

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**INGENIERÍA BIOMÉDICA**

**Diseño de un sistema para la automatización del movimiento de las perillas de desplazamiento en el eje X y Y de un microscopio óptico**

**Presentado por:**

Jennifer Nontoa Ruiz

Keila Andrea Torres Romero

**Código:**

U00104325

U00114689

**Director:**

Ing. Manuel Hernando Franco Arias

**Codirector:**

Dra. Jenniffer Castellanos

**Bucaramanga**

**2022**

## **Dedicatoria**

A mis padres y hermanas, a quienes amo profundamente; siempre dispuestos a brindarme un abrazo en las dificultades, una sonrisa en las alegrías y la fuerza para perseguir mis sueños. A mí abuela Lilia Ruiz, dulce consejera e inspiración de vida. A mis compañeros y amigos, por brindarme la mano durante el recorrido. A ellos, finalizando este camino profesional les dedico el logro que me ayudaron a alcanzar.

- Jennifer Nontoa Ruiz

Dedico este trabajo principalmente a mi familia, por apoyarme y acompañarme en todo mi proceso de formación profesional. Sé que sin su soporte no estaría en este punto de mi vida; son mi motor y mi impulso para seguir siendo mejor cada día. A mis amigos, que siempre estuvieron dispuestos a ayudarme a cumplir con mis objetivos por encima de las adversidades. Este logro es para todos aquellos que creyeron en mí y en mi capacidad para lograr lo que me proponga.

- Keyla Torres

## **Agradecimientos**

Agradecimientos a la Universidad Autónoma de Bucaramanga, que proporcionó bases sólidas en nuestra preparación profesional con su valioso talento humano y profesional de docentes y recursos académicos. Un agradecimiento especial a nuestro director de tesis, Ingeniero Biomédico Manuel Franco, y al asesor Doctor en Biomedicina Boris Jaimes, por permitir la realización del presente, proporcionando conocimientos valiosos y acompañamiento fundamental en las diversas etapas del proyecto.

Queremos agradecer a los profesores, compañeros de estudio, conocidos, amigos y familiares que durante nuestro recorrido académico significaron un gran apoyo en la continuación y culminación de nuestro camino profesional, siempre aportando aprendizajes y vivencias valiosas. Nuestros agradecimientos sinceros para todos.

## **Resumen**

La histología estudia los tejidos desde sus componentes celulares hasta su organización en órganos y sistemas, para esto se usa el microscopio que, desde su invención, significó el instrumento principal para estudiarla. La ingeniería biomédica otorga tecnologías de diseño que facilitan la investigación y enseñanza académica con nuevas alternativas a necesidades actuales, a fin de contribuir con el estudio de en este caso organismos microscópicos. Por lo anterior, el presente proyecto de grado tiene como objetivo diseñar un prototipo de sistema motorizado para la automatización del movimiento en el eje X y Y de las perillas coaxiales de un microscopio óptico mediante una aplicación móvil. El laboratorio de histología de la UNAB (Universidad Autónoma de Bucaramanga) está dotado con el microscopio Nikon E200, el cual cuenta con un sistema mecánico para el posicionamiento de la muestra, la implementación de un sistema motorizado que permita el control del movimiento desde una aplicación móvil y guarde posiciones determinadas por el usuario, permite trazabilidad en estudios de investigación y gran aporte a la enseñanza de la asignatura a los estudiantes.

**Abstract**

Histology studies tissues from their cellular components to their organization into organs and systems, using the microscope which, since its invention, has been the main instrument to study it. The present degree project aims to design a prototype of a motorized system for the automation of the movement in the X and Y axis of the coaxial knobs of an optical microscope through a mobile application. The histology laboratory of the UNAB (Universidad Autónoma de Bucaramanga) is equipped with the Nikon E200 microscope, which has a mechanical system for the positioning of the sample, the implementation of a motorized system that allows the control of the movement from a mobile application and saves positions determined by the user, allows traceability in research studies and great contribution to the teaching of the subject to students.

## Índice

<b>Capítulo I.....</b>	<b>16</b>
<b>Aspectos Generales .....</b>	<b>16</b>
1.1 Problema u oportunidad.....	16
1.2 Descripción del Problema.....	17
1.3 Justificación .....	18
1.4 Pregunta Problema .....	19
1.5 Objetivo General.....	19
1.6 Objetivos Específicos.....	19
1.7 Limitaciones y Delimitaciones .....	19
<b>Capítulo II .....</b>	<b>22</b>
<b>Marco Teórico y Estado del Arte .....</b>	<b>22</b>
2.1 Marco Teórico.....	22
2.1.1 Microscopio Óptico .....	22
2.1.2 Motores Paso a Paso .....	23
2.1.3 Arduino .....	23
2.1.4 Histología.....	24
2.1.5 Perillas Coaxiales del Microscopio.....	25
2.1.6 Aplicación Móvil .....	26
2.1.7 MIT App Inventor.....	26
2.2 Estado del Arte.....	27
<b>Capítulo III.....</b>	<b>30</b>
<b>Metodología .....</b>	<b>30</b>

3.1 Diseño Hardware del Prototipo.....	31
3.1.1 Circuito Electrónico.....	35
3.1.2 Componentes Mecánicos.....	37
3.1.2.1 Primer Diseño, Plataforma XY sobre la Platina del Microscopio.....	37
3.1.2.2 Segundo Diseño, Correas y Poleas.....	39
3.1.2.3 Tercer Diseño, Engranajes Perilla-Motor.....	42
3.1.3 Carcasa.....	44
3.2 Sistema de Control de Motores.....	45
3.2 Aplicación Móvil para Interacción Usuario-Sistema Motorizado.....	46
3.3.1 Diseño de la Interfaz de Usuario.....	48
3.3.2 Base de Datos.....	50
3.3.3 Conectividad Aplicación con Sistema Motorizado.....	50
3.4 Pruebas de Funcionamiento del Sistema.....	51
3.4.1 Desplazamiento en el Eje X y Y.....	51
3.4.2 Almacenamiento de Posiciones.....	51
<b>Capítulo IV.....</b>	<b>53</b>
<b>Resultados y Análisis de Resultados.....</b>	<b>53</b>
4.1 Hardware del Prototipo.....	53
4.1.1 Circuito Electrónico.....	54
4.1.1.1 Motor Paso a Paso 28BYJ-48.....	55
4.1.1.2 Circuito integrado ULN2003.....	55
4.1.1.3 Arduino Nano.....	56
4.1.1.4 Módulo Bluetooth HC-05.....	57

4.1.1.5 Sensor Efecto Hall Magnético A3144 .....	58
4.1.2 Componentes Mecánicos .....	62
4.1.3 Carcasa.....	68
4.2 Sistema de Control de Motores.....	76
4.2.1 Rutina Inicial del Programa .....	77
4.2.2 Pulsadores Físicos .....	78
4.2.3 Recepción de Datos Bluetooth.....	79
4.2.4 Posicionamiento de los Motores .....	80
4.3 Aplicación Móvil .....	82
4.4 Pruebas de Funcionamiento .....	84
4.4.1 Desplazamiento en el eje X .....	85
4.4.2 Desplazamiento en el eje Y .....	87
4.4.3 Almacenamiento de Posiciones .....	88
4.4.3.1 Prueba Inicial con Portaobjetos .....	88
4.4.3.1 Prueba con Portaobjetos con Muestra Histológica .....	90
4.5 Costos de Fabricación del Prototipo .....	94
<b>Análisis de Resultados .....</b>	<b>96</b>
<b>Capítulo V.....</b>	<b>108</b>
<b>Conclusiones y Recomendaciones.....</b>	<b>108</b>
5.1 Conclusiones .....	108
5.2 Recomendaciones .....	109
<b>Referencias .....</b>	<b>110</b>
<b>Anexo I.....</b>	<b>112</b>

<b>Planos del Prototipo.....</b>	<b>112</b>
<b>Anexo II .....</b>	<b>119</b>
<b>Código de Control.....</b>	<b>119</b>
<b>Anexo III.....</b>	<b>125</b>
<b>Tablas de Pruebas.....</b>	<b>125</b>

## Lista de Figuras

Figura 1 <i>Vista Inferior del Microscopio Nikon Eclipse E200</i> .....	20
Figura 2 <i>Vista inferior platina microscopio Nikon Eclipse E200</i> .....	21
Figura 3 <i>Partes del Microscopio Nikon E200</i> .....	22
Figura 4 <i>Motor Paso a Paso 28BYJ-48</i> .....	23
Figura 5 <i>Arduino Nano</i> .....	24
Figura 6 <i>Histología de Páncreas X10</i> .....	25
Figura 7 <i>Perillas Coaxiales Microscopio Nikon E200</i> .....	25
Figura 8 <i>Diseños Planteados por Pieper</i> .....	29
Figura 9 <i>Diagrama de Bloques de la Metodología Implementada</i> .....	30
Figura 10 <i>Diagrama de Bloques del Sistema</i> .....	32
Figura 11 <i>Primer Diseño, Plataforma XY sobre la Platina del Microscopio</i> .....	33
Figura 12 <i>Segundo Diseño, Correas y Poleas</i> .....	34
Figura 13 <i>Tercer Diseño, Engranajes Perilla-Motor</i> .....	35
Figura 14 <i>Diagrama de Bloques General del Prototipo</i> .....	36
Figura 15 <i>Ubicación Plataforma XY</i> .....	38
Figura 16 <i>Actuador Lineal</i> .....	38
Figura 17 <i>Ubicación de los Acoples y Engranajes en las Perillas Correspondientes</i> .....	40
Figura 18 <i>Poleas de Acople de las Perillas Correspondientes</i> .....	40
Figura 19 <i>Correa y Polea-Motor</i> .....	41
Figura 20 <i>Ensamble de los componentes Mecánicos del Segundo Diseño</i> .....	42
Figura 21 <i>Acoples Ubicados en las Perillas Correspondientes</i> .....	43
Figura 22 <i>Engranajes para Perilla y Motor Correspondiente</i> .....	43

Figura 23	<i>Ensamble de los Componentes Mecánicos del Tercer Diseño</i> .....	44
Figura 24	<i>Diagrama de Flujo de la Aplicación</i> .....	47
Figura 25	<i>Diseño de Deslizadores de Motores en la Aplicación</i> .....	48
Figura 26	<i>Botones para intercambiar modos de Funcionamiento de la Aplicación</i> .....	49
Figura 27	<i>Botones para guardar Posiciones Previamente Ubicadas</i> .....	49
Figura 28	<i>Circuito Integrado ULN2003</i> .....	56
Figura 29	<i>Módulo Bluetooth HC-05</i> .....	57
Figura 30	<i>Sensor A3144 de Efecto Hall</i> .....	58
Figura 31	<i>Esquema del Circuito del Sistema en Proteus</i> .....	59
Figura 32	<i>Vista Superior del Enrutado Electrónico</i> .....	60
Figura 33	<i>Vista Superior e inferior PCB</i> .....	61
Figura 34	<i>Vista Superior e inferior de la Tarjeta Electrónica</i> .....	62
Figura 35	<i>Ensamble de Acople y Engranaje ubicado en la perilla</i> .....	66
Figura 36	<i>Engranajes de los Motores</i> .....	67
Figura 37	<i>Sistema de Engranajes y Acoples</i> .....	68
Figura 38	<i>Piezas de Prueba para la Carcasa</i> .....	70
Figura 39	<i>Soporte para Motores</i> .....	71
Figura 40	<i>Diseño de la Carcasa</i> .....	71
Figura 41	<i>Renderizado del Diseño de la Carcasa</i> .....	72
Figura 42	<i>Renderizado del Diseño de la Carcasa. Vista inferior</i> .....	73
Figura 43	<i>Soporte para Motores</i> .....	75
Figura 44	<i>Partes del Prototipo Motorizado</i> .....	76
Figura 45	<i>Diagrama de bloques Rutina Inicial</i> .....	78

Figura 46 <i>Diagrama de bloques Pulsadores Físicos</i> .....	79
Figura 47 <i>Diagrama de bloques Recepción de datos Bluetooth</i> .....	80
Figura 48 <i>Diagrama de bloques Posicionamiento de los Motores</i> .....	81
Figura 49 <i>Botones de Funcionamiento</i> .....	82
Figura 50 <i>Sliders y Botones Laterales para el Desplazamiento de la Platina</i> .....	83
Figura 51 <i>Aplicación Móvil</i> .....	83
Figura 52 <i>Aplicación Móvil. Registros de Posiciones</i> .....	84
Figura 53 <i>Ubicación Inicial de la Platina</i> .....	85
Figura 54 <i>Regla eje de Desplazamiento X</i> .....	86
Figura 55 <i>Regla eje de Desplazamiento Y</i> .....	87
Figura 56 <i>Portaobjeto de Referencia</i> .....	88
Figura 57 <i>Portaobjetos Observado con Objetivo 4X</i> .....	89
Figura 58 <i>Portaobjetos Observado con Objetivo 40X</i> .....	90
Figura 59 <i>Portaobjetos con muestra Histológica de Corteza Renal</i> .....	91
Figura 60 <i>Vista Macroscópica, Primera Posición</i> .....	91
Figura 61 <i>Vista Macroscópica, Segunda Posición</i> .....	92
Figura 62 <i>Vista Macroscópica, Tercera Posición</i> .....	93
Figura 63 <i>Vista Macroscópica, Cuarta Posición</i> .....	94
Figura 64 <i>Aumento 210 pasos, Eje X</i> .....	96
Figura 65 <i>Aumento 405 pasos, eje X</i> .....	97
Figura 66 <i>Aumento 600 pasos, eje X</i> .....	98
Figura 67 <i>Aumento 795 pasos, eje X</i> .....	98
Figura 68 <i>Aumento 990 pasos, eje X</i> .....	99

Figura 69 <i>Aumento 1185 pasos, eje X</i> .....	99
Figura 70 <i>Aumento 1380 pasos, eje X</i> .....	100
Figura 71 <i>Aumento 210 pasos, eje Y</i> .....	101
Figura 72 <i>Aumento 405 pasos, eje Y</i> .....	102
Figura 73 <i>Aumento 600 pasos, eje Y</i> .....	102
Figura 74 <i>Aumento 795 pasos, eje Y</i> .....	103
Figura 75 <i>Aumento 990 pasos, eje Y</i> .....	103
Figura 76 <i>Aumento 1185 pasos, eje Y</i> .....	104
Figura 77 <i>Aumento 1380 pasos, eje Y</i> .....	104

## Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Matriz de Pugh de Diseño del Sistema</i> .....	53
Tabla 2 <i>Matriz de Pugh Motores Paso a Paso</i> .....	54
Tabla 3 <i>Características de Funcionamiento Motor 28BYJ-48</i> .....	55
Tabla 4 <i>Datos Técnicos Circuito Integrado ULN2003APG</i> .....	56
Tabla 5 <i>Especificaciones Técnicas del Arduino Nano</i> .....	57
Tabla 6 <i>Especificaciones Técnicas Modulo HC-05</i> .....	58
Tabla 7 <i>Especificaciones técnicas Sensor A3144 Efecto Hall</i> .....	58
Tabla 8 <i>Matriz de Pugh materiales de Impresión de los Acoples</i> .....	63
Tabla 9 <i>Matriz de Pugh Materiales de Impresión de los Engranajes</i> .....	64
Tabla 10 <i>Características de impresión Acoples de Engranajes</i> .....	66
Tabla 11 <i>Características de Impresión Engranajes</i> .....	67
Tabla 12 <i>Matriz de Pugh materiales de impresión de la carcasa</i> .....	69
Tabla 13 <i>Características de Impresión Cubierta Principal</i> .....	73
Tabla 14 <i>Características de Impresión Cubierta de Fijación</i> .....	74
Tabla 15 <i>Características de Impresión Soporte para Motores</i> .....	74
Tabla 16 <i>Características de Impresión Pulsadores</i> .....	75
Tabla 17 <i>Secuencia de Excitación de las Fases para el Control de Motores</i> .....	77
Tabla 18 <i>Promedio de Desplazamiento por Escala de Pasos, eje X</i> .....	86
Tabla 19 <i>Promedio de Desplazamiento por Escala de Pasos, eje Y</i> .....	87
Tabla 20 <i>Costos Componentes Electrónicos</i> .....	94
Tabla 21 <i>Costos Impresión 3D Engranajes</i> .....	95
Tabla 22 <i>Costos Impresión 3D Carcasa</i> .....	95

Tabla 23 <i>Costos Totales del Prototipo</i> .....	95
Tabla 24 <i>Promedio Desplazamiento de los motores eje X y Y para cada escala de pasos.</i> .....	105
Tabla 25 <i>Porcentaje de Error de las Posiciones Guardadas, eje X</i> .....	106
Tabla 26 <i>Porcentaje de Error de las Posiciones Guardadas, eje Y</i> .....	106

## Capítulo I

### Aspectos Generales

#### 1.1 Problema u oportunidad

El microscopio óptico es un instrumento basado en lentes ópticas que permite observar de forma aumentada objetos o partículas que pueden ser imperceptibles para la vista del ser humano; es utilizado especialmente en el ámbito de la biología y la medicina investigativa. Los microscopios convencionales consisten en un sistema óptico y un sistema mecánico. El sistema óptico, integra un arreglo de lentes capaces de converger o divergir los rayos de luz y los componentes para manipular y regular la luz emitida, es el que permite observar una imagen aumentada del objeto. Mientras que, el sistema mecánico es el encargado de sostener el equipo y la ubicación de las muestras que se estén observando; este está integrado por varias piezas, entre ellas, la platina donde se ubican los objetos, que está conectada a las perillas coaxiales con las que se puede regular la posición de esta platina en los ejes X y Y. (Mundo Microscopio, 2017)

En la actualidad el microscopio se considera uno de los instrumentos más importantes en los laboratorios de histología. Para el desarrollo de este proyecto de investigación es conveniente utilizar los microscopios ópticos que pertenecen al laboratorio de histología de la Universidad Autónoma de Bucaramanga, de la marca Nikon.

Estos microscopios para el posicionamiento de la muestra involucran un sistema mecánico que el usuario opera de manera manual utilizando las perillas coaxiales. Por esto, se requiere destreza y sutileza para llegar al lugar de estudio deseado. Además, con este sistema manual es muy difícil posicionar la muestra en una coordenada de estudio definida con anterioridad, esto en los casos que se requiera llevar una trazabilidad del estudio, debido a que el usuario no tiene la forma de saber en qué coordenada está ubicado. Al implementar un sistema

que permita la automatización de las perillas correspondientes al movimiento biaxial en sentido X y Y, se brinda facilidad en el posicionamiento de la muestra estudio. Con esto, se beneficia el investigador, estudiante o usuario en general.

## **1.2 Descripción del Problema**

El éxito de los estudios histológicos depende, además de la adecuada preparación de las muestras, del posicionamiento para su observación a través del microscopio. Durante los estudios histológicos inicialmente se fijan muestras en el portaobjetos, posteriormente se ubica en el microscopio que mediante la incidencia de luz permite la observación aumentada de la muestra. Para el posicionamiento en mención, los microscopios convencionales implementan un sistema mecánico, por lo que el usuario gira de manera manual las perillas coaxiales del equipo, que desplazan en el eje X y Y la platina que tiene el portaobjetos.

La Universidad Autónoma de Bucaramanga (UNAB) en su facultad de Salud, cuenta con laboratorios para enseñanza e investigación. Los microscopios ópticos utilizados en estudios de biología son de la marca Nikon E200, los cuales ofrecen imágenes de alta calidad, para diversos fines, como el uso educativo, de laboratorio clínico y en investigación básica. (Nikon Instruments Inc., 2019)

Actualmente, el mercado ofrece microscopios con la característica de automatización a la hora de realizar el posicionamiento de la muestra. Es decir, ofrece un mando de movimiento X, Y y Z motorizado, lo que además permite la memorización de posiciones de enfoque. Esto brinda al usuario reducción de tiempo en la ubicación, mayor precisión y trazabilidad de los estudios. Sin embargo, estos microscopios son de alto costo y el portaobjetos no regresa con facilidad a la posición inicial después de desplazarse en los ejes X y Y.

De acuerdo con lo anterior, establecemos la importancia del posicionamiento del portaobjetos en los estudios histológicos y las ventajas que brindan los sistemas motorizados. Teniendo en cuenta las observaciones, este proyecto de investigación busca la implementación de un sistema que permita automatizar el movimiento de las perillas coaxiales de los microscopios ópticos de la UNAB. Facilitando la ubicación de las muestras y seguimiento de los estudios histológicos mediante el almacenamiento de coordenadas específicas.

### **1.3 Justificación**

El microscopio es el instrumento insigne en el estudio histológico y uno de los principales objetivos de la histología es permitir al estudiante la comprensión de la estructura microscópica de las células, tejidos y órganos. (Ross, Kaye, & Pawlina, 2005)

Los sistemas mecánicos automatizados permiten mayor precisión en los movimientos que realizan, esta característica aplicada a un instrumento como el microscopio implica numerosas ventajas al momento de su uso, como otorgar al usuario mayor facilidad en la ubicación de las muestras, ampliar el alcance de la histología experimental, aprender de manera más eficiente y esencialmente, avanzar en la investigación y desarrollo de su potencial actual (Microscopy, 2017) de allí la importancia de tener acceso a un equipo con esta propiedad.

Este proyecto se realiza con el fin de brindar un sistema que permita mayor precisión de movimiento bidireccional y facilidad al operador durante el posicionamiento de las muestras que requieren ser visualizadas. Adicionalmente, se enfoca en la minimización de los costos que involucran la implementación de un sistema automatizado, de manera que se tenga acceso a un dispositivo con tecnología similar a un precio reducido.

Para conseguir el prototipo automatizado se construirá un sistema de motores implementando una plataforma de desarrollo de software y hardware libre para su control.

Adicionalmente, este sistema estará conectado a una aplicación móvil con la que se podrá interactuar para establecer los movimientos de las perillas coaxiales del microscopio óptico, de acuerdo con las necesidades del usuario. Para su desarrollo se utilizará uno de los microscopios ópticos dispuestos en el laboratorio de histología de la UNAB, ya que estos no cuentan con un sistema automatizado y su implementación supondría un beneficio para estudiantes y docentes.

#### **1.4 Pregunta Problema**

¿Cómo regular el movimiento bidireccional de las perillas de desplazamiento del portaobjetos de un microscopio óptico mediante una aplicación móvil?

#### **1.5 Objetivo General**

Diseñar un prototipo de sistema motorizado para la automatización del movimiento en el eje X y Y de las perillas coaxiales de un microscopio óptico mediante una aplicación móvil.

#### **1.6 Objetivos Específicos**

1. Diseñar un sistema mecatrónico integrando motores paso a paso e impresión 3D para el movimiento de las perillas coaxiales mediante un software de simulación electrónica y de diseño 3D.
2. Implementar un sistema de control para el movimiento en el eje X y Y de las perillas coaxiales de un microscopio óptico utilizando el software de programación Arduino.
3. Desarrollar una aplicación móvil utilizando software de programación que permita la interacción del usuario con el sistema automatizado.

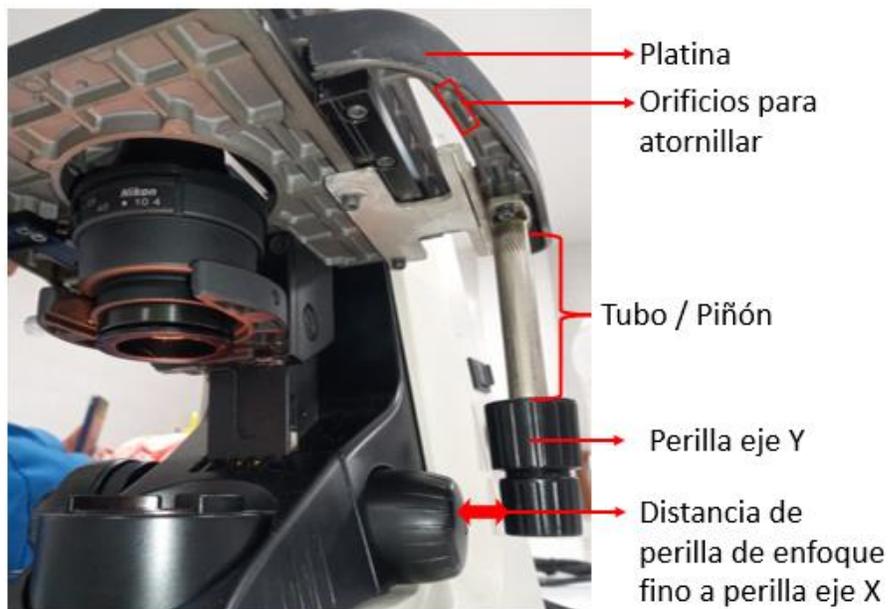
#### **1.7 Limitaciones y Delimitaciones**

El presente proyecto posee limitaciones ligadas al tamaño de las piezas del prototipo y su geometría, principalmente porque no se debe intervenir el microscopio, es decir, no se pueden modificar las piezas del equipo. Por lo anterior, la estructura física de la carcasa en la que se

ensamblan los componentes mecánicos y electrónicos tiene un tamaño considerable, lo que impide que su adaptación sea completamente portátil.

### Figura 1

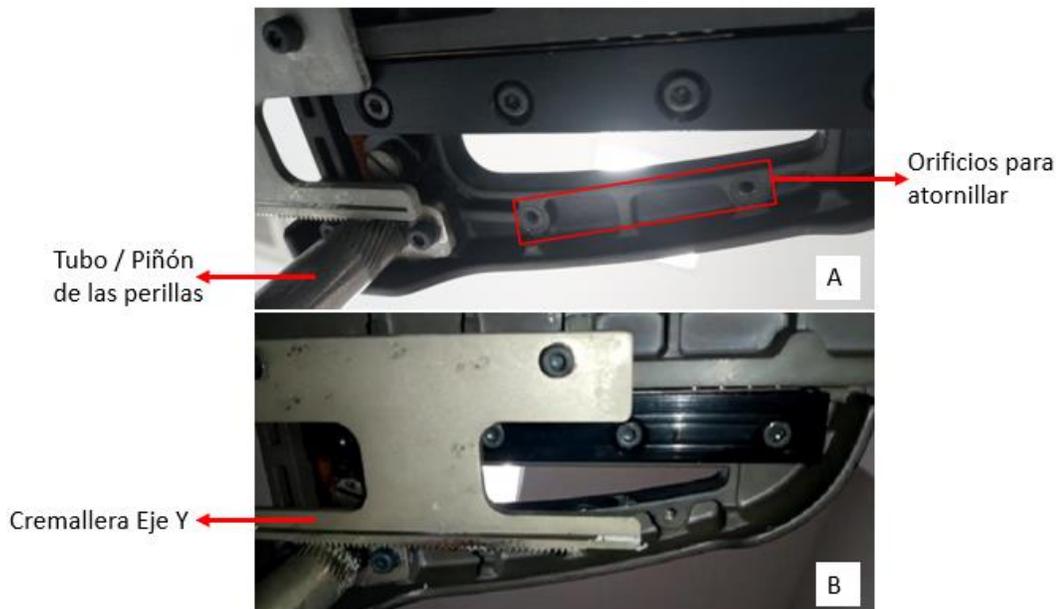
*Vista Inferior del Microscopio Nikon Eclipse E200*



Se debe tener en cuenta el movimiento al que se somete la platina al momento de girar las perillas coaxiales en X y Y, como se observa en la Figura 2, al mover la perilla superior que desplaza la platina en el eje Y, se debe considerar el desplazamiento de la cremallera de este eje. Al realizar el ensamble del sistema motorizado es importante posicionar los engranajes de manera que se ubique adecuadamente un punto de referencia al inicio del movimiento para cada eje. Es decir, tanto los motores como las perillas deben estar en un extremo del recorrido, para a partir de ahí relacionar el desplazamiento correctamente y la carcasa no interfiera en su recorrido.

## Figura 2

*Vista inferior platina microscopio Nikon Eclipse E200*



*Nota:* A. Extremo posterior de la platina. B. Extremo anterior de la platina.

En cuanto al funcionamiento del sistema de automatización de las perillas del microscopio se consideró la implementación de pulsadores físicos en la carcasa. Sin embargo, estos son independientes a la aplicación móvil. Es decir, una vez instalado el dispositivo en el microscopio, los movimientos realizados desde los pulsadores no se guardarán en la memoria de la aplicación.

Finalmente, en la realización de las pruebas para el almacenamiento de datos se implementan los oculares de 4X y 40X, a fin de facilitar la visualización del puntero del microscopio en el portaobjetos. Además, debido a que lo que se quiere comprobar es que el sistema guarde adecuadamente las posiciones, no es necesario magnificar demasiado la imagen.

## Capítulo II

### Marco Teórico y Estado del Arte

#### 2.1 Marco Teórico

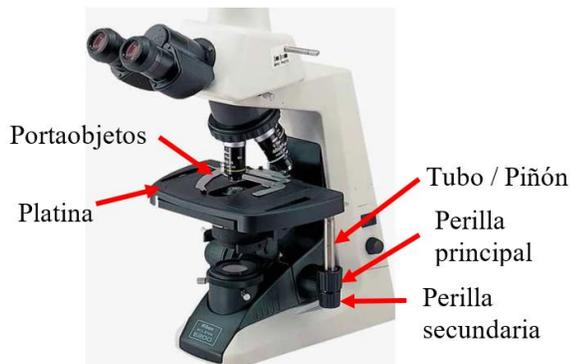
Es relevante para el siguiente proyecto de investigación conocer los siguientes términos: Microscopio óptico, motores paso a paso, Arduino, histología, perillas coaxiales del microscopio, aplicación móvil y MIT App Inventor.

##### 2.1.1 Microscopio Óptico

El microscopio óptico es un instrumento que permite observar objetos que se encuentran por fuera del rango visual humano. Para esto, implementa un sistema compuesto por lentes que forman y amplifican la imagen del objeto de estudio. Puede ser monocular cuando la observación se realiza por un tubo y binocular cuando posee dos tubos, uno para cada ojo. (Coloma, 2015) Se conforma por un sistema de iluminación, una parte óptica destinada para obtención de una imagen aumentada de la muestra, y una parte mecánica para sostener los distintos componentes ópticos. La parte mecánica está constituida por una serie de piezas que conforman el microscopio y le brindan soporte a la parte óptica. (Microscopio, 2006)

#### Figura 3

*Partes del Microscopio Nikon E200*



*Nota. Adaptado de (Nikon Instruments Inc., 2019)*

### **2.1.2 Motores Paso a Paso**

Los motores paso a paso tienen características de funcionamiento como otros motores de corriente alterna o corriente directa. La principal ventaja de este tipo de motores es su precisión, puesto que, de acuerdo con la energización de sus bobinas, pueden quedar enclavados en una posición. Como su nombre lo indica, estos motores se pueden mover desde un solo paso hasta una secuencia de pasos definidos, determinado por los pulsos electromagnéticos aplicados. En el rango de desplazamiento angular de un paso mínimo de 1.8 grados a pasos de hasta 90 grados. El control en el movimiento angular del motor está dado de acuerdo con la secuencia programada desde un microcontrolador. Se clasifican de acuerdo con el número de cables y dependiendo del arreglo de sus bobinas, pueden ser unipolares o bipolares. (Piñeres, 2019)

#### **Figura 4**

*Motor Paso a Paso 28BYJ-48*



*Nota.* Tomada de (Vistronica, 2021)

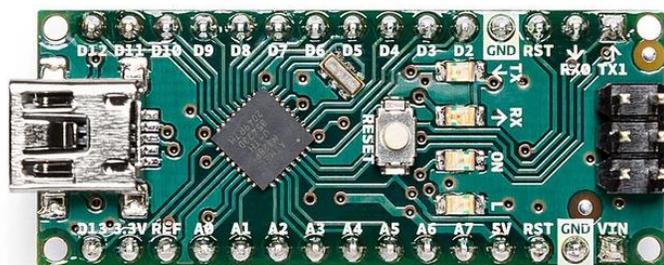
### **2.1.3 Arduino**

Es una plataforma de desarrollo basada en una placa electrónica de hardware libre que incorpora un microcontrolador programable. El microcontrolador que lleva la placa Arduino UNO es el modelo ATmega328P de la marca Atmel. La principal ventaja que otorga esta

plataforma es la de permitir establecer conexiones con diferentes sensores y componentes de manera sencilla. (MCI Electronics , 2019) Además, cuenta con una plataforma basada en software libre que se puede instalar en diferentes sistemas operativos, con las características de fácil manejo y bajo costo.

### **Figura 5**

*Arduino Nano*



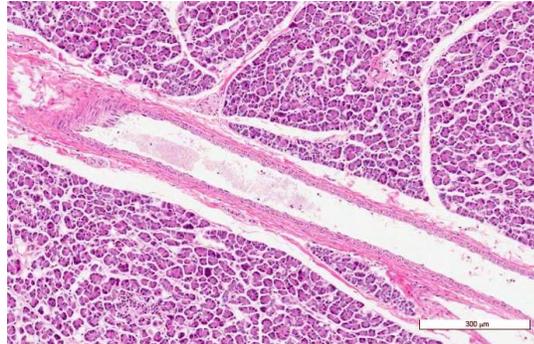
*Nota.* Tomada de (Arduino , 2021)

#### **2.1.4 Histología**

La histología humana es la ciencia encargada del estudio de la estructura de los tejidos humanos y se identifica a veces con lo que se ha llamado anatomía microscópica porque su estudio va más allá de los tejidos por ello se relaciona con otras ciencias como la anatomía, bioquímica y genética. (Duarte, 2015) Es fundamental en la comprensión de la composición microscópica y funcionamiento de las estructuras celulares de organismos vivos, para así reconocer los cambios derivados por procesos patológicos. Por lo anterior, la importancia de la histología está determinada por la información que brinda de los tejidos en condiciones normales, pero también en que permite diagnosticar una patología y su comportamiento en el tejido celular.

## Figura 6

### *Histología de Páncreas X10*



*Nota.* Tomado de (Atlas de Histología , 2013)

### **2.1.5 Perillas Coaxiales del Microscopio**

Las perillas coaxiales del microscopio son dos perillas encargadas de regular la posición longitudinal y transversal de la platina, superficie plana donde se coloca la muestra que se quiere observar, con respecto al lente objetivo. Las dos perillas se encuentran ubicadas en serie y de manera axial sobre un tubo que actúa como eje central y de control de desplazamiento de la platina; las empuñaduras ergonómicas que integran las perillas las diferencian en cuanto a su tamaño, siendo una más pequeña que la otra, facilitando su identificación.

## Figura 7

### Perillas Coaxiales Microscopio Nikon E200



El accionamiento de perilla secundaria genera el desplazamiento del portaobjetos sobre la platina del microscopio, provocando el movimiento longitudinal, es decir, en el eje X; mientras que, el accionamiento de la perilla principal genera el movimiento giratorio del tubo en el que se encuentran concéntricas, que actúa como un piñón engranado con una cremallera sujeta a la platina, causando el desplazamiento de la misma de manera transversal, es decir, en el eje Y. (Montagud, 2019)

### ***2.1.6 Aplicación Móvil***

Una aplicación móvil o app (acortamiento del término inglés application) es un programa informático diseñado para ejecutar una tarea específica en dispositivos móviles como smartphones, tablets, etc. (UPSIN, 2013)

Las aplicaciones al realizar una tarea específica ofrecen herramientas para operar sistemas en particular, por lo que, de acuerdo con las necesidades propias del usuario se diseñan y personalizan. Para la realización de aplicaciones móviles se requiere de un lenguaje de programación, el cual se elige teniendo en cuenta el resultado y necesidades del usuario. Después de desarrolladas, estas se encuentran disponibles para descargar e instalar en tiendas de distribución como Google Play Store, APP Store, Windows Store entre otras.

### ***2.1.7 MIT App Inventor***

MIT app inventor es un entorno de programación, es decir, es un programa que abarca todas las tareas necesarias para desarrollar una aplicación como lo es el diseño visual, la compilación y enlazado, que juntos, permiten crear aplicaciones para smartphones y tablets con Android y iOS. Está basado en Blockly de JavaScript por lo que el programador de forma visual puede enlazar una serie de bloques que facilitan el desarrollo de aplicaciones, además la interfaz

gráfica para la creación de muchas funcionalidades, en menos tiempo que en los entornos de programación tradicionales basados en texto. (App Inventor, 2017)

## **2.2 Estado del Arte**

En China, Xu Ma, Gang An y Bin Li diseñan e implementan una platina de microscopio automatizada; en el documento se presenta la arquitectura de un sistema de control y se analiza en detalle el desarrollo del subsistema de comunicación y los controladores de motores paso a paso para automatizar los movimientos de la platina. Adicionalmente, proporcionan resultados de pruebas con una aplicación práctica para ilustrar el rendimiento del sistema. A partir de los hallazgos de este documento podemos diseñar adecuadamente los circuitos de control de nuestro sistema. (Xu, Gang, & Bin, 2009)

En el año 2011, Luis A. Ruiz, desarrolla un hardware para la automatización de un microscopio óptico para el control de adquisición de imágenes. El prototipo mecánico permite el movimiento XY, siendo X el movimiento del portaobjetos y Y el movimiento completo de la platina, además del movimiento en el eje Z para el ajuste macrométrico y micrométrico. Para lograrlo integra motores de paso, microcontrolador e interfaz de comunicación serial. Esta tesis aporta información significativa para el proyecto, en cuanto a las características técnicas de los componentes implementados en la realización del sistema automatizado, además verifica la funcionalidad del prototipo mediante la implementación de pruebas de precisión en el posicionamiento de la muestra para cada motor. (Ruiz, 2011)

En el proyecto titulado “Diseño y construcción de un microscopio óptico para la inspección de superficies de piezas” publicado en el año 2019, Fredy Piñeres Núñez desarrolla un microscopio óptico integrado con una interfaz visual utilizando el software LabVIEW. Los aportes que este documento trae a nuestro proyecto se relacionan con las bases para la

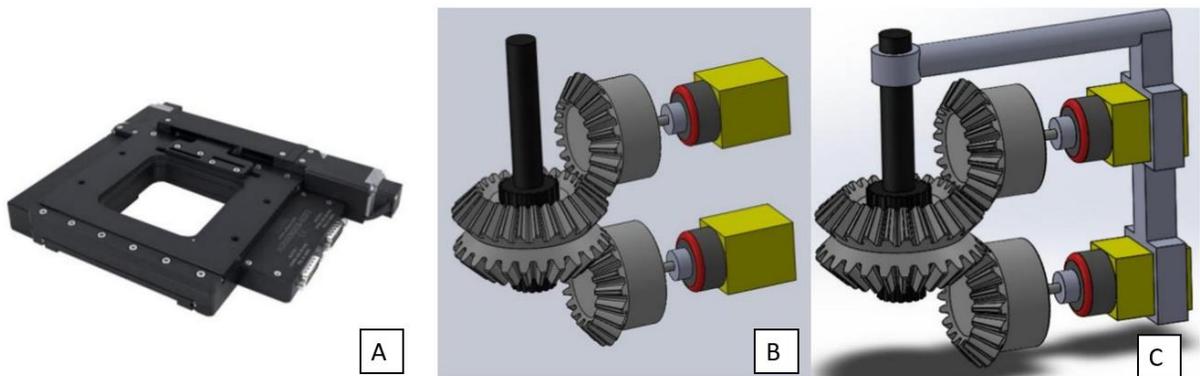
implementación del sistema automatizado del microscopio, ya que en este se integra un sistema motorizado utilizando Arduino como tarjeta controladora del motor paso a paso para el movimiento de la cámara y todas las partes electrónicas que componen al microscopio a través de una interfaz realizada en el software LabVIEW. (Piñeres, 2019)

En el artículo titulado Platina de microscopio motorizada de bajo costo, publicado en el año 2020 por Riley Pieper, se diseña un dispositivo que motoriza la traslación de la platina del microscopio en los ejes X y Y, a partir del análisis de la implementación de tres diferentes estructuras. Los tres diseños preliminares que propusieron, fueron una estructura reemplazable de la platina con motores integrados, un modelo de tapa de engranajes desmontable y una perilla de traslación sujeta por engranajes. La estructura reemplazable es un accesorio que se instala en lugar de la platina, sustituyendo la pieza que actualmente funciona con control manual; en cuanto a funcionamiento, esta platina motorizada se traslada mediante mecanismos ortogonales de cremallera y piñón, la principal desventaja es el alto costo de fabricación. La segunda propuesta, es la primera de las dos que funcionan según un segundo enfoque general: la interconexión con la arquitectura de control existente de las platinas del microscopio, aprovechando que cada platina existente cuenta con dos perillas de control, uno para la traslación en la dirección X y otro para la Y, situados en el extremo de un eje que sobresale hacia abajo de las propias platinas, como se muestra en la Figura 8, en la parte B. El último diseño propuesto, funciona fundamentalmente de forma similar al diseño anterior ya que utiliza engranajes acoplados a dos motores para ajustar de forma independiente la traslación lineal de la platina, como se muestra en la Figura 8, en la parte C, girando automáticamente las perillas. Este proyecto lo utilizamos como base para el diseño de nuestro prototipo principalmente porque nos

presentan ventajas y desventajas de los diseños propuestos, las cuales podemos tener en cuenta a la hora de diseñar nuestro sistema. (Pieper, Schini, Cohn, Heimburg, & Trapp, 2020)

### Figura 8

*Diseños Planteados por Pieper*



*Nota:* Tomado de (Pieper, Schini, Cohn, Heimburg, & Trapp, 2020). A. Imagen de un escenario motorizado que no es de fábrica. B. Dibujo de SolidWorks del interior del engranaje/ motor de la tapa extraíble. C. Croquis de SolidWorks del diseño de las perillas de traslación sujetas a engranajes que rodearán las perillas de traslación comerciales del microscopio.

