |
| Memoria Flash | 32 KBytes |
| Memoria EEPROM | 1 KBytes |
| Voltaje de operación | |
| Mínimo | 2.7 (V) |
| Máximo | 5.5 (V) |
| Salidas/Entradas Digitales | 23 |
| Puertos | 3 |
| Temporizadores | 3 |
| TMR0 | 8 Bits |
| TMR1 | 16 Bits |
| TMR2 | 8 Bits |
| Salidas PWM | 6 |
| Resolución del conversor analógico - digital | 10 Bits |
| Entradas analógicas | 8 |
| Protocolos de comunicación | USART SPI (Maestro/Esclavo) I2C |
| Pines con interrupción externa | 2 |
| Misceláneos | Comparador analógico integrado |

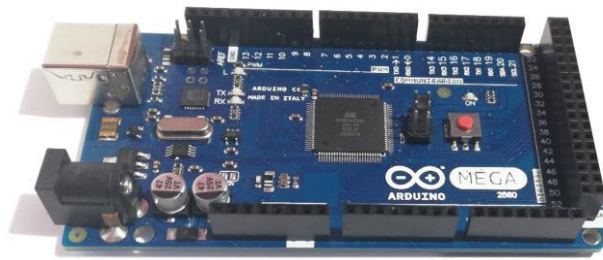


Figura A.2 Microcontrolador ATmega2560 embebido en la placa Arduino Mega.

Tabla A.2 Características principales del microcontrolador ATmega2560 [23].

| Característica | Descripción |
|--|------------------------------------|
| Tipo de Microcontrolador | AVR |
| Arquitectura | RISC |
| Memoria Flash | 256 KBytes |
| Memoria EEPROM | 4 KBytes |
| Voltaje de operación | |
| Mínimo | 2.7 (V) |
| Máximo | 5.5 (V) |
| Salidas/Entradas Digitales | 86 |
| Puertos | 11 |
| Temporizadores | 6 |
| TMR0 | 8 Bits |
| TMR1 | 16 Bits |
| TMR2 | 8 Bits |
| TMR3 | 16 Bits |
| TMR4 | 16 Bits |
| TMR5 | 16 Bits |
| Salidas PWM | 10 |
| De 8 Bits | 4 |
| De 12 Bits | 6 |
| Resolución del conversor analógico - digital | 16 |
| Entradas analógicas | 8 |
| Protocolos de comunicación | USART (4 Interfaces) SPI I2C |
| Pines con interrupción externa | 8 |

| Característica | Descripción |
|----------------|--|
| Misceláneos | Comparador analógico integrado Entradas táctiles (capacitivo) |



Figura A.5.3 Motor paso a paso 25BYJ-48.

Tabla A.3 Características del motor paso a paso 25BYJ-48 [24].

| Características | Descripción |
|-------------------|---------------|
| Tipo de motor | Unipolar |
| Número de fases | 4 |
| Tamaño de paso | 5.625° |
| Reducción | 1/64 |
| Velocidad máxima | 1900/64 (RPM) |
| Frecuencia máxima | 100 (Hz) |
| Voltaje nominal | 5 (V) |
| Corriente nominal | 200 (mA) |
| Torque nominal | 0.3 (Kg/cm) |

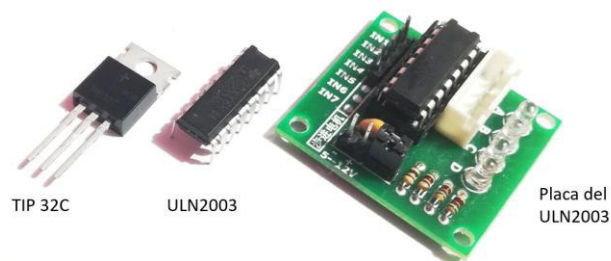


Figura A.4 Transistores de potencia TIP32 y controlador ULN2003.

Tabla A.4 Características del potencia TIP32 [19].

| Características | Descripción |
|--------------------------------------|-------------------------------|
| Tipo | Transistor de Potencia PNP |
| Corriente de colector | |
| Nominal | 3 (A) @ 25 (°C) |
| Transitorios | 5 (A) @ 5 (ms) |
| Voltaje colector – emisor máximo | 100 (V) |
| Ganancia de corriente | |
| Máxima | 50 |
| Mínima | 25 |
| Potencia máxima | |
| Temperatura del encapsulado de 25 °C | 40 (W) |
| Temperatura ambiente de 25 °C | 2 (W) |
| Temperatura máxima de operación | 150 (°C) |

Tabla A.5 Características del C.I. ULN2003 [25].

| Características | Descripción |
|---------------------------------------|--|
| Tipo | Arreglo de Transistores en configuración Darlington de colector abierto |
| Voltaje máximo de salida | 50 (V) |
| Corriente continua de salida | 500 (mA) |
| Voltaje colector-emisor de saturación | |
| Corriente de colector de 100 (mA) | 1.1 (V) |
| Corriente de colector de 200 (mA) | 1.3 (V) |
| Corriente de colector de 360 (mA) | 1.6 (V) |
| Temperatura de trabajo | |
| Máxima | 80 (°C) |
| Mínima | -45 (°C) |



Figura A.5 Celda de voltaje Li-Ion ICR18650 – 26F.

