



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO
CARRERA DE MECATRÓNICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BOBINADORA SEMIAUTOMÁTICA
DE TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS DE BAJA POTENCIA**

Trabajo de titulación previo a la obtención
del Título de Ingenieros en Mecatrónica

AUTOR: DANIEL MAURICIO QUINTANA GORDILLO
CRISTIAN RICARDO REALPE GALINDO

TUTOR: BYRON RICARDO ZAPATA CHANCUSIG

**Quito – Ecuador
2023**

I.CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUDITORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Daniel Mauricio Quintana Gordillo con documento de identificación N° 1751614841 y Cristian Ricardo Realpe Galindo con documento de identificación N° 1722692892; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 13 de octubre del año 2023

Atentamente,



Daniel Mauricio Quintana Gordillo
1751614841



Cristian Ricardo Realpe Galindo
1722692892

II. CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA U NIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Daniel Mauricio Quintana Gordillo con documento de identificación N° 1751614841 y Cristian Ricardo Realpe Galindo con documento de identificación N° 1722692892, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Dispositivo tecnológico: “Diseño y Construcción de una Bobinadora Semiautomática de Transformadores Monofásicos de Baja Potencia”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana , quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriores.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

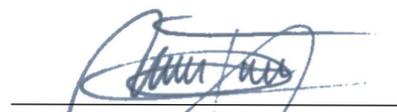
Quito, 13 de octubre del año 2023

Atentamente,



Daniel Mauricio Quintana Gordillo

1751614841



Cristian Ricardo Realpe Galindo

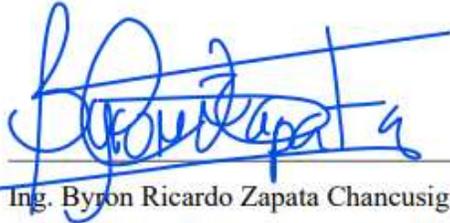
1722692892

III. CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Byron Ricardo Zapata Chancusig con documento de identificación N° 1723724876, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BOBINADORA SEMIAUTOMÁTICA DE TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS DE BAJA POTENCIA, realizado por Daniel Mauricio Quintana Gordillo con documento de identificación N° 1751614841 y Cristian Ricardo Realpe Galindo con documento de identificación N° 1722692892, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Dispositivos tecnológicos que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 13 de octubre del año 2023

Atentamente,



Ing. Byron Ricardo Zapata Chancusig MSc.

1723724876

IV. DEDICATORIA

A mis padres, Arturo y Mariana, cuyo amor, apoyo y guía han sido fundamentales en cada paso de mi vida. Gracias por ser mis pilares inquebrantables, por alentarme a seguir adelante en los momentos difíciles y por celebrar mis logros como si fueran propios.

Esta tesis es también un tributo a su dedicación y esfuerzo por brindarme la mejor educación y por ser los mejores ejemplos de perseverancia y humildad. Los amo y les agradezco por todo lo que hacen por mí.

(Realpe C.)

A mi familia, quiero expresar mi profundo agradecimiento por el amor, el apoyo y la guía que han sido fundamentales en cada paso de mi vida. Vuestra presencia inquebrantable ha sido un faro que me ha guiado a lo largo de este emocionante viaje académico. Cada logro alcanzado es también un reflejo de vuestro esfuerzo y sacrificio para brindarme la mejor educación y las herramientas necesarias para crecer como persona.

(Quintana D.)

V. AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi profundo agradecimiento a mis padres, Arturo Realpe y Mariana Galindo, por su amor, apoyo y comprensión incondicional en cada etapa de mi vida académica. Gracias por ser mi inspiración y por brindarme su confianza, motivándome siempre a dar lo mejor de mí.

Asimismo, quiero agradecer a la Universidad Politécnica Salesiana por brindarme la oportunidad de adquirir conocimientos, habilidades y experiencias que han sido fundamentales para el desarrollo de esta tesis. Agradezco especialmente a la carrera de Ingeniería Mecatrónica, por su enfoque práctico y orientación al mundo laboral.

Quiero expresar mi gratitud a todos mis docentes, quienes, con su dedicación, paciencia y sabiduría, han sido un ejemplo para mí. Gracias por transmitirme su pasión por la investigación y la innovación, y por motivarme a buscar siempre la excelencia.

(Realpe C.)

En este momento culminante de mi camino académico, me complace expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que han sido parte fundamental en la realización de esta tesis. Su apoyo y aliento han sido invaluable para mí.

En primer lugar, quiero agradecer a mi querida madre, quien ha sido mi mayor fuente de inspiración y apoyo incondicional a lo largo de toda mi vida. Gracias por creer en mí y motivarme a seguir adelante, incluso en los momentos más desafiantes. Tu amor, sabiduría y sacrificio han sido la base de mi éxito, y no podría haber llegado hasta aquí sin tu constante aliento.

También quiero expresar mi gratitud a mi hermano, quien ha sido mi compañero incondicional en este viaje académico. Tus palabras de aliento y sabias orientaciones han sido una guía invaluable para mí. Gracias por estar siempre presente, brindándome tu apoyo incondicional y compartiendo conmigo la alegría de cada logro alcanzado.

(Quintana D.)

INDICE DE CONTENIDOS

I. CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUDITORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	2
II. CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	3
III. CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	4
IV. DEDICATORIA	5
V. AGRADECIMIENTOS	6
INDICE DE CONTENIDOS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	12
ÍNDICE DE TABLAS	13
RESUMEN	15
ABSTRACT	16
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
PROBLEMA DE ESTUDIO	17
JUSTIFICACIÓN	17
GRUPO OBJETIVO	18
OBJETIVOS	18
OBJETIVO GENERAL	18
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
MARCO TEÓRICO	19
CAPITULO 1	19
1. Transformador	19
1.1. Partes de un transformador	19
1.1.1. Chapas de hierro de silicio	19
1.1.2. Núcleo	20