En el año 2017 Jaramillo, Zaezycki, Galeano y Sandoz, publicaron un artículo denominado Caracterización del rendimiento de una platina XY Aplicada a Litografía de escritura directa con láser micrométrico, en el que sustentan la construcción de un sistema de escritura implementando dos plataformas NLS4 puestas en cruz, estas plataformas están compuestas por motores paso a paso que facilitan el movimiento de la estructura en los ejes X y Y. La contribución de este artículo con nuestro proyecto está relacionada con la metodología y los formatos utilizados para realizar las pruebas de rendimiento de las platinas, dándonos una base para plantear el formato de nuestras pruebas, teniendo en cuenta los pasos del motor y la distancia recorrida por la platina.

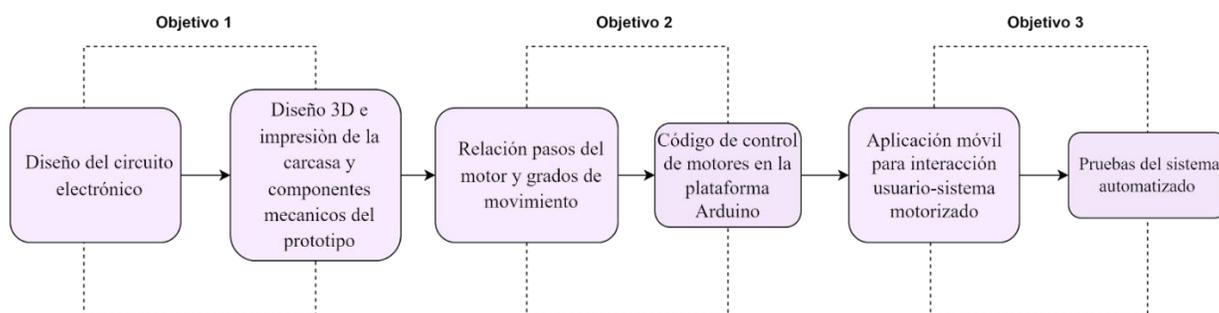
## Capítulo III

### Metodología

Este capítulo describe la metodología implementada para el desarrollo del proyecto de grado. Como se observa en la Figura 9, con el fin de cumplir con el objetivo general, se definieron tres objetivos específicos los cuales contienen las actividades que permitirán realizar de manera satisfactoria este proyecto de grado.

#### Figura 9

Diagrama de Bloques de la Metodología Implementada



Para el primer objetivo específico que es *Diseñar un sistema mecatrónico integrando motores paso a paso e impresión 3D para el movimiento de las perillas coaxiales mediante un software de simulación electrónica y de diseño 3D*. Se define la realización del diseño electrónico implementando Proteus y del diseño mecánico del prototipo utilizando Autodesk.

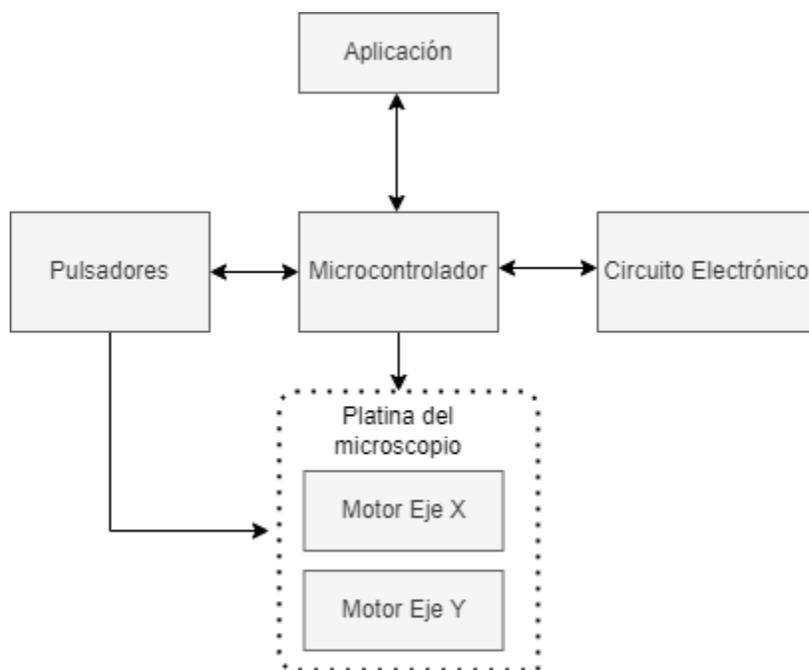
Para el segundo objetivo específico el cual es *Implementar un sistema de control para el movimiento en el eje X y Y de las perillas coaxiales de un microscopio óptico utilizando el software de programación Arduino*, en primer lugar, se establece la relación de pasos del motor

y grados de movimiento. Teniendo esto, se procede a realizar el código que permita el control de los motores utilizando la plataforma Arduino.

Finalmente, para el tercer objetivo específico que es el Desarrollar una aplicación móvil utilizando software de programación que permita la interacción del usuario con el sistema automatizado. Se define la conexión de comunicación del sistema motorizado y la aplicación móvil vía bluetooth. Adicionalmente se considera la realización de pruebas de funcionamiento para validar el correcto desplazamiento del sistema motorizado y conocer en términos de movimiento la precisión de este.

### **3.1 Diseño Hardware del Prototipo**

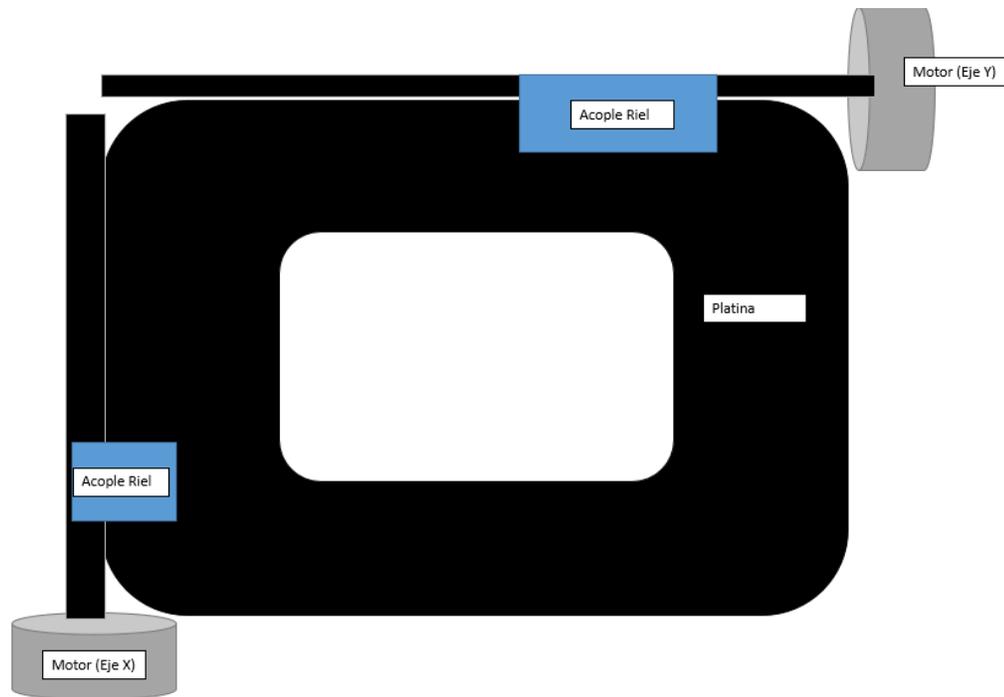
El prototipo para la automatización del movimiento en el eje X y Y de las perillas coaxiales del microscopio óptico Nikon E200, integra una parte mecánica y una electrónica. Por lo anterior, se define en la Figura 10, el diagrama de bloques general del sistema, en el que se relacionan los diferentes componentes del prototipo. A continuación, se plantean tres prototipos mecánicos que brindan alternativas de diseño viables al desarrollo del proyecto de grado y cumplimiento de los objetivos planteados.

**Figura 10***Diagrama de Bloques del Sistema*

El primer lugar se consideró el diseño 1, Figura 11, un prototipo de plataforma, el cual se ubica sobre la platina del microscopio. Este diseño, basado principalmente en las alternativas actuales que ofrece el mercado, consta de dos motores paso a paso ubicados al extremo de cada eje, de manera que, por medio de un mecanismo tipo riel, permita el desplazamiento automatizado del portaobjetos del microscopio tanto en el eje X y Y.

**Figura 11**

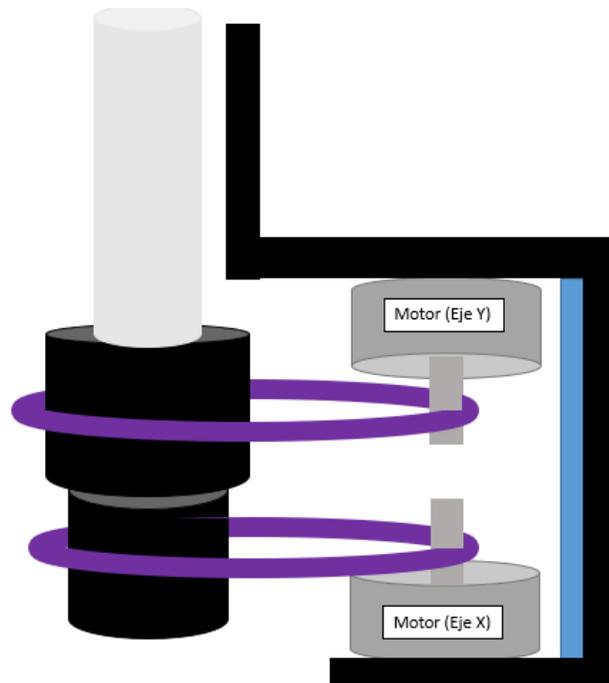
*Primer Diseño, Plataforma XY sobre la Platina del Microscopio*



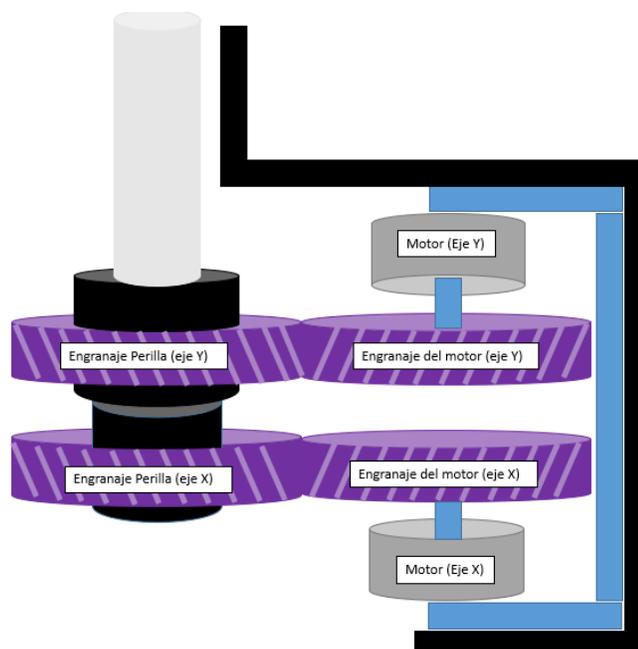
En segundo lugar, se planteó un prototipo de correas y poleas, ensamblado directamente en cada perilla coaxial del microscopio, ver Figura 12, implementando acoples entre las correas y las perillas y entre el eje del motor y las correas. Este diseño permite que no se invada el espacio de trabajo del usuario al ubicarse de manera externa al equipo.

**Figura 12**

*Segundo Diseño, Correas y Poleas*



Finalmente, se diseñó un prototipo de engranaje perilla-motor para la transmisión del movimiento correspondiente en cada eje, como lo muestra la Figura 13, por lo que, los motores y las perillas deben tener un engranaje. Además, igual que el Diseño 2, está ubicado de manera externa al equipo, directamente en las perillas del microscopio.

**Figura 13***Tercer Diseño, Engranajes Perilla-Motor*

A fin de seleccionar el diseño de prototipo mecánico más favorable, se realiza una matriz de Pugh para la toma de decisiones. De esta manera se definen, los criterios de evaluación y el peso de cada uno, de acuerdo con la relevancia en nuestro proyecto. Por lo anterior, los criterios seleccionados para la calificación de los diseños son: Manejo fácil 25%, Funcionalidad 20%, fabricación 20%, Costo 15%, Precisión 15%, Garantía del microscopio 5%. De acuerdo a los resultados obtenidos de la matriz de Pugh para la selección del diseño mecánico, se establecen los materiales de diseño mecatrónico según sea el caso.

### ***3.1.1 Circuito Electrónico***

Para la realización del componente electrónico del prototipo, teniendo en cuenta los resultados obtenidos de la evaluación de los diseños y el diseño mecánico seleccionado, se establecen la Matriz de Pugh para los materiales principales del sistema electrónico. Debido a

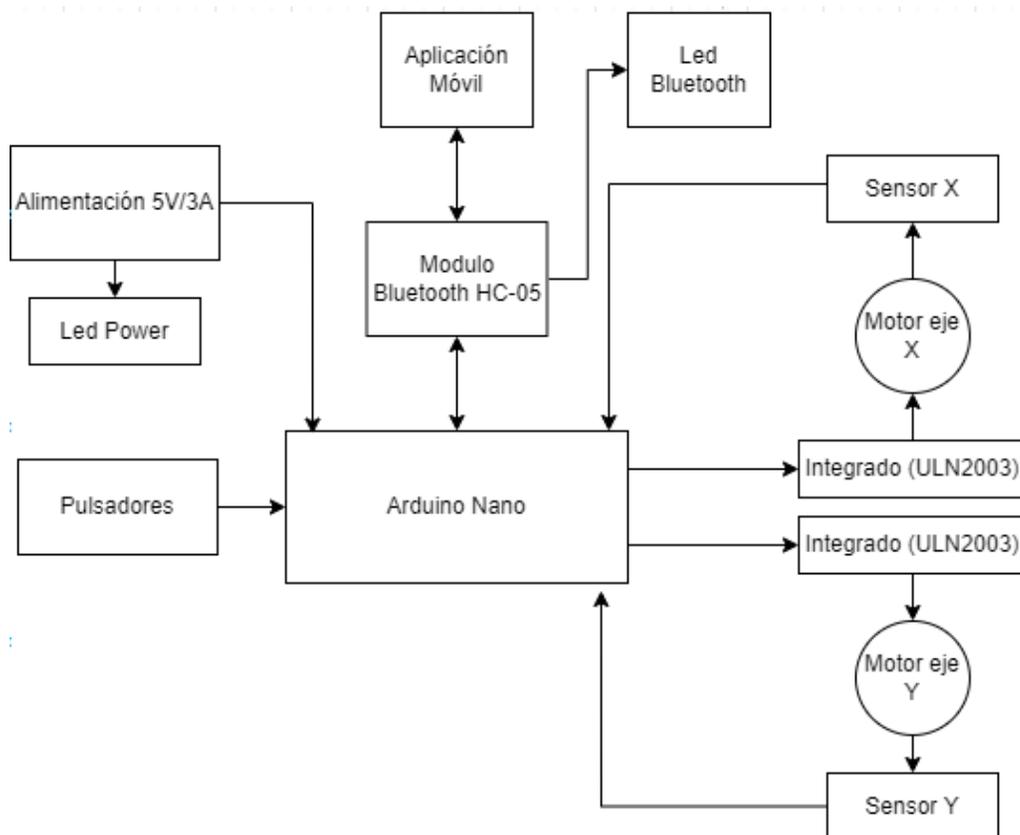
que el movimiento es proporcionado por motores paso a paso, se realiza una matriz de Pugh con el fin de determinar el Motor más indicado para nuestro proyecto.

Los criterios de evaluación seleccionados para los motores paso a paso, teniendo en cuenta su relevancia son: Tamaño 25%, Costo 20%, Funcionalidad 20%, Precisión 15%, Peso 15%, Programación 5%. Con rango de calificación de 1 a 5, siendo 5 la mejor calificación.

Se presenta el diagrama de bloques del funcionamiento general del Sistema, Figura 14, donde se observa la relación de cada uno de los componentes generales que integran el hardware del prototipo. Para realizar el diseño del circuito electrónico se utiliza el software de diseño Proteus.

### Figura 14

*Diagrama de Bloques General del Prototipo*



Si bien el proyecto consiste en el control dirigido desde aplicación móvil de las perillas coaxiales del microscopio, en el diagrama anterior se agregó un bloque llamado Pulsadores. Estos pulsadores se contemplan en el diseño del prototipo para facilidad de operación por parte del usuario. Es decir, al ensamblar el prototipo en el microscopio el usuario tendrá la posibilidad de desplazar de manera bidireccional la platina utilizando los pulsadores de manera manual.

### **3.1.2 Componentes Mecánicos**

Para el diseño de la estructura del sistema motorizado se implementa el software Autodesk Inventor. Este software proporciona diferentes herramientas para el diseño mecánico y CAD 3D (Diseño Tridimensional Asistido por Ordenador), además del análisis y la simulación de los productos, combinando capacidades de diseño paramétrico y basado en reglas. El método más apropiado para la fabricación de las piezas, teniendo en cuenta la complejidad de estas, es por impresión 3D tipo FDM (Modelado por Deposición Fundida), un proceso de fabricación que empieza calentando un filamento de materia, la cual al ser derretida es extruida en una plataforma. Cada vez se aplica una capa en la plataforma, la cual desciende y así sucesivamente hasta concluir con la impresión. Es debido a esto que se la clasifica también impresión aditiva. (FABLAB ESAN, 2017)

Los componentes mecánicos permiten la adecuada transmisión del movimiento. Según los diseños de prototipos definidos anteriormente, se establecen las piezas mecánicas relevantes para cada sistema.

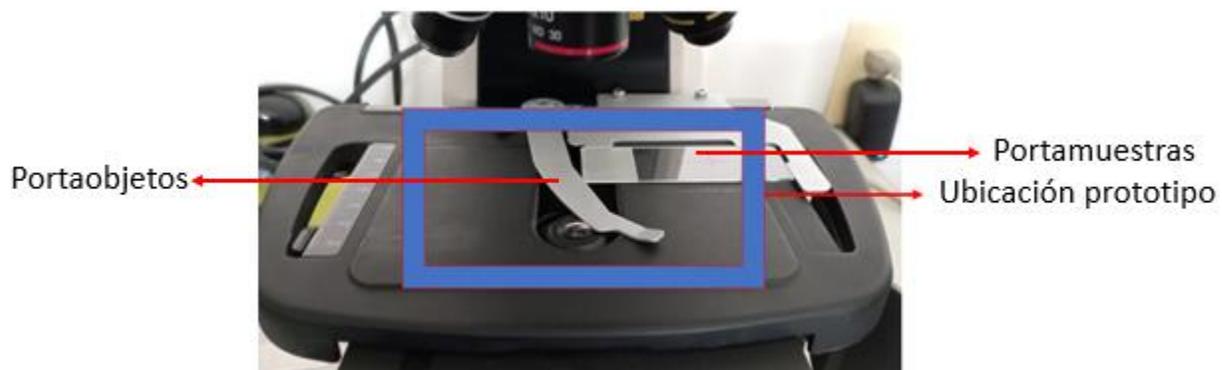
#### **3.1.2.1 Primer Diseño, Plataforma XY sobre la Platina del Microscopio**

La alternativa del primer diseño contiene una plataforma fija ubicada sobre la platina del microscopio, ver Figura 15. Esta estructura, específica para el microscopio Nikon E200, se ajusta

entre la platina y el portaobjetos. Aunque el ensamble de la plataforma será fijo, este permitirá el desplazamiento bidireccional X y Y implementando motores paso a paso.

### Figura 15

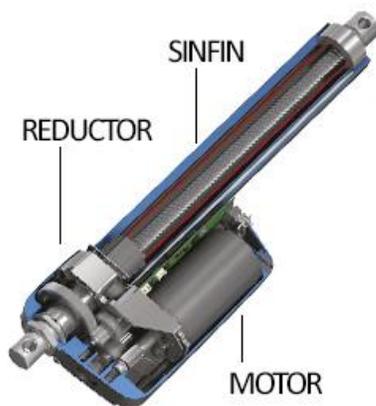
#### *Ubicación Plataforma XY*



En cuanto al mecanismo de transmisión de movimiento, este funciona básicamente con un sistema de tornillo sinfín y rueda dentada, ver Figura 16. Internamente con un motor, el cual permite el movimiento rectilíneo hacia adelante o hacia atrás de acuerdo al sentido de giro del motor. Entonces, se requiere de dos actuadores lineales, uno para cada el desplazamiento en cada eje.

### Figura 16

#### *Actuador Lineal*



Nota. Tomado de (Llamas, 2016)

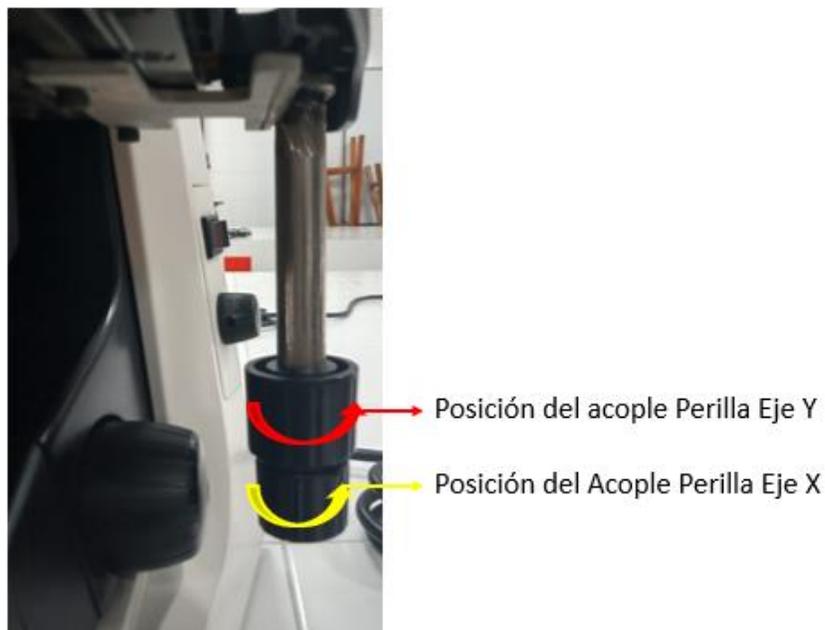
Como observaciones a este diseño, en primer lugar, al ser un accesorio fijo, involucra la modificación del mecanismo que permiten la sujeción del porta muestras. Es decir, al fijar la plataforma se debe modificar el diseño del microscopio Nikon E200 y añadir un mecanismo independiente con características propias para el funcionamiento del prototipo y la sujeción de las muestras histológicas. En segundo lugar, las perillas coaxiales del microscopio, se verán como un accesorio innecesario que no puede utilizarse. El usuario controlaría el desplazamiento de la platina desde la aplicación móvil, con su sistema mecánico propio e independiente de movimiento bidireccional que tiene el microscopio desde las perillas coaxiales.

### **3.1.2.2 Segundo Diseño, Correas y Poleas**

La alternativa del segundo diseño, involucra el acople de un mecanismo de transmisión de movimiento ubicado directamente en las perillas coaxiales del microscopio, ver Figura 17, basado en correas y poleas. Los componentes mecánicos necesarios para el ensamble del prototipo, se muestran en la Figura 18. La transmisión del movimiento involucra un motor paso a paso, una polea conductora, una correa de transmisión y una polea de acople conducida para la perilla correspondiente, esto para cada eje de movimiento.

### Figura 17

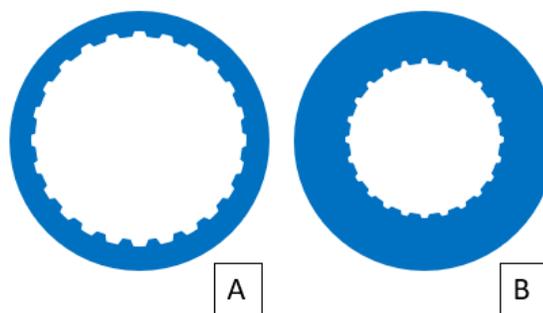
*Ubicación de los Acoples y Engranajes en las Perillas Correspondientes*



Las perillas del microscopio Nikon E200 no tienen el mismo tamaño, la perilla Eje Y mide 29,16 mm de alto y 22,23 mm de diámetro aproximadamente, por otra parte, la perilla Eje X mide 24,50 mm de alto y 17,86 mm de diámetro aproximadamente. Debido a esto, se deben diseñar las poleas de acople de cada perilla de acuerdo a sus medidas y forma circular.

### Figura 18

*Poleas de Acople de las Perillas Correspondientes*

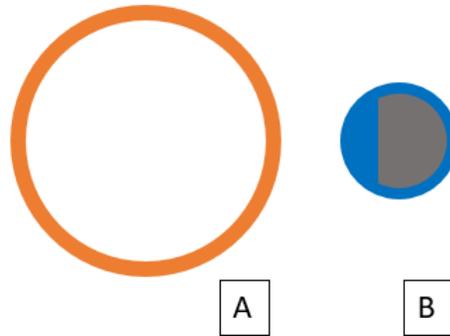


*Nota.* A. Acople perilla Eje Y. B. Acople perilla Eje X.

La correa de transmisión conecta a la polea conductora, que es la que genera el movimiento desde el motor paso a paso, a la polea de acople de la perilla que sigue el movimiento generad, de manera que, al girar una polea gira la otra.

### Figura 19

*Correa y Polea-Motor*

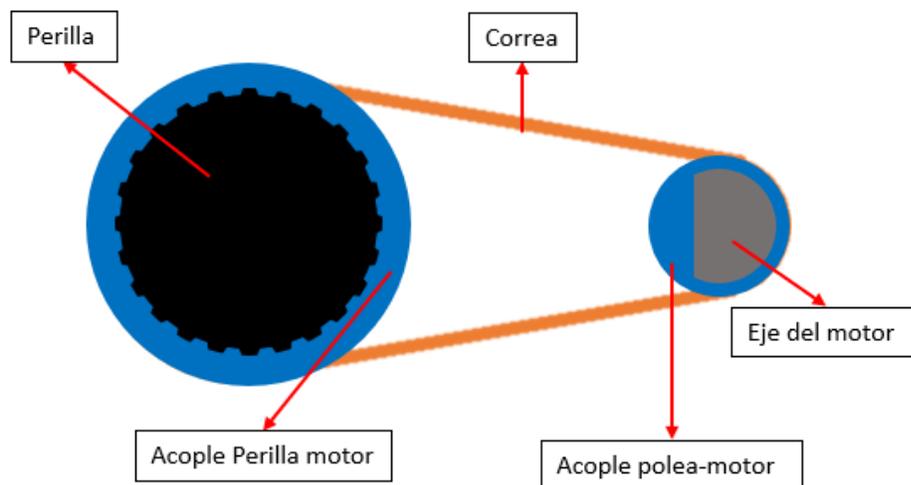


Nota. A. Correa de transmisión. B. Eje motor y polea conductora.

El ensamble de los componentes del diseño, ver Figura 20, involucra los elementos mencionados anteriormente. Este sistema de transmisión de movimiento tiene una observación importante, ya que puede estar limitado a la fuerza del motor. Es decir, de acuerdo al torque generado este tipo de mecanismo puede deslizar la polea en la correa y no transmitir el giro.

**Figura 20**

*Ensamble de los componentes Mecánicos del Segundo Diseño*



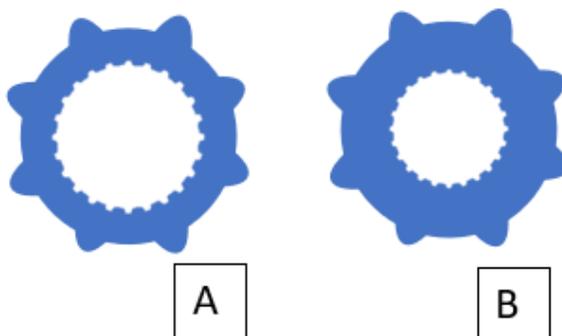
Este diseño no implica modificar la estructura física del microscopio Nikon E200, porque se utiliza el mismo sistema de movimiento bidireccional XY que maneja el equipo. Sin embargo, se debe garantizar un ensamblaje adecuado del prototipo sobre las perillas, considerando el peso y la estabilidad de la carcasa de fijación. Por lo anterior, el ensamblaje deberá ser fijo, sin que interfiera con la platina durante su desplazamiento bidireccional.

### **3.1.2.3 Tercer Diseño, Engranajes Perilla-Motor**

El tercer diseño planteado, involucra un mecanismo de transmisión de movimiento mediante engranajes. Los cuales, se ubican al igual que el diseño anterior, directamente en las perillas coaxiales del microscopio Nikon E 200, ver Figura 21. Debido a la forma irregular de las perillas se contempla el diseño de acoplos de material flexible que abracen las perillas y sobre estos el engranaje de cada una.

## Figura 21

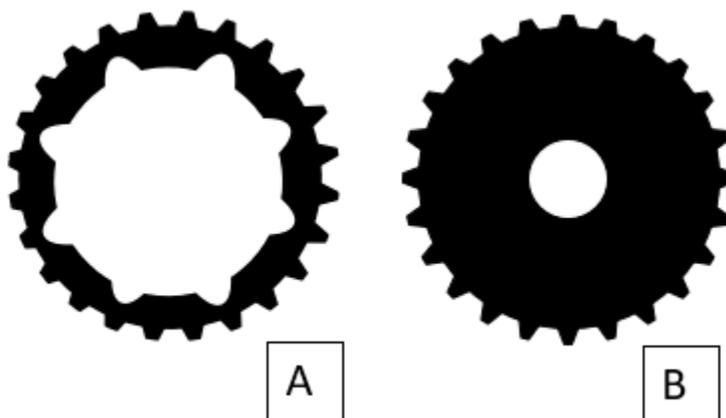
*Acoples Ubicados en las Perillas Correspondientes*



Nota. A. Acople perilla Eje Y. B. Acople perilla Eje X.

## Figura 22

*Engranajes para Perilla y Motor Correspondiente*

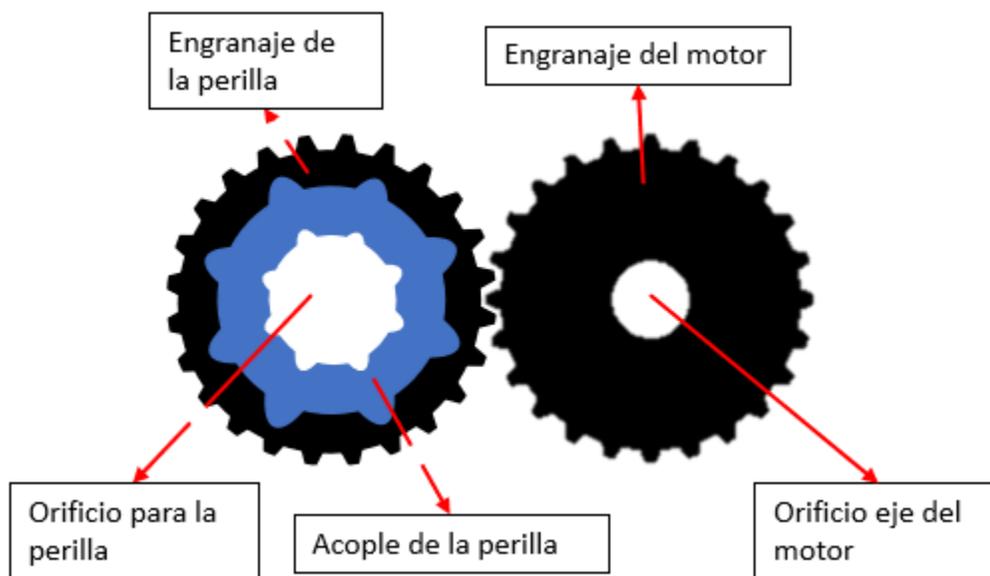


Nota. A. Engranaje para perilla coaxial. B. Engranaje para motor.

Este mecanismo de movimiento consiste en la transmisión mediante dos ruedas circulares dentadas una motriz y otra conducida, unidas diente a diente. En el diseño se establece que los engranajes, tanto del motor como de la perilla, tengan el mismo diámetro y número de dientes, para que la relación del movimiento sea 1:1. Adicionalmente, para favorecer el movimiento, se definen los engranajes de tipo helicoidal. Esto debido a las ventajas que permite que operen de forma más gradual y transmitir mayor potencia.

**Figura 23**

*Ensamble de los Componentes Mecánicos del Tercer Diseño*



### 3.1.3 Carcasa

De acuerdo con el resultado de diseño mecánico, evaluado y seleccionado, se define la carcasa que permitirá fijar el prototipo en el microscopio. Al igual que para el diseño de los componentes mecánicos, la carcasa se realiza en el software de diseño Autodesk Inventor. Teniendo en cuenta los tres diseños, observamos que el diseño 1, es considerablemente diferente en carcasa que los otros dos diseños.

Los materiales de construcción de la carcasa se eligen con una matriz de Pugh para la toma de decisiones. Los criterios de evaluación y su peso se definen acorde a su importancia en el prototipo. Por lo anterior, establecemos un material de impresión 3D, PLA, y dos materiales de construcción manual, acrílico y madera. Sometidos a los criterios de evaluación de, fabricación 30%, Funcionalidad 20%, Peso 20%, Resistencia 15%, Costo 15%.

La fabricación de la carcasa supone un reto porque independiente del resultado de diseño mecánico seleccionado, la carcasa debe tener las características de estable, resistente y liviana en

peso. Sin interferir con el funcionamiento del microscopio ni modificar sus piezas físicas de manera invasiva. Por tanto, una vez definido el diseño final de construcción, se requiera la toma de varias medidas e incluso fabricación de carcasas de prueba antes de la carcasa final.

### **3.2 Sistema de Control de Motores**

Para la programación del control de los motores se implementa el método de control escalar. Tiene como objetivo variar el voltaje de alimentación en proporción a la frecuencia en el motor. (Martínez & Galvis, 2006)

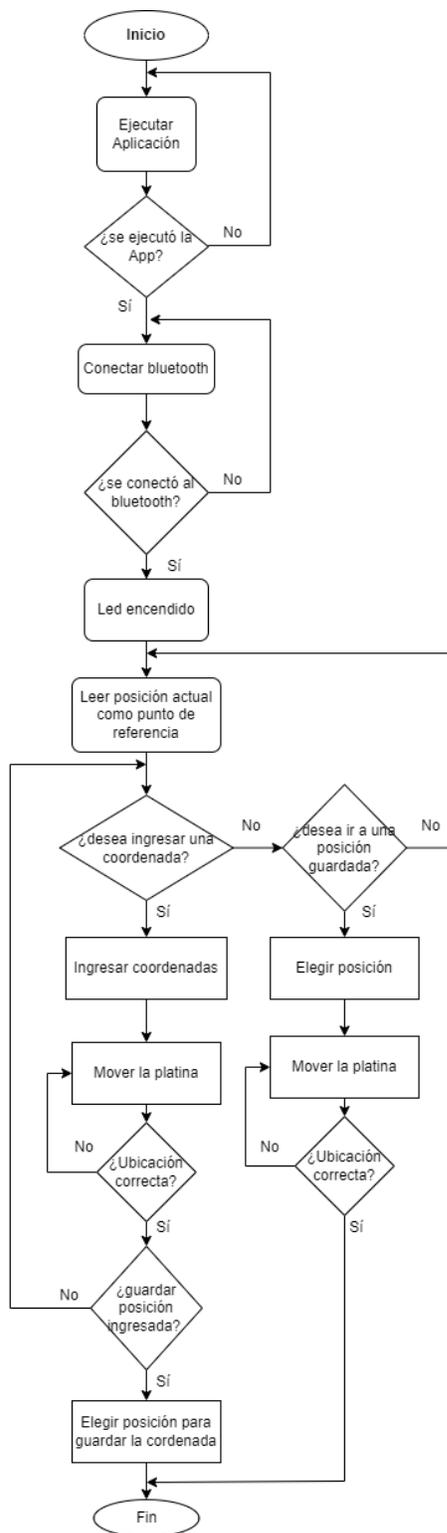
El control de los motores paso a paso se establece por medio de un código implementado en la plataforma Arduino. Es posible configurar la secuencia de los motores paso a paso, teniendo en cuenta la configuración de sus bobinas ya que estas definen de qué manera se pueden energizar. En este tipo de motores, la secuencia puede ser de paso completo, energizando solo una fase o dos fases a la vez; de medio paso, combinando una fase encendida y dos fases en la secuencia de paso completo; y micro paso, dividiendo el paso básico de un motor hasta 256 veces implementando ondas sinusoidales.

Se requiere que los motores se encuentren en una posición inicial de referencia para realizar el conteo de suma o resta de pasos hasta el desplazamiento a la coordenada deseada, por lo cual, en el Void Setup del programa se debe emplear una interrupción para que, una vez detectado el imán por el sensor de cada motor, éste se detenga. Lo anterior se realiza una única vez al momento de encender desde el switch On/Off del sistema motorizado.

Una vez establecido el punto de referencia de los motores, se define el código Void Loop necesario para su desplazamiento, de manera que los dos motores avancen o retrocedan hasta llegar a la coordenada deseada. Además de esto, se debe determinar la velocidad de desplazamiento para cada motor, de acuerdo a la opción elegida.

### **3.2 Aplicación Móvil para Interacción Usuario-Sistema Motorizado**

El funcionamiento de la aplicación se observa en el diagrama de flujo, Figura 24. Se determina que la posición actual una vez encendido el prototipo y conectado al bluetooth es la posición de referencia, debido a que el prototipo se debe instalar en el microscopio en esa posición para cada eje. Así, una vez se muevan los motores, sumen o resten los pasos correspondientes se tiene un mismo punto de referencia en los motores y en los ejes del microscopio. De acuerdo con el resultado del motor seleccionado, en la interfaz de la aplicación móvil, se debe establecer el desplazamiento para cada eje, es decir, si es conveniente avanzar o retroceder de a 1 paso, o precisar un rango de paso fijo para el desplazamiento, según sea el caso. Esto para efectos prácticos de manejo de la aplicación, en cuanto al desplazamiento de la platina por cada paso del motor.

**Figura 24***Diagrama de Flujo de la Aplicación*

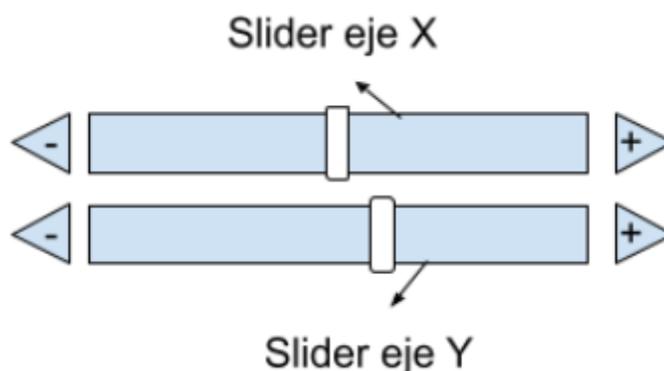
La aplicación móvil se realiza en el entorno de desarrollo de software MIT App Inventor. En primer lugar, se define el diseño de la interfaz de la aplicación, los botones y funcionalidad de cada uno.

### 3.3.1 Diseño de la Interfaz de Usuario

Para el movimiento de los motores en los ejes X y Y, se implementan dos Sliders (deslizadores), uno para cada eje, con el fin de que el usuario pueda mover en tiempo real cada motor. Adicionalmente al lado de cada Slider habrá un botón para aumentar o disminuir un paso de movimiento en el eje correspondiente, como lo indica la Figura 25.

**Figura 25**

*Diseño de Deslizadores de Motores en la Aplicación*

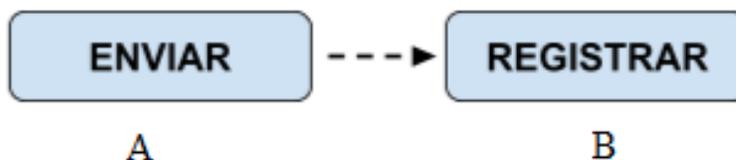


Una vez establecido el movimiento de los motores se definen los dos modos de trabajo de la aplicación. El primero es en estado “Registrar” el cual permite al usuario guardar una posición específica en uno de los botones habilitados para guardar coordenadas, es decir, el usuario moverá las sliders o pulsadores hasta conseguir la posición deseada y luego podrá guardarla. El segundo modo es en estado “Enviar”, en el que puede desplazar la platina ágilmente utilizando los Sliders o moverla paso a paso utilizando los botones laterales. Además de esto, en el estado “Enviar” el usuario puede desplazar la platina hacia las posiciones que haya guardado previamente seleccionando el botón correspondiente a la coordenada.