Tabla A.6 Características de la celda de voltaje ICR18650-26F [26].

| Características | Descripción |
|--------------------------|-----------------|
| Capacidad | |
| Nominal | 2600 (mAh) |
| Mínima | 2550 (mAh) |
| Voltajes | |
| De carga | 4.2 (V) |
| Nominal | 3.7 (V) |
| Límite de sobre descarga | 2.75 (V) |
| Método de Carga | CC –CV |
| Corrientes | |
| Máxima | 0.2C (520 (mA)) |
| De carga rápida | 2600 (mA) |
| De carga estándar | 1300 (mA) |

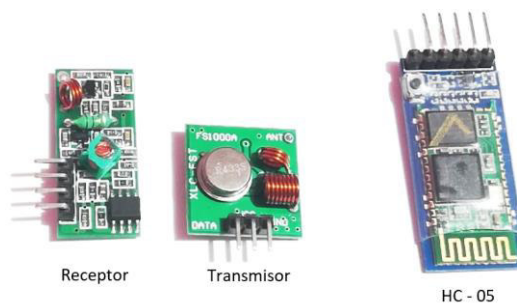


Figura A.6 Elementos de Comunicación.

Tabla A.7 Características del módulo de comunicación HC-05 [27].

| Características | Descripción |
|-----------------|-----------------|
| Tipo | Maestro/Esclavo |
| Por defecto | Esclavo |
| Protocolo | IEEE 802.15.1 |
| Tasa de Baudios | |

| Características | Descripción |
|-------------------------|---|
| Por defecto | 9600 |
| Configurables | 19200 38400 57600 115200 230400 460800 |
| De configuración | 38400 |
| Corriente de trabajo | 30 (mA) |
| Alcance | < 100 (m) |
| Voltaje de alimentación | 5 (V) |
| Voltaje de datos | 3.3 (V) |

Tabla A.8 Características del módulo de RF XD-RF-5V (Receptor) [28].

| Características | Descripción |
|-----------------------------|--------------|
| Voltaje de trabajo | 5 (V) |
| Corriente en estado estable | 4 (mA) |
| Frecuencia de trabajo | 433.92 (MHz) |
| Sensibilidad | -105 (dB) |
| Tasa máxima de recepción | 4 (KB/s) |

Tabla A.9 Características del módulo de RF XD-FST (Transmisor) [28].

| Características | Descripción |
|----------------------------|-------------|
| Voltaje de trabajo | |
| Mínimo | 3.5 (V) |
| Máximo | 13 (V) |
| Potencia de transmisión | 10 (mW) |
| Frecuencia de trabajo | 433 (MHz) |
| Tasa máxima de transmisión | 4 (KB/s) |
| Alcance | |
| Mínimo | 20 (m) |
| Máximo | 200 (m) |

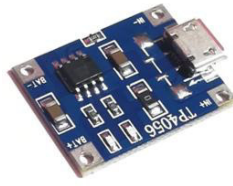


Figura A.7 Cargador de baterías Li-Ion TP4056.

Tabla A.10 Características del C.I. TP4056 [29].

| Características | Descripción |
|----------------------------------|---|
| Tipo de cargador | CC – CV |
| Corrientes | |
| De carga | 130 (mA) 250 (mA) 300 (mA) 400 (mA) 580 (mA) 690 (mA) 780 (mA) 900 (mA) 1000 (mA) |
| De consumo | 150 (μA) |
| Voltajes | |
| De carga | 4.2 (V) |
| Precisión | ± 1.5% |
| De protección por sobre descarga | 2.9 (V) |
| De alimentación | Desde 0.3 (V) hasta 8 (V) |

ANEXO 4: ENLACES ADICIONALES



Figura A.8 Enlace a los algoritmos de control en Arduino IDE 1.8.13.



Figura A.9 Enlace a los códigos de las HMIs en Processing 3.



Figura A.10 Enlace a la .apk y a las HMIs ejecutables para Windows y Linux.



Figura A.11 Enlace a los modelos 3D, cortes láser, archivos .stl, .step y .FCSTD