1.1.3. Devanado	20
1.1.4. Bobina.....	21
1.1.5. Tipos de bobinado	21
1.1.6. Leyes electromagnéticas.....	22
1.1.6.1 Ley de Faraday	22
1.1.6.2 Inducción Mutua.....	23
1.1.6.3 Autoinductancia	23
1.1.6.4 Relación de transformación	23
1.1.6.5 Relación de corriente	24
1.1.6.6 Relación de potencia.....	24
1.2. Máquinas bobinadoras.....	24
1.2.1. Tipos de máquinas bobinadoras	24
1.3. Motor eléctrico	25
1.3.1. Motor DC.....	26
1.3.2. Motor paso a paso.....	26
1.3.3. Driver de motor	26
1.3.3.1 Driver A4988	26
1.3.3.2 Driver Tb6600	27
1.4. Microcontrolador.....	28
1.4.1. ESP 32	28
1.5. Encoder	28
1.6. Componentes mecánicos	29
1.6.1 Rodamiento.....	29
1.6.2. Rodamiento lineal.....	29
1.6.3 Tornillo de potencia.....	30
1.6.4 Husillo	30
CAPÍTULO II.....	31

ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	31
2.1. Alternativas de solución mecánica	31
2.1.1. Alternativa 1	31
2.1.2. Alternativa 2	31
2.1.3. Alternativa 3	32
2.2. Sistema de calificación de criterios de diseño mecánico	32
2.3. Análisis de alternativas para diseño mecánico	33
2.4. Alternativas de material	34
2.4.1. Alternativa Acero Inoxidable	34
2.4.2. Alternativa Aluminio.....	34
2.4.3. Alternativa Grilon.....	34
2.4.4. Alternativa Impresión 3D (ABS).....	34
2.5. Sistema de calificación de materiales	34
2.6. Análisis de alternativas para materiales de piezas	35
2.7. Análisis de alternativas para materiales de la base	36
2.8. Alternativas de motores	37
2.8.1. Motor paso a paso.....	37
2.8.2. Servomotor	37
2.8.3. Motor DC.....	37
2.9. Sistema de calificación de motores	38
2.10. Análisis de alternativas para motores	38
2.11. Alternativas de Controladores	39
2.11.1. PLC.....	39
2.11.2. Arduino	39
2.11.3. ESP 32	39
2.12. Sistema de calificación de controladores	39
2.13. Análisis de alternativas para controladores	40

2.14. Alternativa de sensores	40
2.14.1. Encoder	40
2.14.2. Final de carrera	40
2.15. Sistema de calificación de sensores	41
2.16. Análisis de alternativas para sensores	41
CAPÍTULO III	42
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN	42
3.1. Diseño de Prototipo	42
3.2. Dispositivo ensamblado	44
3.3. Cálculo y selección de equipos	45
3.3.1. Calculo eje Soporte de Bobina	45
3.3.2. Diagrama de momento máximo	46
3.3.3. Momento de Inercia.....	47
3.3.4. Factor de seguridad.....	47
3.3.5. Simulación estática en SolidWorks con el método de elementos finitos	48
3.3.5.1 Análisis de tensiones mecánicas	48
3.3.5.2 Análisis de desplazamiento.....	48
3.3.5.3 Factor de seguridad.....	49
3.4. Cálculo y selección de equipos	50
3.4.1. Calculo eje Soporte de Bobina	50
3.4.1.1 Tensión AB	50
3.4.1.2 Tensión BC	51
3.4.1.3 Tensión CD	52
3.4.1.4 Tensión total.....	53
3.4.1.5 Par motor necesario	53
3.5. Selección de equipo electrónico	54
3.5.1. Motores electrónicos	54

3.5.2. Potencia eléctrica.....	55
3.6. Driver para servomotor NEMA 17	56
3.6.1. Cálculos de protección para driver del motor a pasos	56
3.7. Driver para servomotor NEMA 23	56
3.7.1. Configuración del driver para el servo motor NEMA 23.....	57
3.8. Sistema de alimentación del circuito eléctrico.	58
3.10. Sistema de control electrónico	58
3.10.2 Diagrama de flujo	60
CAPÍTULO IV.....	61
ANÁLISIS Y RESULTADOS	61
4.1. Prueba para la obtención de un transformador de 120VAC a 5 VAC	61
4.2. Prueba 120 VAC a 24 VAC	64
4.3. Prueba 120 VAC a 12 VAC	66
4.4. Análisis de Costos	67
4.4.1. Costos de elementos mecánicos	67
4.4.2. Costos de componentes electrónicos	68
4.4.3. Costos de Impresión 3D	68
4.4.4. Costos de mano de obra.....	69
4.4.5. Costos totales de la Bobinadora de transformadores semiautomática.....	69
4.5. Análisis VAN	70
4.6. Análisis TIR	70
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	72
CONCLUSIONES	72
RECOMENDACIONES	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Transformador	19
Figura 2. Núcleo del Transformador	20
Figura 3. Devanados primario y secundario	21
Figura 4. Motor eléctrico.....	25
Figura 5. Motor paso a paso.	26
Figura 6. Diagrama del driver A4988.....	27
Figura 7. Driver Tb6600.....	27
Figura 8. Encoder	29
Figura 9. Rodamientos	29
Figura 10. Rodamiento lineal	30
Figura 11. Tornillo de potencia rosca cuadrada	30
Figura 12. Husillo mecánico.....	30
Figura 13. Equipo adaptado a un torno.	31
Figura 14. Bobinadora Semiautomática.	32
Figura 15. Bobinadora Automática.	32
Figura 16. Despiece de la Bobinadora de Transformadores.....	42
Figura 17. Perspectiva 3D del equipo ensamblado.....	44
Figura 18. Diagrama De Cuerpo Libre Del Soporte.....	46
Figura 19. Diagrama De Fuerza Cortante.....	46
Figura 20. Diagrama De Momento Flector.	47
Figura 21. Análisis de Tensiones.....	48
Figura 22. Análisis de Desplazamiento.	49
Figura 23. Factor de seguridad.	49
Figura 24. Tensión del cable.....	50
Figura 25. Tensión AB.	50
Figura 26. Tensión BC.	51