El estado o modo en el que se encuentre la aplicación podrá ser intercambiado pulsando uno de los dos botones ubicados en la parte superior de la pantalla, Figura 26; el botón pulsado actuará como switch, por lo que activa un modo y desactiva el otro.

### Figura 26

*Botones para intercambiar modos de Funcionamiento de la Aplicación*

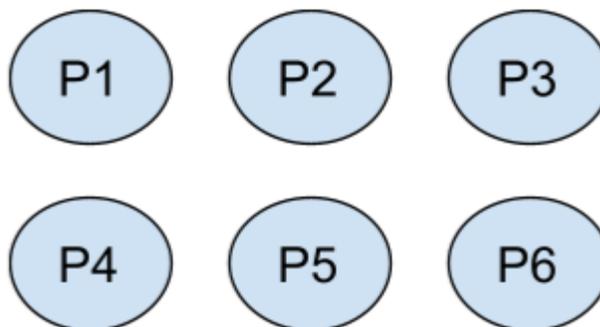


Nota. A. Botón en modo Enviar. B. Botón en modo Registrar.

Adicionalmente, se dispondrán seis botones en los cuales se podrá guardar posiciones previamente referenciadas, es decir, una vez ubicada la platina ya sea con las sliders o con los pulsadores de a pasos, se selecciona uno de los seis botones, distribuidos como en la Figura 27, donde se quiera guardar la posición. Las seis posiciones guardadas se pueden visualizar al presionar el botón “Registros”, el cual abrirá una ventana emergente con las coordenadas referentes a cada botón.

### Figura 27

*Botones para guardar Posiciones Previamente Ubicadas*



### **3.3.2 Base de Datos**

Para la funcionalidad de guardar posiciones de la platina del microscopio en la aplicación, se implementa la herramienta que ofrece MIT App Inventor llamada TinyDB. TinyDB es un componente no visible que almacena datos para una aplicación; esta herramienta es un almacén de datos persistente, es decir, los datos almacenados estarán disponibles cada vez que se ejecute la aplicación. Para almacenar un elemento de datos, se debe especificar una etiqueta en bloque de texto donde se guardarán dichos datos y serán recuperados al llamar a la etiqueta (App Inventor, 2017) Con este componente podemos almacenar los valores de los movimientos de los motores, que a su vez sería la posición de la platina; esta base de datos almacena la información en el propio celular donde esté la aplicación instalada, por lo que no es necesario la conexión a internet para tener acceso a esta información.

### **3.3.3 Conectividad Aplicación con Sistema Motorizado**

La conexión de la aplicación móvil con el sistema de motores paso a paso se realiza mediante Bluetooth, utilizando el módulo HC-05. Este módulo permite la conexión bidireccional en un alcance aproximado de 20 metros; además permite una variación en su configuración de “maestro” o “esclavo”. Para el desarrollo de este proyecto, se utiliza el módulo bluetooth como “esclavo”, con el fin de que se pueda conectar el dispositivo móvil desde donde se controlará la aplicación, que actuará como “maestro”.

La interfaz de la aplicación presenta un botón llamado “Bluetooth” el cuál al pulsarlo conectará con el sistema a través del MAC (Media Access Control) del módulo, un indicador único para dispositivos de red con el que se logra conectar rápidamente el dispositivo móvil ya que se tiene especificado en la codificación de la aplicación.

### **3.4 Pruebas de Funcionamiento del Sistema**

El objetivo de las pruebas de funcionamiento es determinar la efectividad en la transmisión del desplazamiento desde la recepción de datos vía Bluetooth, hasta la platina del microscopio. Es decir, que el usuario al indicar una posición desde la aplicación, el sistema motorizado se desplace efectivamente a esa coordenada.

Aunque el sistema tiene dos modos de funcionamiento, uno manual desde los pulsadores y uno desde la aplicación móvil, se establece realizar las pruebas correspondientes al desplazamiento dirigido desde la aplicación a cada eje y una prueba adicional para verificar el correcto almacenamiento de las coordenadas registradas y guardadas en la aplicación por el usuario.

#### ***3.4.1 Desplazamiento en el Eje X y Y***

Para la realización de la prueba de funcionamiento inicialmente se debe ubicar la platina en un punto de referencia específico en el eje X y Y. Una vez ahí, se procede a enviar desde la aplicación un rango de pasos, para con esto verificar el recorrido del sistema motorizado en los ejes. Estas pruebas se diseñan para obtener la mayor información y poder caracterizar mecánicamente los motores. Por eso, primero se determina los rangos de pasos de desplazamientos en los que será evaluado el desplazamiento de cada motor. Segundo, el número de repeticiones por toma que se realizara.

#### ***3.4.2 Almacenamiento de Posiciones***

Adicionalmente, se realiza una prueba para comprobar que las posiciones son guardadas correctamente desde la aplicación, entonces, se procede a guardar una posición y reiniciar el programa, para luego desde el botón donde se guardó la posición indicar la misma coordenada.

Lo anterior permite verificar si el desplazamiento de los motores una vez guardada la posición es el adecuado.

Puesto que la aplicación permite el almacenamiento de seis posiciones con sus respectivas coordenadas X y Y. Establecemos realizar seis pruebas de almacenamiento en una placa histológica, repetidas un número de ocho veces.

## Capítulo IV

### Resultados y Análisis de Resultados

Al implementar la metodología propuesta en el capítulo anterior, se obtienen los resultados que permiten cumplir con los objetivos específicos y por ende con el objetivo general del proyecto. Estos resultados se enumeran: i) Hardware del prototipo ii) Control de Motores iii) Aplicación móvil.

#### 4.1 Hardware del Prototipo

Inicialmente, se debe elegir el diseño mecánico del prototipo final, de acuerdo con la metodología, para esto se utiliza la Matriz de Pugh, con seis criterios de evaluación, cada uno con un peso definido de acuerdo con la relevancia en nuestro proyecto. Siendo funcionalidad, fabricación y manejo facial las más importantes, y un rango de 1 a 5 para la calificación de cada uno, donde 1 es la calificación más baja y 5 la más alta.

Como resultado de la evaluación, el Diseño 3 obtuvo el mayor puntaje con 78 puntos, ver la Tabla 1. Claramente superior a los otros dos diseños evaluados, principalmente para el criterio de fabricación. Por lo anterior se establece la realización del Diseño 3, prototipo de engranaje perilla-motor, para dar solución al problema planteado de ¿cómo regular el movimiento bidireccional de las perillas de desplazamiento del portaobjetos de un microscopio óptico mediante una aplicación móvil?, y cumplir con los objetivos planteados adecuadamente.

**Tabla 1**

*Matriz de Pugh de Diseño del Sistema*

	Diseño 1		Diseño 2		Diseño 3	
	Puntos (1-5)	Peso	Puntos (1-5)	Peso	Puntos (1-5)	Peso
Costo (15)	1	3	3	9	3	9
Funcionalidad (20)	5	20	3	12	4	16
Precisión (15)	5	15	3	9	3	9

Fabricación (20)	1	4	2	8	5	20
Manejo Fácil (25)	4	20	4	20	4	20
Seguridad (5)	3	3	5	5	4	4
Total		65		63		78

Como resultado de la evaluación realizada con la Matriz de Pugh de motores, ver Tabla 2. El motor paso a paso 28BYJ-48, obtuvo la mayor calificación, por encima del Encoder y el motor Nema 17, principalmente, por el criterio de costo. Es importante mencionar que este motor es económico, accesible, liviano y representa un candidato ideal para este proyecto.

**Tabla 2**

*Matriz de Pugh Motores Paso a Paso*

	Encoder		Nema 17		28BYJ-48	
	Puntos (1-5)	Peso	Puntos (1-5)	Peso	Puntos (1-5)	Peso
Costo (20)	1	4	2	8	5	20
Funcionalidad (20)	5	20	5	20	4	16
Precisión (15)	4	12	5	15	4	12
Programación (5)	4	4	4	4	5	5
Tamaño (25)	5	25	1	5	4	20
Peso (15)	5	15	1	3	4	12
Total		80		55		85

#### **4.1.1 Circuito Electrónico**

Una vez determinado el prototipo mecánico a implementar para el diseño y el motor paso a paso, se establecen los componentes electrónicos del prototipo. El circuito del sistema lo componen una serie de materiales que permiten el control adecuado de las perillas en los ejes X y Y.

#### 4.1.1.1 Motor Paso a Paso 28BYJ-48

Este motor, Figura 4, suele ser usado en aplicaciones que no requieren mucha fuerza. Es un motor que por sus características garantizan un funcionamiento adecuado, ya que además de ser un motor liviano, económico y sencillo, tiene una relación de reducción total de 1/4076, es decir, cada paso del motor recorre un ángulo de  $0,0883^\circ$  grados por paso, lo que permite un desplazamiento mínimo óptimo para esta aplicación.

**Tabla 3**

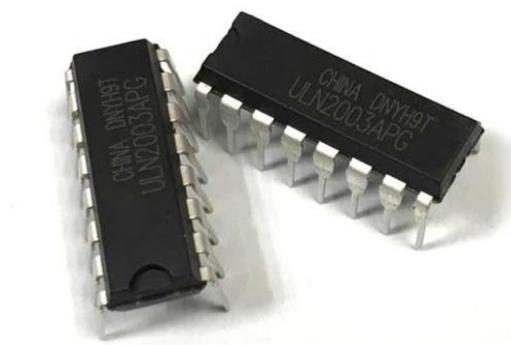
*Características de Funcionamiento Motor 28BYJ-48*

<i>Característica</i>	<i>Valor</i>
<i>Voltaje de operación</i>	5V – 12 V
<i>Corriente de operación</i>	0.2 A
<i>Potencia</i>	20W
<i>Ángulo por paso</i>	$5.625^\circ$
<i>Total, pasos por vuelta</i>	4096
<i>Torque</i>	0.3kg/cm
<i>Velocidad</i>	1900 rpm
<i>Temperatura de operación</i>	$-45^\circ\text{C} \sim + 124^\circ\text{C}$
<i>Peso</i>	30 gramos

Nota. Adaptada de (Vistronica, 2021)

#### 4.1.1.2 Circuito integrado ULN2003

Para realizar el control de los motores paso a paso, se implementa un driver de salida para microcontroladores ULN2003, Figura 5. La finalidad de este integrado es la de regular el voltaje y corriente suministrados al motor para de esta manera controlar la velocidad del giro.

**Figura 28***Circuito Integrado ULN2003*

Nota. Tomada de (Made In China, 2021)

**Tabla 4***Datos Técnicos Circuito Integrado ULN2003APG*

<i>Características</i>	<i>Valor</i>
<i>VCEmáx</i>	50V
<i>Tensión colector-emisor máxima</i>	
<i>I<sub>max</sub></i>	500 mA
<i>Corriente máxima por canal</i>	
<i>VCE (sat.)</i>	1V - 1.3V
<i>Tensión colector-emisor (saturado)</i>	
<i>V<sub>in</sub></i>	1.7V - 2.2V
<i>Tensión de entrada en conducción</i>	
<i>I<sub>in</sub></i>	0.93mA a 1.35mA
<i>Corriente de entrada máxima</i>	

Nota. Adaptado de (Made In China, 2021)

**4.1.1.3 Arduino Nano**

Arduino Nano es una placa compatible con la basada en el ATmega328, tiene la misma funcionalidad del Arduino UNO, pero en un paquete más pequeño, sin un conector de alimentación CC y conexión con cable USB Mini-B. (Arduino , 2021) Esta placa es la encargada del control de los motores del sistema, ya que lee la entrada, establecida por el sensor de posición y la convierte en una salida para así activar el movimiento del motor.

**Tabla 5***Especificaciones Técnicas del Arduino Nano*

<b>Característica</b>	<b>Especificación</b>
<i>Microcontrolador</i>	ATmega328
<i>Arquitectura</i>	AVR
<i>Tensión de funcionamiento</i>	5V
<i>Memoria Flash</i>	32 KB
<i>SRAM</i>	2 KB
<i>Pines de entrada analógicos</i>	8
<i>Pines de E/S digitales</i>	22 (de los cuales 6 son PWM)
<i>Voltaje de entrada</i>	7-12 V

Nota. Adaptado de (Arduino , 2021)

**4.1.1.4 Módulo Bluetooth HC-05**

Este módulo, Figura 29, permite conectar de forma inalámbrica (bluetooth) el código de control desarrollado en el Arduino Nano a un Smartphone, con la comodidad de ejecución de un puerto serial. En la comunicación Bluetooth, el módulo HC-05 está configurado como esclavo, es decir, espera que un dispositivo bluetooth se conecte a éste para escuchar peticiones de conexión. En cuanto a la compatibilidad, este módulo funciona para Smartphone Android, pero no con iOS.

**Figura 29***Módulo Bluetooth HC-05*

Nota. Tomado de (Naylamp Mechatronics, 2021)

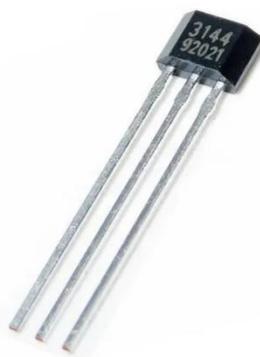
**Tabla 6***Especificaciones Técnicas Modulo HC-05*

<i>Característica</i>	<i>Especificación</i>
<i>Voltaje de operación</i>	3.6V - 6V DC
<i>Consumo corriente</i>	50mA
<i>Bluetooth</i>	V2.0+EDR
<i>Alcance</i>	10 metros
<i>Velocidad de transmisión</i>	1200bps - 1.3Mbps
<i>Contabilidad</i>	Android
<i>Dimensión y peso</i>	37 x 16 mm, 3.6 gramos

Nota. Adaptado de (Naylamp Mechatronics, 2021)

**4.1.1.5 Sensor Efecto Hall Magnético A3144**

El sensor A3144, Figura 30, de efecto hall con salida digital y retención de estado, permite cambiar de cero a uno ante la presencia de un campo electromagnético. Su objetivo en el circuito electrónico del sistema es el de detectar la posición de referencia de los motores.

**Figura 30***Sensor A3144 de Efecto Hall*

Nota. Tomada de (Mercado Libre, 2021)

**Tabla 7***Especificaciones técnicas Sensor A3144 Efecto Hall*

<i>Característica</i>	<i>Especificación</i>
<i>Voltaje de funcionamiento</i>	5V - 24V DC

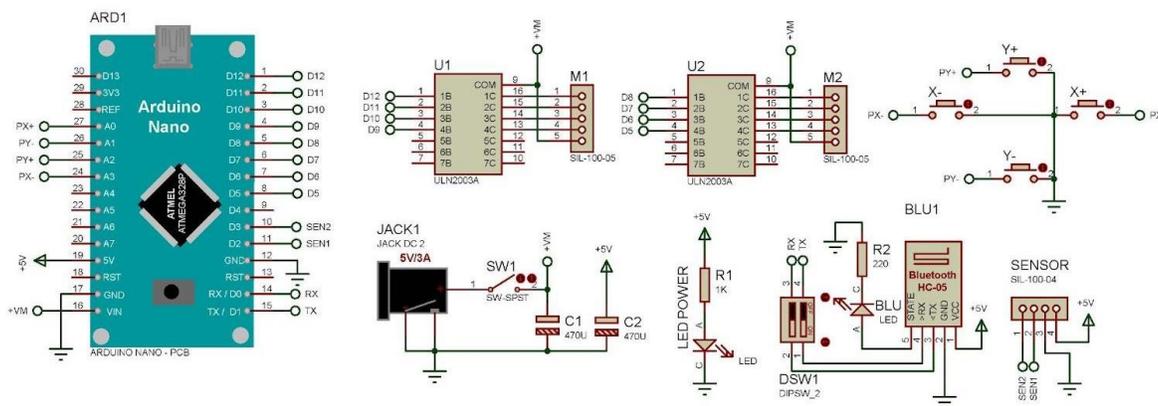
<i>Voltaje de alimentación, VCC:</i>	28 V
<i>Voltaje de salida inversa, VOUT</i>	-0,5V
<i>Corriente de salida, IOUT:</i>	25 mA
<i>Densidad de flujo magnético, B</i>	Ilimitada
<i>Rango de temperatura de funcionamiento</i>	-40 ° C a + 85 ° C

Nota. Tomado de (All DataSheet, s.f.)

Para el diseño del circuito electrónico se implementó el software Proteus. En la Figura 31, se muestran las conexiones con los diferentes componentes, cada motor se conecta a un circuito integrado ULN2003 para luego conectarlo al Arduino Nano que los controla, el módulo bluetooth HC-05 se conecta a un Dip Switch DSW1 para deshabilitar el bluetooth cuando se vaya a programar, se tiene un conector para del adaptador JACK 1 a 5V/3A además de un led de encendido y los cuatro pulsadores para el desplazamiento de los motores. Adicionalmente, se disponen los conectores para los sensores de tipo Hall.

**Figura 31**

*Esquema del Circuito del Sistema en Proteus*



Nota. Autoría Propia.

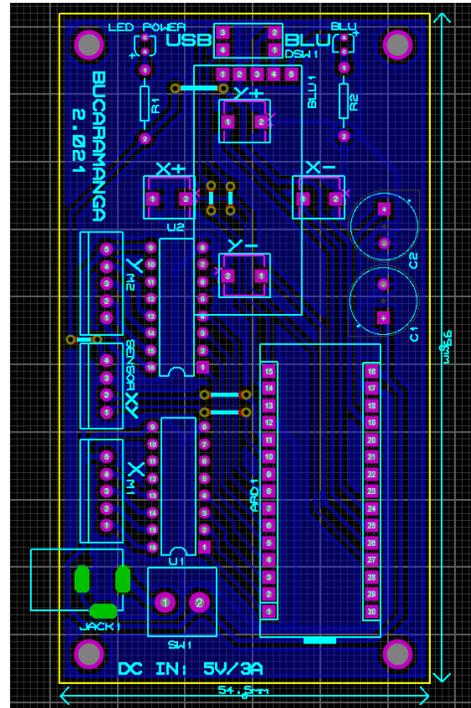
Una vez realizado el diseño del circuito electrónico en Proteus, se procede a hacer la PCB (Printed Circuit Board) utilizando el mismo software de diseño. La realización de esta placa se hizo siguiendo la norma IPC 2220 para diseño de circuito impreso. Los diversos materiales que

conforman el circuito electrónico se distribuyeron de manera que ocupen el mínimo espacio.

Como se observa en la Figura 32, las dimensiones de la placa son de 54,5 mm de ancho por 99 mm de largo.

### Figura 32

*Vista Superior del Enrutado Electrónico*



Nota. Autoría Propia.

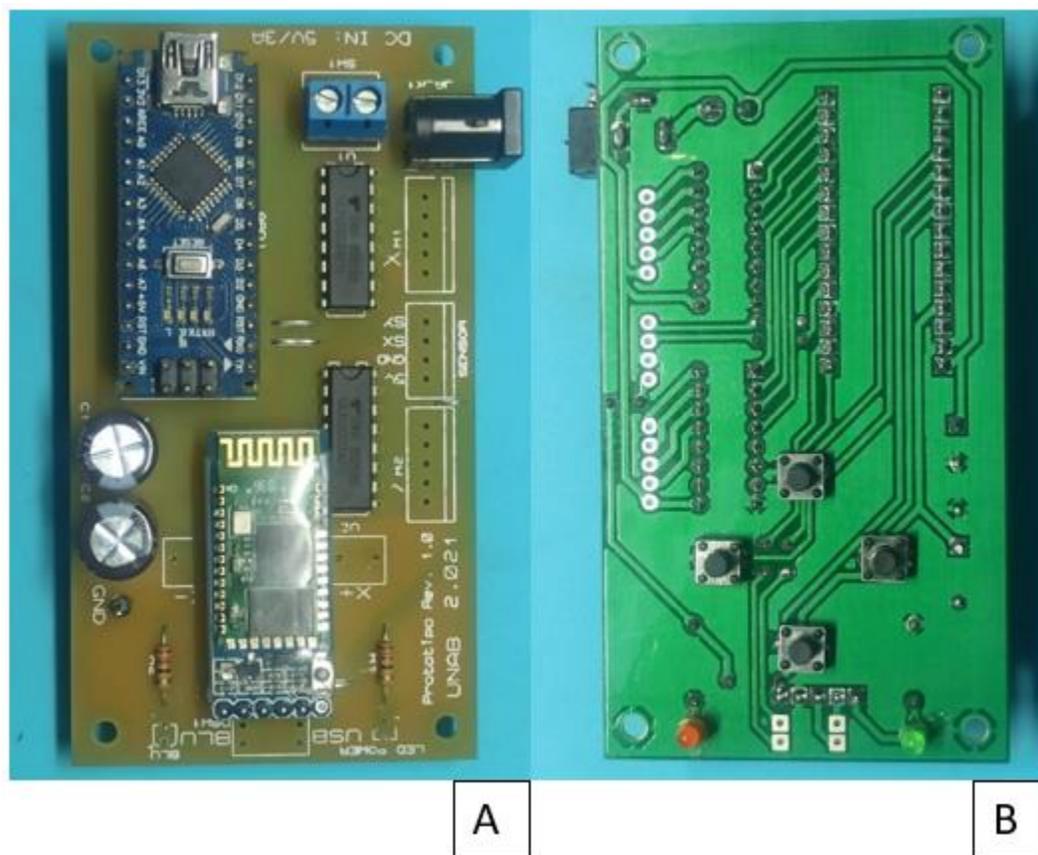
Aunque el objetivo del proyecto es conseguir que el usuario por medio de una aplicación móvil manipule las perillas del microscopio, como se estableció en la metodología, se adicionan cuatro pulsadores integrados a la tarjeta, para mover pasos de ‘a uno’ manualmente en los ejes de movimiento X y Y. los cuales están ubicados de manera opuesta a la tarjeta y sus componentes electrónicos, es decir por las pistas, como se ve en la Figura 33, lo anterior con el fin de que el usuario pueda manipularlo sin interferir con la electrónica interna de la tarjeta.



movimiento manual de los motores. Los pulsadores manuales se encuentran ubicados también en la cara inferior de la tarjeta electrónica. Esto permite facilidad de manejo por parte del usuario al momento de integrar la carcasa al microscopio.

### Figura 34

*Vista Superior e inferior de la Tarjeta Electrónica*



Nota. A. Vista Superior B. Vista Inferior. Autoría propia.

#### 4.1.2 Componentes Mecánicos

De acuerdo con el diseño mecánico seleccionado, de engranajes perilla-motor y según la metodología de diseño mecánico propuesta para este diseño, se realizan los componentes mecánicos en el software de diseño Autodesk Inventor. La ventaja que ofrece este diseño es que involucra directamente el mecanismo de movimiento de las perillas coaxiales del microscopio

para su funcionamiento, por lo que, observando su sistema, implementaremos los engranajes correspondientes a cada eje.

El microscopio Nikon E200 implementa dos perillas concéntricas, una de ellas se mueve junto con el tubo en el que se encuentran ubicadas. por lo que el diseño más adecuado para la transmisión del movimiento de los motores hacia las perillas sería con un sistema de engranajes que pueda acoplarse independientemente a cada perilla; a su vez estos están engranados al eje conductor de cada motor paso a paso, posibilitado su movimiento de acuerdo a lo establecido en el sistema de control.

Debido a la forma geométrica de las empuñaduras ergonómicas de cada perilla y que se requiere un alto grado de ajuste entre estas piezas y los engranajes, para asegurar el adecuado movimiento con los motores. Es preciso utilizar un material un poco maleable para los acoples iniciales que estarán en contacto con la perilla y los engranajes; de este modo, obtenemos dos piezas para cada perilla, que serán los ejes conducidos desde el engranaje del eje conductor.

La matriz de Pugh, Tabla 8, para la elección del material de impresión de los acoples da como resultado el material Poliuretano Termoplástico (TPU). Considerando los criterios de evaluación, por las características del material por su flexibilidad y adaptación es un candidato óptimo para la fabricación de los acoples.

### **Tabla 8**

*Matriz de Pugh materiales de Impresión de los Acoples*

	TPU		PLA		TPE	
	Puntos (1-5)	Peso	Puntos (1-5)	Peso	Puntos (1-5)	Peso
Costo (15)	4	12	4	12	3	9
Funcionalidad (20)	5	20	2	8	2	8
Fabricación (30)	5	30	5	30	5	30
Resistencia (15)	4	12	4	12	2	6

Peso (20)	4	16	4	16	5	20
Total	90		78		73	

Los engranajes del mecanismo, son los principales responsables de la transmisión del movimiento. La Tabla 9, muestra la matriz de Pugh teniendo en cuenta los criterios de evaluación, Fabricación 30%, Funcionalidad 20%, Peso 20%, Resistencia 15%, Costo 15%. El Ácido poliláctico (PLA) es considerablemente superior que el aluminio y madera.

**Tabla 9**

*Matriz de Pugh Materiales de Impresión de los Engranajes*

	PLA		ALUNINIO		MADERA	
	Puntos (1-5)	Peso	Puntos (1-5)	Peso	Puntos (1-5)	Peso
Costo (15)	4	12	1	3	5	15
Funcionalidad (20)	4	16	4	16	4	16
Fabricación (30)	5	30	3	18	2	12
Resistencia (15)	4	12	5	15	1	3
Peso (20)	5	20	3	12	4	16
Total	90		64		62	

La primera pieza es un acople impreso en material TPU (poliuretano termoplástico); dentro de las características de este elastómero, está su alta flexibilidad y durabilidad en la transformación, esto es debido a su composición química en la que presenta secuencias alternas de segmentos duros y blandos. La segunda pieza sería la parte de los engranajes, para ello se implementa el material de PLA (ácido poliláctico), un material resistente a factores externos como el calor, bastante rígido y con alta resistencia al impacto, lo que lo hace adecuado para cumplir la función de los engranajes en nuestro proyecto.

Los engranajes del eje conductor, es decir, los que van acoplados al eje del motor, serán completamente de PLA, y tendrán la misma dimensión radial de los engranajes del eje

conducido, que va acoplado a la perilla, para obtener una relación uno a uno entre dichos engranajes. En cada uno de esos engranajes conductores, habrá un orificio circular de 5 milímetros de diámetro, en donde se ubicará un imán de neodimio, utilizado para sensar el número de vueltas del motor y con ello la posición de la platina.

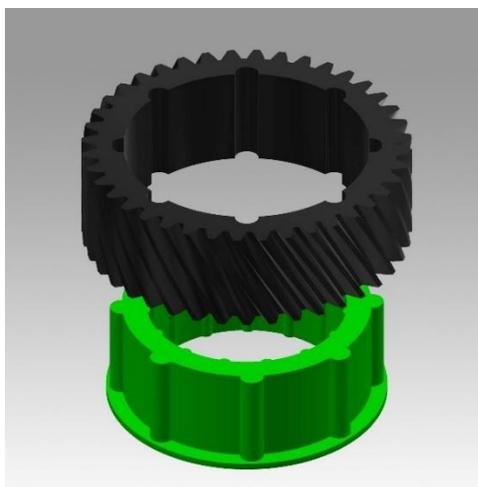
Los engranajes diseñados son de tipo helicoidal, es decir, que sus dientes están posicionados en ángulo con respecto al eje de rotación. Normalmente estos engranajes se utilizan para transmisión entre ejes paralelos, ya que se logra mayor eficiencia y provocan menos ruido. En este caso se utilizan en paralelo, con un ángulo de talla o inclinación de  $30^\circ$  en ambos engranajes, con relación 1:1, es decir, del mismo diámetro. El contacto comienza al extremo del diente hasta que, de manera gradual, se acoplan completamente, lo que permite una ejecución más suave y lisa. Con estas características, se obtiene un sistema que conservará la misma velocidad y fuerza de transmisión entre el engranaje acoplado al motor y el engranaje acoplado a la perilla. Todos los engranajes tienen 40 dientes y 23,094 mm de radio, sin embargo, los engranajes ubicados en el motor tienen una anchura de cara de 15mm, 5mm menor al engranaje ubicado en la perilla, esto con el fin dar un acople completo al eje del motor.

Para el engranaje que va sujeto a la perilla, fue necesario implementar un sistema de acoplamiento entre la perilla y el engranaje, con el fin de lograr un mejor agarre entre las partes mencionadas. En la Figura 35, se puede observar el acople y el engranaje diseñado para una de las perillas.

Ambos acoples (perilla del eje X y perilla del eje Y) fueron impresos en material de TPU, por las características de maleabilidad de este material, al 50% de relleno, en la Tabla 10. Se muestran los parámetros característicos de la impresión de estos acoples.

**Tabla 10***Características de impresión Acoples de Engranajes*

<i>Característica</i>	<i>Especificación</i>
<i>Boquilla de extracción</i>	0.4mm /capa 0.2mm
<i>Velocidad</i>	30mm/s
<i>Temperatura de extracción</i>	190°C
<i>Temperatura de cama</i>	60°C
<i>Densidad de relleno</i>	50%
<i>Paredes</i>	3 (0.88mm)
<i>Material</i>	TPU

**Figura 35***Ensamble de Acople y Engranaje ubicado en la perilla*

En el caso de los engranajes de los motores, Figura 36, se imprimió una rueda dentada con para cada motor con un agujero de 5 mm de radio en el que se incrusta un imán de neodimio, con el fin de utilizarlo como referencia para el sensor que registra la posición, ya que para esto se implementará un sensor de tipo Hall.

### Figura 36

#### *Engranajes de los Motores*



Tanto los engranajes de los motores como los de las perillas fueron impresos en material de PLA con un 50% de relleno, lo que les proporciona la firmeza y la rigidez necesaria para cumplir la función de transmisión de potencia desde los motores hacia las perillas, las características de impresión de estos engranajes se muestran en la Tabla 11.

**Tabla 11**

#### *Características de Impresión Engranajes*

<i>Característica</i>	<i>Especificación</i>
<i>Boquilla de extracción</i>	0.4mm /capa 0.2mm
<i>Velocidad</i>	60mm/s
<i>Temperatura de extracción</i>	190°C
<i>Temperatura de cama</i>	60°C
<i>Densidad de relleno</i>	50%
<i>Paredes</i>	3 (0.88mm)
<i>Material</i>	PLA

En consecuencia, obtenemos un par de engranajes de PLA con acoplamientos en TPU para cada una de las perillas, estos serán los engranajes conducidos; y un par de engranajes totalmente de PLA que se anclan a los motores para cumplir la función de eje conductor. En la Figura 37, se muestra el sistema de engranajes fabricado.

**Figura 37***Sistema de Engranajes y Acoples*

### **4.1.3 Carcasa**

Una vez fabricado el circuito electrónico y los componentes mecánicos, se fabrica la carcasa de fijación que ensamblara estos dos sistemas. Todo el mecanismo debe estar articulado de manera fija con el microscopio, integrando los engranajes, los motores y el circuito electrónico, para lo que se requiere una carcasa ligera y firme. Debido a las irregularidades propias de la platina, ver Figura 1, Vista inferior del microscopio Nikon Eclipse E200, se deben tomar medidas milimétricas con ayuda de un calibrador para luego diseñar dimensionalmente la carcasa del prototipo. Para ajustar el prototipo al microscopio se emplean dos orificios ubicados en la parte inferior de la platina del microscopio, ver Figura 2, Vista inferior platina microscopio Nikon Eclipse E200.

El material de construcción de la carcasa según lo definido en la metodología y el resultado de calificación de la matriz de Pugh, ver Tabla 12. El ácido poliláctico (PLA) obtuvo mayor calificación sobre el acrílico y la madera, con 84 puntos totales. En funcionalidad y

fabricación por las características mecánicas del polímero PLA es superior al acrílico y la madera. Además de acuerdo con las características físicas de la platina, del tubo que dispone las perillas y del espacio de trabajo, es necesario utilizar un método de fabricación de la carcasa bastante preciso, para ello es apropiado la impresión 3D y el PLA es ideal para esta aplicación.

**Tabla 12**

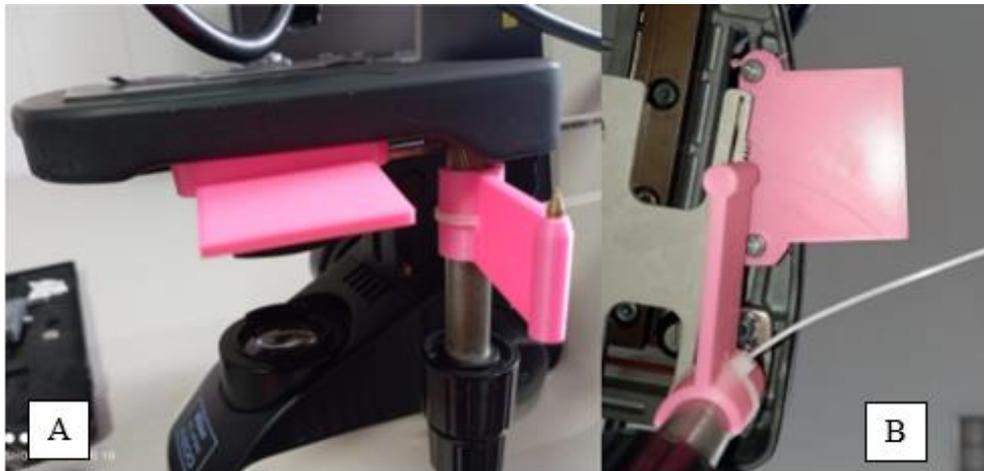
*Matriz de Pugh materiales de impresión de la carcasa*

	PLA		ACRILICO		MADERA	
	Puntos (1-5)	Peso	Puntos (1-5)	Peso	Puntos (1-5)	Peso
Costo (15)	4	12	3	9	5	15
Funcionalidad (20)	5	20	3	12	3	12
Fabricación (30)	4	24	2	12	2	12
Resistencia (15)	4	12	2	6	5	15
Peso (20)	4	16	3	12	3	12
Total		84		51		66

Para el diseño de la carcasa, se realizó un primer molde de la base en donde se anclará la carcasa del sistema, como la mostrada en la Figura 38, para esto se tienen en cuenta dos agujeros roscados que se encuentran en la parte de abajo de la platina, ver Figura 2, Vista inferior platina microscopio Nikon Eclipse E200, los cuales se aprovechan para sujetar la carcasa y los componentes dentro de esta. Además de esta base, se imprime un acople para el tubo donde se ubican las perillas, anexando un brazo para marcar la distancia de éste con respecto a lo que llamamos base de sujeción de la carcasa. El material utilizado para las piezas de pruebas es PLA impreso al 20% de relleno, con lo que obtenemos una pieza firme y ligera.

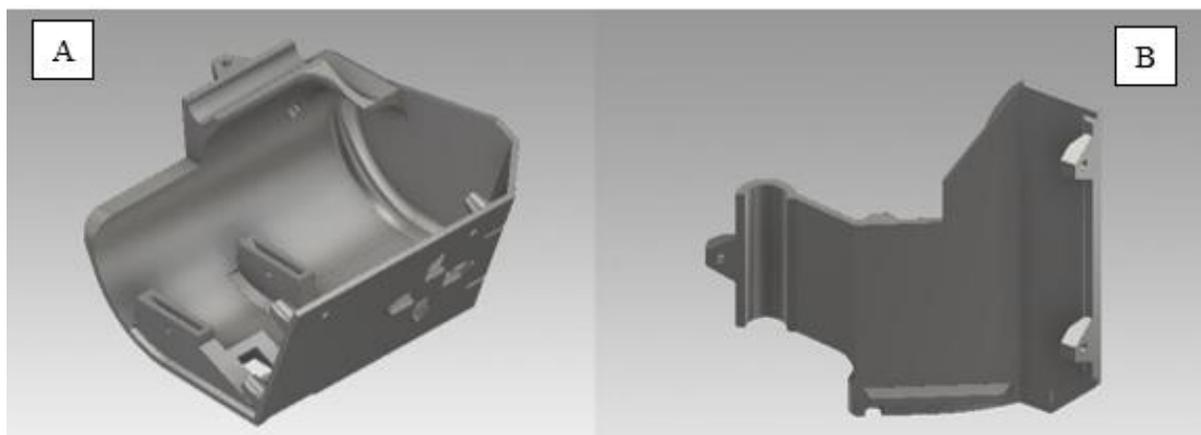
## Figura 38

### *Piezas de Prueba para la Carcasa*



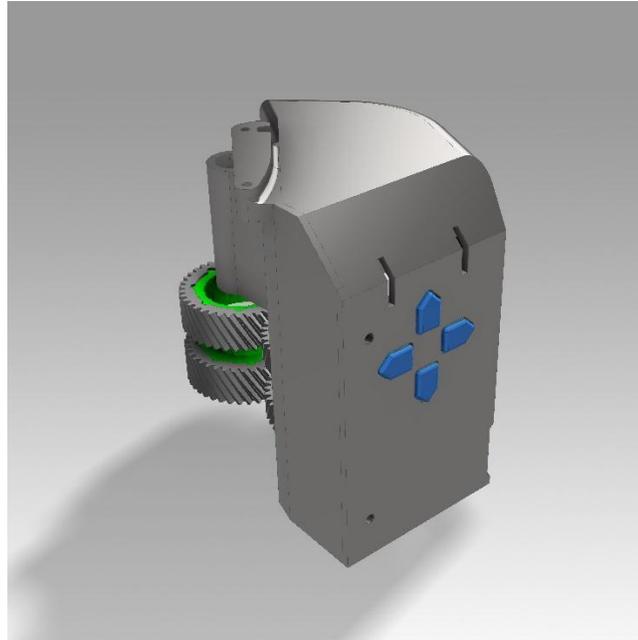
Nota. A. Vista lateral. B. Vista Inferior.

A partir de la información obtenida de las piezas de prueba se diseña la estructura compacta de la carcasa. Esta carcasa, Figura 40, consta de dos partes que irán empalmadas entre sí, con lo que obtenemos una estructura más firme y compacta. Una de las partes, la cubierta de fijación debe fijarse a la platina del microscopio y al tubo en el que se disponen las perillas; unida a ésta se encuentra la cubierta principal, en la que se disponen los dos motores y los engranajes, además de la placa circuito que integra los botones de desplazamiento. Adicional a estas dos piezas mencionadas, se realizan dos piezas, como la mostrada en la Figura 39, para fijar cada uno de los motores con el fin de que los estos obtengan una sujeción más firme con la carcasa.

**Figura 39***Soporte para Motores***Figura 40***Diseño de la Carcasa*

Nota. A. Cubierta Principal. B. Cubierta de Fijación.

Dimensionalmente, la estructura tiene una altura de 12 centímetros, en la que se puede posicionar de manera vertical la placa circuito que mide 9,9 centímetros, dejando visibles frontalmente los pulsadores, como se muestra en la Figura 41.

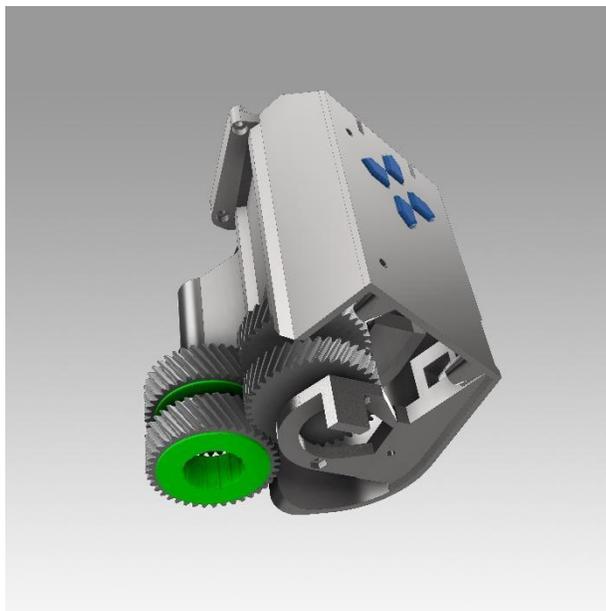
**Figura 41***Renderizado del Diseño de la Carcasa*

La estructura completa está diseñada con el material de PLA, con relleno del 20% en la mayor parte, con lo que se obtiene un peso neto de 30 gramos, teniendo en cuenta los demás componentes que la integran, como lo son los motores, la placa y los engranajes, el peso estimado de todo el sistema es de 250 gramos, un peso que no influye negativamente en el adecuado funcionamiento del microscopio.

La Figura 42 es una vista inferior de todo el sistema, en esta se puede observar la disposición de los engranajes conductores dentro de la carcasa, la cual fue diseñada para ocupar la menor área posible en el espacio de trabajo del microscopio.

**Figura 42**

*Renderizado del Diseño de la Carcasa. Vista inferior.*



Luego de tomar las medidas necesarias y de implementar piezas de pruebas para diseñar la carcasa en la que se integran los diferentes componentes del sistema, se procedió a imprimir dicha carcasa, para esto, se imprimió cada pieza por separado.

Para las tapas de la carcasa, es decir la cubierta principal y la cubierta de fijación, se utilizó el material de PLA con las características de impresión mostradas en la Tabla 13 y Tabla 14.

**Tabla 13**

*Características de Impresión Cubierta Principal*

<i>Característica</i>	<i>Especificación</i>
<i>Boquilla de extracción</i>	0.4mm /capa 0.2mm
<i>Velocidad</i>	60mm/s
<i>Temperatura de extracción</i>	190°C
<i>Temperatura de cama</i>	60°C
<i>Densidad de relleno</i>	30%
<i>Paredes</i>	3 (0.88mm)
<i>Material</i>	PLA

**Tabla 14***Características de Impresión Cubierta de Fijación*

<b>Característica</b>	<b>Especificación</b>
<i>Boquilla de extracción</i>	0.4mm /capa 0.2mm
<i>Velocidad</i>	60mm/s
<i>Temperatura de extracción</i>	190°C
<i>Temperatura de cama</i>	60°C
<i>Densidad de relleno</i>	60%
<i>Paredes</i>	3 (0.88mm)
<i>Material</i>	PLA

El soporte para los motores se imprimió con una densidad de relleno del 100% con el fin de darle mayor firmeza para soportar el peso de los motores y la vibración causada por su movimiento.

**Tabla 15***Características de Impresión Soporte para Motores*

<b>Característica</b>	<b>Especificación</b>
<i>Boquilla de extracción</i>	0.4mm /capa 0.2mm
<i>Velocidad</i>	60mm/s
<i>Temperatura de extracción</i>	190°C
<i>Temperatura de cama</i>	60°C
<i>Densidad de relleno</i>	100%
<i>Paredes</i>	3 (0.88mm)
<i>Material</i>	PLA

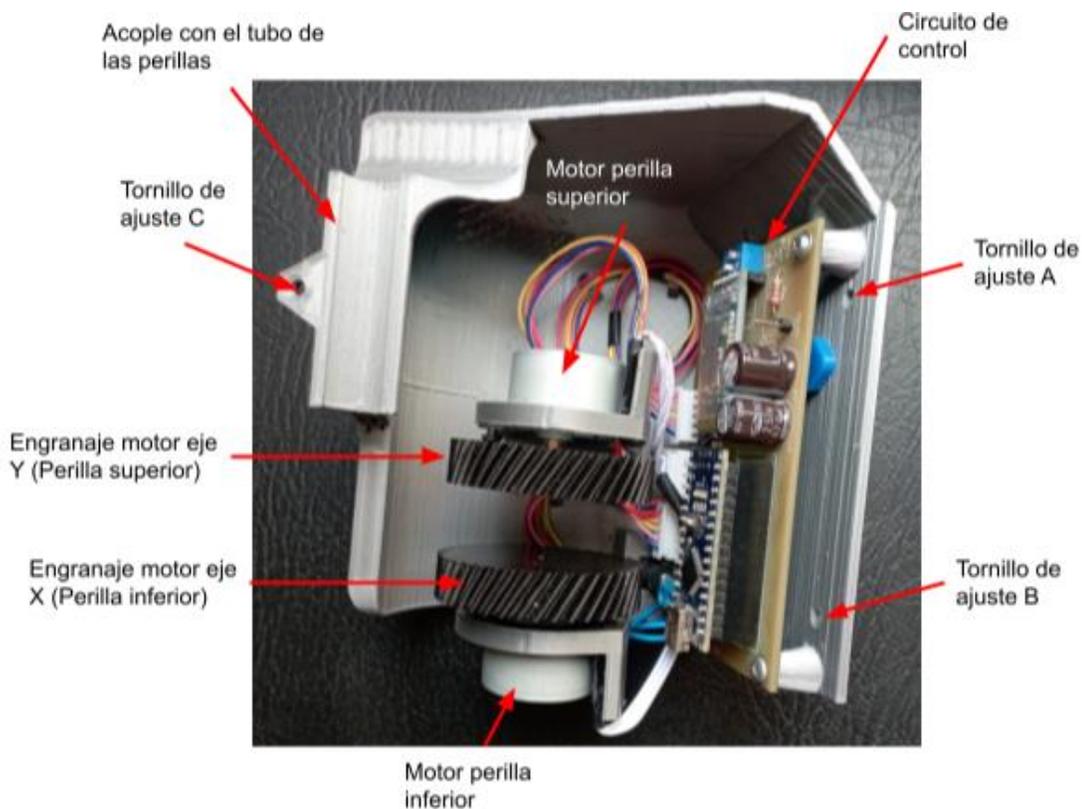
**Figura 43***Soporte para Motores*

Por último, se imprimió una cruz con los pulsadores, esta vez de color azul para darle una característica distintiva en la carcasa y a una densidad de relleno del 60%.

**Tabla 16** *Características de Impresión Pulsadores*

<i>Característica</i>	<i>Especificación</i>
<i>Boquilla de extracción</i>	0.4mm /capa 0.2mm
<i>Velocidad</i>	30mm/s
<i>Temperatura de extracción</i>	190°C
<i>Temperatura de cama</i>	60°C
<i>Densidad de relleno</i>	60%
<i>Paredes</i>	3 (0.88mm)
<i>Material</i>	PLA

En la Figura 44 se puede observar el prototipo del sistema motorizado, integrando tanto la parte electrónica como lo es el circuito, como la parte mecánica con el sistema de engranajes de los motores.

**Figura 44***Partes del Prototipo Motorizado***4.2 Sistema de Control de Motores**

Para efectos de este proyecto y de la función que deben cumplir los motores, se decide programar la secuencia de medio paso, ya que así se consigue un movimiento lento y suave, necesario en la aplicación. La Tabla 17 indica los valores correspondientes a las salidas digitales de Arduino para la configuración de secuencia de medio paso. El motor seleccionado según el resultado de la evaluación es el 28BYJ-48, este motor realiza 4000 pasos por vuelta aproximadamente. Cada eje tiene un rango de desplazamiento específico, por una parte, el eje X recorre cerca de dos vueltas, 8000 pasos, por otra parte, el eje Y recorre una vuelta en su rango de trabajo. Según lo anterior, considerando que una velocidad muy alta disminuye el torque de los motores, y que, para la transmisión de movimiento mediante los engranajes se necesita un

movimiento que provoque la menor pérdida de pasos, se define la velocidad de desplazamiento de los motores de 10 milisegundos.

**Tabla 17**

*Secuencia de Excitación de las Fases para el Control de Motores*

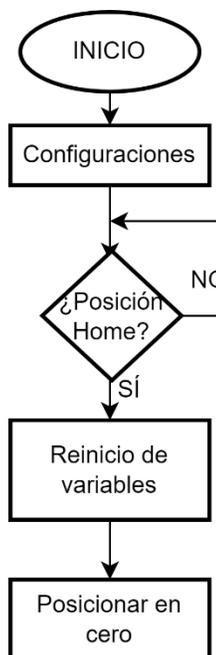
<b>Paso</b>	<b>Fase A</b>	<b>Fase B</b>	<b>Fase A'</b>	<b>Fase B'</b>
<b>1</b>	1	0	0	0
<b>2</b>	1	1	0	0
<b>3</b>	0	1	0	0
<b>4</b>	0	1	1	0
<b>5</b>	0	0	1	0
<b>6</b>	0	0	1	1
<b>7</b>	0	0	0	1
<b>8</b>	1	0	0	1

En cuanto al control de los motores, según el modo de movimiento establecido en la secuencia anterior, se definen los cuatro pines correspondientes a cada motor paso a paso y se inicia la programación del código en Arduino.

El control de los motores paso a paso se establece por medio de un código de control implementado en la plataforma Arduino. La etapa de control se define en tres etapas o rutinas y una rutina al inicio del programa, de la siguiente manera:

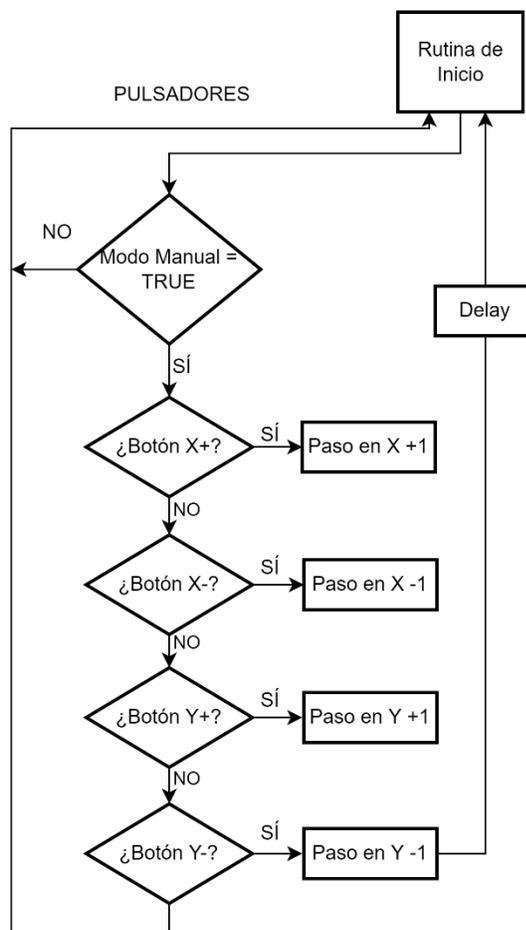
#### ***4.2.1 Rutina Inicial del Programa***

La rutina inicial, Figura 45, la realizan los motores una única vez, antes de ensamblarse al microscopio, con el fin de tener el punto de inicio indicado por el sensor. En este sentido, una vez encendido el prototipo, los motores se activan hasta que el sensor hall detecte la presencia del imán; estando los motores en cero y las perillas del microscopio en un extremo de cada eje, se ensambla el prototipo. A partir de esta referencia el programa con el prototipo ya ensamblado realiza operaciones de suma y/o resta para posicionar la platina, ignorando la presencia del sensor.

**Figura 45***Diagrama de bloques Rutina Inicial*

#### **4.2.2 Pulsadores Físicos**

Por defecto la variable del modo manual está en verdadero (TRUE) para que funcione siempre que no se esté usando el modo bluetooth. En primer lugar, la rutina valida que el modo manual esté activo, si es así, se pregunta por cada uno de los pulsadores, teniendo un flujo como el mostrado en la Figura 46. Son cuatro botones, al ser movimiento bidireccional, en X y Y en sentido positivo (incremento) o negativo (decremento). De este modo, al pulsar un botón, el programa procede a realizar la acción correspondiente al botón pulsado. En caso de mantenerse presionado algún botón, el programa vuelve a entrar al modo manual, detecta el pulsador y vuelve a realizar la acción indicada por el usuario. Con un retardo en común para los cuatro pulsadores.

**Figura 46***Diagrama de bloques Pulsadores Físicos*

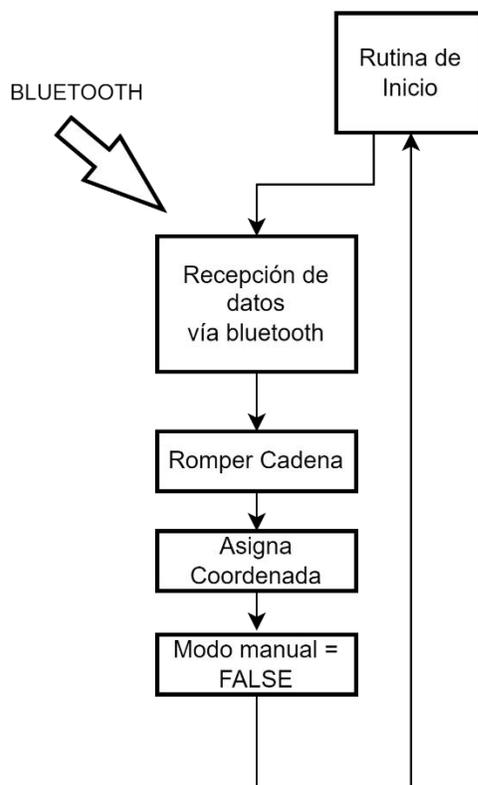
### 4.2.3 Recepción de Datos Bluetooth

En cuanto a la comunicación vía Bluetooth, cuando se detectan datos en el bus de comunicación serial, automáticamente la pregunta de recepción de datos se vuelve verdadera. Se toman los datos recibidos y se separan (se rompe la cadena), para asignar las coordenadas, es decir, se convierten los datos de formato String a dato tipo entero para asignarlo a la variable de posición PX en caso de ser movimiento en el eje X y PY en caso de ser en el eje Y. Finalmente, el modo manual se desactiva (FALSE) ya que el programa recibe los datos en modo bluetooth. El flujo de este proceso se puede evidenciar en la Figura 47. De momento, en esta etapa de

funcionamiento del programa, no se habilita el modo manual debido a que la aplicación envía datos, pero no recibe las posiciones en caso de moverse los pulsadores de manera manual, por lo que una vez se envíen los datos bluetooth se establece ese modo de funcionamiento.

### Figura 47

*Diagrama de bloques Recepción de datos Bluetooth*



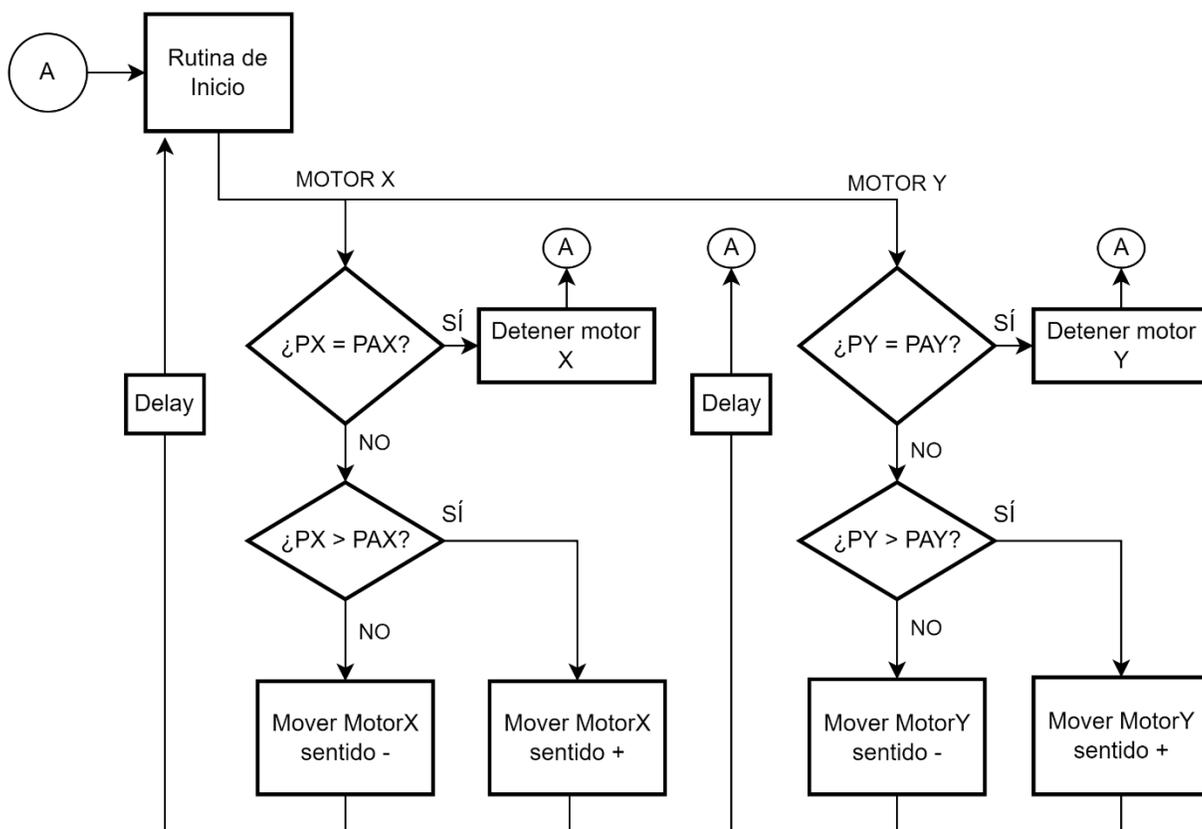
#### 4.2.4 Posicionamiento de los Motores

Cuando se detectan datos en el bus de comunicación serial, automáticamente la pregunta de la rutina funciona igual tanto para el motor en X como para el motor en Y, ver Figura 48. En primer lugar, es necesario conocer la posición anterior, es decir, la memoria de la última posición que registró el programa para tener un punto de partida, luego, compararla con la posición actual, que es la posición nueva que registra el programa después de cada desplazamiento, finalmente, se almacenan en las variables correspondientes, sea PAX para movimiento en el eje X y PAY

para movimiento en Y, esto según el desplazamiento que realizó el usuario. Posteriormente, el programa pregunta si el nuevo valor almacenado en las variables PAX o PAY es igual a la posición que el usuario ingresó en X o Y que definimos como PX y PY, si son iguales, significa que el motor está en la posición deseada y por ende se detiene y retoma al Loop del programa, de lo contrario, pregunta si PX o PY, según el caso, son mayores a PAX o PAY, si es el caso, el motor se mueve un paso en sentido positivo, si no, el motor se mueve un paso en sentido negativo. En cuanto a la velocidad de giro de los motores se define con un retardo entre cada paso, con el fin de evitar movimientos bruscos y repentinos en el motor.

**Figura 48**

*Diagrama de bloques Posicionamiento de los Motores*



Se debe tener en cuenta que la forma de operación del programa depende en gran medida de la velocidad aplicada desde las sliders de desplazamiento de la aplicación. Debido a que el usuario controla esta velocidad, se debe evaluar cómo recibe los datos el programa y produce el movimiento de los motores.

### 4.3 Aplicación Móvil

Aplicación cuenta con dos pantallas, una principal y una de registro de posiciones, con las cuales se puede interactuar pulsando los botones respectivos. En la parte superior de la pantalla principal, presenta el título de la aplicación y el botón “bluetooth” que debe pulsarse para lograr la conexión del dispositivo con el sistema motorizado, una vez enlazado con el dispositivo, este botón cambiará a color verde.

En esta pantalla principal también se encuentran los segmentos X y Y cada uno con un espacio en el que se puede visualizar la posición de la platina con respecto al movimiento de los motores. Adicionalmente se encuentra el botón “Registro de datos” y el botón “Guardar posición”, Figura 49, para guardar una posición específica en uno de los botones habilitados para guardar coordenadas, o “Enviar posición” para desplazar la platina utilizando las sliders o los botones laterales Figura 50; este botón cambiará su estado según sea pulsado.

#### Figura 49

*Botones de Funcionamiento*

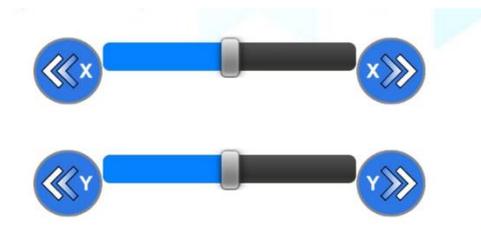


Las sliders son dos deslizadores que se implementan en la aplicación para lograr el desplazamiento de los motores ágilmente, mientras que los botones que se encuentran a los laterales de estos deslizadores permiten mover los motores 15 pasos cada vez que se pulsa, lo

que se traduce en 1.066 mm de desplazamiento de la platina. Se utiliza un deslizador y dos botones, uno para decrementar y otro para incrementar, para cada eje; se puede observar el identificador de cada eje en los botones laterales, para el eje X, el deslizador correspondiente es el que se encuentra más superior en la pantalla.

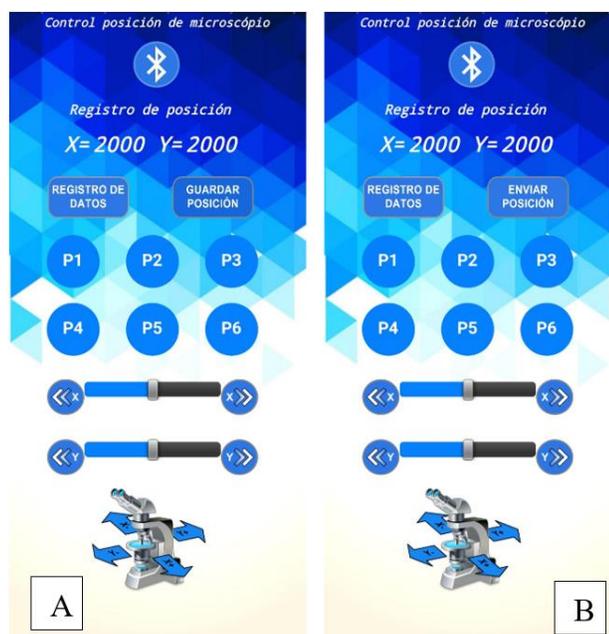
**Figura 50**

*Sliders y Botones Laterales para el Desplazamiento de la Platina*



**Figura 51**

*Aplicación Móvil*



Nota. A. Botón en modo Guardar Datos. B. Botón en modo Enviar Datos.

Al pulsar el botón “Registro de datos” nos dirige a la segunda pantalla, Figura 52, donde podemos visualizar los registros de las posiciones que se han guardado en los campos P1, P2, P3,

P4, P5 y P6. En esta se encuentra un botón de “Regresar” para volver a la pantalla principal del control de los motores.

### Figura 52

*Aplicación Móvil. Registros de Posiciones*

	X	Y
P1	1240	0
P2	2000	2240
P3	2000	2440
P4	0	0
P5	3680	2920
P6	0	0

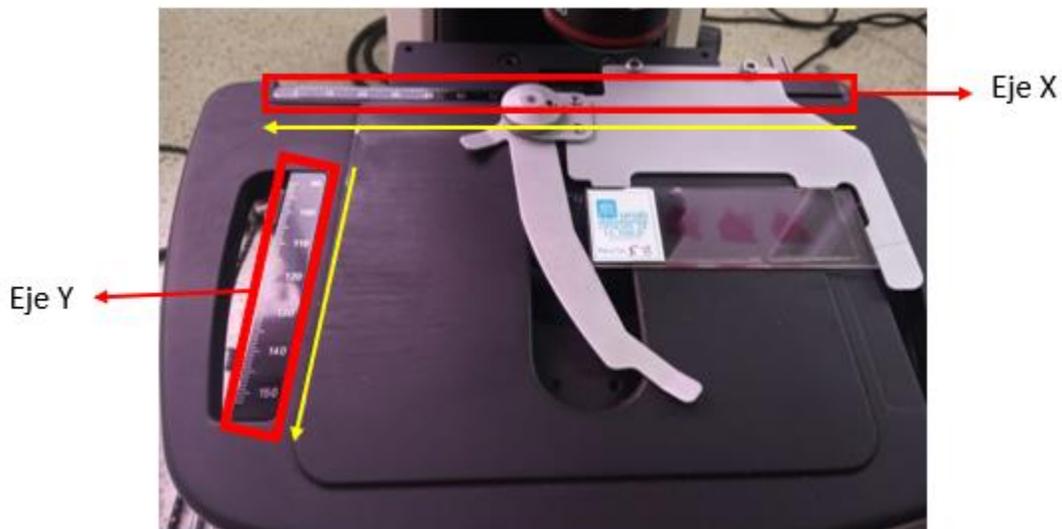
#### 4.4 Pruebas de Funcionamiento

Para la realización de la prueba de funcionamiento del sistema, en primer lugar, se ubicó la platina en una posición específica, como la mostrada en la Figura 53, para tener un punto de referencia adecuado en los dos ejes de movimiento. Este punto de referencia, se ubica con el eje X en el extremo derecho y al eje Y en el extremo más posterior.

A partir de ahí, se desplazó cada eje de manera independiente enviando los datos desde la aplicación móvil, con rangos de pasos de 210, 405, 600, 795, 990, 1185 y 1380. Para cada rango de pasos se estableció la toma de 30 tomas, es decir, una vez terminado el recorrido de cada eje para cada rango de pasos determinado, se repite la toma de datos 30 veces.

**Figura 53**

*Ubicación Inicial de la Platina*



#### ***4.4.1 Desplazamiento en el eje X***

El punto de referencia cero en el eje X se ubica trasladando la platina a su extremo derecho, luego con un calibrador se mide la distancia en ese punto, la cual es, en promedio, 80,44 mm, ver Figura 54. Luego, desde la aplicación con su punto para este eje en cero pasos, se desplaza según el rango correspondiente y se mide con el calibrador la distancia desde el inicio de la regla hasta extremo del cursor de la regla.

**Figura 54***Regla eje de Desplazamiento X*

Nota. A. Regla eje X ubicada en cero. B. Medida de la regla al ubicarse en cero.

En la Tabla 18 se observa el promedio de desplazamiento de la platina por pasos del motor; este promedio deriva de las 30 tomas que se realizaron para cada intervalo de pasos.

**Tabla 18***Promedio de Desplazamiento por Escala de Pasos, eje X*

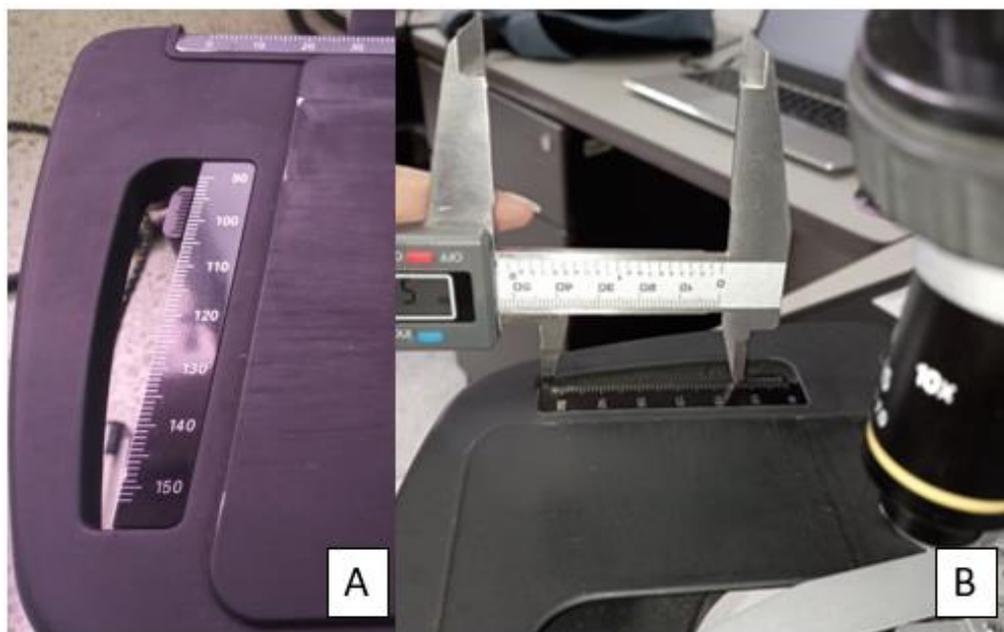
Pasos del motor	Desplazamiento [mm]
210	1,43
405	2,78
600	3,91
795	4,3
990	7,11
1185	8,31
1380	10,25

#### 4.4.2 Desplazamiento en el eje Y

El punto de referencia cero en el eje Y se ubica trasladando la platina a su extremo más posterior, ahí el calibrador mide 54,85 mm aproximadamente, ver Figura 55. Luego, desde la aplicación con su punto para este eje en cero pasos, se avanzan los intervalos de pasos correspondientes, se anota la distancia medida para calcular el desplazamiento en milímetros entre cada intervalo de pasos. En la Tabla 19 se representan los promedios de desplazamiento de la platina por pasos del motor.

**Figura 55**

*Regla eje de Desplazamiento Y*



Nota. A. Regla eje Y ubicada en cero. B. Medida de la regla al ubicarse en cero.

**Tabla 19**

*Promedio de Desplazamiento por Escala de Pasos, eje Y*

<b>Pasos del motor</b>	<b>Desplazamiento [mm]</b>
<b>210</b>	1,43
<b>405</b>	3,43

<b>600</b>	4,82
<b>795</b>	7,86
<b>990</b>	10,28
<b>1185</b>	15,59
<b>1380</b>	19,82

#### ***4.4.3 Almacenamiento de Posiciones***

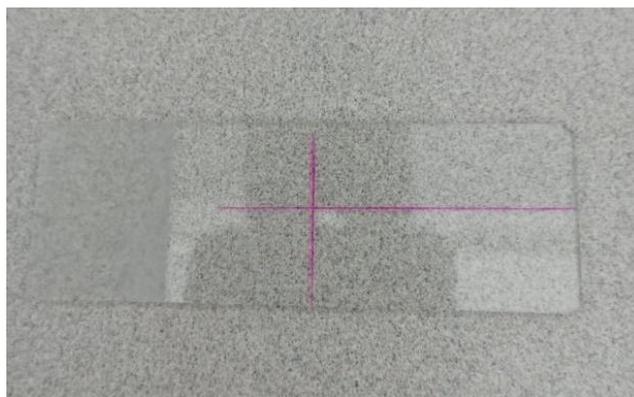
Adicional a las pruebas de desplazamiento, se implementaron dos pruebas para verificar que la aplicación guarde las coordenadas. Una utilizando un portaobjeto señalado con una cruz y la otra con una muestra histológica de corteza renal.

##### **4.4.3.1 Prueba Inicial con Portaobjetos**

Para la primera prueba se utilizó un portaobjetos con indicación de una cruz a fin de ubicar desde la aplicación el centro con el puntero del microscopio, Figura 56, guardar la coordenada, reiniciar el sistema y dirigir desde el botón de la coordenada guardada, los motores a la posición del centro de la cruz.

#### **Figura 56**

*Portaobjeto de Referencia*

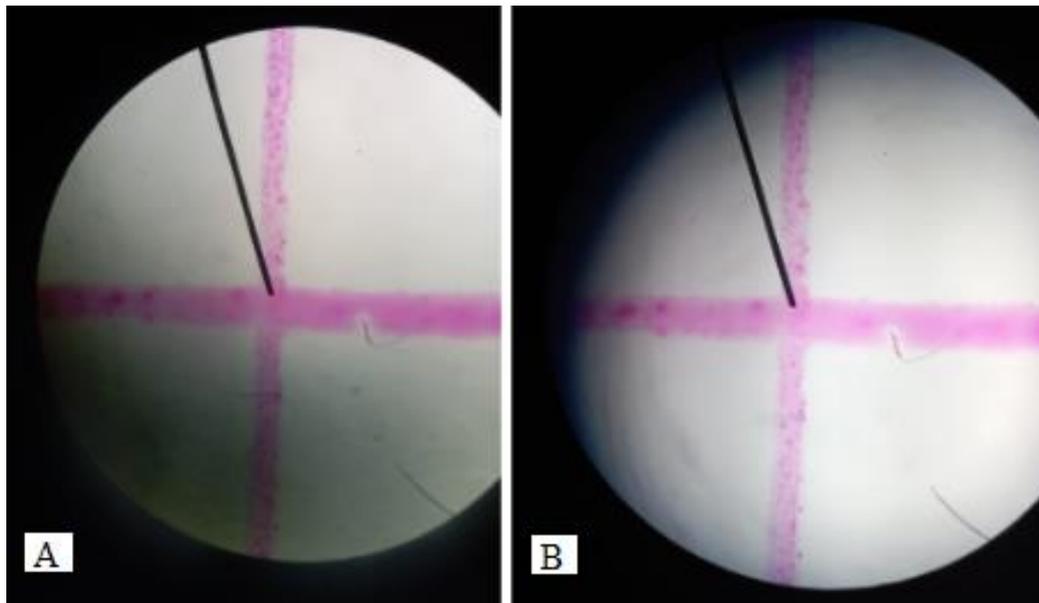


Una vez señalado con una cruz el portaobjetos, se procede a ubicar el puntero del microscopio utilizando únicamente la aplicación móvil. Así, se guarda la coordenada que indica

el centro de la cruz en la aplicación móvil. La Figura 57, implementando un objetivo 4X muestra, A; el puntero del microscopio en el centro de la cruz, desplazado desde la aplicación y B; la posición del puntero una vez reiniciada la aplicación, ubicando el microscopio en la coordenada de referencia 0,0 para luego seleccionar la coordenada previamente guardada. Así mismo la Figura 58, muestra el procedimiento anterior observando el portaobjeto con el objetivo 40X.

### Figura 57

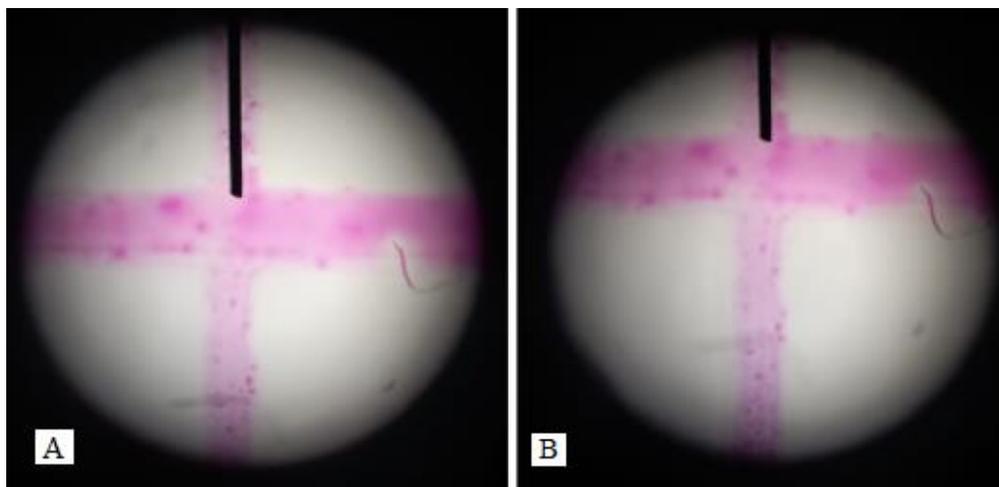
*Portaobjetos Observado con Objetivo 4X*



Nota. A. Posición Ubicada con el puntero y guardada. B. Posición ubicada utilizando las coordenadas guardadas.

**Figura 58**

*Portaobjetos Observado con Objetivo 40X*



Nota. A. Posición Ubicada con el puntero y guardada. B. Posición ubicada utilizando las coordenadas guardadas.

**4.4.3.1 Prueba con Portaobjetos con Muestra Histológica**

La prueba con la placa histológica, Figura 59, tiene el objetivo de verificar visualmente con el objetivo de 4X las posiciones almacenadas desde la aplicación móvil. Para esta prueba se guardan cuatro coordenadas en la aplicación, además de la posición inicial de cero. Una vez reiniciado el sistema a la posición de referencia cero, se pulsa el botón donde previamente se guardó la posición en las coordenadas respectivas, y se realiza una comparación de la posición inicial con respecto a la posición a la que llega al pulsar el botón. Esta prueba se realiza para revisar visualmente la funcionalidad del sistema, además de la revisión de las mediciones realizadas, con un total de 10 repeticiones para cada posición.

**Figura 59**

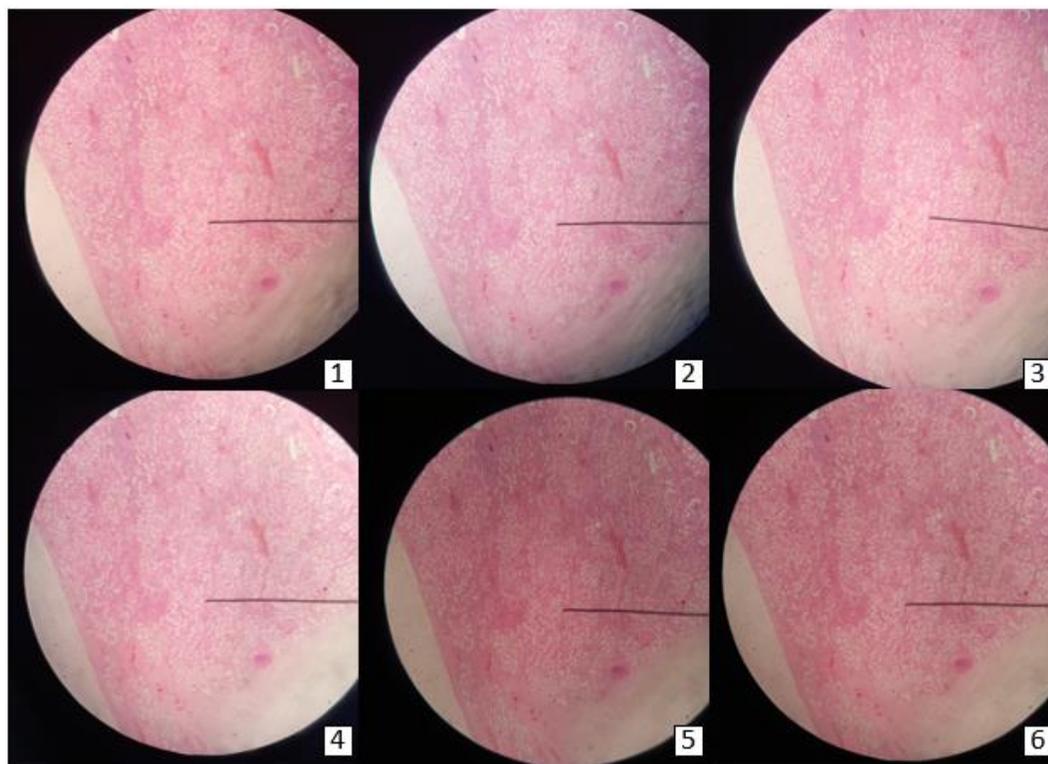
*Portaobjetos con muestra Histológica de Corteza Renal*



Las imágenes referentes a los resultados de las pruebas histológicas se observan en la Figura 60, Figura 61, Figura 62 y Figura 63, donde se encuentran las 6 primeras imágenes obtenidas en esta prueba.

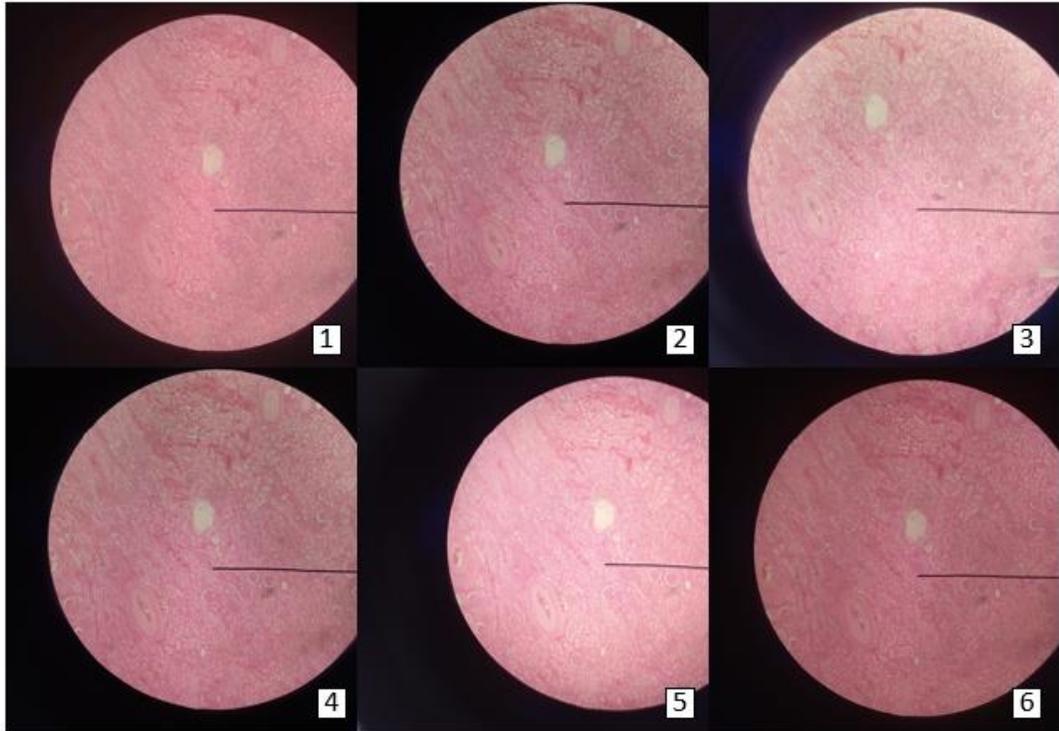
**Figura 60**

*Vista Macroscópica, Primera Posición*



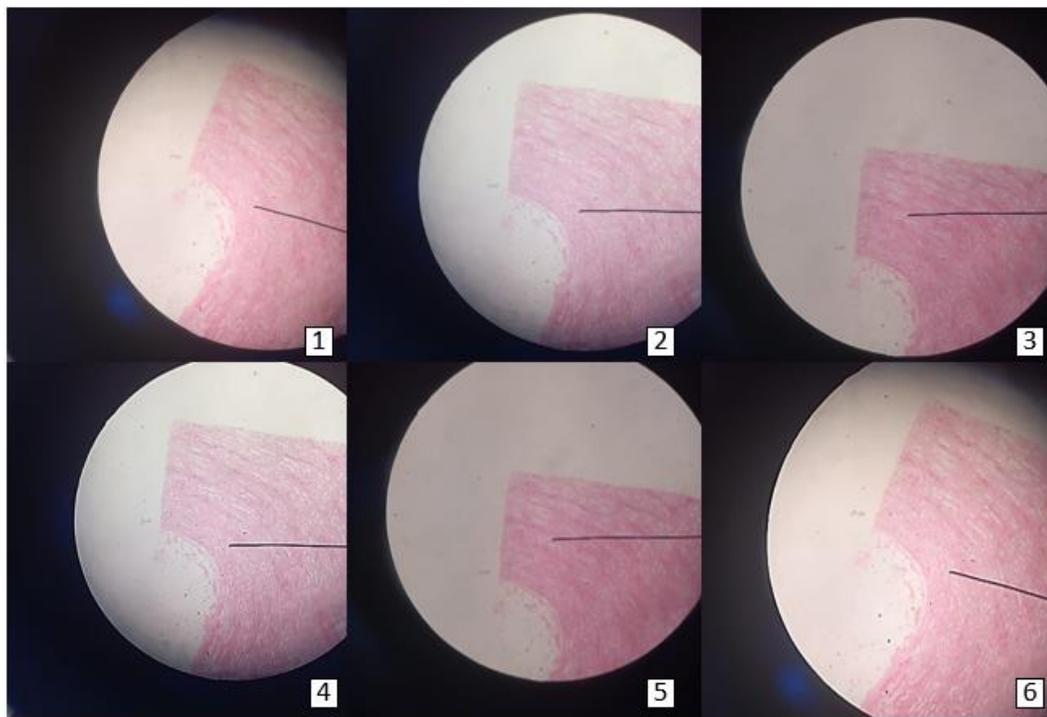
**Figura 61**

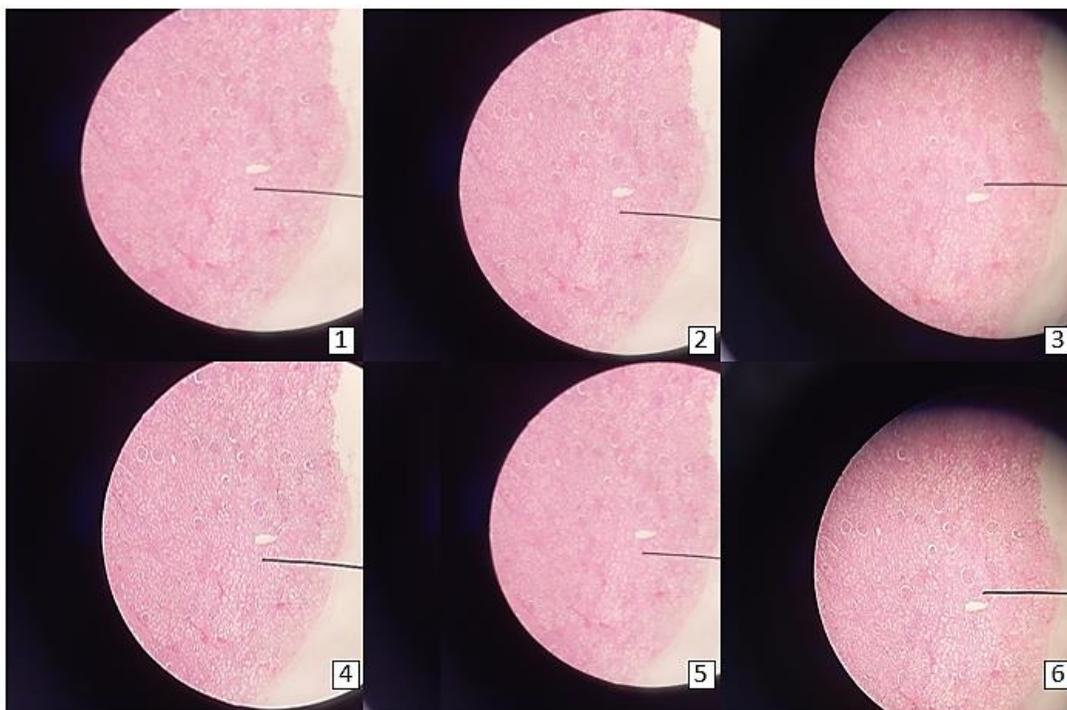
*Vista Macroscópica, Segunda Posición*



**Figura 62**

*Vista Macroscópica, Tercera Posición*



**Figura 63***Vista Macroscópica, Cuarta Posición***4.5 Costos de Fabricación del Prototipo**

La realización del hardware del sistema automatizado involucra un componente electrónico y un componente de impresión 3D. La Tabla 20, Tabla 21, Tabla 22 y Tabla 23 describen el valor de los materiales utilizados para su fabricación.