Figura 27. Tensión CD.	52
Figura 28. Diagrama del driver A4988.....	57
Figura 29. Diagrama de conexiones de la máquina.....	58
Figura 30. Flujograma funcionamiento equipo.	60
Figura 31. Devanado 120 VAC.....	61
Figura 32. Aislado Devanado 110 VAC.....	62
Figura 33. Devanado 5 VAC.....	62
Figura 34. Ensamble Transformador 120VAC-5VAC.....	63
Figura 35. Medición devanado primario y secundario.	63
Figura 36. Devanado secundario 24VAC.....	64
Figura 37. Ensamble Transformador 120VAC-24VAC.....	65
Figura 38. Medición devanado primario y secundario.	65
Figura 39. Segundo devanado 12 VAC.....	66
Figura 40. Medición devanado secundario.....	66
Figura 41. Perspectiva del equipo.....	86
Figura 42. Vista frontal del equipo.....	86
Figura 43. Vista lateral del equipo.....	87
Figura 44. Vista superior del equipo.	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Sistema de calificación de criterios de diseño mecánico.....	33
Tabla 2. Análisis de alternativas para diseño mecánico.	33
Tabla 3. Sistema de calificación de materiales.....	35
Tabla 4. Análisis de alternativas para materiales.	35
Tabla 5. Análisis de alternativas para materiales.	36
Tabla 6. Sistema de calificación de motores.	38
Tabla 7. Análisis de alternativas para motores.....	38
Tabla 8. Sistema de calificación de controladores.....	39

Tabla 9. Análisis de alternativas para controladores.	40
Tabla 10. Sistema de calificación de sensores.	41
Tabla 11. Análisis de alternativas para sensores.	41
Tabla 12. Partes de la máquina bobinadora de transformadores.	43
Tabla 13. Dimensiones de la máquina bobinadora de transformadores.	44
Tabla 14. Masa del rollo según el calibre del cable.	45
Tabla 15. Masa de las piezas del sistema de tensión.	45
Tabla 16. Motores NEMA general de los tamaños de estructura.	54
Tabla 17. Configuración de resolución del NEMA.	27
Tabla 18. Costos de los componentes mecánicos.	67
Tabla 19. Costos de los componentes electrónicos.	68
Tabla 20. Impresión 3D.	69
Tabla 21. Costos Mano de Obra.	69
Tabla 22. Costos totales del equipo.	69
Tabla 23. Tabla de cálculo del VAN.	70
Tabla 24. Tabla de cálculo del TIR.	71

RESUMEN

El contenido de este documento se enfoca en el diseño y construcción de una máquina bobinadora semiautomática de núcleos de transformadores. La maquinaria comúnmente utilizada en la fabricación de bobinas de transformadores es de uso manual, lo que genera altos costos de producción y tiempos prolongados de fabricación. Por lo tanto, la necesidad de una máquina automática surge como una solución a estos problemas.

El proceso inicia con el análisis de las necesidades y especificaciones requeridas por la empresa para la fabricación de las bobinas. A continuación, se realizó el diseño detallado de la máquina utilizando software de modelado 3D, con el fin de simular y validar el proceso de fabricación de las bobinas y su comportamiento bajo diferentes condiciones de trabajo.

Una vez finalizado el diseño, se procedió a la construcción de la máquina, utilizando materiales adecuados y herramientas de precisión, con el fin de garantizar la durabilidad y eficiencia de la máquina.

Posteriormente, se llevaron a cabo pruebas y ajustes en la máquina para validar el correcto funcionamiento y optimizar su rendimiento.

En conclusión, la implementación de una máquina bobinadora semiautomática para la fabricación de bobinas de transformadores representa una alternativa eficaz y económica para la empresa, lo que resulta en una disminución de costos, un incremento en la producción y una mejora en la calidad de los productos.

Palabras claves: Transformador, 3D, bobina, eficiencia, rentabilidad, rendimiento, análisis.

ABSTRACT

The content of this document focuses on the design and construction of a semi-automatic winding machine for transformer cores. The machinery commonly used in the manufacture of transformer coils is manually operated, resulting in high production costs and prolonged manufacturing times. Therefore, the need for an automatic machine arises as a solution to these problems.

The process begins with the analysis of the needs and specifications required by the company for the manufacture of the coils. Next, the detailed design of the machine was carried out using 3D modeling software, in order to simulate and validate the coil manufacturing process and its behavior under different working conditions.

Once the design was completed, the machine was constructed using suitable materials and precision tools to ensure the durability and efficiency of the machine.

Subsequently, tests and adjustments were carried out on the machine to validate its proper functioning and optimize its performance.

In conclusion, the implementation of a semi-automatic winding machine for the manufacture of transformer coils represents an effective and cost-effective alternative for the company, resulting in a decrease in costs, an increase in production, and an improvement in the quality of its products.

Keywords: Transformer, 3D, coils, efficiency, cost-effective, performance, analysis.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

PROBLEMA DE ESTUDIO

El sistema eléctrico de potencia necesita diferentes partes para garantizar que la red eléctrica opere correctamente, desde la producción hasta la distribución de la energía que llega a los hogares. Uno de los componentes principales que permite este proceso es el transformador de energía, ya que sin éste sería imposible transmitir y distribuir la energía eléctrica [1].

En el medio se puede encontrar una gran variedad de transformadores creados según el servicio esperado. El autor Agudelo Marín [2] explica los diferentes y diversos transformadores en el mundo, además propone que la estructura y capacidad de estos están condicionados principalmente por las funciones y necesidades a desempeñar dentro de lo que implica el sistema de potencia. Por esta razón el problema más común de los transformadores de baja potencia es encontrarlos, puesto que dentro del mercado no existe mucha variedad y los servicios bajo pedido son muy costosos. Esto ocasiona que sean realizados de forma casera y por consiguiente a problemas en el rendimiento.

Según la información de Gutiérrez Andrade [3] acerca de la fabricación y reparación de transformadores, se encontró que el procedimiento en la mayoría de los proveedores es realizado de manera manual, esto representa la primera la pérdida de tiempo y la segunda la pérdida de recursos para los fabricantes.

JUSTIFICACIÓN

El estudio y creación de máquinas bobinadoras que cuenten con sistemas de velocidad variable es muy importante debido a que permitirán controlar con precisión la velocidad y torque necesarios para asegurar la calidad en la fabricación de los devanados de las bobinas de los transformadores. Esta capacidad de controlar la velocidad y el torque permitirá una mayor eficiencia en la fabricación de las bobinas, lo que se traducirá en una disminución del tiempo de producción. Como resultado, se obtendrán bobinas de mayor calidad y con un mayor rendimiento [4].