**Tabla 20***Costos Componentes Electrónicos*

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor</b>
<i>Motor paso a paso 28BYJ-48</i>	2	\$17.900
<i>Integrado ULN2003</i>	2	\$5.000
<i>Arduino Nano</i>	1	\$28.000
<i>Módulo bluetooth HC-05</i>	1	\$17.000
<i>Sensor Efecto Hall A3144</i>	2	\$6.500
<i>Pulsadores</i>	4	\$800
<i>Otros (resistencias, condensadores, interruptor)</i>	-	\$3.000
<i>Adaptador AC - DC</i>	1	\$15.000

<i>Fabricación PCB</i>	1	\$60.000
<b><i>Total</i></b>		<b>\$153.200</b>

**Tabla 21***Costos Impresión 3D Engranajes*

<b><i>Componente</i></b>	<b><i>Cantidad</i></b>	<b><i>Valor</i></b>
<i>Engranaje al eje del motor</i>	2	\$20.000
<i>Engranaje a la perilla</i>	2	\$20.000
<i>Acople al engranaje de la perilla</i>	2	\$20.000
<b><i>Total</i></b>		<b>\$40.000</b>

**Tabla 22***Costos Impresión 3D Carcasa*

<b><i>Componente</i></b>	<b><i>Cantidad</i></b>	<b><i>Valor</i></b>
<i>Cubierta de fijación</i>	1	\$50.000
<i>Cubierta principal</i>	1	\$100.000
<i>Soportes para motor</i>	2	\$20.000
<b><i>Total</i></b>		<b>\$170.000</b>

**Tabla 23***Costos Totales del Prototipo*

<b><i>Componente</i></b>	<b><i>Valor</i></b>
<i>Sistema Electrónico</i>	\$153.200
<i>Impresión 3D</i>	\$210.000
<b><i>Total</i></b>	<b>\$363.200</b>

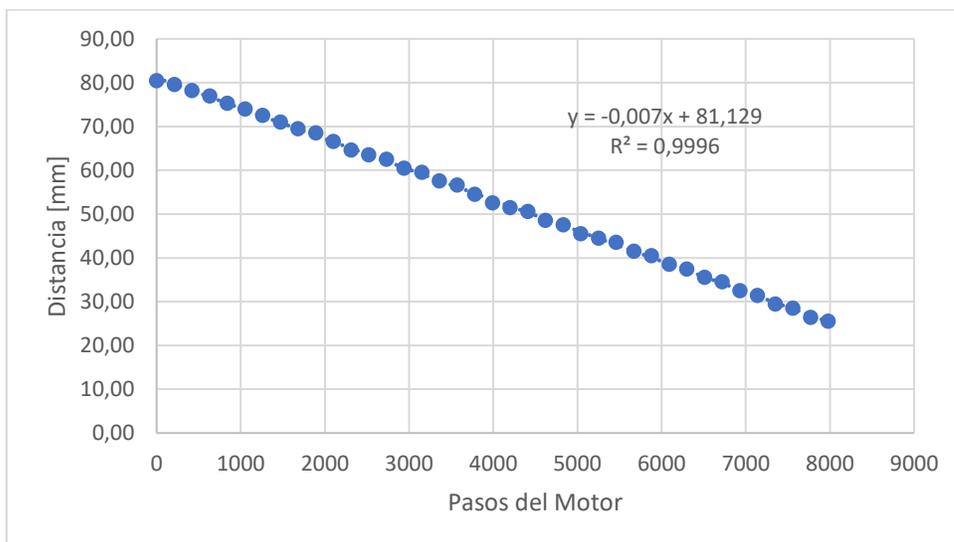
### Análisis de Resultados

Las pruebas realizadas al prototipo dieron como resultado tablas donde se relaciona el desplazamiento de la platina para cada eje en rangos de 210, 405, 600, 795, 990, 1185 y 1380, enviados por el usuario desde la aplicación hasta un desplazamiento total de una vuelta y media de los motores, aproximadamente. Estos resultados permiten conocer si la transmisión del desplazamiento que se indica en la aplicación es adecuada y en medida proporcional. Para los dos motores en cada rango se tomaron los datos treinta veces, cada uno después de volver al punto cero de la platina.

En la Figura 64, se puede observar el comportamiento de los datos obtenidos para el eje X de la platina, el punto inicial, es decir, la distancia entre el extremo de la regla de la platina y el extremo del cursor, sería 81,129 mm, a medida que se desplaza la platina desde su origen, esta distancia va disminuyendo en intervalos de 1,43 mm por cada 210 pasos del motor, sería este entonces, el promedio de desplazamiento de la platina cuando se mueve en intervalos de 210 pasos.

#### Figura 64

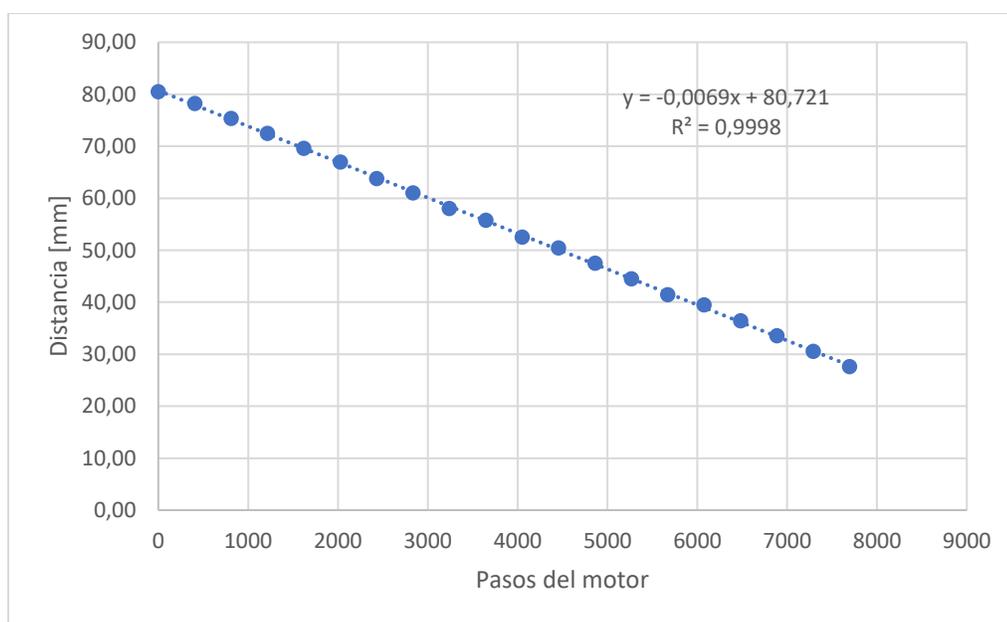
*Aumento 210 pasos, Eje X*

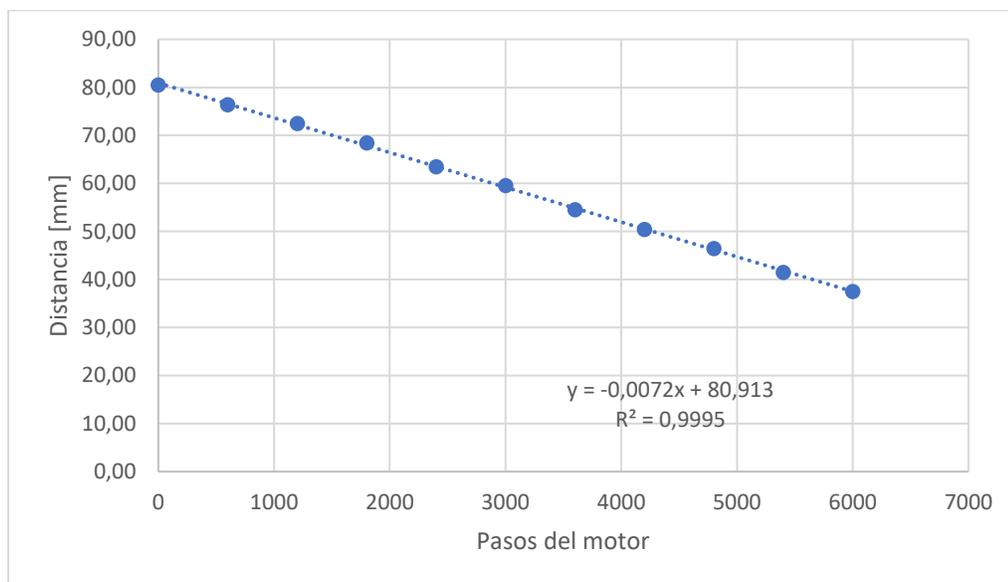
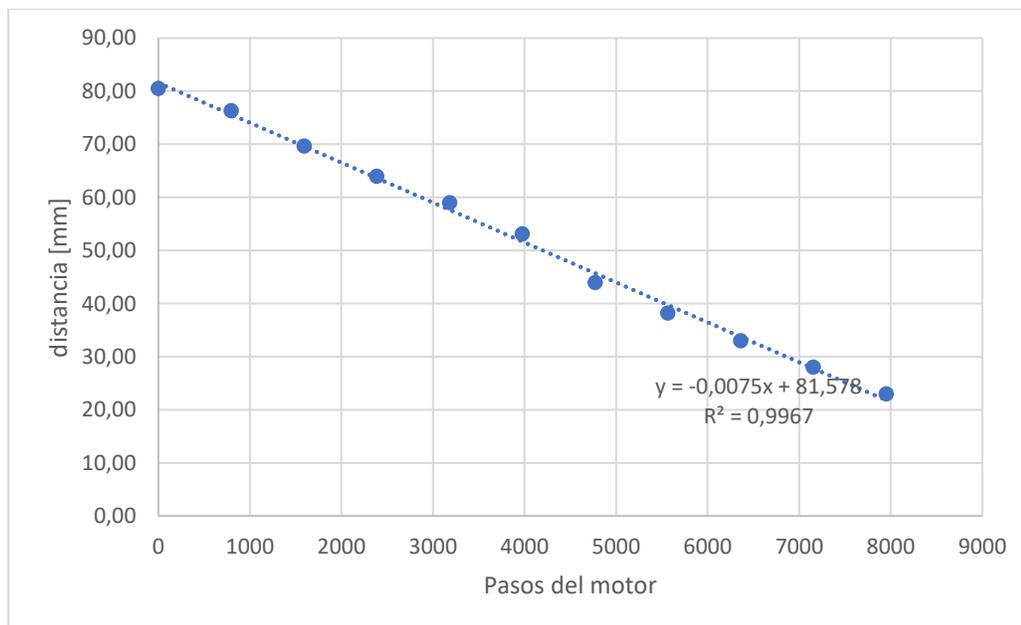


En las siguientes figuras, Figura 65, Figura 66, Figura 67, Figura 68, Figura 69 y Figura 70, se muestra gráficamente el comportamiento de los datos para el eje X de la platina, en los intervalos 405, 600, 795, 990, 1185 y 1380, respectivamente. En todas las gráficas se obtiene una pendiente de 0,007 aproximadamente, por lo que es posible decir que el movimiento de los motores tiene una relación proporcional con respecto al movimiento de la platina.

### Figura 65

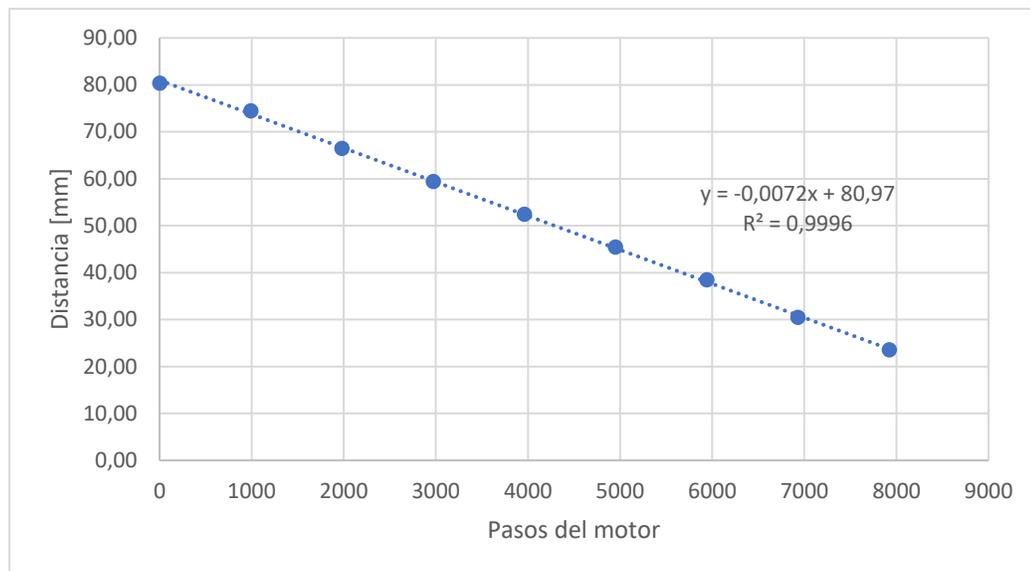
*Aumento 405 pasos, eje X*



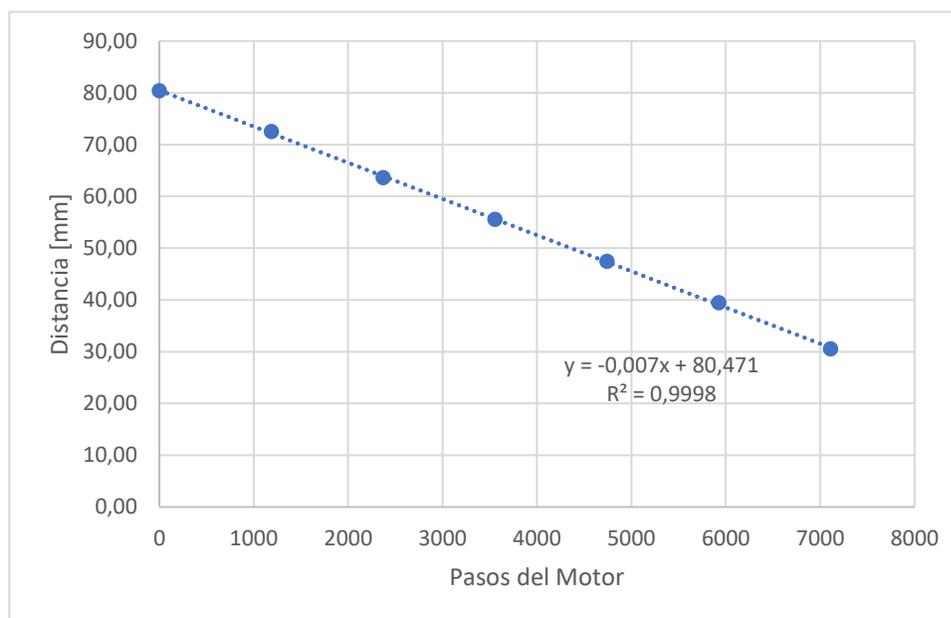
**Figura 66***Aumento 600 pasos, eje X***Figura 67***Aumento 795 pasos, eje X*

**Figura 68**

*Aumento 990 pasos, eje X*

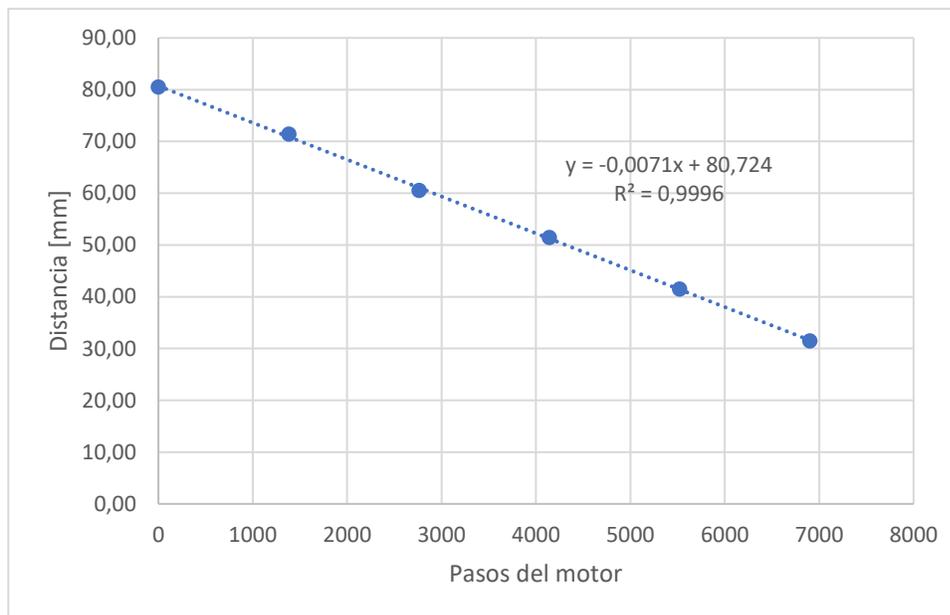
**Figura 69**

*Aumento 1185 pasos, eje X*



**Figura 70**

*Aumento 1380 pasos, eje X*

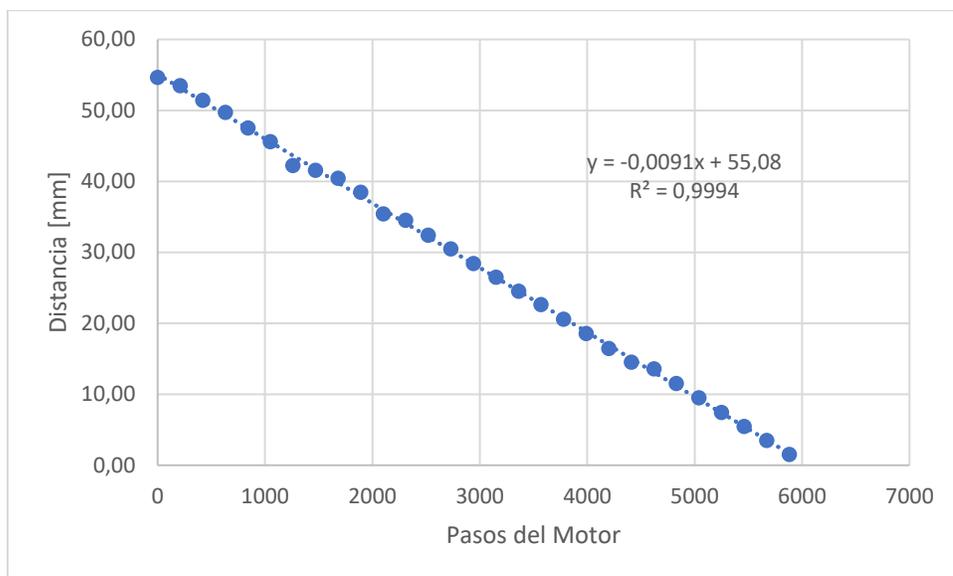


En la Tabla 18 se muestra el promedio de desplazamiento para cada intervalo de pasos del motor. Aunque las gráficas muestran un comportamiento proporcional, la variabilidad de los datos no permite obtener un valor exacto de proporcionalidad, esto influye en la precisión del sistema a la hora de posicionar las muestras, ya que un cambio de 0,01 mm en la platina se maximizará en el microscopio dependiendo del objetivo.

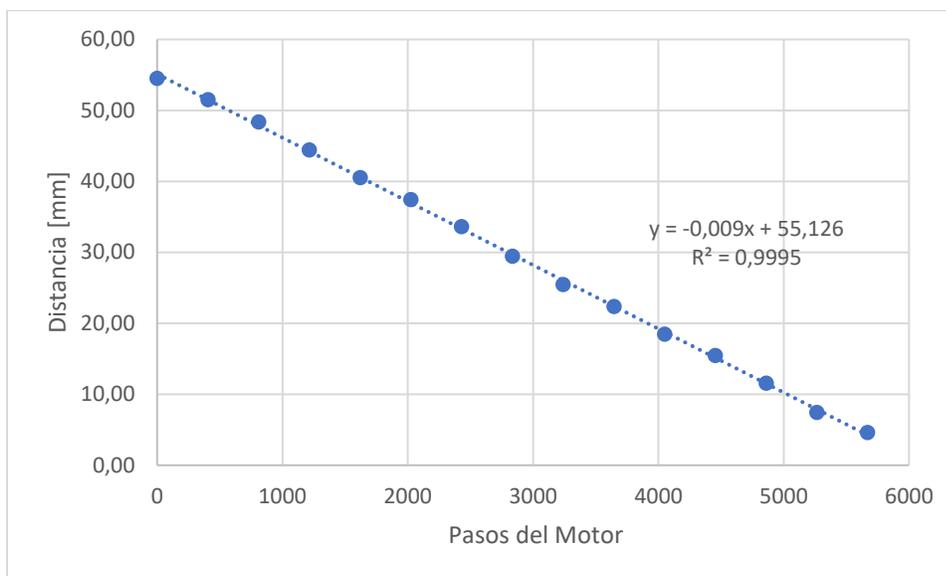
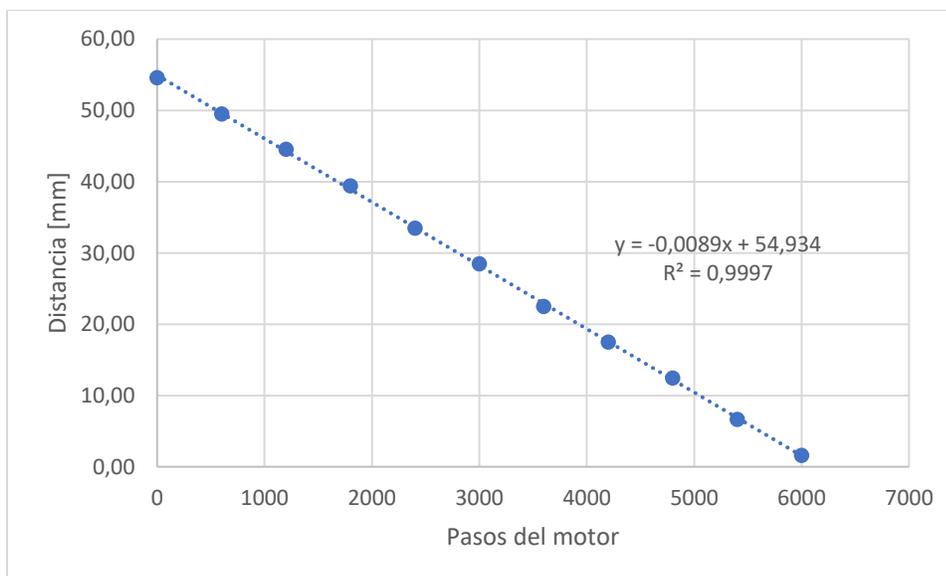
En el caso del eje Y de la platina, el rango de desplazamiento es menor al rango de desplazamiento del eje X, por lo que se reduce el número de pasos máximos a 6000. En la Figura 71 se puede observar gráficamente el comportamiento de la platina con respecto a los pasos realizados por el motor, para la escala de 2100 pasos, siendo el punto inicial de la platina 55,08 mm, con estas distancias medidas es posible calcular el desplazamiento promedio de la platina cada 210 pasos, que es de 1,92 mm.

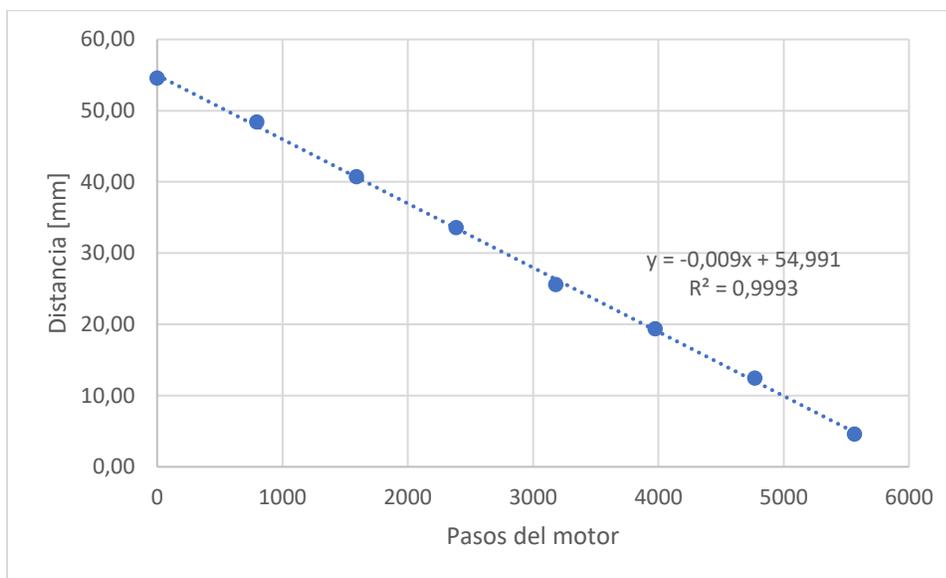
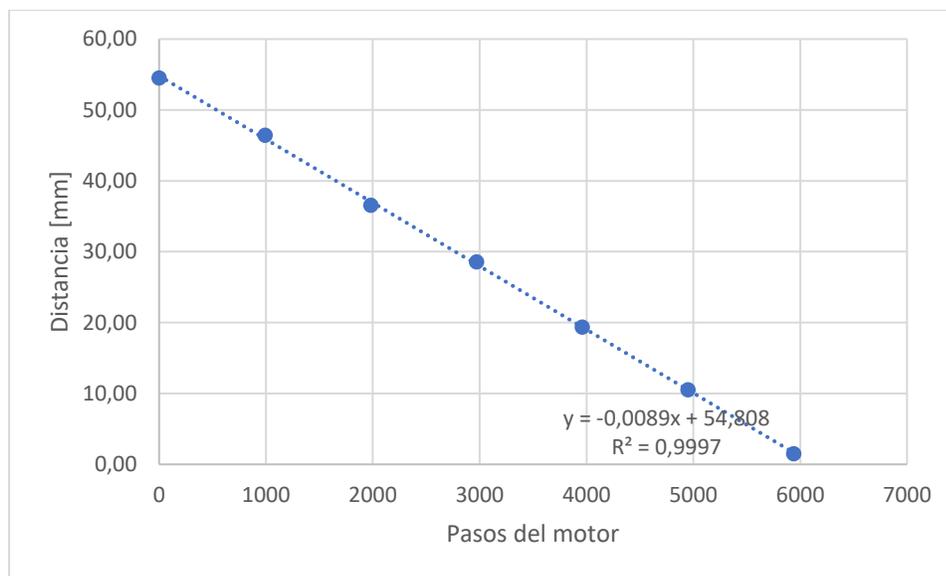
**Figura 71**

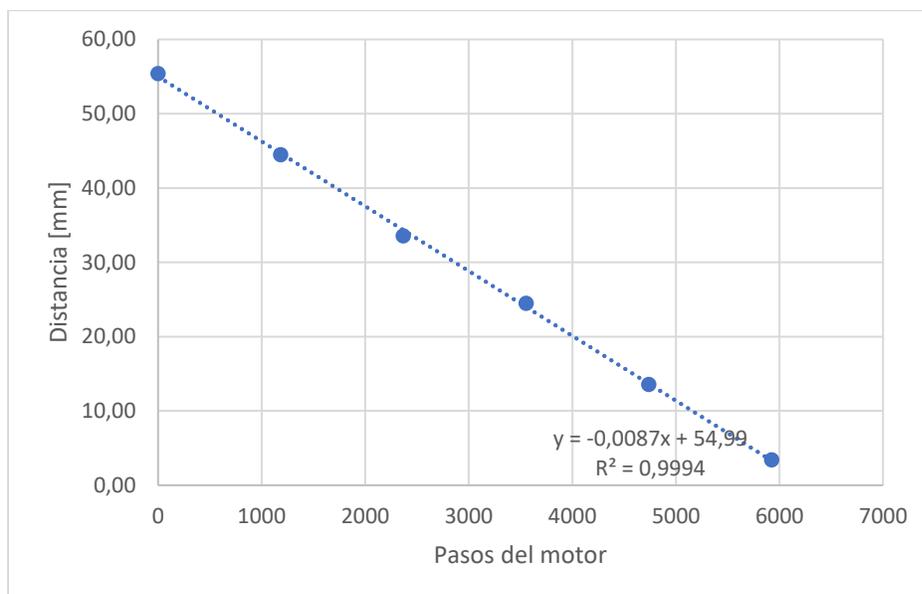
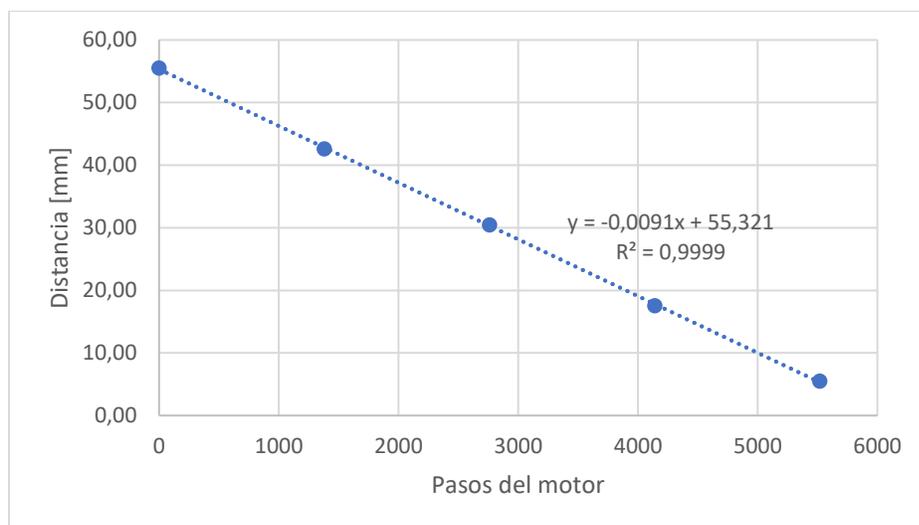
*Aumento 210 pasos, eje Y*



En las figuras Figura 72, Figura 73, Figura 74, Figura 75, Figura 76 y Figura 77, se muestran gráficamente el comportamiento de los datos para el eje Y de la platina, en los intervalos 405, 600, 795, 990, 1185 y 1380, respectivamente. En todas las gráficas se obtiene una pendiente de 0,009 aproximadamente, al igual que con el eje X, es posible decir que el movimiento de los motores tiene una relación proporcional con respecto al movimiento de la platina.

**Figura 72***Aumento 405 pasos, eje Y***Figura 73***Aumento 600 pasos, eje Y*

**Figura 74***Aumento 795 pasos, eje Y***Figura 75***Aumento 990 pasos, eje Y*

**Figura 76***Aumento 1185 pasos, eje Y***Figura 77***Aumento 1380 pasos, eje Y*

En la Tabla 19 se muestra el promedio de desplazamiento para cada intervalo de pasos del motor. Al igual que con el eje X, la variabilidad de los datos no permite obtener un valor

exacto de proporcionalidad, lo que influye en la precisión del sistema a la hora de posicionar las muestras.

Las 30 tomas de datos para cada motor, permite tener una gran perspectiva del desplazamiento que puede realizar cada motor. En la Tabla 24 se observa el desplazamiento promedio por cada escala de pasos para el Motor Y, ubicado en la perilla principal o superior del microscopio, y para el motor X, ubicado en la perilla inferior o secundaria del microscopio. El promedio del desplazamiento de la platina según la escala es diferente para cada eje; se atribuye esta diferencia a la morfología de las perillas donde se acoplan los engranajes, ya que una es más pequeña que la otra, además el sistema de cremalleras-piñón varía en cada una.

#### **Tabla 24**

*Promedio Desplazamiento de los motores eje X y Y para cada escala de pasos.*

Pasos del Motor	Despl. X [mm]	Despl. Y [mm]
210	1,42	1,92
405	2,78	3,43
600	3,91	4,82
795	4,3	7,86
990	7,1	10,28
1185	8,31	15,59
1380	9,8	19,82

Los resultados obtenidos en la prueba de posicionamiento de la coordenada en el centro del portaobjetos, verifica de manera visual que la aplicación guarda de manera correcta las posiciones y el funcionamiento de los motores. Al realizar la prueba con la cruz en el portaobjetos, se observa que el puntero llega al centro de la cruz, que fue la posición previamente guardada. Sin embargo, cuando se implementa el portaobjetos con la muestra histológica, se pueden observar cambios en el espacio al que apunta el puntero, esto es debido a los cambios

milimétricos que hay en el desplazamiento de la platina, que se hace evidentes al observar la muestra en el microscopio.

En la Tabla 25 y en Tabla 26 se encuentran el porcentaje de error existente entre la posición inicialmente guardada y la posición a la que llega una vez se reinicia el sistema y se selecciona la posición inicial. Los porcentajes de errores no superan el 1%, en ambos ejes de la platina. En cuanto al eje X, el mayor valor obtenido es de la posición 4 con un 0.55%; en el eje Y, el mayor porcentaje de error fue de 0.70% en la posición 2. Con esto es posible afirmar que el sistema cuenta con un aproximado 99.3% de precisión en su función de guardar posiciones para ubicarlas posteriormente.

**Tabla 25**

*Porcentaje de Error de las Posiciones Guardadas, eje X*

POSICIÓN	COOR. EJE X	DIST. X INICIAL	DIST. X PROMEDIO	%ERROR
P1	4000	81,91	81,86	0,06%
P2	6120	68,18	68,15	0,04%
P3	6770	62,64	62,97	0,52%
P4	7675	56,28	55,97	0,55%
P5	8000	69,03	69,09	0,09%
P6	0	54,84	54,92	0,14%

**Tabla 26**

*Porcentaje de Error de las Posiciones Guardadas, eje Y*

POSICIÓN	COOR. EJE X	DIST. X INICIAL	DIST. X PROMEDIO	%ERROR
P1	1080	46,86	46,83	0,06%
P2	1800	40,64	40,36	0,70%
P3	2145	36,39	36,37	0,07%
P4	1750	40,56	40,69	0,31%
P5	1960	37,57	37,68	0,29%
P6	0	80,46	80,49	0,04%

El componente electrónico implementado encabezado por los motores paso a paso, como se observa en los resultados de las pruebas, permitieron una adecuada ejecución de movimiento y desplazamiento. Además de las características propias de los engranajes ya que permiten una transferencia suave y precisa del movimiento.

Con respecto a los costos de fabricación del prototipo en general, con valor aproximado de \$363.000 se observa un valor significativamente menor a los sistemas de automatización de posicionamiento de la platina que ofrece el mercado actualmente, considerando que el sistema presentado involucra una parte de control inalámbrico por medio de una aplicación móvil con facilidad de almacenamiento de datos.

El usuario puede controlar el movimiento de la platina del microscopio tanto en el eje X o Y, de manera manual utilizando directamente los pulsadores o por medio de la aplicación móvil. Se estableció de esta manera, para comodidad del usuario en caso de no tener la aplicación al momento de utilizar el microscopio. Sin embargo, las funciones de la aplicación facilitan el posicionamiento de las muestras y permite guardar posiciones determinadas.

## Capítulo V

### Conclusiones y Recomendaciones

A continuación, se exponen las conclusiones obtenidas del desarrollo del prototipo para la automatización del movimiento en el eje X y Y de las perillas coaxiales del microscopio óptico. Además de las recomendaciones para mejoras y trabajos futuros en esta área.

#### 5.1 Conclusiones

El prototipo desarrollado para la automatización del movimiento de las perillas coaxiales en el eje X y Y del microscopio óptico Nikon E200, involucra un sistema mecánico de motores paso a paso y engranajes controlados por el usuario desde una aplicación móvil. La fabricación de este sistema fue un reto considerando que al trabajar sobre el microscopio de la universidad no se podía intervenir de manera invasiva, únicamente incorporar correctamente un sistema mecánico externo teniendo en cuenta las características y limitaciones físicas del mismo microscopio.

De las tres propuestas de diseño planteadas, considerando la realización de un prototipo principalmente de fácil manejo y bajo costo. El diseño mecatrónico del prototipo elegido, cumple el objetivo del proyecto, no obstante, debido al tipo de motor implementado y por sus especificaciones, se necesitó acoplar un mecanismo integrado por cuatro engranajes, que resultó en un diseño robusto en tamaño, pero liviano en peso. Por esto, el diseño de la carcasa del prototipo, requirió de la toma de numerosas medidas para su diseño. Finalmente, el producto se acopla correctamente a la estructura física del microscopio sin interferir en su funcionamiento mecánico al momento de accionar manual o por medio bluetooth las perillas del microscopio en el eje X o Y.

El sistema de control implementado para los motores, permite regular el movimiento bidireccional de las perillas de desplazamiento del microscopio Nikon E200 mediante una aplicación móvil. Utilizando software de programación Arduino. este sistema de control, permite de manera sencilla y practica la manipulación de los ejes por medio bluetooth.

Finalmente, el desarrollo de la aplicación móvil permite al usuario desplazar cada eje de manera independiente por medio inalámbrico. La programación de la aplicación fue realizada en MIT App Inventor, gracias a su manera práctica de diseño se otorgó la funcionalidad de almacenamiento de posiciones

## **5.2 Recomendaciones**

El prototipo requiere cuidado en su instalación y ensamblaje a las perillas coaxiales del microscopio. El diseño de la carcasa y el sistema motorizado exige de un adecuado posicionamiento por parte del usuario, por esto se recomienda tener presente las indicaciones de ensamblaje, uso y limpieza. Por otra parte, la velocidad de desplazamiento de los motores debido al rango del desplazamiento por paso es muy lenta. Sin embargo, se considera modificarla según la necesidad del usuario, desde el código de programación.

La aplicación envía datos vía bluetooth al sistema de motores, sin embargo, no recibe los pasos desplazados desde los pulsadores, por lo que si el usuario modifica pasos desde los pulsadores la aplicación no los toma en cuenta en su conteo de desplazamiento. Una mejora al sistema sería la implementación de comunicación bidireccional entre pulsadores-aplicación para detectar desde la aplicación los movimientos realizados desde los pulsadores.

Debido a los motores implementados, el componente electrónico del sistema motorizado involucró un tamaño considerable. Para trabajos futuros, se podría considerar la utilización de micromotores encoder a fin de reducir la electrónica y por ende el hardware del dispositivo.

## Referencias

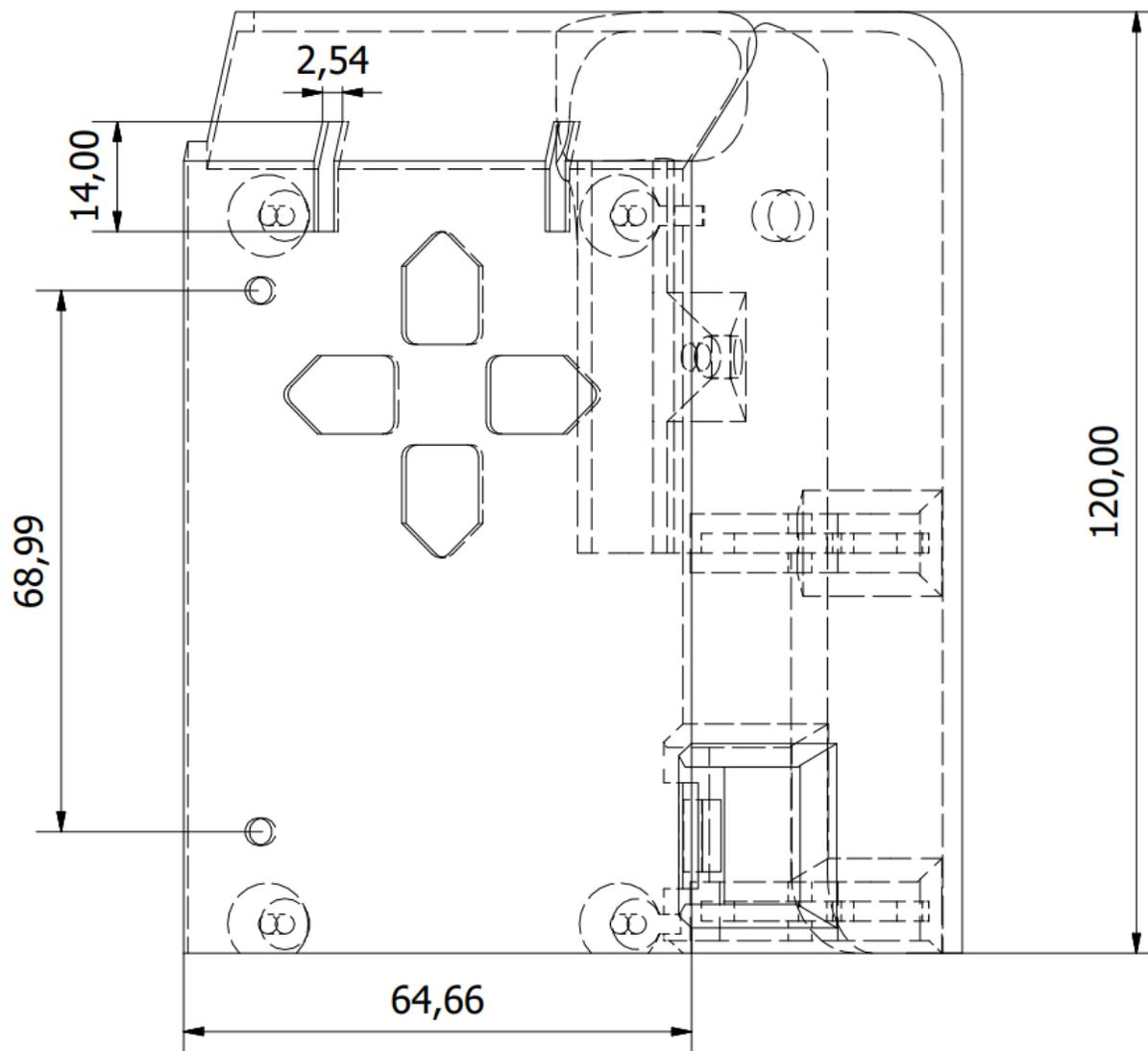
- App Inventor. (12 de Junio de 2017). *About Us: MIT App Inventor*. Obtenido de <https://appinventor.mit.edu/about-us>
- Arduino . (2021). *Arduino CC Store*. Obtenido de <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-nano?selectedStore=us>
- Atlas de Histología* . (10 de Julio de 2013). Obtenido de [http://wzar.unizar.es/acad/histologia/paginas/Atlas\\_inicio.htm](http://wzar.unizar.es/acad/histologia/paginas/Atlas_inicio.htm)
- Coloma, B. (2015). Diseño y construcción de un sistema de enfoque y adquisición de imágenes para un Microscopio Óptico. *Repositorio Digital Institucional de la Escuela Politécnica Nacional*.
- Duarte, A. (2015). Historia de la Histología . *Biblioteca Universidad Nacional Autónoma de Honduras*.
- Llamas, L. (27 de Diciembre de 2016). *Luis Llamas. Ingeniería, Informática y Diseño*. Obtenido de <https://www.luisllamas.es/arduino-actuador-lineal/>
- Martínez, F., & Galvis, J. (2006). Control escalar en motores de inducción monofásicos. *Tecnura*.
- MCI Electronics . (Febrero de 2019). *Arduino.cl*. Obtenido de ¿Qué es arduino?: <https://arduino.cl/que-es-arduino/>
- Microscopio, C. 1. (2006). Garcia, Eduardo; Fernández, Hector. En H. h. Enfermería, *Centro de Estudios Ramón Areces* (págs. 21-28). Madrid: Centro de Estudios Ramón Areces.
- Microscopy, Z. (25 de Abril de 2017). *BiteSize Bio*. Obtenido de <https://bitesizebio.com/34349/automated-microscopy/>

- Montagud, N. (4 de Diciembre de 2019). *Psicología y Mente*. Obtenido de Las 14 partes del microscopio, y sus funciones: <https://psicologiaymente.com/cultura/partes-microscopio>
- Mundo Microscopio*. (Marzo de 2017). Obtenido de [www.mundomicroscopio.com](http://www.mundomicroscopio.com)
- Nikon Instruments Inc.* (Enero de 2019). Obtenido de <https://www.microscope.healthcare.nikon.com/>
- Pieper, R., Schini, S., Cohn, J., Heimburg, D., & Trapp, N. (2020). Low-cost Motorized Microscope Stage. *Biomedical Engineering Design*.
- Piñeres, F. (2019). Diseño y construcción de un microscopio óptico para la inspección. *Biblioteca Universidad Tecnológica de Bolívar*.
- Ross, M., Kaye, G., & Pawlina, W. (2005). *Histología: texto y atlas color con biología celular y molecular*. Buenos Aires: Médica Panamericana S.A.
- Ruiz, L. (2011). Control automático de adquisición de imágenes en un microscopio óptico binocular. *Repositorio Pontificia Universidad Católica del Perú*.
- UPSIN, U. P. (16 de Mayo de 2013). *Repositorio de documentos digitales*. Obtenido de <http://repositorio.upsin.edu.mx/Fragmentos/Capitulo2TESINAcap2172.pdf>
- Vistronica. (2021). *Tienda Virtual de Electrónica*. Obtenido de Motor Paso a Paso 28BYJ-48 0.3KgrCm: <https://www.vistronica.com/robotica/motores/motor-paso-a-paso/motor-paso-a-paso-28byj-48-0-3kgrcm-detail.html>
- Xu, M., Gang, A., & Bin, L. (2009). Design and Implementation of an Automated Microscope Stage. *IEEE Xplore*.

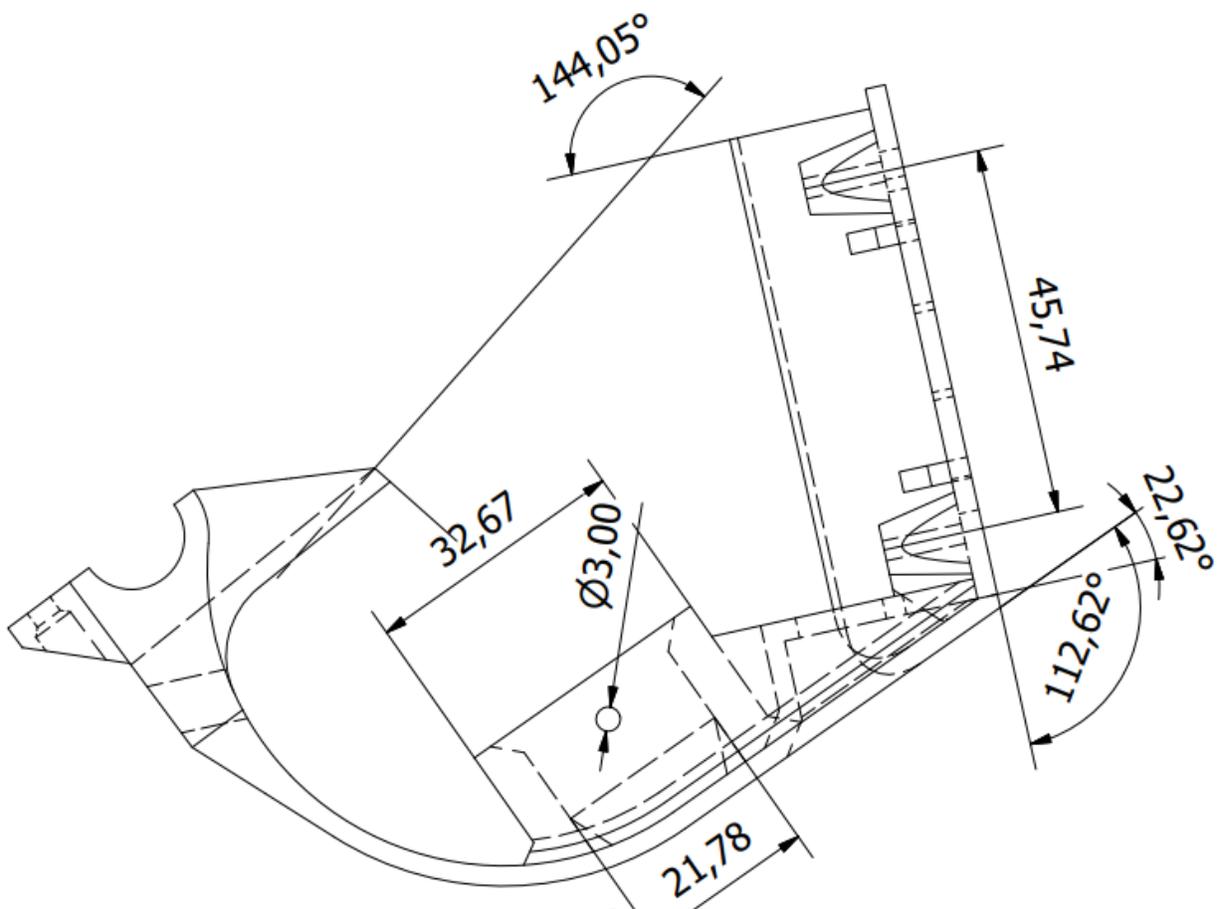
## Anexo I

## Planos del Prototipo

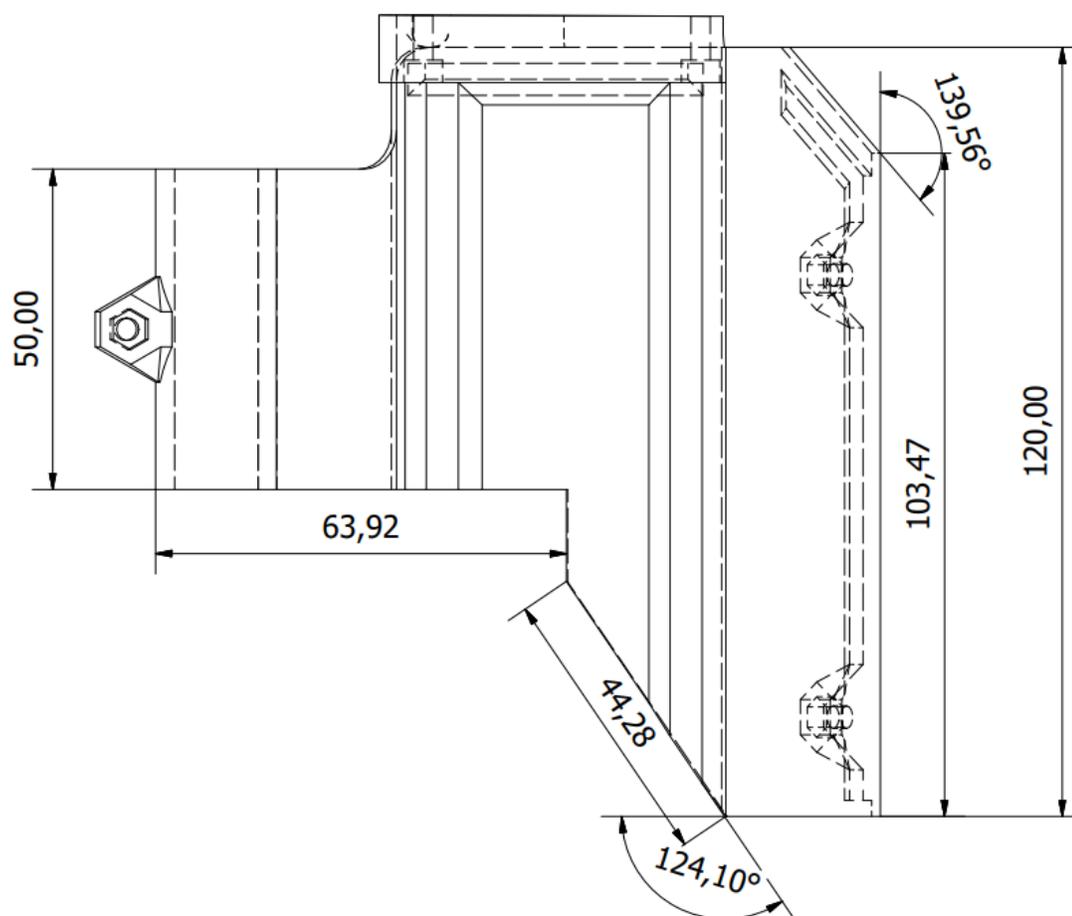
Cubierta principal, vista frontal



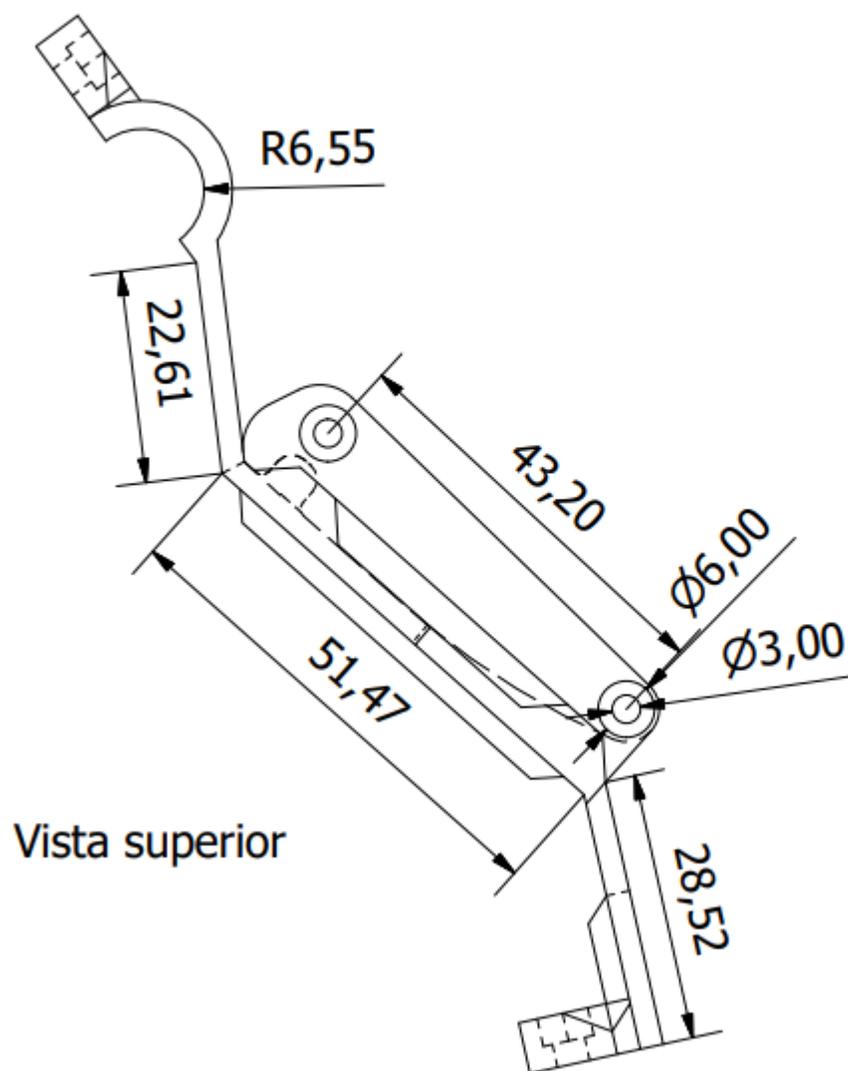
Cubierta principal, vista inferior



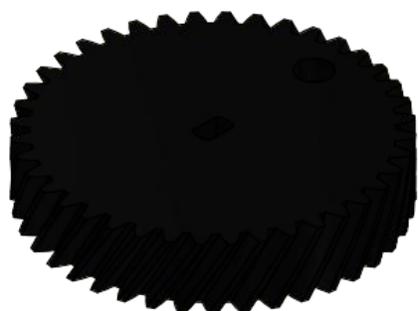
## Cubierta de fijación



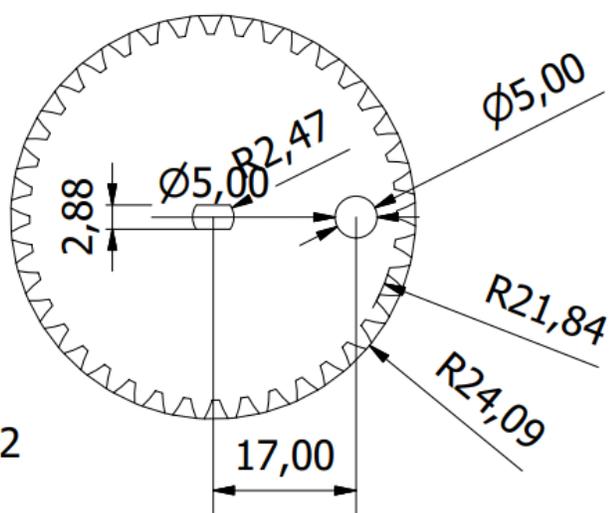
Cubierta de fijación, vista superior



## Engranajes de los motores



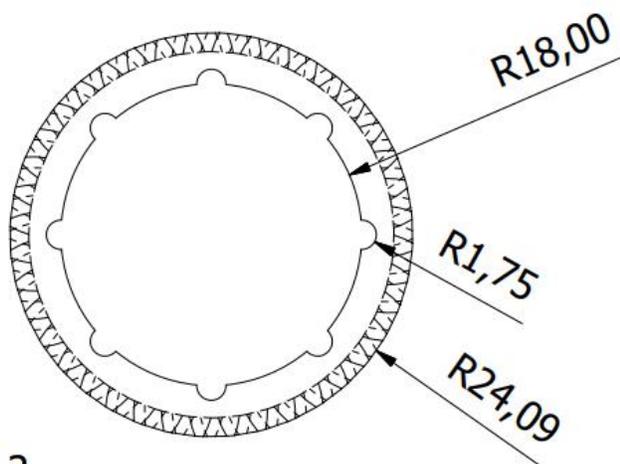
Engranaje motor X 2



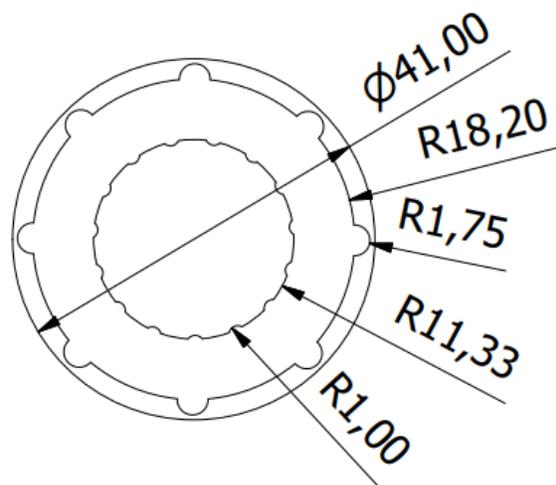
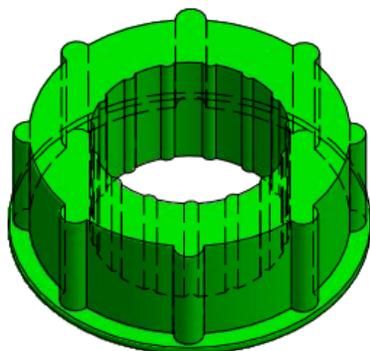
## Engranajes de las perillas



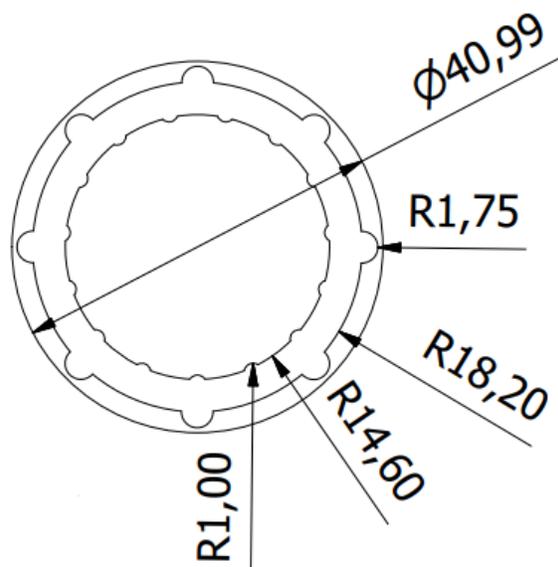
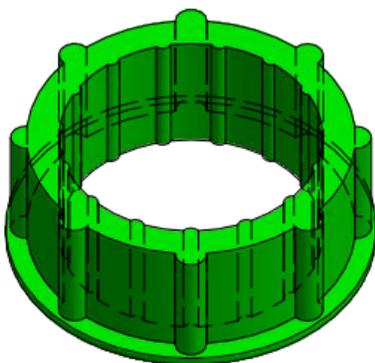
Engranaje perilla X 2



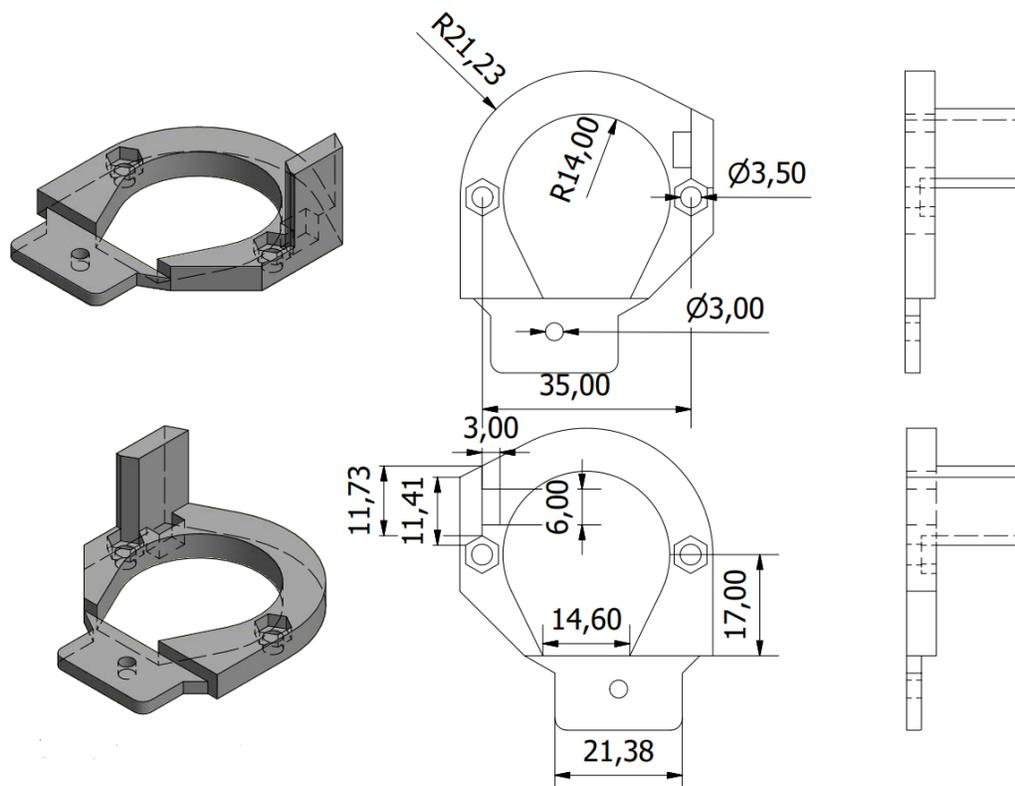
Acople del engranaje de la perilla del eje X



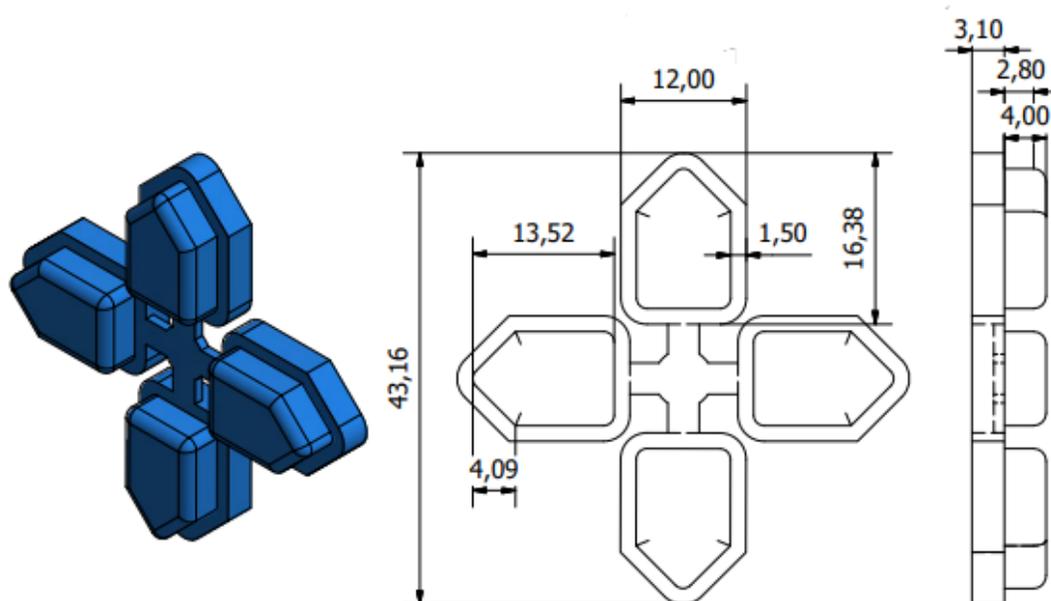
Acople del engranaje de la perilla del eje Y



## Soporte para motores



## Pulsadores



## Anexo II

### Código de Control

```

//definicion de pins
const int motorXPin1 = 8;    // 28BYJ48 In1
const int motorXPin2 = 7;    // 28BYJ48 In2
const int motorXPin3 = 6;    // 28BYJ48 In3
const int motorXPin4 = 5;    // 28BYJ48 In4

const int motorYPin1 = 9;    // 28BYJ48 In1
const int motorYPin2 = 10;   // 28BYJ48 In2
const int motorYPin3 = 11;   // 28BYJ48 In3
const int motorYPin4 = 12;   // 28BYJ48 In4

#define SenX 2
#define SenY 3

#define PXmin A3    //
#define PXmax A0    //

#define PYmin A1    //
#define PYmax A2    //

//definicion variables
int motorSpeed = 10;    //variable para fijar la velocidad en milisegundos (recomendado 10ms)
int stepCounterX = 0,stepCounterY = 0;    // contador para los pasos
int stepsPerRev = 4076; // pasos para una vuelta completa

//secuencia media fase
const int numSteps = 8;
const int stepsLookup[8] = { B1000, B1100, B0100, B0110, B0010, B0011, B0001, B1001 };
//////////
bool PosHomeX=false,PosHomeY=false;//posición de inicio

unsigned long Tpmem,Tp=200;//retardo desatendido para pulsadores 200ms
int ContPMX,ContX,ContPMY,ContY;//posicion anterior , posicion deseada
char BluetoothData;
int X_value,Y_value;
//////////

```

```

bool PosHomeX=false,PosHomeY=false;//posición de inicio

unsigned long Tpmem,Tp=200;//retardo desatendido para pulsadores 200ms
int ContPMX,ContX,ContPMY,ContY;//posicion anterior , posicion deseada
char BluetoothData;
int X_value,Y_value;
////////////////////////////////////
void setup()
{
  Serial.begin(9600);//comunicación serial o bluetooth TX0 RX0
  //declarar pines como salida
  ////////////////////////////////////// MOTORES
  pinMode(motorXPin1, OUTPUT);
  pinMode(motorXPin2, OUTPUT);
  pinMode(motorXPin3, OUTPUT);
  pinMode(motorXPin4, OUTPUT);
  ////////////////////////////////////// PULSADORES
  pinMode(PXmin, INPUT_PULLUP);
  pinMode(PXmax, INPUT_PULLUP);
  pinMode(PYmin, INPUT_PULLUP);
  pinMode(PYmax, INPUT_PULLUP);
  ////////////////////////////////////// SENSORES HALL
  pinMode(SenX, INPUT_PULLUP);
  pinMode(SenY, INPUT_PULLUP);

  Serial.println("INICIO");
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(SenX), HomeX, LOW);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(SenY), HomeY, LOW);
  delay(1000);
  while(PosHomeX==false)
  {anticlockwiseX(); delay(motorSpeed);}StopMotorX();
  detachInterrupt(digitalPinToInterrupt(SenX));
  Serial.println("PosHomeX");

  while(PosHomeY==false)
  {anticlockwiseY(); delay(motorSpeed);}StopMotorY();
  detachInterrupt(digitalPinToInterrupt(SenY));
  Serial.println("PosHomeY");
}

```

```

void loop()
{

if (millis () -Tpmem>=Tp)
{
if (digitalRead(PXmin)==LOW)
{if (ContX<=0) {ContX=0;}else{ContX=ContX-15;}
Serial.print ("ContPMX: ");Serial.print (ContPMX);
Serial.print ("  ContX: ");Serial.println (ContX);}
if (digitalRead(PXmax)==LOW)
{if (ContX>=stepsPerRev) {ContX=stepsPerRev;}else{ContX=ContX+15;}
Serial.print ("ContPMX: ");Serial.print (ContPMX);
Serial.print ("  ContX: ");Serial.println (ContX);}
////////////////////////////////////
if (digitalRead(PYmin)==LOW)
{if (ContY<=0) {ContY=0;}else{ContY=ContY-15;}
Serial.print ("ContPMY: ");Serial.print (ContPMY);
Serial.print ("  ContY: ");Serial.println (ContY);}
if (digitalRead(PYmax)==LOW)
{if (ContY>=stepsPerRev) {ContY=stepsPerRev;}else{ContY=ContY+15;}
Serial.print ("ContPMY: ");Serial.print (ContPMY);
Serial.print ("  ContY: ");Serial.println (ContY);}

Tpmem=millis ();
}

////////////////////////////////////
if (Serial.available ())
{
BluetoothData=Serial.read(); //Get next character from bluetooth
if (BluetoothData=='X') {X_value=Serial.parseInt ();ContX=X_value;}//posición X
if (BluetoothData=='Y') {Y_value=Serial.parseInt ();ContY=Y_value;}//posición Y
Serial.print ("X: ");Serial.println (X_value);
Serial.print ("Y: ");Serial.println (Y_value);
}
}

```

```

////////////////////////////////////

if (ContX!=ContPMX)
{
  if (ContX>ContPMX)
  {
    Serial.println("clockwiseX");
    clockwiseX();//SENTIDO HORARIO
    delay (motorSpeed);
    ContPMX++;}else
    if (ContX<ContPMX)
    {
      Serial.println("anticlockwiseX");
      anticlockwiseX();//SENTIDO ANTIHORARIO
      delay (motorSpeed);
      ContPMX--;}
    }else
    {StopMotorX();}

////////////////////////////////////

if (ContY!=ContPMY)
{
  if (ContY>ContPMY)
  {
    Serial.println("clockwiseY");
    clockwiseY();//SENTIDO HORARIO
    delay (motorSpeed);
    ContPMY++;}else
    if (ContY<ContPMY)
    {
      Serial.println("anticlockwiseY");
      anticlockwiseY();//SENTIDO ANTIHORARIO
      delay (motorSpeed);
      ContPMY--;}
    }else
    {StopMotorY();}

}

} // fin loop

```

```
////////////////////////////////////
void HomeX(void)
{PosHomeX=true;}

void HomeY(void)
{PosHomeY=true;}
////////////////////////////////////
void clockwiseX()
{
    stepCounterX++;
    if (stepCounterX >= numSteps) stepCounterX = 0;
    setOutputX(stepCounterX);
}

void clockwiseY()
{
    stepCounterY++;
    if (stepCounterY >= numSteps) stepCounterY = 0;
    setOutputY(stepCounterY);
}

void anticlockwiseX()
{
    stepCounterX--;
    if (stepCounterX < 0) stepCounterX = numSteps - 1;
    setOutputX(stepCounterX);
}

void anticlockwiseY()
{
    stepCounterY--;
    if (stepCounterY < 0) stepCounterY = numSteps - 1;
    setOutputY(stepCounterY);
}
////////////////////////////////////
```

```
void setOutputX(int step)
{
    digitalWrite(motorXPin1, bitRead(stepsLookup[step], 0));
    digitalWrite(motorXPin2, bitRead(stepsLookup[step], 1));
    digitalWrite(motorXPin3, bitRead(stepsLookup[step], 2));
    digitalWrite(motorXPin4, bitRead(stepsLookup[step], 3));
}

void setOutputY(int step)
{
    digitalWrite(motorYPin1, bitRead(stepsLookup[step], 0));
    digitalWrite(motorYPin2, bitRead(stepsLookup[step], 1));
    digitalWrite(motorYPin3, bitRead(stepsLookup[step], 2));
    digitalWrite(motorYPin4, bitRead(stepsLookup[step], 3));
}

////////////////////////////////////
void StopMotorX(void)
{
    digitalWrite(motorXPin1, LOW);
    digitalWrite(motorXPin2, LOW);
    digitalWrite(motorXPin3, LOW);
    digitalWrite(motorXPin4, LOW);
}
```

### Anexo III

### Tablas de Pruebas

Eje X, escala de 210 pasos

Pasos del motor	EJE X																														Promedio	
	Distancia (mm)																															
	Tom a 1	Tom a 2	Tom a 3	Tom a 4	Tom a 5	Tom a 6	Tom a 7	Tom a 8	Tom a 9	Tom a 10	Tom a 11	Tom a 12	Tom a 13	Tom a 14	Tom a 15	Tom a 16	Tom a 17	Tom a 18	Tom a 19	Tom a 20	Tom a 21	Tom a 22	Tom a 23	Tom a 24	Tom a 25	Tom a 26	Tom a 27	Tom a 28	Tom a 29	Tom a 30		
0	80,44	80,42	80,45	80,38	80,36	80,40	80,46	80,37	80,39	80,41	80,42	80,43	80,42	80,44	80,40	80,38	80,39	80,42	80,45	80,41	80,37	80,41	80,41	80,36	80,40	80,43	80,39	80,42	80,39	80,42	80,41	
210	79,63	79,57	79,53	79,51	79,51	79,55	79,63	79,56	79,59	79,54	79,59	79,56	79,61	79,61	79,59	79,58	79,56	79,61	79,58	79,56	79,57	79,62	79,55	79,54	79,58	79,51	79,58	79,57	79,61	79,62	79,57	
420	78,12	78,09	78,18	78,16	78,21	78,21	78,22	78,16	78,15	78,12	78,20	78,18	78,21	78,00	78,14	78,21	78,12	78,09	78,18	78,17	78,18	78,14	78,19	78,17	78,23	78,16	78,15	78,20	78,09	78,22	78,16	
630	76,96	76,96	76,94	76,87	76,87	76,89	76,99	76,89	76,98	76,98	76,96	76,91	76,95	76,90	76,91	76,90	76,95	76,96	76,94	76,89	76,92	76,93	76,89	76,87	76,95	76,89	76,91	76,90	76,89	76,91	76,92	
840	75,27	75,30	75,25	75,29	75,26	75,21	75,22	75,23	75,30	75,23	75,26	75,28	75,28	75,21	75,26	75,29	75,33	75,26	75,32	75,31	75,29	75,31	75,29	75,29	75,28	75,26	75,34	75,32	75,25	75,27	75,28	
1050	73,85	74,04	73,75	74,14	73,93	73,96	73,84	73,97	73,91	74,13	73,74	73,95	73,94	73,91	73,93	74,02	73,98	73,98	73,96	73,99	73,91	73,93	73,90	73,92	73,96	73,98	73,97	74,02	74,14	73,97	73,95	
1260	72,24	72,53	72,35	72,47	72,56	72,51	72,50	72,47	72,47	72,50	72,49	72,49	72,46	72,40	72,47	72,44	72,51	72,50	72,48	72,49	72,52	72,49	72,53	72,54	72,47	72,51	72,47	72,50	72,48	72,56	72,48	
1470	70,91	71,13	70,82	71,26	70,93	70,81	71,02	70,92	70,94	71,09	70,92	70,99	70,98	70,95	70,94	70,89	70,94	70,94	70,96	70,95	70,96	70,79	70,96	70,79	71,22	71,14	71,20	70,98	70,96	70,96	70,97	
1680	69,37	69,66	69,42	69,58	69,58	69,55	69,44	69,32	69,46	69,46	69,50	69,49	69,39	69,42	69,47	69,46	69,48	69,40	69,54	69,51	69,42	69,41	69,54	69,41	69,42	69,50	69,47	69,43	69,57	69,47		
1890	68,09	68,34	68,14	68,49	68,46	68,75	68,73	68,33	68,36	68,97	68,78	68,48	68,81	68,05	68,46	68,51	68,05	68,73	68,92	68,53	68,19	68,94	68,95	68,08	68,10	68,70	68,50	68,51	68,60	68,40	68,50	
2100	66,34	66,79	66,24	66,83	66,67	66,29	66,91	66,34	66,28	66,04	66,91	66,16	66,48	66,28	66,83	66,73	66,89	66,76	66,35	66,34	66,77	66,89	66,52	66,27	66,45	66,57	66,86	66,75	66,07	66,54		
2310	64,90	65,47	64,81	65,34	64,81	64,05	64,59	64,26	64,71	64,70	64,42	64,65	64,25	64,07	64,67	64,15	64,12	64,82	64,97	64,96	64,65	64,31	64,15	64,44	64,82	64,90	64,39	64,17	64,12	64,26	64,56	
2520	63,46	63,75	63,33	63,64	63,71	63,36	63,17	63,48	63,14	63,59	63,89	63,35	63,65	63,80	63,68	63,81	63,48	63,14	63,26	63,17	63,23	63,96	63,46	63,03	63,47	63,98	63,96	63,25	63,80	63,75	63,54	
2730	62,09	62,27	62,09	62,36	62,63	62,23	62,85	62,26	62,65	62,28	62,92	62,88	62,10	62,40	62,31	62,11	62,54	62,77	62,55	62,93	62,35	62,46	62,01	62,89	62,35	62,68	62,05	62,46	62,49	62,92	62,46	
2940	60,46	60,70	60,42	60,68	60,37	60,54	60,47	60,00	60,17	60,56	60,36	60,02	60,63	60,15	60,43	60,85	60,99	60,63	60,25	60,46	60,82	60,24	60,05	60,72	60,93	60,04	60,48	60,62	60,12	60,67	60,46	
3150	59,07	59,17	59,15	59,25	59,71	59,85	59,78	59,87	59,74	59,17	59,78	59,41	59,18	59,96	59,71	59,92	59,30	59,24	59,12	59,77	59,56	59,93	59,80	59,24	59,37	59,08	59,09	59,62	59,04	59,82	59,49	
3360	57,77	57,67	57,85	57,57	57,05	57,26	57,51	57,59	57,84	57,11	57,85	57,25	57,62	57,71	57,36	57,28	57,06	57,53	57,41	57,71	57,60	57,25	57,87	57,43	57,98	57,09	57,84	57,99	57,48	57,31	57,33	
3570	56,18	56,27	56,16	56,18	56,77	56,64	56,86	56,82	56,88	56,71	56,08	56,73	56,99	56,82	56,96	56,90	56,50	56,48	56,19	56,26	56,64	56,45	56,84	56,62	56,61	56,86	56,98	56,67	56,97	56,80	56,63	
3780	54,54	54,66	54,49	54,54	54,35	54,04	54,73	54,08	54,19	54,98	54,30	54,79	54,21	54,37	54,29	54,94	54,38	54,82	54,76	54,41	54,53	54,69	54,12	54,17	54,21	54,84	54,06	54,82	54,94	54,54	54,49	
3990	52,99	53,14	52,89	53,06	52,63	52,30	52,24	52,35	52,12	52,39	52,30	52,11	52,58	52,69	52,04	52,93	52,99	52,96	52,02	52,40	52,44	52,01	52,08	52,88	52,32	52,36	52,29	52,76	52,40	53,00	52,52	
4200	51,73	51,28	51,38	51,53	51,12	51,29	51,73	51,79	51,01	51,50	51,45	51,28	51,45	51,82	51,78	51,69	51,33	51,17	51,28	51,13	51,27	51,06	51,67	51,27	51,58	51,87	51,01	51,73	51,43	51,42	51,43	
4410	50,26	50,36	50,58	50,42	50,90	50,80	50,15	50,80	50,08	50,97	50,81	50,81	50,66	50,07	50,56	50,27	50,03	50,42	50,87	50,97	50,08	50,20	50,81	50,47	50,70	50,83	50,80	50,55	50,88	50,22	50,54	
4620	48,79	48,51	48,88	48,70	48,68	48,46	48,43	48,23	48,34	48,91	48,90	48,46	48,33	48,60	48,33	48,30	48,30	48,72	48,63	48,11	48,17	48,63	48,20	48,62	48,03	48,50	48,68	48,67	48,70	48,84	48,52	
4830	47,32	47,24	47,68	47,71	47,95	47,01	47,97	47,45	47,60	47,29	47,02	47,50	47,17	47,46	47,99	47,14	47,99	47,77	47,45	47,13	47,14	47,34	47,58	47,76	47,59	47,87	47,06	47,59	47,64	47,43	47,50	
5040	45,85	45,92	45,42	45,35	45,22	45,41	45,41	45,81	45,20	45,94	45,23	45,59	45,85	45,63	45,01	45,34	45,43	45,93	45,60	45,25	45,10	45,11	45,63	45,10	45,59	45,08	45,65	45,19	45,85	45,08	45,46	
5250	44,38	44,38	44,09	44,09	44,21	44,42	44,05	44,92	44,36	44,55	44,13	44,42	44,91	44,85	44,09	44,66	44,66	44,20	44,54	44,69	44,09	44,28	44,81	44,60	44,09	44,75	44,75	44,69	44,44	44,05	44,44	
5460	42,91	43,78	43,72	43,87	43,89	43,43	43,64	43,67	43,95	43,31	43,10	43,10	43,31	43,77	43,34	43,17	43,96	43,24	43,08	43,12	43,93	43,89	43,38	43,03	43,60	43,71	43,49	43,47	43,66	43,84	43,52	
5670	41,44	41,37	41,34	41,42	41,22	41,99	41,75	41,10	41,06	41,93	41,11	41,66	41,62	41,67	41,38	41,25	41,49	41,71	41,17	41,78	41,66	41,18	41,18	41,86	41,20	41,45	41,64	41,67	41,98	41,66	41,50	
5880	39,97	40,09	40,53	40,05	40,37	41,00	40,69	40,89	40,81	40,73	40,34	40,44	40,95	40,67	40,44	40,04	40,85	40,12	40,36	40,24	40,82	40,02	40,26	40,46	40,44	40,66	40,98	40,19	40,18	40,22	40,46	
6090	38,02	38,79	38,73	38,57	38,69	38,81	38,79	38,81	38,18	38,14	38,43	38,24	38,86	38,82	38,35	38,47	38,60	38,95	38,64	38,77	38,68	38,46	38,86	38,59	38,04	38,05	38,38	38,86	38,12	38,27	38,53	
6300	37,52	37,69	37,72	37,46	37,17	37,61	37,37	37,45	37,26	37,84	37,31	37,26	37,33	37,73	37,61	37,24	37,80	37,09	37,72	37,12	37,63	37,10	37,68	37,01	37,55	37,48	37,25	37,87	37,07	37,70	37,45	
6510	35,04	35,68	35,58	35,09	35,60	35,30	35,68	35,33	35,87	35,67	35,37	35,04	35,46	35,78	35,63	35,24	35,06	35,02	35,91	35,28	35,73	35,66	35,79	35,71	35,83	35,85	36,00	35,58	35,68	35,84	35,54	
6720	34,24	34,50	34,67	34,19	34,87	34,55	34,02	34,95	34,41	34,52	34,88	34,97	34,20	34,76	34,29	34,50	34,64	34,05	34,27	34,78	34,31	34,46	34,71	34,30	34,79	34,65	34,94	34,52	34,50	34,55	34,53	
6930	32,24	32,25	32,30	32,92	32,31	32,80	32,84	32,27	32,64	32,48	32,79	32,53	32,63	32,02	32,78	32,05	32,20	32,44	32,02	32,02	32,02	32,02	32,78	32,89	32,38	32,61	32,70	32,55	32,33	32,73	32,80	32,48
7140	31,16	31,17	31,92	31,01	31,36	31,49	31,31	31,45	31,06	31,98	31,41	31,60	31,55	31,02	31,33	31,29	31,51	31,08	31,33	31,44	31,82	31,55	31,31	31,43	31,50	31,25	31,67	31,33	31,53	31,48	31,41	
7350	29,63	29,80	29,25	29,59	29,18	29,31	29,52	29,04	29,50	29,58	29,74	29,13	29,46	29,55	29,44	29,22	29,84	29,72	29,16	29,22	29,25	29,01	29,79	29,47	29,06	29,97	29,24	29,46	29,85	29,35	29,44	
7560	28,36	28,01	28,30	28,85	28,77	28,94	28,05	28,29	28,93	28,56	28,03	28,19	28,41	28,																		