La idea es utilizar la investigación sobre la fabricación y reparación de transformadores para implementar una máquina bobinadora electrónica semiautomática que permita un procedimiento de bobinado rápido y preciso, evitando así los altos costos y errores asociados con el conteo de vueltas y la precisión del bobinado cuando se realiza de manera casera.

GRUPO OBJETIVO

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir una bobinadora semiautomática de transformadores monofásicos de baja potencia.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar la estructura mecánica, circuitos de control y potencia del equipo empleando software de ingeniería asistida por computador para la selección de elementos necesarios en la implementación.
- Desarrollar un sistema de configuración de parámetros por medio de un microprocesador para introducir las variables necesarias del núcleo a bobinar.
- Realizar pruebas de campo en el bobinado para garantizar el correcto funcionamiento del equipo.

MARCO TEÓRICO

CAPITULO 1

En este capítulo se presenta los conceptos relevantes para la construcción del prototipo bobinador de transformadores.

1. Transformador

Dispositivo que se encarga de transmitir energía eléctrica de uno a más circuitos por medio de inducción electromagnética, manteniendo la misma frecuencia. Este dispositivo tiene la capacidad de incrementar o reducir el valor del voltaje, como se observa en la Figura 1. Dependiendo de si el voltaje que entrega es mayor o menor al voltaje de alimentación, se puede denominar transformador elevador o reductor, respectivamente [1].

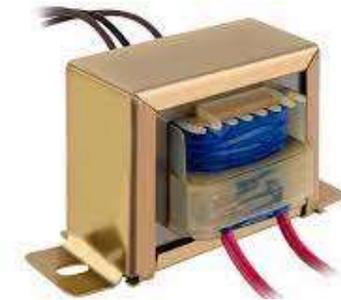


Figura 1. Transformador [5].

1.1. Partes de un transformador

Las partes importantes de un transformador se presenta en los siguientes subtemas.

1.1.1. Chapas de hierro de silicio

Son utilizados para fabricar núcleos y partes de máquinas eléctricas y transformadores, los cuales suelen ser chapas o flejes que están expuestos a campos magnéticos con cambios rápidos de valor. El material más común es el acero Silicio bajo volumen de carbono, con un contenido de silicio de 2 a 4,5%. Aunque en algunos casos se pueden utilizar otros materiales como hierro dulce, hierro o fundición de acero moldeado, esto se hace en menor medida [5].

1.1.2. Núcleo

El objetivo principal del núcleo en un transformador es lograr la conexión magnética entre los devanados primario y secundario. Esta pieza está compuesta por láminas de un material ferromagnético altamente permeable y de rápida saturación, como se observa en la Figura 2. Su rápida saturación del material ferromagnético protege al devanado secundario de sobre corriente en caso de fallas en el devanado primario. Esto hace que la saturación del núcleo impide que la corriente secundaria aumente infinitamente. Además, la alta permeabilidad magnética del material permite obtener una alta precisión en las corrientes de entrada muy bajas. En el diseño del núcleo, la frecuencia de excitación es una de las características principales a considerar, porque afecta el tiempo que tarda en saturarse el núcleo [3].



Figura 2. Núcleo del Transformador [6].

1.1.3. Devanado

Son componentes fundamentales en un transformador eléctrico. Consisten en alambre conductor enrollado en un núcleo magnético, demostrado en la Figura 3. Los transformadores se componen de dos devanados principales: el primer devanado es conectado a la fuente de alimentación recibe energía eléctrica de entrada, segundo devanado que se enlaza a la carga y suministra la energía eléctrica de salida. La cantidad de vueltas de alambre en cada devanado es de gran importancia, ya que determina la relación de transformación y su capacidad para incrementar o reducir la tensión y la corriente eléctrica. Es importante señalar que algunos transformadores pueden contar con devanados adicionales, como devanados terciarios o de derivación, para tener un mayor control de la salida de energía eléctrica [5].

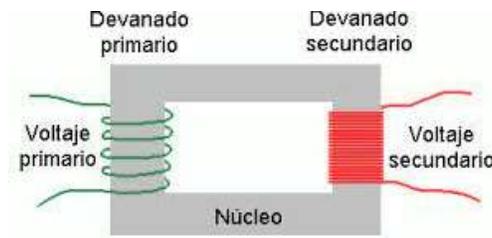


Figura 3. Devanados primario y secundario [5].

1.1.4. Bobina

Son componentes eléctricos que sirven para acumular energía en un campo electromagnético que se crea por la corriente eléctrica que circula en ellas. Las bobinas suelen estar compuestas de alambre conductor el cual se enrolla alrededor de un núcleo ferromagnético (la mayoría de las veces está construido de hierro laminado o ferrita), lo que aumenta la fuerza del campo electromagnético. En la actualidad, las bobinas se utilizan en un amplio rango de dispositivos electrónicos, como transformadores, motores y generadores eléctricos, inductores y solenoides, entre otros [6].

1.1.5. Tipos de bobinado

Existen diferentes tipos de bobinados utilizados en los transformadores, los cuales se seleccionan en función de las características eléctricas y mecánicas requeridas por la aplicación específica. Algunos de los tipos de bobinados más comunes en los transformadores son: [7].

- **Bobinado de capas:** Este tipo de bobinado se utiliza en transformadores pequeños y medianos, y consiste en colocar las vueltas de alambre en capas a lo largo del núcleo del transformador. Cada capa se aísla eléctricamente de la siguiente con una cinta de papel o una capa de barniz aislante [7].
- **Bobinado helicoidal:** Tipo de bobinado utilizado en transformadores de alta potencia, en el que el alambre se enrolla en espiral alrededor del núcleo del transformador. Este método de bobinado permite una distribución más eficiente del flujo magnético y reduce la pérdida de energía debido a corrientes parasitarias [7].

- **Bobinado multicapa:** Tipo de bobinado utilizado en transformadores de alta potencia que implica colocar varias capas de alambre en cada sección del bobinado [7].
- **Bobinado en forma de panal:** Tipo de bobinado específico que se caracteriza por enrollar el alambre en forma de panal de abeja para permitir una distribución más eficiente del flujo magnético y reducir las pérdidas por corrientes parasitarias. Este tipo de bobinado se emplea especialmente en transformadores de alta potencia [7].
- **Bobinado concéntrico:** Conocido por colocar las vueltas de alambre en capas concéntricas alrededor del núcleo del transformador. Este método de bobinado es realizado en transformadores de audio y de alta frecuencia [7].