Pasos del motor	Desplazamiento (mm)																															
	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5	Toma 6	Toma 7	Toma 8	Toma 9	Toma 10	Toma 11	Toma 12	Toma 13	Toma 14	Toma 15	Toma 16	Toma 17	Toma 18	Toma 19	Toma 20	Toma 21	Toma 22	Toma 23	Toma 24	Toma 25	Toma 26	Toma 27	Toma 28	Toma 29	Toma 30		
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
210	0.81	0.85	0.92	0.87	0.85	0.85	0.83	0.81	0.80	0.87	0.83	0.87	0.81	0.83	0.81	0.80	0.83	0.81	0.87	0.85	0.80	0.79	0.86	0.82	0.82	0.92	0.81	0.85	0.78	0.80		
420	1.51	1.49	1.35	1.35	1.30	1.34	1.41	1.40	1.44	1.42	1.39	1.38	1.40	1.61	1.45	1.37	1.44	1.52	1.40	1.39	1.39	1.48	1.36	1.37	1.35	1.35	1.43	1.37	1.52	1.40		
630	1.16	1.13	1.24	1.29	1.34	1.32	1.27	1.17	1.18	1.29	1.23	1.31	1.09	1.24	1.26	1.16	1.15	1.29	1.25	1.25	1.25	1.25	1.32	1.22	1.34	1.25	1.31	1.10	1.31			
840	1.69	1.66	1.69	1.58	1.61	1.68	1.77	1.66	1.68	1.75	1.65	1.67	1.62	1.70	1.64	1.66	1.63	1.68	1.57	1.61	1.64	1.58	1.58	1.66	1.61	1.65	1.56	1.57	1.74	1.64		
1050	1.42	1.26	1.50	1.15	1.33	1.25	1.38	1.26	1.39	1.10	1.52	1.33	1.34	1.30	1.33	1.27	1.35	1.28	1.36	1.32	1.38	1.38	1.39	1.37	1.32	1.28	1.37	1.30	1.11	1.30		
1260	1.61	1.53	1.40	1.67	1.37	1.45	1.34	1.50	1.44	1.63	1.25	1.46	1.40	1.53	1.46	1.58	1.47	1.48	1.48	1.50	1.39	1.44	1.37	1.38	1.40	1.47	1.50	1.52	1.66	1.41		
1470	1.37	1.40	1.51	1.21	1.67	1.70	1.40	1.55	1.51	1.41	1.57	1.50	1.40	1.45	1.51	1.55	1.57	1.56	1.52	1.54	1.56	1.69	1.57	1.75	1.25	1.37	1.27	1.52	1.52	1.60		
1680	1.54	1.47	1.40	1.68	1.36	1.26	1.59	1.60	1.48	1.63	1.42	1.49	1.60	1.53	1.47	1.43	1.45	1.54	1.42	1.44	1.54	1.38	1.42	1.38	1.80	1.65	1.75	1.55	1.39	1.55		
1890	1.28	1.32	1.28	1.09	1.12	0.80	0.71	0.99	1.10	0.49	0.72	1.01	0.57	1.36	1.01	0.94	1.43	0.67	0.62	0.95	1.24	0.47	0.60	1.34	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.01		
2100	1.75	1.55	1.90	1.66	1.78	2.47	1.82	1.99	2.06	2.03	1.87	2.32	2.33	1.77	1.63	1.78	1.17	1.97	2.57	2.22	1.42	2.05	2.42	1.81	1.65	2.13	1.64	1.95	1.85	2.33		
2310	1.44	1.32	1.43	1.49	1.87	2.23	2.32	2.08	1.57	1.33	2.49	1.51	2.23	2.21	2.16	2.38	2.76	1.93	1.37	1.38	2.11	2.38	2.37	1.83	1.63	1.67	2.47	2.38	2.62	1.81		
2520	1.44	1.72	1.28	1.70	1.09	0.50	1.42	0.78	1.56	1.11	0.53	1.30	0.60	0.27	0.99	0.35	0.66	0.99	1.72	1.70	1.42	0.35	0.69	1.40	1.35	0.92	0.43	0.93	0.32	0.50		
2730	1.37	1.48	1.44	1.28	1.08	1.32	1.22	0.50	1.32	0.96	0.48	1.55	1.39	1.37	1.69	0.94	0.36	0.71	0.24	0.89	1.50	1.45	0.15	1.12	1.30	1.90	0.79	1.31	0.83			
2940	1.63	1.57	1.67	1.68	2.26	1.69	2.38	2.26	2.47	1.72	2.56	2.85	1.47	2.25	1.88	1.26	1.55	2.14	2.29	2.46	1.52	2.21	1.96	2.18	1.42	2.64	1.58	1.84	1.25	1.25		
3150	1.39	1.53	1.27	1.43	0.66	0.69	0.70	0.13	0.44	1.38	0.58	0.61	1.45	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.14	0.69	1.26	1.25	1.25	1.49	1.56	1.25	1.39	1.01	1.08	0.85
3360	1.30	1.50	1.30	1.68	2.66	2.59	2.26	2.27	1.89	2.07	1.93	2.16	1.56	2.25	2.35	2.63	1.73	1.71	2.07	1.96	2.68	1.93	1.81	1.40	1.99	1.25	1.62	1.56	2.51			
3570	1.59	1.40	1.69	1.30	0.28	0.62	0.65	0.77	0.96	0.38	1.78	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	0.52		
3780	1.64	1.61	1.67	1.64	2.42	2.68	2.13	2.74	2.70	1.73	1.78	1.94	2.76	2.45	2.66	1.97	2.11	1.66	1.43	1.85	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25		
3990	1.55	1.52	1.60	1.48	1.73	1.74	2.49	1.73	2.07	2.59	2.00	2.69	1.62	1.68	2.25	2.01	1.40	1.85	2.74	2.01	2.09	2.68	2.04	1.29	1.89	2.49	1.77	2.05	2.54	1.54		
4200	1.26	1.86	1.51	1.53	1.51	1.01	0.58	1.11	0.90	0.85	0.82	1.13	0.87	0.82	1.24	1.66	1.80	0.74	1.27	1.17	0.95	0.41	1.60	0.75	0.40	1.28	1.04	0.98	1.58			
4410	1.47	0.92	0.79	1.11	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
4620	1.47	1.85	1.70	1.72	2.22	2.34	1.71	1.00	1.74	1.00	1.91	1.00	1.00	1.47	1.00	1.97	1.73	1.70	1.00	1.00	1.91	1.57	1.00	1.84	1.00	1.00	1.00	1.88	1.00	1.38		
4830	1.47	1.72	1.20	1.00	0.74	1.42	1.62	1.88	0.96	1.16	1.14	0.84	1.17	0.32	0.94	1.18	0.98	1.03	1.29	0.62	0.87	0.44	0.63	1.62	1.08	1.06	1.41					
5040	1.47	1.33	2.26	2.35	2.73	1.60	2.56	1.64	2.41	1.35	1.80	1.91	1.32	1.83	2.98	1.80	1.56	1.85	1.85	1.88	1.03	1.23	1.95	2.66	1.00	1.80	1.41	2.40	1.79	1.33		
5250	1.47	1.54	1.33	1.27	1.00	0.99	1.36	0.89	0.83	1.39	1.09	1.17	0.93	0.78	0.93	0.68	0.77	1.72	1.06	0.55	1.01	0.83	0.82	0.50	1.50	0.32	0.91	0.51	1.42	1.03		
5460	1.47	1.69	1.37	1.22	1.32	1.70	1.41	1.25	1.42	1.24	1.03	1.31	1.60	1.09	1.55	1.50	1.70	0.96	1.45	1.57	1.16	0.39	1.43	1.57	0.40	1.65	1.25	1.22	0.78	1.21		
5670	1.47	2.41	2.37	2.45	2.67	1.44	1.89	2.57	2.89	1.38	1.99	1.45	1.69	2.09	2.16	1.91	2.48	1.53	1.92	1.34	1.27	1.70	1.20	1.17	1.40	1.25	1.85	1.80	1.68	1.11		
5880	1.47	1.28	0.81	1.37	0.86	0.89	1.06	0.21	0.25	1.20	0.77	1.22	0.67	1.00	0.95	1.21	0.64	1.59	0.81	1.53	0.85	1.15	0.93	1.40	0.75	0.70	0.66	1.48	1.80	1.45		
6090	1.96	1.20	1.80	1.48	0.88	2.10	1.98	2.62	2.59	1.91	2.20	2.09	1.85	2.00	1.57	2.25	1.18	1.71	1.47	2.13	1.57	1.40	1.87	2.41	2.61	2.60	1.33	2.07	1.32			
6300	0.49	1.10	1.01	1.11	1.52	1.20	1.42	1.36	1.96	1.31	1.12	1.30	1.54	1.09	1.39	1.23	1.39	1.86	1.39	1.65	1.06	1.36	1.18	1.58	1.48	1.56	1.13	1.98	1.04	1.47		
6510	2.48	2.02	2.14	2.37	1.58	2.31	1.69	2.13	1.38	2.18	1.94	2.22	1.87	1.95	1.98	2.01	2.74	2.06	1.81	1.84	1.90	1.44	1.88	1.30	1.72	1.64	1.25	2.28	1.39	1.90		
6720	0.80	1.17	0.92	0.90	0.73	0.74	1.66	0.38	1.46	1.18	0.49	0.07	1.25	1.02	1.34	1.74	1.04	1.47	1.64	1.50	1.43	1.20	1.08	1.41	1.04	1.20	1.06	1.07	1.18	1.45		
6930	1.00	1.25	1.37	1.25	1.85	1.75	1.18	1.68	1.77	1.04	1.09	1.44	1.58	1.74	1.51	1.43	1.44	1.63	1.25	1.76	1.28	1.68	1.82	1.92	1.19	1.95	1.19	1.17	1.42			
7140	1.08	1.08	0.38	1.01	0.96	1.31	1.53	0.82	1.58	0.50	1.38	0.93	1.07	1.00	1.45	0.76	0.69	1.37	0.69	0.58	0.20	1.24	1.58	0.96	1.11	1.45	0.89	1.01	1.20	1.24		
7350	1.53	1.38	2.67	1.42	2.18	1.17	1.79	2.41	1.56	2.40	1.67	2.46	2.09	1.47	1.90	2.07	1.67	1.36	2.17	2.23	2.57	2.54	1.52	1.96	1.00	1.00	1.00	1.67	1.67	1.82		
7560	1.27	1.78	0.95	0.74	0.41	0.37	1.47	0.75	0.56	1.02	1.71	0.95	1.05	1.00	1.37	1.00	1.37	1.61	1.14	1.00	1.00	0.56	1.16	1.00	1.00	1.25	0.70	1.15	1.15	1.77		
7770	2.31	1.24	1.96	2.17	2.13	2.03	1.97	1.77	1.11	1.27	1.55	1.29	1.10	1.40	1.86	1.41	1.36	1.87	1.50	1.54	1.09	1.43	1.00	1.09	1.19	1.66	1.46	1.70	1.53	1.68		
7980	0.11	1.57	0.73	1.25	0.94	1.78	0.58	0.84	1.72	0.36	0.80	1.69	0.38	0.65	0.21	0.74	2.36	0.65	1.37	1.54	1.09	1.43	1.12	1.64	1.19	1.66	1.46	0.94	1.53	0.63		
ramcd	1.48	1.54	1.49	1.55	1.56	1.49	1.48	1.25	1.48	2.09	1.48	1.39	1.37	1.49	1.51	1.57	1.40	1.48	1.38	1.37	1.30	1.34	1.20	1.38	1.13	1.11	1.25	1.42	1.32	1.39		

Eje X, escala de 405 pasos

Pasos del motor	EJE X RANGO DE 405 PASOS																													
	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5	Toma 6	Toma 7	Toma 8	Toma 9	Toma 10	Toma 11	Toma 12	Toma 13	Toma 14	Toma 15	Toma 16	Toma 17	Toma 18	Toma 19	Toma 20	Toma 21	Toma 22	Toma 23	Toma 24	Toma 25	Toma 26	Toma 27	Toma 28	Toma 29	Toma 30
0	80.49	80.45	80.48	80.53	80.50	80.51	80.49	80.50	80.48	80.51	80.49	8																		

Eje X, escala de 600 pasos

EJE X RANGO DE 600 PASOS																															
Pasos del motor	Distancia (mm)																														Promedio
	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5	Toma 6	Toma 7	Toma 8	Toma 9	Toma 10	Toma 11	Toma 12	Toma 13	Toma 14	Toma 15	Toma 16	Toma 17	Toma 18	Toma 19	Toma 20	Toma 21	Toma 22	Toma 23	Toma 24	Toma 25	Toma 26	Toma 27	Toma 28	Toma 29	Toma 30	
0	80.50	80.35	80.00	80.96	80.27	80.48	80.25	80.06	80.61	80.45	80.98	80.75	80.17	80.53	80.50	80.20	80.46	80.82	80.76	80.80	80.86	80.25	80.63	80.31	80.33	80.43	80.53	80.49	80.28	80.57	80.49
600	76.50	76.53	76.26	76.55	76.37	76.34	76.65	76.76	76.30	76.95	76.04	76.11	76.45	76.71	76.31	76.38	76.29	76.15	76.39	76.54	76.13	76.07	76.49	76.07	76.29	76.30	76.65	76.21	76.48	76.65	76.40
1200	72.40	72.83	72.25	72.31	72.59	72.02	72.72	72.58	72.30	72.12	72.85	72.99	72.66	72.59	72.89	72.64	72.68	72.97	72.74	72.36	72.03	72.97	72.32	72.05	72.26	72.45	72.02	72.68	72.42	72.31	72.50
1800	68.19	68.02	68.11	68.19	68.93	68.09	68.87	68.28	68.52	68.75	68.08	68.42	68.49	68.61	68.01	68.08	68.24	68.28	68.73	68.29	68.41	68.26	68.49	68.01	68.85	68.39	68.81	68.84	68.91	68.98	68.48
2400	63.64	63.98	63.41	63.27	63.12	63.65	63.18	63.18	63.26	63.03	63.81	63.69	63.46	63.06	63.02	63.03	63.82	63.86	63.28	63.47	63.19	63.55	63.99	63.75	63.68	63.68	63.81	63.76	63.68	63.18	63.44
3000	59.22	59.35	59.76	59.67	59.74	59.00	59.95	59.93	59.89	59.41	59.69	59.63	59.77	59.30	59.74	59.84	59.37	59.93	59.90	59.90	59.20	59.85	59.96	59.39	59.34	59.18	59.05	59.47	59.04	59.24	59.56
3600	54.73	54.24	54.53	54.91	54.24	54.23	54.60	54.72	54.64	54.89	54.80	54.33	54.29	54.32	54.80	54.04	54.67	54.33	54.18	54.65	54.74	54.95	54.59	54.66	54.64	54.32	54.16	54.40	54.42	54.27	54.51
4200	50.59	50.45	50.23	50.19	50.28	50.21	50.21	50.43	50.96	50.54	50.16	50.30	50.32	50.77	50.88	50.07	50.94	50.05	50.07	50.74	50.57	50.81	50.75	50.09	50.49	50.02	50.98	50.65	50.30	50.46	50.45
4800	46.27	46.98	46.16	46.60	46.45	46.29	46.98	46.20	46.55	46.09	46.32	46.36	46.94	46.47	46.05	46.82	46.48	46.97	46.88	46.71	46.89	46.58	46.94	46.61	46.29	46.58	46.96	46.89	46.59	46.96	46.60
5400	41.95	41.82	41.79	41.00	41.19	41.56	41.29	41.74	41.58	41.14	41.30	41.10	41.23	41.73	41.76	41.56	41.56	41.51	41.15	41.42	41.40	41.43	41.83	41.01	41.00	41.36	41.54	41.50	41.55	41.30	41.44
6000	37.46	37.77	37.30	37.66	37.86	37.99	37.69	37.51	37.33	37.39	37.22	37.85	37.80	37.46	37.03	37.87	37.48	37.80	37.76	37.48	37.93	37.07	37.95	37.57	37.62	37.26	37.32	37.86	37.61	37.68	37.59
6600	33.31	33.40	33.93	33.67	33.74	33.68	33.09	33.15	33.15	33.90	33.57	33.56	33.19	33.11	33.61	33.37	33.79	33.92	33.67	33.63	33.47	33.03	33.89	33.43	33.79	33.83	33.21	34.00	33.97	33.80	33.56
7200	28.99	28.64	28.77	28.97	28.65	28.03	28.49	28.62	28.96	28.38	28.98	28.38	28.49	28.25	28.34	28.44	28.09	28.23	28.39	28.50	28.28	28.77	28.75	28.67	28.03	28.92	28.44	28.59	28.93	28.19	28.53
7800	24.67	24.27	24.61	24.82	24.99	24.57	24.13	24.97	24.74	24.62	24.03	24.31	24.38	24.34	24.29	24.37	24.64	24.72	24.02	24.14	24.64	24.14	24.02	24.32	24.59	24.74	24.86	24.41	24.52	24.83	24.49

Desplazamiento (mm)																															
Pasos del motor	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5	Toma 6	Toma 7	Toma 8	Toma 9	Toma 10	Toma 11	Toma 12	Toma 13	Toma 14	Toma 15	Toma 16	Toma 17	Toma 18	Toma 19	Toma 20	Toma 21	Toma 22	Toma 23	Toma 24	Toma 25	Toma 26	Toma 27	Toma 28	Toma 29	Toma 30	
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
600	4.00	3.81	3.75	4.42	3.90	4.14	3.61	3.30	4.31	3.50	4.94	4.65	3.72	3.81	4.19	3.82	4.16	4.68	4.36	4.25	4.73	4.18	4.14	4.24	4.04	4.12	3.88	4.28	3.79	3.92	
1200	4.10	3.70	4.01	4.24	3.78	4.33	3.93	4.18	4.00	4.84	3.20	3.11	3.79	4.12	3.42	3.74	3.62	3.18	3.66	4.18	4.11	3.10	4.18	4.01	4.02	3.85	4.63	3.54	4.06	3.44	
1800	4.21	4.81	4.14	4.13	3.66	3.92	3.85	4.30	3.78	3.37	4.77	4.58	4.17	3.98	4.88	4.56	4.44	4.69	4.00	4.07	3.61	4.71	3.82	4.05	3.41	4.06	3.21	3.84	3.51	3.33	
2400	4.55	4.04	4.70	4.92	5.81	4.45	5.69	5.10	5.26	5.72	4.27	4.73	5.03	5.95	4.99	5.05	4.42	4.42	5.45	4.81	5.23	4.71	4.51	4.26	3.16	4.70	5.00	5.08	5.23	5.00	
3000	4.42	4.63	3.65	3.59	3.37	4.64	3.23	3.25	3.37	3.62	4.13	4.06	3.69	3.77	3.28	3.19	4.45	3.93	3.37	3.57	3.99	3.69	4.03	4.35	4.35	4.51	4.75	4.29	4.64	3.94	
3600	4.49	5.11	5.23	4.76	5.51	4.77	5.35	5.21	5.24	4.52	4.89	5.30	5.47	4.98	4.94	5.80	4.70	5.00	5.73	5.25	4.46	4.90	5.36	4.73	4.35	4.75	4.85	4.90	5.07	4.63	4.97
4200	4.14	3.60	4.11	4.82	3.67	3.95	4.35	4.16	4.20	4.72	4.04	4.29	4.12	4.18	4.61	3.55	3.99	4.16	3.59	4.20	4.42	4.63	3.87	4.64	4.44	4.22	3.54	3.96	3.66	3.38	
4800	4.32	3.85	3.92	3.58	4.14	3.82	3.77	4.46	4.07	4.11	4.46	3.67	3.76	3.15	4.09	3.78	3.90	4.02	3.80	4.02	3.80	3.48	4.13	3.14	3.74	3.73	3.57	3.85	3.76	4.42	3.99
5400	4.32	5.39	4.66	5.05	5.37	5.07	5.16	4.95	4.37	5.00	4.93	5.02	5.39	5.82	4.79	5.02	5.67	4.39	5.45	4.75	4.70	5.15	4.75	4.95	4.84	4.59	5.37	5.13	4.43	5.84	
6000	4.03	4.16	4.51	3.64	3.90	3.62	3.87	3.72	4.41	3.20	4.36	3.69	3.33	3.45	3.58	3.64	3.77	4.44	4.15	3.75	4.42	4.35	4.76	4.28	4.02	4.65	3.89	4.04	4.25	3.78	
6600	4.61	3.83	3.37	4.16	3.42	4.09	4.36	4.28	4.44	3.96	3.44	4.10	4.60	4.61	4.11	3.68	3.54	3.41	3.52	4.30	3.92	4.31	3.20	4.22	3.81	3.48	4.30	3.52	3.68	3.49	
7200	4.32	4.76	5.19	4.67	5.09	5.66	4.60	4.53	5.11	4.95	5.19	4.58	4.70	4.85	5.28	4.93	5.70	5.68	5.28	5.13	5.19	4.25	5.14	4.77	3.87	4.91	4.77	5.41	5.05	5.62	
7800	4.32	4.38	4.16	4.18	3.66	3.46	4.36	3.65	3.30	4.34	4.35	4.68	4.11	3.91	4.05	4.07	3.45	3.51	4.37	4.36	3.64	4.63	4.74	4.35	3.44	4.18	3.58	4.18	4.41	3.36	
romedi	3.87	3.92	3.88	3.92	3.92	3.88	3.89	3.88	3.91	3.87	4.00	3.92	3.85	3.89	3.89	3.89	3.92	3.92	3.95	3.96	3.90	3.95	3.90	3.96	3.88	3.88	3.92	3.91	3.91	3.87	3.93

Eje X, escala de 795 pasos

EJE X RANGO DE 795 PASOS																															
Pasos del motor	Distancia (mm)																														Promedio
	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5	Toma 6	Toma 7	Toma 8	Toma 9	Toma 10	Toma 11	Toma 12	Toma 13	Toma 14	Toma 15	Toma 16	Toma 17	Toma 18	Toma 19	Toma 20	Toma 21	Toma 22	Toma 23	Toma 24	Toma 25	Toma 26	Toma 27	Toma 28	Toma 29	Toma 30	
0	80.45	80.40	80.72	80.69	80.30	80.50	80.41	80.52	80.95	80.97	80.38	80.43	80.27	80.73	80.58	80.57	80.33	80.64	80.47	80.32	80.51	80.55	80.45	80.42	80.50	80.62	80.39	80.22	80.36	80.41	80.49
795	75.27	75.49	76.25	76.38	76.33	76.25	76.37	76.51	76.29	76.56	76.23	76.45	76.25	76.32	76.50	76.26	76.45	76.31	76.49	76.35	76.11	76.17	76.46	76.31	76.28	76.36	76.60	76.35	72.99	69.68	
1590	69.75	69.66	69.58	69.45	69.01	69.75	69.52	69.59	69.20	69.56	69.19	69.24	69.87	69.71	69.96	69.56	69.31	69.15	69.91	69.47	69.80	69.90	69.53	69.87	69.52	69.69	69.70	69.58	69.35	69.25	69.68
2385	65.99	65.95	64.08	64.11	64.02	63.99	63.90	64.20	63.75	63.87	63.92	63.92	63.98	63.87	64.10	64.12	63.86	63.84	64.01	63.95	63.95	63.80	63.92	64.11	63.95	64.08	63.90	63.58	64.05	63.92	63.97
3180	59.12	59.12	58.96	59.32	59.11	58.94	58.78	58.88	59.12	59.11	58.94	58.68	58.78	59.11	59.02	59.12	59.06	59.11	59.02	58.74	59.03	59.05	58.88	58.79	58.98	59.02	59.10	58.96	58.86	58.74	58.98
3975	52.98	53.01	53.16	53.13	53.01	53.14	53.03	53.02	53.01	53.21	53.09	53.07	53.18	53.11	53.02	53.00	53.01	53.01	53.00	53.17	53.00	53.05	53.09	53.18	53.01	53.00	53.11	53.99	53.19	53.17	53.11
4770	43.77	43.95	44.08	44.11	44.02	43.99	43.90	44.20	43.75	43.99	43.89	43.79	43.90	43.89	44.01	44.01	43.86	43.98	44.00	43.89	44.00	43.78	43.79	44.01	43.90	44.01	43.89	44.01	43.79	43.79	43.80
5565	37.84	38.12	38																												

Pasos del motor	Desplazamiento (mm)																													
	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5	Toma 6	Toma 7	Toma 8	Toma 9	Toma 10	Toma 11	Toma 12	Toma 13	Toma 14	Toma 15	Toma 16	Toma 17	Toma 18	Toma 19	Toma 20	Toma 21	Toma 22	Toma 23	Toma 24	Toma 25	Toma 26	Toma 27	Toma 28	Toma 29	Toma 30
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
990	6,16	6,18	6,05	6,12	5,21	6,10	5,29	5,58	6,81	6,61	5,16	6,02	6,10	5,28	5,53	6,72	5,98	5,94	5,33	6,71	5,42	5,98	5,97	6,71	5,25	5,59	6,10	5,34	6,20	5,95
1980	7,58	7,62	7,58	7,72	8,63	7,77	8,73	8,23	8,06	8,19	8,41	7,74	7,12	8,56	8,42	7,33	8,48	8,57	8,73	7,40	7,65	7,94	7,48	8,16	7,99	8,18	7,60	7,82	7,74	8,37
2970	7,38	7,29	7,44	7,27	6,75	6,99	6,51	7,21	6,15	6,38	6,70	6,72	7,12	6,87	7,03	7,60	6,90	6,96	6,92	7,02	7,43	6,80	7,70	6,57	7,74	7,02	6,84	7,24	7,18	6,81
3960	7,11	7,28	7,29	7,29	7,12	7,14	7,29	6,31	7,56	7,43	7,34	7,42	6,85	7,39	6,47	6,87	6,92	6,43	6,59	7,14	6,60	6,48	6,83	6,80	6,48	7,15	6,98	7,31	7,52	6,66
4950	7,03	6,41	7,04	6,34	6,81	6,68	7,20	7,55	6,98	6,87	6,90	7,14	7,58	7,00	7,16	6,95	6,50	7,33	6,99	6,77	7,59	7,56	7,39	7,30	7,10	6,24	7,45	6,62	6,39	7,29
5940	6,65	7,12	6,87	7,61	6,95	7,29	6,56	6,45	7,29	6,80	7,35	7,00	6,85	7,09	6,88	6,66	7,72	6,94	7,43	7,18	7,29	6,39	6,79	6,86	6,64	7,33	6,27	6,38	7,26	7,14
6930	7,61	8,14	7,69	7,30	8,18	8,44	7,76	7,91	7,50	8,31	7,46	7,68	7,61	7,95	8,55	8,52	8,04	7,82	7,75	8,32	7,20	8,04	8,01	7,90	8,82	7,74	8,37	8,50	7,78	7,77
7920	7,13	6,88	7,21	7,48	6,91	6,49	7,22	7,24	7,23	6,50	6,95	6,54	7,50	6,24	6,16	7,17	6,57	7,37	6,39	7,28	7,78	7,56	6,50	7,31	6,24	6,93	6,64	6,71	7,59	7,35
romedi	7,08	7,12	7,14	7,14	7,07	7,11	7,07	7,06	7,20	7,14	7,03	7,03	7,09	7,05	7,02	7,23	7,14	7,17	7,02	7,23	7,12	7,10	7,08	7,20	7,03	7,02	7,03	7,04	7,21	7,17

Eje X, escala de 1185 pasos

EJE X RANGO DE 1185 PASOS																															
Pasos del motor	Distancia (mm)																														Promedio
	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5	Toma 6	Toma 7	Toma 8	Toma 9	Toma 10	Toma 11	Toma 12	Toma 13	Toma 14	Toma 15	Toma 16	Toma 17	Toma 18	Toma 19	Toma 20	Toma 21	Toma 22	Toma 23	Toma 24	Toma 25	Toma 26	Toma 27	Toma 28	Toma 29	Toma 30	
0	80,45	80,32	80,38	80,45	80,77	80,62	80,33	80,49	80,23	80,24	80,43	80,13	80,50	80,43	80,47	80,04	80,29	80,06	80,79	80,82	80,38	80,26	80,21	80,54	80,78	80,01	80,10	80,64	80,62	80,39	
1185	72,44	72,43	72,39	72,43	72,15	72,60	72,99	72,78	72,45	72,64	72,78	72,40	72,79	72,60	72,14	72,73	72,62	72,81	72,58	72,57	72,26	72,18	72,29	72,45	72,31	72,17	72,08	72,22	72,67	72,46	72,48
2370	63,82	63,84	63,86	63,82	63,79	63,26	63,88	63,94	63,38	63,31	63,98	63,12	63,92	63,62	63,55	63,69	63,18	63,75	63,65	63,48	63,27	63,71	63,55	63,08	63,10	64,00	63,30	63,59	63,15	63,74	63,58
3555	55,20	55,39	55,09	55,16	55,56	55,73	55,75	55,48	55,48	55,32	55,94	55,66	55,32	55,71	55,56	55,73	55,15	55,24	55,93	55,64	55,90	55,97	55,76	55,87	55,01	55,76	55,76	55,08	55,98	55,07	55,54
4740	47,34	47,87	47,31	47,36	47,35	47,05	47,69	47,57	47,99	47,40	47,30	47,00	47,05	47,90	47,90	47,46	47,27	47,10	47,08	47,46	47,85	47,01	47,44	47,65	47,57	47,30	47,78	47,49	47,64	47,05	47,44
5925	39,04	39,53	39,17	39,26	39,68	39,17	39,64	39,42	39,18	39,14	39,34	39,83	39,61	39,84	39,42	39,39	39,65	39,07	39,03	39,30	39,05	39,47	39,09	39,77	39,84	39,25	39,17	39,64	39,86	39,52	39,41
7110	30,75	30,41	30,02	30,94	30,22	30,77	30,36	30,08	30,96	30,76	30,43	30,38	30,15	30,89	30,18	30,32	30,29	30,38	30,78	30,66	30,50	30,29	30,31	30,78	30,85	30,26	30,68	30,64	30,56	30,49	30,51

Pasos del motor	Desplazamiento (mm)																														
	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5	Toma 6	Toma 7	Toma 8	Toma 9	Toma 10	Toma 11	Toma 12	Toma 13	Toma 14	Toma 15	Toma 16	Toma 17	Toma 18	Toma 19	Toma 20	Toma 21	Toma 22	Toma 23	Toma 24	Toma 25	Toma 26	Toma 27	Toma 28	Toma 29	Toma 30	
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
1185	8,01	7,89	7,99	8,02	8,62	8,02	7,35	7,71	7,78	7,59	7,64	7,73	7,71	7,83	8,33	7,31	7,67	7,25	8,21	8,25	8,12	8,08	7,92	7,57	8,23	8,60	7,93	7,89	7,97	8,16	
2370	8,62	8,59	8,53	8,61	8,36	9,34	9,11	8,84	9,08	9,33	8,80	9,28	8,87	8,98	8,59	9,03	9,44	9,06	8,93	9,09	8,99	8,46	8,74	9,37	9,21	8,18	8,79	8,63	9,51	8,72	
3555	8,62	8,45	8,77	8,66	8,23	7,53	8,13	8,46	7,89	7,99	8,02	7,46	8,60	7,91	7,99	7,97	8,03	8,51	7,72	7,84	7,36	7,75	7,78	7,72	8,19	8,09	8,23	7,54	8,51	7,18	8,67
4740	7,86	7,52	7,78	7,80	8,21	8,68	8,06	7,91	7,50	7,92	8,66	8,66	8,26	7,81	7,66	8,26	7,88	8,14	8,85	8,18	8,05	8,96	8,32	8,22	7,44	8,46	7,98	7,58	8,34	8,01	
5925	8,30	8,33	8,14	8,10	7,68	7,88	8,05	8,15	8,81	8,26	7,96	7,15	7,44	8,06	8,48	8,08	7,62	8,03	8,04	8,15	8,80	7,54	8,36	7,88	7,73	8,05	8,61	7,85	7,78	7,53	
7110	8,30	9,13	9,14	8,32	9,45	8,40	9,28	9,35	8,22	8,37	8,91	9,27	9,46	8,96	9,24	9,07	9,35	8,68	8,26	8,64	8,55	9,18	8,78	8,99	8,99	8,99	8,50	9,01	9,30	9,04	
Promed	8,28	8,32	8,39	8,25	8,42	8,31	8,33	8,40	8,21	8,25	8,33	8,26	8,39	8,26	8,38	8,29	8,33	8,28	8,34	8,36	8,31	8,33	8,32	8,21	8,28	8,42	8,22	8,24	8,35	8,36	

Eje X, escala de 1380 pasos

EJE X RANGO DE 1380 PASOS																															
Pasos del motor	Distancia (mm)																														Promedio
	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5	Toma 6	Toma 7	Toma 8	Toma 9	Toma 10	Toma 11	Toma 12	Toma 13	Toma 14	Toma 15	Toma 16	Toma 17	Toma 18	Toma 19	Toma 20	Toma 21	Toma 22	Toma 23	Toma 24	Toma 25	Toma 26	Toma 27	Toma 28	Toma 29	Toma 30	
0	80,45	80,25	80,37	80,45	80,72	80,44	80,89	80,31	80,19	80,60	80,95	80,89	80,40	80,44	80,58	80,36	80,77	80,47	80,30	80,01	80,79	80,05	80,97	80,05	80,33	80,73	80,85	80,67	80,24	80,81	80,51
1380	71,15	70,59	70,84	71,12	71,03	71,85	71,97	71,41	71,55	71,98	71,01	71,53	71,89	71,25	71,11	71,41	71,07	71,97	71,92	71,12	71,13	71,52	71,63	71,75	71,74	71,09	71,11	71,42	71,89	71,77	71,43
2760	60,84	60,49	60,91	60,87	60,77	60,23	60,65	60,08	60,70	60,29	60,24	60,60	60,53	60,76	60,70	60,66	60,30	60,38	60,70	60,22	60,18	60,21	60,96	60,52	60,61	60,49	60,01	60,88	61,00	60,96	60,56
4140	51,00	51,75	51,73	51,67	51,09	51,48	51,33	51,64	51,69	51,13	51,89	51,77	51,84	51,33	51,23	51,18	51,43	51,26	51,02	51,49	51,09	51,41	51,71	51,54	51,68	51,70	51,98	51,24	51,39	51,11	51,46
5520	41,07	41,12	41,04	41,76	41,59	41,29	41,55	41,18	41,52	41,18	41,45	41,54	41,36	41,62	41,50	41,43	41,70	41,58	41,93	41,71	41,63	41,73	41,64	41,81	41,43	41,78	41,72	41,81	41,72	41,54	41,54
6900	31,13	31,28	31,14	31,67	31,96	31,82	31,46	31,37	31,83	31,38	31,73	31,41	31,01	31,18	31,97	31,60	31,41	31,50	31,98	31,68	31,34	31,60	31,78	31,24	31,88	31,25	31,55	31,19	31,11	31,63	31,50