1.1.6. Leyes electromagnéticas

Las leyes son esenciales para entender y diseñar transformadores eléctricos. Esto se debe a que los transformadores operan mediante inducción electromagnética, la excitación del flujo magnético en el primer devanado genera un voltaje en el segundo devanado [8].

1.1.6.1 Ley de Faraday

Cuando un conductor es desplazado en presencia de un campo electromagnético, produce una tensión o fuerza electromotriz que implica una diferencia de potencial, expresada en la Ecuación (1).

$$\mathcal{F}em = -N \frac{d\varphi}{dt} \quad (1)$$

Donde:

- $\mathcal{F}em$: Fuerza electromotriz.
- $-$: Oposición al flujo.
- N : Número de espira.
- φ : Flujo magnético
- $\frac{d\varphi}{dt}$: Derivada de φ respecto al tiempo.

1.1.6.2 Inducción Mutua

Establece que cuando dos bobinas o círculos están cerca uno del otro, el cambio de corriente en uno de ellos genera una FEM al otro circuito expresado en la Ecuación (2), esta magnitud inducida es proporcional al cambio de corriente en el primer circuito [9].

$$M = L_c + M_a \quad (2)$$

Donde:

- M : Inductancia mutua
- L_c : Inductancia común
- M_a : Inductancia mutua de los 2 bobinados

1.1.6.3 Autoinductancia

Es una propiedad de un conductor que determina la capacidad de este para generar una Fuerza Electromotriz inducida en sí mismo cuando la corriente que lo atraviesa cambia, expresada en la Ecuación (3).

$$\mathcal{F}em = -L \frac{di}{dt} \quad (3)$$

Donde:

- L : Autoinductancia

1.1.6.4 Relación de transformación

El número de vueltas del primer devanado y del segundo devanado es una relación importante en los transformadores [12]. Esta relación se puede expresar como la Ecuación (4).

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} \quad (4)$$

Donde:

- V_p : Voltaje en el devanado primario.
- N_p : Número de vueltas en el devanado primario.
- V_s : Voltaje en el devanado secundario.
- N_s : Número de vueltas en el devanado secundario.

1.1.6.5 Relación de corriente

La relación de corriente entre devanados se puede expresar matemáticamente mediante la Ecuación (5).

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{N_p}{N_s} \quad (5)$$

Donde:

- I_p : Corriente del devanado primario.
- I_s : Corriente del devanado secundario.

1.1.6.6 Relación de potencia

Es la relación que define la relación entre la potencia del primer devanado y del segundo devanado. Esta relación se puede expresar matemáticamente como la Ecuación (6).

$$\frac{P_p}{P_s} = \frac{N_p^2}{N_s^2} \quad (6)$$

Donde:

- P_p : Potencia del devanado primario.
- P_s : Potencia del devanado secundario.

1.2. Máquinas bobinadoras

Son equipos utilizados para la fabricación de transformadores eléctricos, permiten enrollar y fijar de manera precisa los devanados que componen estos dispositivos, dependen de las variables de voltaje, amperaje y calibre del alambre para realizar con precisión el bobinado [6].

1.2.1. Tipos de máquinas bobinadoras

Existen 3 tipos de Máquinas Bobinadoras según su nivel de automatización: manuales, semiautomáticas y automáticas [6]:

- **Bobinadoras manuales:** Estas máquinas son accionadas manualmente y requieren que el operador guíe el alambre alrededor del núcleo del transformador. Por lo general, tienen un tambor horizontal o vertical y pueden ser operadas por una sola persona. Este tipo de máquinas son adecuadas para la fabricación de

transformadores de pequeño y mediano tamaño y para bobinas con una baja complejidad [6].

- **Bobinadoras semiautomáticas:** Estas máquinas tienen un nivel de automatización intermedio. Por lo general, tienen un sistema de guía de alambre que ayuda a posicionar el alambre correctamente y una unidad de control que puede detener la máquina automáticamente cuando se alcanza la longitud de la bobina deseada. Sin embargo, el operador todavía necesita intervenir manualmente para ajustar la tensión del alambre y para guiar el alambre alrededor de la bobina. Este tipo de máquinas son adecuadas para la fabricación de transformadores de tamaño mediano a grande y para bobinas con una complejidad moderada [6].
- **Bobinadoras automáticas:** Las máquinas bobinadoras eléctricas son automatizadas y pueden realizar todo el proceso de bobinado autónomo, sin necesidad de interacción humana. Estas máquinas están equipadas con un sistema que guía el alambre automáticamente alrededor del núcleo del transformador, regulan la tensión del alambre y la velocidad de la máquina, y pueden detenerse automáticamente cuando se alcanza la longitud de bobina deseada. Se utilizan principalmente en la fabricación de transformadores de gran tamaño y bobinas con una alta complejidad [6].

1.3. Motor eléctrico

Transforma la energía eléctrica en mecánica y se genera movimiento giratorio en el eje, se observa en la Figura 4. En diversos ámbitos estos motores se utilizan, desde electrodomésticos hasta maquinarias industriales y sistemas de transmisión. Los tipos de motores eléctricos son de corriente continua y corriente alterna, de inducción y síncronos, cada uno contiene unas características y aplicaciones específicas [10].



Figura 4. Motor eléctrico [10].

1.3.1. Motor DC

Los motores DC son un tipo de motor eléctrico que transforma la energía eléctrica proveniente de una batería o fuente de alimentación en movimiento rotativo. Este motor funciona gracias a la interacción de corrientes eléctricas y campos magnéticos en su interior, lo que produce un movimiento giratorio en su eje [10].

1.3.2. Motor a pasos (Pap)

Es un motor eléctrico que se mueve en incrementos discretos en lugar de girar continuamente. Se compone de una parte móvil (rotor) con imanes permanentes, una parte fija (estator) con bobinas electromagnéticas y un controlador que suministra señales eléctricas para hacer girar el rotor en incrementos precisos. Estos motores se utilizan comúnmente en sistemas de posicionamiento y máquinas que requieren un alto control de movimiento [10].



Figura 5. Motor paso a paso [10].

1.3.3. Driver de motor

Dispositivo electrónico el cual se utiliza al regular la potencia que se suministra a un motor eléctrico con el fin de variar su velocidad, dirección y torque. Los drivers de motor eléctrico son fundamentales para el correcto funcionamiento de sistemas de automatización industrial, vehículos eléctricos y robótica [11].

1.3.3.1 Driver A4988

Es un controlador de motor a pasos compatible con una amplia gama de microcontroladores, incluyendo Arduino. Es un controlador de bajo costo que proporciona precisión en la operación de motores a pasos, lo que lo hace ideal para proyectos de robótica, CNC e impresoras 3D. El A4988 tiene varias características, incluyendo protección térmica y contra cortocircuitos, y es capaz de soportar corrientes de hasta 2 amperios por fase. Además, su diseño de baja corriente de reposo permite una

mayor eficiencia energética. Estas características hacen del A4988 una opción excelente para este proyecto de automatización [15].

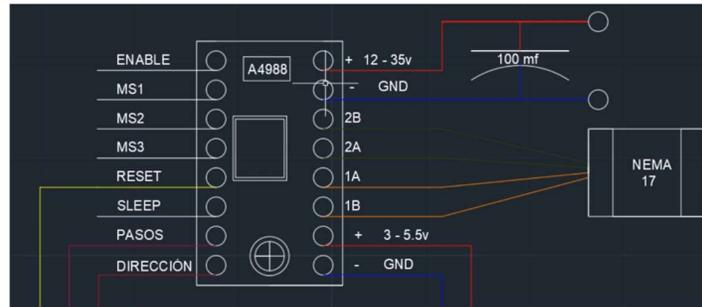


Figura 6. Diagrama del driver A4988.

Como se muestra en la Tabla 1 depende de los pasos que se requiera se deben poner en alto MS1, MS2, MS3 según corresponda.

Tabla 1. Configuración de resolución NEMA.

MS1	MS2	MS3	Resolución de pasos	Modo
L	L	L	1 paso	2 fases
H	L	L	1/2 Paso	1-2 fases
L	H	L	1/4 Paso	W1-2 fases
H	H	L	1/8 Paso	2W1-2 fases
H	H	H	1/16 Paso	4W1-2 fases

1.3.3.2 Driver Tb6600

Es un controlador de motor a pasos bipolar que permite regular a precisión la velocidad y dirección. Puede ser alimentado con una fuente de 9V a 42V CC y cuenta con seis modos de subdivisión disponibles. Es compatible con Arduino y otras plataformas de microcontroladores, y se utiliza comúnmente en máquinas CNC y otros proyectos de automatización que requieren un control preciso de motores a pasos [16].



Figura 7. Driver Tb6600 [15].

1.4. Microcontrolador

El microcontrolador es un chip altamente integrado que contiene todas las funciones básicas de un computador. Al tener todas estas funciones en un solo circuito, el microcontrolador ha sido una herramienta valiosa en la industria, ya que permite economizar materiales, tiempo y espacio en el desarrollo de aplicaciones [12].

1.4.1. ESP 32

Placa de desarrollo que lleva el microcontrolador ESP32, que ofrece Wi-Fi y tecnología Bluetooth integrados en un solo chip. Es utilizada en proyectos de adquisición de datos y en sistemas automatizados de aparcamiento. También, puede ser una herramienta útil en sistemas de cámaras inteligentes y robots móviles controlados por una app Android [11].

- **Flexibilidad:** es una plataforma muy flexible y se puede programar para realizar una amplia variedad de tareas, desde controlar luces y motores hasta recopilar, procesar datos e incluso para implementar internet de las cosas (IoT) [11].
- **Facilidad:** está diseñado para ser fácil de usar, incluso para aquellos que no tienen experiencia en programación. Los usuarios pueden escribir código en el lenguaje de programación C/C++ o Python y cargarlo en la placa utilizando un cable USB [11].
- **Bajo costo:** es una plataforma de bajo costo que utiliza componentes electrónicos de bajo costo y es ampliamente disponible en línea y en tiendas de electrónica [11].
- **Código abierto:** es un proyecto de código abierto, el código fuente de la plataforma y el software están disponibles para su uso y modificación por cualquier persona [11].

1.5. Encoder

Es un dispositivo que cambia el movimiento rotatorio o lineal de un eje en una señal eléctrica o digital que puede utilizarse para determinar la posición, velocidad o dirección del movimiento. El dispositivo está compuesto por un disco giratorio, que se encuentra montado en un eje, y un conjunto de sensores que detectan la rotación del disco, como se observa en la Figura 8. El disco tiene patrones de línea o marcas en su superficie, que son identificados por los sensores y convertidos en señales eléctricas o digitales [12].



Figura 8. Encoder [12].

1.6. Componentes mecánicos

En la transmisión de los motores al husillo y eje bobinador se necesita elementos que eliminen la fricción y garanticen una adecuada interacción entre el control y la mecánica del equipo. [19]

1.6.1 Rodamiento

Un rodamiento es un mecanismo que reduce la fricción de dos áreas que se mueven entre sí. Como se observa en la Figura 9 está compuesto por dos anillos o aros, uno interno y otro externo, entre los cuales se colocan elementos rodantes como bolas o rodillos. Los anillos están diseñados con pistas de rodadura para guiar los elementos rodantes y distribuir las cargas de manera uniforme [13].



Figura 9. Rodamientos [13].

1.6.2. Rodamiento lineal

Es un componente mecánico utilizado para proporcionar movimiento lineal suave y preciso en aplicaciones industriales y de ingeniería. Se utiliza principalmente para guiar o soportar cargas en una dirección lineal, permitiendo que una pieza se mueva sin fricción o desgaste excesivo [13].



Figura 10. Rodamiento lineal [13].

1.6.3 Tornillo de potencia

Componente de los sistemas de transmisión de movimiento rotativo a lineal que se utiliza para convertir movimientos de rotación a lineal preciso. El tornillo sin fin tiene una rosca helicoidal que se enrosca en un engranaje llamado rueda de tornillo o rueda helicoidal, y cuando se gira la rueda, el tornillo se mueve linealmente en una dirección determinada [14].



Figura 11. Tornillo de potencia rosca cuadrada [14].