Pasos del motor	Desplazamiento (mm)																													
	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5	Toma 6	Toma 7	Toma 8	Toma 9	Toma 10	Toma 11	Toma 12	Toma 13	Toma 14	Toma 15	Toma 16	Toma 17	Toma 18	Toma 19	Toma 20	Toma 21	Toma 22	Toma 23	Toma 24	Toma 25	Toma 26	Toma 27	Toma 28	Toma 29	Toma 30
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1380	9,30	9,66	9,53	9,33	9,69	8,58	8,92	8,91	8,64	8,62	9,94	9,36	8,51	9,19	9,47	8,95	9,70	8,48	8,38	8,89	9,66	8,53	9,35	8,29	8,59	9,63	9,74	9,26	8,35	9,04
2760	10,31	10,10	9,93	10,25	10,26	11,63	11,32	11,33	10,85	11,69	10,78	10,92	11,37	10,48	10,41	10,75	10,76	11,60	11,21	10,90	10,95	11,31	10,67	11,24	11,13	10,61	11,10	10,54	10,89	10,81
4140	9,84	8,74	9,18	9,20	9,68	8,75	9,33	8,44	9,0																					

### Eje Y, escala de 210 pasos

Pasos del motor	EJE Y RANGO 210 PASOS																														Promedio	
	Distancia (mm)																															
	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5	Toma 6	Toma 7	Toma 8	Toma 9	Toma 10	Toma 11	Toma 12	Toma 13	Toma 14	Toma 15	Toma 16	Toma 17	Toma 18	Toma 19	Toma 20	Toma 21	Toma 22	Toma 23	Toma 24	Toma 25	Toma 26	Toma 27	Toma 28	Toma 29	Toma 30		
0	54,85	54,77	54,81	54,85	54,82	54,95	54,82	54,31	54,84	54,27	54,93	54,27	54,41	54,96	54,86	54,71	54,73	54,25	54,66	54,63	54,99	54,23	54,92	54,73	54,70	54,46	54,55	54,76	54,17	54,29	54,65	
210	53,48	53,49	53,45	53,55	53,46	53,43	53,64	53,99	53,06	53,32	53,91	53,37	53,83	53,77	53,67	53,34	53,33	53,42	53,43	53,03	53,63	53,37	53,18	53,20	53,16	53,83	53,30	53,26	53,60	53,41	53,46	
420	51,37	51,33	51,20	51,26	51,29	51,31	51,04	51,64	51,22	51,13	51,07	51,77	51,97	51,45	51,10	51,64	51,17	51,79	51,47	51,78	51,55	51,71	51,19	51,20	51,31	51,37	51,19	51,98	51,20	51,67	51,41	
630	49,87	50,20	49,94	49,99	49,93	49,95	49,89	49,79	49,15	49,57	49,73	49,12	49,52	49,50	49,86	49,24	49,94	49,21	49,69	49,83	49,41	49,97	49,58	49,70	49,55	49,79	49,38	49,94	49,88	49,92	49,44	
840	47,58	47,49	47,65	47,49	47,65	47,63	47,00	47,70	47,60	47,33	47,06	47,05	47,89	47,30	47,01	47,92	47,08	47,83	47,38	47,65	47,96	47,33	47,52	47,81	47,68	47,59	47,53	47,72	47,44	47,41	47,51	
1050	45,74	45,80	45,94	45,97	45,76	45,96	45,84	45,53	46,00	45,57	45,60	45,27	45,84	45,75	45,53	45,83	45,37	45,35	45,25	45,20	45,53	45,98	45,88	45,16	45,38	45,87	45,52	45,11	45,35	45,34	45,61	
1260	43,90	4,94	43,89	43,79	43,96	43,93	43,40	43,26	43,17	43,22	43,50	43,14	43,68	43,49	43,68	43,38	43,36	43,03	43,52	43,88	43,32	43,66	43,14	43,20	43,77	43,13	43,25	43,99	43,46	43,40	42,22	
1470	41,95	41,70	42,07	42,11	42,14	41,95	41,07	41,06	41,93	41,38	41,29	41,54	41,22	41,40	41,52	41,68	41,36	41,78	41,65	41,08	41,24	41,25	41,99	41,69	41,15	41,44	41,83	41,89	41,04	41,78	41,57	
1680	40,00	39,99	39,95	39,93	39,91	39,85	40,86	40,21	40,36	40,07	40,23	40,86	40,38	40,29	40,85	40,94	41,00	40,28	40,37	40,89	40,46	40,43	40,51	40,08	40,91	40,54	40,76	40,87	40,57	40,82	40,44	
1890	38,20	38,47	38,37	38,30	38,34	38,40	38,05	38,11	38,08	38,31	38,12	38,19	38,91	38,40	38,76	38,01	38,56	38,67	38,79	38,20	38,80	38,73	38,94	38,37	38,37	38,76	38,92	38,77	38,51	38,26	38,46	
2100	35,91	36,17	36,21	36,09	36,05	35,91	35,51	35,29	35,22	35,11	35,83	35,76	35,12	35,69	35,00	35,62	35,22	35,55	35,98	35,34	35,11	35,84	35,40	35,14	35,10	35,49	35,29	35,81	35,40	35,74	35,43	
2310	34,57	34,60	34,47	34,54	34,59	34,51	34,17	34,77	34,47	34,64	34,56	34,03	34,11	34,42	34,86	34,67	34,82	34,38	34,40	34,04	34,75	34,34	34,41	34,47	34,09	34,37	34,83	34,89	34,76	34,52	34,52	
2520	32,48	32,46	32,30	32,37	32,46	32,42	32,39	32,75	32,00	32,29	32,33	32,27	32,92	32,43	32,55	32,66	32,46	32,05	32,38	32,33	32,66	32,55	32,73	32,25	32,10	32,58	32,52	32,61	32,03	32,16	32,42	
2730	30,56	30,81	30,60	30,64	30,60	30,56	30,47	30,77	30,52	30,26	30,53	30,06	30,86	30,26	30,53	30,31	30,80	30,76	30,68	30,22	30,64	30,01	30,99	30,29	30,55	30,02	30,69	30,51	30,26	30,62	30,50	
2940	28,18	28,45	28,61	28,59	28,58	28,65	28,51	28,11	28,40	28,37	28,11	28,02	28,85	28,28	28,22	28,01	28,59	28,99	28,40	28,88	28,67	28,96	28,16	28,08	28,45	28,53	28,49	28,69	28,14	28,20	28,44	
3150	26,24	26,78	26,77	26,79	26,80	26,78	26,39	26,85	26,68	26,36	27,00	26,25	26,29	26,74	26,68	26,03	26,36	26,14	26,46	26,83	26,05	26,81	26,38	26,76	26,28	26,32	26,27	26,55	26,42	26,14	26,51	
3360	24,78	24,83	24,46	24,97	24,56	24,73	24,43	24,62	24,63	24,80	24,46	24,59	24,07	24,44	24,71	24,13	24,72	24,11	24,39	24,75	24,44	24,79	24,52	24,48	24,54	24,00	24,13	24,46	24,22	24,24	24,51	
3570	22,97	22,88	22,91	22,89	22,92	22,87	22,04	22,62	22,02	22,55	22,04	22,77	22,97	22,65	22,86	22,74	22,96	22,98	22,74	22,11	22,79	23,00	22,13	22,02	22,33	22,95	22,65	22,96	22,93	22,10	22,65	
3780	20,65	20,88	20,99	20,96	20,72	20,88	20,20	20,29	20,71	20,24	20,79	20,31	20,34	20,91	20,26	20,66	20,83	20,94	20,07	20,26	20,52	20,34	20,79	20,94	20,67	20,69	20,51	20,70	20,23	20,56	20,56	
3990	18,94	19,02	19,04	19,02	19,15	19,14	18,25	18,96	18,16	18,32	18,19	18,74	18,61	18,66	18,85	18,88	18,89	18,13	18,52	18,14	18,28	18,88	18,19	18,19	18,62	18,14	18,14	18,15	18,78	18,39	18,58	
4200	16,86	16,02	16,26	16,72	16,06	16,89	16,55	16,02	16,77	16,53	16,39	16,10	16,35	16,57	16,21	16,28	16,96	16,63	16,06	16,54	16,06	16,99	16,93	16,00	16,50	16,06	16,82	16,68	16,26	16,03	16,44	
4410	14,95	14,80	14,46	14,97	14,56	14,15	14,71	14,16	14,47	14,62	14,91	14,15	14,18	14,38	14,03	14,83	14,26	14,93	14,60	14,83	14,90	14,58	14,31	14,14	14,47	14,97	14,37	14,07	14,25	14,32	14,51	
4620	13,04	13,32	13,77	13,25	13,07	13,36	13,89	13,75	13,60	14,00	13,67	13,75	13,84	13,86	13,79	13,61	13,89	13,20	13,02	13,87	13,40	13,95	13,07	13,72	13,72	13,42	13,66	13,98	13,42	13,91	13,59	
4830	11,13	11,39	11,66	11,74	11,78	11,59	11,37	11,97	11,95	11,36	11,71	11,48	11,37	11,33	11,94	11,42	11,78	11,67	11,52	11,18	11,82	11,11	11,24	11,80	11,17	11,73	11,60	11,01	11,62	11,66	11,54	
5040	9,22	9,82	9,86	9,09	9,25	9,49	9,29	9,67	9,77	9,64	9,30	9,10	9,39	9,96	9,53	9,60	9,23	9,94	9,51	9,16	9,54	9,81	9,39	9,16	9,78	9,74	9,28	9,36	9,44	9,50		
5250	7,31	7,71	7,82	7,63	7,63	7,11	7,67	7,19	7,03	7,95	7,60	7,92	7,88	7,70	7,40	7,28	7,01	7,47	7,51	7,12	7,35	7,32	7,21	7,33	7,68	7,15	7,02	7,76	7,00	7,89	7,66	7,44
5460	5,40	5,12	5,17	5,36	5,51	5,05	5,13	5,94	5,11	5,08	5,78	5,75	5,34	5,85	6,00	5,08	5,34	5,05	5,01	5,91	5,94	5,22	5,09	5,66	5,85	5,40	5,52	5,82	5,31	5,58	5,45	
5670	3,49	3,03	3,38	3,24	3,34	3,69	3,30	3,41	3,83	3,44	3,39	3,11	3,71	3,93	3,02	3,58	3,13	3,36	3,87	3,59	3,52	3,83	3,94	3,51	3,12	3,33	3,32	3,39	3,49	3,98	3,48	
5880	1,58	1,52	1,85	1,27	1,06	1,48	1,89	1,67	1,50	1,48	1,17	1,85	1,52	1,61	1,47	1,18	1,73	1,39	1,39	1,34	1,84	1,65	1,03	1,67	1,14	1,67	2,00	1,12	1,53	1,51	1,51	

Pasos del motor	Desplazamiento (mm)																													
	Tom a 1	Tom a 2	Tom a 3	Tom a 4	Tom a 5	Tom a 6	Tom a 7	Tom a 8	Tom a 9	Tom a 10	Tom a 11	Tom a 12	Tom a 13	Tom a 14	Tom a 15	Tom a 16	Tom a 17	Tom a 18	Tom a 19	Tom a 20	Tom a 21	Tom a 22	Tom a 23	Tom a 24	Tom a 25	Tom a 26	Tom a 27	Tom a 28	Tom a 29	Tom a 30
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
210	1,37	1,28	1,36	1,30	1,36	1,52	1,19	0,32	1,78	0,94	1,02	0,90	0,58	1,19	1,19	1,37	1,40	0,83	1,22	1,60	1,36	0,86	1,74	1,53	1,53	0,63	1,25	1,50	0,57	0,88
420	2,11	2,16	2,25	2,29	2,17	2,12	2,60	2,35	1,84	2,20	2,84	1,60	1,86	2,32	2,56	1,70	2,16	1,63	1,96	1,25	2,08	1,67	1,98	2,00	1,84	2,46	2,11	1,27	2,40	1,74
630	1,50	1,13	1,26	1,27	1,36	1,36	1,15	1,85	2,07	1,56	1,34	2,65	2,45	1,95	1,25	2,40	1,23	2,58	1,78	1,95	2,14	1,74	1,62	1,50	1,76	1,57	1,81	2,04	1,32	1,75
840	2,29	2,71	2,29	2,50	2,28	2,32	2,89	2,09	1,55	2,24	2,67	2,07	1,63	2,20	2,85	1,32	2,32	2,19	1,44	2,64	2,06	1,89	1,87	2,20	1,57	1,85	2,22	2,44	2,52	2,52
1050	1,84	1,69	1,71	1,52	1,89	1,67	1,16	2,17	1,60	1,76	1,45	1,78	2,05	1,54	1,48	2,09	1,71	2,48	2,13	2,45	2,43	1,34	1,64	2,65	2,30	1,72	2,01	2,61	2,09	2,07
1260	1,84	40,36	2,05	2,18	1,80	2,03	2,44	2,27	2,83	2,35	2,11	2,13	2,16	2,27	1,84	2,25	2,01	2,32	1,73	1,32	2,21	2,32	2,74	1,96	1,60	2,75	2,27	1,12	1,89	1,94
1470	1,95	-36,76	1,82	1,68	1,82	1,98	2,33	2,20	1,24	1,83	2,21	1,60	2,46	2,09	2,16	1,90	2,00	1,25	1,87	2,79	2,08	2,41	1,15	1,52	2,62	1,68	1,42	2,10	2,42	1,62
1680																														

Eje Y, escala de 405 pasos

EJE Y RANGO DE 405 PASOS																															
Pasos del motor	Distancia (mm)																													Promedio	
	Tom a 1	Tom a 2	Tom a 3	Tom a 4	Tom a 5	Tom a 6	Tom a 7	Tom a 8	Tom a 9	Tom a 10	Tom a 11	Tom a 12	Tom a 13	Tom a 14	Tom a 15	Tom a 16	Tom a 17	Tom a 18	Tom a 19	Tom a 20	Tom a 21	Tom a 22	Tom a 23	Tom a 24	Tom a 25	Tom a 26	Tom a 27	Tom a 28	Tom a 29		Tom a 30
0	54,88	54,77	54,80	54,86	54,89	54,25	54,80	54,86	54,46	54,46	54,89	54,66	54,26	54,55	54,86	54,45	54,06	54,58	54,12	54,62	54,47	54,55	54,02	54,18	54,01	54,41	54,35	54,97	54,89	54,03	54,53
405	51,66	51,62	51,64	51,65	51,98	51,30	51,03	51,81	51,30	51,10	51,58	51,26	51,98	51,55	51,40	51,49	51,98	51,76	51,12	51,23	51,37	51,60	51,52	51,81	51,02	51,34	51,31	51,68	51,18	51,98	51,31
810	48,52	48,53	48,11	48,16	48,54	48,03	48,45	48,11	48,45	48,15	48,23	48,54	48,77	48,85	48,36	48,16	48,89	48,24	48,13	48,18	48,16	48,06	48,23	48,37	48,81	48,21	48,65	48,12	48,87	48,31	48,37
1215	44,32	44,40	44,35	44,36	44,17	44,87	44,98	44,66	44,00	44,22	44,70	44,17	44,87	44,23	44,36	44,40	44,64	44,27	44,09	44,04	44,31	44,22	44,59	44,31	44,73	44,14	44,29	44,78	44,14	44,43	44,40
1620	40,68	40,95	40,85	40,91	40,74	40,23	40,93	40,07	40,84	40,09	40,19	40,16	40,59	40,72	40,81	40,04	40,36	40,35	40,64	40,05	40,24	40,75	40,99	40,87	40,49	40,36	40,32	40,34	40,78	40,14	40,52
2025	37,29	37,28	37,24	37,32	37,68	37,02	37,33	37,89	37,00	37,68	37,14	37,70	37,49	37,87	37,55	37,14	37,86	37,12	37,24	37,71	37,23	37,64	37,07	37,01	37,31	37,74	37,93	37,87	37,93	37,31	37,45
2430	33,65	33,67	33,77	33,65	33,75	33,62	33,98	33,45	33,74	33,76	33,04	33,82	34,00	33,81	33,24	33,26	33,85	33,60	33,29	33,82	33,42	33,74	33,45	33,28	33,15	33,28	33,79	33,74	33,56	33,88	33,60
2835	29,51	29,49	29,48	29,53	29,52	29,30	29,77	29,77	29,74	29,55	29,15	29,37	29,17	29,99	29,57	29,08	29,40	29,34	29,83	29,41	29,42	29,61	29,14	29,27	29,99	29,09	29,14	29,62	29,30	29,57	29,47
3240	25,73	25,85	25,82	25,80	25,82	25,37	25,63	25,34	25,21	25,94	25,09	25,04	25,57	25,20	25,36	25,76	25,28	25,22	25,88	25,42	25,21	25,38	25,72	25,62	25,48	25,71	25,05	25,08	25,20	25,63	25,48
3645	22,21	22,25	22,21	22,20	22,25	22,24	22,54	22,96	22,78	22,95	22,11	22,45	22,68	22,10	22,03	22,54	22,47	22,07	22,64	22,43	22,86	22,14	22,01	22,26	22,19	22,21	22,17	22,35	22,49	22,03	22,36
4050	18,72	18,85	18,88	18,30	18,04	18,24	18,50	18,71	18,56	18,32	18,43	18,54	18,80	18,59	18,06	18,80	18,27	18,65	18,62	18,57	18,20	18,10	18,71	18,16	18,96	18,79	18,52	18,06	18,15	18,20	18,48
4455	15,08	15,33	15,86	15,82	15,17	15,81	15,21	15,92	15,99	15,94	15,98	15,01	15,91	15,30	15,14	15,71	15,19	15,14	15,20	15,04	15,85	15,05	15,73	15,04	15,29	15,56	15,53	15,37	15,18	15,56	15,46
4860	11,43	11,41	11,46	11,91	11,28	11,33	11,60	11,37	11,67	11,90	11,03	11,29	11,97	11,94	11,44	11,96	11,51	11,48	11,81	11,30	11,73	11,61	11,01	11,96	11,30	11,17	11,40	11,67	11,99	11,58	11,55
5265	7,79	7,89	7,66	7,87	7,16	7,66	7,37	7,16	7,56	7,43	7,15	7,63	7,20	7,67	7,53	7,80	7,30	7,75	7,13	7,50	7,05	7,00	7,27	7,86	7,21	7,51	7,14	7,59	7,74	7,76	7,46
5670	4,14	4,64	4,74	4,94	4,05	4,47	4,90	4,63	4,79	4,29	4,83	4,16	4,43	5,00	4,23	4,68	4,96	4,35	4,92	4,94	4,49	4,69	4,71	4,89	4,36	4,35	4,99	4,10	4,92	4,94	4,62

Pasos del motor	Desplazamiento (mm)																															
	Tom a 1	Tom a 2	Tom a 3	Tom a 4	Tom a 5	Tom a 6	Tom a 7	Tom a 8	Tom a 9	Tom a 10	Tom a 11	Tom a 12	Tom a 13	Tom a 14	Tom a 15	Tom a 16	Tom a 17	Tom a 18	Tom a 19	Tom a 20	Tom a 21	Tom a 22	Tom a 23	Tom a 24	Tom a 25	Tom a 26	Tom a 27	Tom a 28	Tom a 29	Tom a 30		
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
405	3,22	3,15	3,16	3,21	2,91	2,95	3,77	3,05	3,15	3,36	3,31	3,39	2,28	3,00	3,46	2,97	2,08	2,83	3,00	3,39	3,10	2,94	2,50	2,36	2,99	3,06	3,04	3,29	3,71	2,05		
810	3,14	3,09	3,53	3,49	3,44	3,26	2,58	3,70	2,85	2,95	3,36	2,72	3,21	2,70	3,04	3,32	3,08	3,51	2,99	3,05	3,21	3,54	3,29	3,45	2,21	3,13	2,66	3,56	2,31	3,67		
1215	4,20	4,13	3,76	3,80	3,37	3,17	3,47	3,45	4,45	3,92	3,53	4,37	3,90	4,62	4,00	3,76	4,25	3,97	4,04	4,14	3,85	3,84	3,65	4,05	4,08	4,07	4,36	3,34	4,72	3,88		
1620	3,64	3,45	3,50	3,45	3,43	4,64	4,05	4,59	3,16	4,14	4,51	4,01	4,28	3,51	3,55	3,46	4,28	3,93	3,45	3,99	4,08	3,47	3,60	3,44	4,23	3,78	3,97	4,45	3,36	4,29		
2025	3,39	3,67	3,61	3,59	3,06	3,21	3,60	2,18	3,84	2,40	3,05	2,46	3,09	2,85	3,26	2,90	2,20	3,40	2,35	3,00	3,11	3,92	3,87	3,10	2,62	2,39	2,46	2,86	2,83			
2430	3,64	3,61	3,47	3,67	3,93	3,40	3,35	4,43	3,26	3,92	4,11	3,88	3,49	4,06	4,31	3,88	4,01	3,52	3,95	3,89	3,81	3,89	3,61	3,73	4,16	4,46	4,13	4,13	4,36	3,43		
2835	4,14	4,18	4,29	4,12	4,23	4,32	4,21	3,68	4,00	4,21	3,88	4,45	4,83	3,82	3,67	4,18	4,45	4,26	3,46	4,40	4,00	4,14	4,32	4,01	3,16	4,19	4,65	4,12	4,26	4,31		
3240	3,78	3,64	3,66	3,73	3,70	3,93	4,14	4,43	4,53	3,61	4,07	4,33	3,60	4,79	4,20	3,33	4,12	4,11	3,95	4,00	4,22	4,22	3,42	3,64	4,51	3,38	4,09	4,53	4,10	3,94		
3645	3,52	3,60	3,61	3,60	3,57	3,13	3,09	2,39	2,44	2,99	2,97	2,59	3,20	3,10	3,34	3,22	3,22	3,16	3,24	2,99	2,35	3,24	3,70	3,37	3,30	3,50	2,89	2,73	2,71	3,60		
4050	3,49	3,40	3,33	3,90	4,21	4,01	4,03	4,24	4,22	4,62	3,68	3,91	3,87	3,51	3,96	3,74	4,19	3,42	4,01	3,86	4,66	4,04	3,31	4,09	3,22	3,42	3,64	4,29	4,34	3,83		
4455	3,65	3,52	3,02	2,48	2,87	2,43	3,30	2,80	2,57	2,39	2,44	3,53	2,89	3,28	2,92	3,09	3,08	3,51	3,43	3,53	2,35	3,06	2,98	3,12	3,67	3,23	2,99	2,70	2,97	2,64		
4860	3,65	3,92	4,40	3,90	3,89	4,48	3,61	4,55	4,32	4,03	4,96	3,72	3,94	3,26	3,70	3,75	3,68	3,65	3,39	3,74	4,12	3,43	4,72	3,08	3,99	4,39	4,13	3,70	3,19	3,98		
5265	3,65	3,53	3,80	4,05	4,12	3,67	4,22	4,21	4,10	4,47	3,87	3,66	4,76	4,27	3,91	4,67	4,20	3,73	4,68	3,80	4,68	4,61	3,75	4,10	4,09	3,66	4,27	4,08	4,25	3,82		
5670	3,65	3,24	2,92	2,92	3,11	3,20	2,48	2,53	2,78	3,14	2,33	3,48	2,77	2,67	3,30	2,62	2,34	3,40	2,21	2,56	2,55	2,31	2,55	2,97	2,86	3,16	2,15	3,48	2,82	2,82		
romedi	3,62	3,58	3,58	3,57	3,63	3,56	3,56	3,59	3,55	3,58	3,58	3,61	3,56	3,54	3,62	3,56	3,51	3,59	3,51	3,59	3,51	3,55	3,57	3,56	3,52	3,52	3,55	3,58	3,53	3,63	3,57	3,51

Eje Y, escala de 600 pasos

EJE Y RANGO DE 600 PASOS																															
Pasos del motor	Distancia (mm)																													Promedio	
	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5	Toma 6	Toma 7	Toma 8	Toma 9	Toma 10	Toma 11	Toma 12	Toma 13	Toma 14	Toma 15	Toma 16	Toma 17	Toma 18	Toma 19	Toma 20	Toma 21	Toma 22	Toma 23	Toma 24	Toma 25	Toma 26	Toma 27	Toma 28	Toma 29		Toma 30
0	54,85	55,12	54,89	54,84	54,17	54,78	54,82	54,04	54,53	54,98	54,70	54,80	54,44	54,30	54,72	54,30	54,68	54,27	54,51	54,92	54,16	54,94	54,35	54,40	54,52	54,48	54,18	54,77	54,46	54,64	54,59
600	49,92	49,52	49,84	49,79	49,79	49,37	49,71	49,25	49,46	49,50	49,35	49,93	49,61	49,64	49,64	49,20	49,27	49,06	49,63	49,37	49,18	49,87	49,01	49,04	49,51	49,51	49,43	49,71	49,09	49,49	
1200	44,83	44,59	44,62	44,59	44,65	44,08	44,48	44,52	44,36	44,08	44,92	44,92	44,89	44,79	44,86	44,52	44,74	44,69	44,21	44,63	44,39	44,83	44,45	44,12	44,19	44,46	44,41	44,15	44,38	44,75	44,54
1800	39,14	39,09	39,09	39,12	39,54	39,17	39,02	39,87	39,05	39,75	39,71	39,64	39,40	39,05	39,66	39,97	39,36	39,01	39,00	39,41	39,75	39,69	39,66	39,25	39,79	39,14	39,39	39,29	39,84	39,10	39,40
2400	33,65	33,54	33,60	33,59	33,14	33,41	33,38	33,58	33,59	33,66	33,73	33,22	33,72	33,09	33,56	33,44	33,32	33,44	33,10	33,48	33,44	33,18	33,42	33,62	33,21	33,60	33,81	33,32	33,41	33,07	33,44
3000	28,49	28,42	28,17	28,40	28,97	28,79	28,89	28,16	2																						

### Eje Y, escala de 795 pasos

EJE Y RANGO DE 795 PASOS																															
Pasos del motor	Distancia (mm)																														Promedio
	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5	Toma 6	Toma 7	Toma 8	Toma 9	Toma 10	Toma 11	Toma 12	Toma 13	Toma 14	Toma 15	Toma 16	Toma 17	Toma 18	Toma 19	Toma 20	Toma 21	Toma 22	Toma 23	Toma 24	Toma 25	Toma 26	Toma 27	Toma 28	Toma 29	Toma 30	
0	55.08	54.88	54.90	54.89	54.27	54.12	54.75	54.04	54.02	54.63	54.61	54.83	54.89	54.78	54.77	54.97	54.67	54.18	54.17	54.34	54.78	54.45	54.85	54.66	54.81	54.38	54.76	54.13	54.72	54.12	54.58
795	48.05	47.36	47.68	47.14	48.69	48.26	48.05	48.00	48.75	48.46	48.06	48.88	48.13	48.95	48.70	48.71	48.80	48.84	48.18	48.91	48.69	48.81	48.69	48.16	48.72	48.09	48.99	48.69	48.32	48.34	48.40
1590	40.99	40.89	40.99	40.87	40.96	40.99	40.42	40.79	40.97	40.63	40.95	40.89	40.72	40.60	40.75	40.33	40.53	40.27	40.95	40.41	40.97	40.53	40.90	40.73	40.90	40.53	40.45	40.87	40.42	40.90	40.74
2385	33.59	33.60	33.57	33.51	33.64	33.71	33.56	33.90	33.61	33.63	33.61	33.28	33.92	33.56	33.20	33.99	33.87	33.37	33.70	33.85	33.83	33.94	33.22	33.51	33.03	33.56	33.47	33.87	33.61	33.37	33.60
3180	25.51	25.90	26.32	26.30	25.06	25.25	25.03	25.90	25.56	25.20	26.00	25.14	25.96	25.10	25.74	25.35	25.55	25.63	25.25	25.51	25.45	25.81	25.64	25.70	25.46	25.69	25.53	25.21	25.90	25.90	
3975	19.03	18.83	18.98	18.85	19.56	19.17	19.40	19.33	19.28	19.59	19.62	19.64	19.02	19.86	19.86	19.06	19.14	19.91	19.74	19.90	19.85	19.83	19.15	19.08	19.40	19.10	19.41	19.62	19.22	19.55	19.40
4770	12.09	12.73	12.89	12.48	12.32	12.74	12.59	12.34	12.16	12.53	12.69	12.26	12.48	12.99	12.93	12.26	12.22	12.64	12.54	12.16	12.18	12.71	12.45	12.71	12.75	12.22	12.32	12.47	12.20	12.22	12.47
5565	4.93	4.69	4.36	4.76	4.48	4.34	4.85	4.29	4.63	4.17	4.30	4.91	4.66	4.26	4.99	4.24	4.54	4.91	4.62	4.97	4.81	4.99	4.37	4.54	4.07	4.32	4.21	4.82	4.38	4.96	4.58

Desplazamiento (mm)																															
Pasos del motor	Desplazamiento (mm)																														Promedio
	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5	Toma 6	Toma 7	Toma 8	Toma 9	Toma 10	Toma 11	Toma 12	Toma 13	Toma 14	Toma 15	Toma 16	Toma 17	Toma 18	Toma 19	Toma 20	Toma 21	Toma 22	Toma 23	Toma 24	Toma 25	Toma 26	Toma 27	Toma 28	Toma 29	Toma 30	
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
795	7.03	7.52	7.22	7.75	5.58	5.86	6.70	6.04	5.27	6.17	6.55	5.96	6.76	5.83	6.07	6.26	5.86	5.34	5.98	5.43	6.09	5.64	6.16	6.50	6.09	6.29	5.77	5.44	6.40	5.77	
1590	7.06	6.47	6.69	6.27	7.73	7.27	7.63	7.21	7.78	7.83	7.11	7.99	7.41	8.35	7.95	8.37	8.27	8.57	7.23	8.49	7.72	8.28	7.79	7.43	7.82	7.57	8.54	7.83	7.90	7.44	
2385	7.40	7.29	7.42	7.36	7.32	7.28	6.86	6.88	7.36	7.00	7.34	7.61	6.79	7.04	7.56	6.34	6.66	6.90	7.25	6.56	7.14	6.58	7.22	7.87	6.96	6.98	6.99	6.81	7.53		
3180	8.08	7.70	7.25	7.21	8.58	8.46	8.53	8.00	8.05	8.43	7.61	8.14	7.96	8.46	7.45	8.65	8.31	7.74	8.45	8.34	8.38	8.13	7.59	7.81	7.58	7.87	7.94	8.67	7.70	7.47	
3975	6.48	6.07	7.34	7.45	5.50	6.07	5.63	6.57	6.28	5.61	6.38	5.50	6.94	5.24	5.89	6.29	6.42	5.72	5.51	5.61	5.99	6.48	6.62	6.06	6.59	6.12	5.59	6.68	6.35		
4770	6.94	7.10	6.09	6.37	7.25	6.43	6.81	6.99	7.12	7.06	6.93	7.38	6.54	6.87	6.93	6.80	6.92	7.27	7.20	7.74	7.66	7.11	6.71	6.37	6.65	6.89	7.10	7.15	7.05	7.33	
5565	7.15	8.05	8.53	7.72	7.84	8.40	7.74	8.05	7.54	8.36	8.39	7.35	7.83	8.73	7.94	8.01	7.68	7.73	7.92	7.20	7.38	7.72	8.08	8.16	8.68	7.89	8.11	7.65	7.82	7.26	
Promedio	7.84	7.86	7.89	7.84	7.83	7.82	7.89	7.79	7.77	7.89	7.90	7.88	7.85	7.97	7.96	7.84	7.82	7.88	7.86	7.86	7.89	7.91	7.86	7.86	7.90	7.79	7.86	7.84	7.83	7.81	

### Eje Y, escala de 990 pasos

EJE Y RANGO DE 990 PASOS																															
Pasos del motor	Distancia (mm)																														Promedio
	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5	Toma 6	Toma 7	Toma 8	Toma 9	Toma 10	Toma 11	Toma 12	Toma 13	Toma 14	Toma 15	Toma 16	Toma 17	Toma 18	Toma 19	Toma 20	Toma 21	Toma 22	Toma 23	Toma 24	Toma 25	Toma 26	Toma 27	Toma 28	Toma 29	Toma 30	
0	54.99	54.83	54.82	54.86	54.25	54.34	54.11	54.44	54.87	54.73	54.88	54.08	54.56	54.69	54.21	54.24	54.01	54.72	54.32	54.40	54.20	54.68	54.58	54.80	54.35	54.71	54.96	54.32	54.55	54.57	54.53
990	46.36	46.35	46.36	45.91	46.45	46.93	46.24	46.34	46.37	46.63	46.04	46.77	46.70	46.96	46.43	46.10	46.07	46.00	46.72	46.17	46.70	46.54	46.61	46.36	46.75	46.92	46.61	46.09	46.85	46.72	46.47
1980	36.88	37.51	37.47	37.63	36.00	36.70	36.93	36.58	36.10	36.04	36.87	36.08	36.66	36.42	36.14	36.03	36.92	36.22	36.57	36.90	36.49	36.11	36.08	36.07	36.10	36.52	36.99	36.63	36.32	36.87	36.56
2970	28.75	28.58	28.23	28.45	28.53	28.84	28.42	28.41	28.83	28.90	28.97	28.01	28.75	28.86	28.78	28.40	28.42	28.37	28.64	28.68	28.79	28.33	28.70	28.38	28.28	28.75	28.56	28.61	28.90	28.23	28.58
3960	19.14	19.13	19.17	19.14	19.22	19.68	19.24	19.99	19.35	19.26	19.18	19.80	19.13	19.21	19.62	19.05	19.40	19.55	19.68	19.09	19.31	19.61	19.37	19.65	19.78	19.51	19.41	19.13	19.96	19.14	19.40
4950	10.69	10.55	10.33	10.24	10.28	10.89	10.20	10.03	10.37	10.92	10.67	10.92	10.92	10.70	10.91	10.93	10.96	10.44	10.50	10.18	10.33	10.65	10.99	10.05	10.76	10.24	10.12	10.84	10.29	10.08	10.53
5940	1.88	1.52	1.12	1.93	1.99	1.45	1.31	1.37	1.99	1.79	1.10	1.60	1.68	1.05	1.06	1.46	1.37	1.28	1.56	1.82	1.35	1.88	1.60	1.31	1.80	1.01	1.92	1.42	1.84	1.01	1.52

Desplazamiento (mm)																															
Pasos del motor	Desplazamiento (mm)																														Promedio
	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5	Toma 6	Toma 7	Toma 8	Toma 9	Toma 10	Toma 11	Toma 12	Toma 13	Toma 14	Toma 15	Toma 16	Toma 17	Toma 18	Toma 19	Toma 20	Toma 21	Toma 22	Toma 23	Toma 24	Toma 25	Toma 26	Toma 27	Toma 28	Toma 29	Toma 30	
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
990	8.63	8.48	8.46	8.95	7.80	7.40	7.87	8.10	8.50	8.10	8.83	7.32	7.86	7.73	7.78	8.14	7.93	8.72	7.61	8.23	7.49	8.14	7.97	8.44	7.60	7.79	8.35	8.23	7.70	7.85	
1980	9.48	8.84	8.89	8.28	10.45	10.23	9.31	9.76	10.26	10.59	9.17	10.69	10.04	10.55	10.28	10.07	9.15	9.78	10.14	9.27	10.21	10.42	10.53	10.29	10.66	10.40	9.62	9.46	10.53	9.85	
2970	8.13	8.93	9.24	9.18	7.47	7.86	8.51	8.16	7.28	7.13	7.90	8.06	7.91	7.56	7.36	7.63	8.50	7.85	7.93	8.22	7.71	7.78	7.37	7.69	7.82	7.77	8.43	8.01	7.43	8.64	
3960	9.61	9.45	9.06	9.31	9.16	9.17	8.42	9.48	9.65	9.79	8.21	9.12	9.62	9.65	9.17	9.34	9.02	8.82	8.96	9.39	9.48	8.72	9.33	8.73	8.50	9.23	9.15	9.48	8.93	9.09	
4950	8.45	8.58	8.84	8.90	8.93	8.79	9.05	9.96	8.98	8.34	8.51	8.88	8.22	8.50	8.71	8.12	8.44	9.11	8.94	9.19	8.91	8.97	8.96	8.38	9.60	9.02	9.27	9.29	8.29	9.67	9.06
5940	8.81	9.03	9.21	8.30	8.29	9.44	8.88	8.67	8.38	9.13	9.56	9.32	9.24	9.66	9.85	9.47	8.60	9.16	8.94	8.36	8.98	8.78	8.99	8.74	8.96	9.23	8.20	9.42	8.45	9.07	
romedi	10.32	10.28	10.23	10.24	10.21	10.34	10.18	10.26	10.31	10.35	10.34	10.26	10.31	10.31	10.32	10.24	10.25	10.28	10.29	10.21	10.24	10.30	10.33	10.26	10.29	10.29	10.28	10.26	10.34	10.18	

### Eje Y, escala de 1185 pasos

EJE Y RANGO 1185 PASOS																															
Pasos del motor	Distancia (mm)																														Promedio
	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5	Toma 6	Toma 7	Toma 8	Toma 9	Toma 10	Toma 11	Toma 12	Toma 13	Toma 14	Toma 15	Toma 16	Toma 17	Toma 18	Toma 19	Toma 20	Toma 21	Toma 22	Toma 23	Toma 24	Toma 25	Toma 26	Toma 27	Toma 28	Toma 29	Toma 30	
0	54.87	54.93	54.97	54.98	55.30	55.57	55.64	55.34	55.59	55.43	55.18	55.47	55.40	55.51	55.37	55.27	55.30	55.97	55.68	55.70	55.22	55.14	55.19	55.32	55.69	55.46	55.54	55.41	55.51	55.39	
1185	44.12	44.25	44.41	44.29	44.09	44.31	44.18	44.57	44.71	44.55	44.53	44.51	44.56	44.32	44.30	44.34															

Eje Y, escala de 1380 pasos

EJE Y RANGO DE 1380 PASOS																															
Pasos del motor	Distancia (mm)																														Promedio
	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5	Toma 6	Toma 7	Toma 8	Toma 9	Toma 10	Toma 11	Toma 12	Toma 13	Toma 14	Toma 15	Toma 16	Toma 17	Toma 18	Toma 19	Toma 20	Toma 21	Toma 22	Toma 23	Toma 24	Toma 25	Toma 26	Toma 27	Toma 28	Toma 29	Toma 30	
0	55,21	55,05	55,17		55,79	55,01	55,82	55,78	55,93	55,96	55,48	55,15	55,06	55,82	55,60	55,88	55,75	55,46	55,96	55,86	55,03	55,17	55,45	55,48	55,18	55,02	55,66	55,66	55,72	55,32	55,50
1380	42,85	42,70	42,81	42,68	42,86	42,59	42,83	42,12	42,34	42,88	42,70	42,66	42,48	42,05	42,65	42,41	42,84	42,28	42,75	42,85	42,03	42,58	42,51	42,13	43,00	42,25	42,65	42,59	42,81	42,60	42,58
2760	30,23	30,20	30,15	30,22	30,26	30,82	30,85	30,75	30,43	30,80	30,58	30,68	30,49	30,37	30,22	30,70	30,13	30,47	30,34	30,43	30,07	30,04	30,61	30,19	30,19	30,44	30,92	30,86	30,51	30,36	30,44
4140	17,69	17,13	17,32	17,58	17,41	17,59	17,10	17,87	17,52	17,75	17,97	17,93	17,76	17,21	17,84	17,68	17,57	17,44	17,93	17,26	17,90	17,38	17,28	17,76	17,71	17,99	17,56	17,03	17,25	17,04	17,55
5520	5,14	5,81	5,89	5,02	5,42	5,73	5,26	5,28	5,70	5,75	5,91	5,49	5,58	5,26	5,58	5,11	5,11	5,48	5,35	5,46	5,61	5,35	5,69	5,53	5,43	5,23	5,75	5,45	5,89	5,62	5,50

Pasos del motor	Desplazamiento (mm)																													
	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5	Toma 6	Toma 7	Toma 8	Toma 9	Toma 10	Toma 11	Toma 12	Toma 13	Toma 14	Toma 15	Toma 16	Toma 17	Toma 18	Toma 19	Toma 20	Toma 21	Toma 22	Toma 23	Toma 24	Toma 25	Toma 26	Toma 27	Toma 28	Toma 29	Toma 30
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1380	12,62	12,50	12,66	12,46	12,60	11,77	11,98	11,37	11,91	12,08	12,12	11,98	11,99	11,68	12,43	11,71	12,71	11,81	12,42	12,42	11,97	12,54	11,91	11,94	12,81	11,81	11,73	11,74	12,29	12,24
2760	12,54	13,07	12,83	12,64	12,85	13,23	13,75	12,88	12,92	13,05	12,61	12,75	12,73	13,16	12,38	13,02	12,56	13,03	12,40	13,16	12,17	12,66	13,32	12,43	12,47	12,45	13,36	13,83	13,27	13,31
4140	12,56	11,32	11,43	12,56	11,99	11,86	11,84	12,58	11,81	12,00	12,05	12,45	12,18	11,95	12,25	12,57	12,46	11,96	12,58	11,80	12,29	12,04	11,59	12,24	12,29	12,77	11,81	11,57	11,36	11,42
5520	5,14	5,81	5,89	5,02	5,42	5,73	5,26	5,28	5,70	5,75	5,91	5,49	5,58	5,26	5,58	5,11	5,11	5,48	5,35	5,46	5,61	5,35	5,69	5,53	5,43	5,23	5,75	5,45	5,89	5,62
romedi	19,40	19,36	19,41	15,35	19,46	19,43	19,47	19,39	19,43	19,60	19,53	19,46	19,38	19,28	19,45	19,42	19,42	19,34	19,51	19,47	19,27	19,31	19,41	19,32	19,45	19,32	19,52	19,42	19,50	19,35