1.6.4 Husillo

Un husillo y su función en un sistema de máquinas, el cual es ampliamente utilizado en el área de mecanizado y manufactura, como se ilustra en la Figura 12. Un husillo consiste en un eje cilíndrico que gira a alta velocidad y está soportado por cojinetes o rodamientos en ambos extremos. Este componente se puede unir a una herramienta de corte, como una broca o una fresa, para transmitir el movimiento rotativo a la herramienta y así realizar operaciones de corte, taladrado, fresado u otras actividades mecánicas similares [13].



Figura 12. Husillo mecánico [13].

CAPÍTULO II

ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

En este capítulo se lleva a cabo el análisis de los equipos y posibles materiales para realizar la construcción del prototipo.

2.1. Alternativas de solución mecánica

2.1.1. Alternativa 1

Se adapta un torno para utilizarlo como bobinador: Se evaluará un torno adecuado considerando aspectos de velocidad variable del husillo y la capacidad de tensión del alambre. A partir de ahí, se diseñará y construirá componentes adicionales, como un dispositivo de tensión y un soporte de bobinado, los cuales se integrarán al torno.

Como se observa en la Figura 13 el dispositivo es adaptado al torno con el sistema de husillo que guía al alambre a lo largo del carrete, un eje adaptado al contrapunto del torno el cual sujeta el carrete a presión.



Figura 13. Equipo adaptado a un torno.

2.1.2. Alternativa 2

La construcción de una máquina semiautomática con estructura rígida y una prensa giratoria para la sujeción del núcleo del transformador, como se observa en la Figura 14 con un eje guía paralelo al tornillo de precisión con husillo que garantiza la correcta alineación del bobinado de cobre, con un sensor y encoder para garantizar el control.

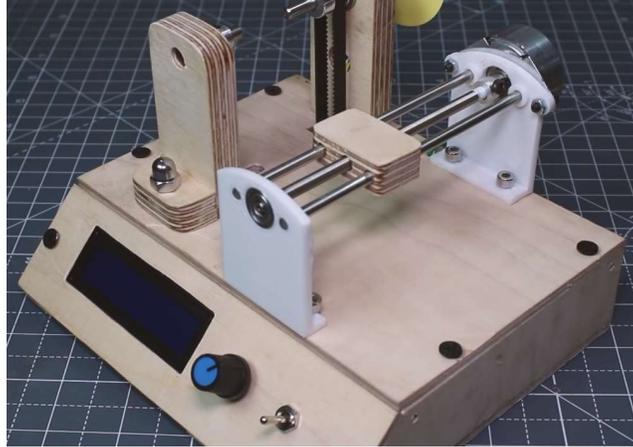


Figura 14. Bobinadora Semiautomática.

2.1.3. Alternativa 3

La creación de una máquina automática precisa y confiable con enconder, sensores para la precisión y total autonomía en aislamiento magnético y corte del hilo de cobre con un mecanismo de tensión preciso, monitoreada por un procesador de 32 bits.

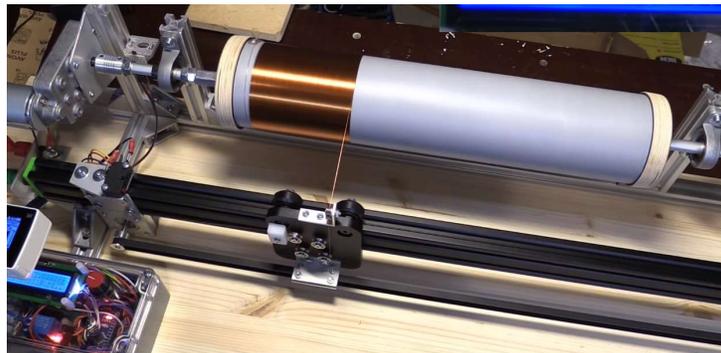


Figura 15. Bobinadora Automática.

2.2. Sistema de calificación de criterios de diseño mecánico

En la Tabla 2 se muestra el sistema de calificación para referirse a los mejores criterios para cada alternativa que tiene la mayor factibilidad para su implementación.

Tabla 2. Sistema de calificación de criterios de diseño mecánico.

CRITERIOS	EQUIVALENCIA DE LOS INDICADORES		
	Rango 1-3	Rango 4-7	Rango 8-10
Costo	Alto	Normal	Económico
Implementación	Compleja	Común	Fácil
Operación	Mala	Aceptable	Exacto
Confiabilidad	Mala	Normal	Buena
Complejidad	Alta	Normal	Difícil
Robustez	Firme	Normal	Débil

2.3. Análisis de alternativas para diseño mecánico

En la Tabla 3 a continuación, se observa los diferentes criterios asociados con su respectivo porcentaje, en el análisis para cada criterio se utiliza los números de referencia de 1 a 10 para calificar las alternativas.

Tabla 3. Análisis de alternativas para diseño mecánico.

ÍTEM	CRITERIO	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
1	Costo	7	8	4
2	Implementación	6	7	4
3	Precisión	8	9	9
4	Confiabilidad	7	9	9
5	Complejidad	6	8	3
6	Robustez	8	7	8
Sumatorio C.		42	48	37
Promedio Porcentual		70%	80%	62%

La alternativa 2 debido a la evaluación vista en la tabla 3 se presenta que es más viable debido a que presenta mayor confiabilidad, precisión del bobinado más exacto y complejidad menor para su construcción que las otras alternativas, por lo mencionado es la mejor alternativa de diseño mecánico.

2.4. Alternativas de material

A continuación, se analiza que tipo de material es el más adecuado para la construcción del prototipo.

2.4.1. Alternativa Acero Inoxidable

El acero inoxidable es un tipo de metal que posee mínimo un 10,5 % de cromo, lo que proporciona resistencia a la oxidación y la corrosión. Se usa comúnmente en diversas aplicaciones, incluidas las industrias cosméticas, farmacéutica y alimenticias. El acero inoxidable también ofrece buena resistencia, ductilidad y atractivo estético [15].

2.4.2. Alternativa Aluminio

El aluminio es un metal liviano y de baja densidad que ofrece alta resistencia, buena resistencia a la corrosión y excelente conductividad térmica. Se utiliza comúnmente en diversas aplicaciones, incluidas las industrias aeroespaciales, automotriz y de la construcción. El aluminio suele estar aleado con otros metales, como cobre, magnesio y zinc, para mejorar sus propiedades mecánicas [16].

2.4.3. Alternativa Grilon

Grilon es un material de poliamida (nylon) de alto rendimiento que se usa a menudo en las electrónicas, industrias automotrices y de bienes de consumo debido a sus excelentes propiedades mecánicas y térmicas [17].

2.4.4. Alternativa Impresión 3D (ABS)

El plástico de acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS) es un tipo de polímero comúnmente utilizado en una diversidad de bienes de consumo, como juguetes, electrodomésticos y piezas de automóviles. Es conocido por su dureza, durabilidad y resistencia a los impactos. El plástico ABS también se puede moldear y colorear fácilmente, lo que lo convierte en un material versátil para diversas aplicaciones [18].

2.5. Sistema de calificación de materiales

En la Tabla 4 se muestra el sistema de calificación para referirse a los mejores criterios para cada alternativa que tiene la mayor factibilidad al implementar.

Tabla 4. Sistema de calificación de materiales.

CRITERIO	EQUIVALENCIA DE INDICADORES		
	Rango 1-3	Rango 4-7	Rango 8-10
Costo	Alto	Normal	Económica
Implementación	Compleja	Común	Fácil
Operación	Difícil	Normal	Fácil
Confiabilidad	Mala	Normal	Buena
Aplicación	Regular	Buena	Excelente

2.6. Análisis de alternativas para materiales de piezas

En la Tabla 5, se observa que los criterios que van asociados el respectivo porcentaje, en el análisis para cada criterio se utiliza los números de referencia 1 a 10 para la calificación respectiva.

Tabla 5. Análisis de alternativas para materiales.

ÍTEM	CRITERIO	ALTERNATIVA	ALTERNATIVA	ALTERNATIVA	ALTERNATIVA
		1	2	3	4
1	Costo	5	6	8	8
2	Implementación	6	8	7	8
3	Operación	6	6	7	8
4	Confiabilidad	9	8	5	6
5	Aplicación	9	5	6	8
Sumatorio C.		35	33	32	38
Orden de selección		70%	66%	64%	76%

La opción más viable es la alternativa 4 para la construcción de las piezas, como se observa en la Tabla 5. La impresión 3D es de fácil implementación y aplicación con ayuda de programas CAD.

El ABS es un termoplástico amorfo que es resistente al impacto y tiene una excelente resistencia mecánica. Además, es fácil de unir, disponible en varios colores y puede

resistir rayos gamma y X. Una de sus características más sobresalientes es su gran tenacidad, incluso a baja temperatura [18].

- Resistencia a ataques químicos.
- Estabilidad y dureza a temperaturas altas.
- Brillo.
- Resistencia mecánica.
- Tenacidad a las temperaturas bajas.
- Rigidez.
- Resistencia a impacto.

2.7. Análisis de alternativas para materiales de la base

En la Tabla 6 a continuación, se observa que los diferentes criterios van asociados con sus respectivos porcentajes, en el análisis para cada criterio se utiliza los números de referencia 1 y 10 como menor y mayor calificación respectivamente.

Tabla 6. Análisis de alternativas para materiales.

ÍTEM	CRITERIO	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	ALTERNATIVA 4
1	Costo	5	6	9	8
2	Implementación	8	7	6	5
3	Operación	6	6	6	4
4	Confiabilidad	9	8	7	6
5	Aplicación	9	5	6	8
Sumatorio C.		38	32	34	31
Orden de selección		76%	64%	68%	62%

Como se observa en la tabla 6, la opción más viable es la alternativa 1 para el material de la base de la máquina, su gran coste y operación hacen un material ideal para dar robustez y peso a la máquina.

El acero inoxidable es resistente al impacto y tiene una excelente resistencia mecánica.

- Estabilidad y dureza a temperaturas altas.
- Resistencia a la corrosión.

- Brillo.
- Resistencia mecánica.
- Tenacidad a las temperaturas bajas.
- Rigidez.
- Resistencia a impacto.

2.8. Alternativas de motores

Se realiza el estudio de que motor es el indicado para la máquina bobinadora de transformadores.

2.8.1. Motor a pasos

Son artefactos electromecánicos especializados que transforman pulsos eléctricos en movimientos mecánicos precisos. Estos motores se usan comúnmente en diversas aplicaciones, incluida la robótica, la fabricación y los dispositivos médicos, que requieren alta precisión y exactitud de movimiento. Los motores a pasos funcionan mediante pulsos magnéticos sincronizados, lo que da como resultado un control preciso sobre el número de pasos o rotaciones [19].

2.8.2. Servomotor

Los servomotores son actuadores giratorios que realizan un control preciso de la posición angular. Se utilizan comúnmente en diversas aplicaciones, incluidos los sistemas de robótica, fabricación y automatización. Los servomotores funcionan según el principio de control de circuito cerrado, donde se utiliza la retroalimentación para ajustar la salida del motor. Ofrecen alta precisión, velocidad y par, lo que los hace ideales para usos que requieren un control de posición preciso [20].

2.8.3. Motor DC

Motor de corriente continua que transforma la energía eléctrica a energía mecánica. Se utilizan ampliamente en diversas aplicaciones, como robótica, vehículos eléctricos y maquinaria industrial, debido a su eficiencia, capacidad para proporcionar un alto par a bajas velocidades y facilidad de control. El rendimiento de un motor de CC depende en gran medida de sus parámetros de diseño, incluido el número de vueltas, el calibre del cable y el método de conmutación utilizado [21].

2.9. Sistema de calificación de motores

En la Tabla 7 se observa el sistema de calificación para referirse a los mejores criterios para cada alternativa que tiene la mayor factibilidad para poder implementar.

Tabla 7. Sistema de calificación de motores.

CRITERIO	EQUIVALENCIA DE INDICADORES		
	Rango 1-3	Rango 4-7	Rango 8-10
Costo	Alto	Normal	Económica
Implementación	Compleja	Común	Fácil
Precisión	Mala	Aceptable	Exacto
Confiabilidad	Mala	Normal	Buena
Velocidad	Lento	Normal	Rápido

2.10. Análisis de alternativas para motores

En la Tabla 8 a continuación, se observa que criterios van asociados con su respectivo porcentaje, en el análisis para cada criterio se utiliza los números de referencia 1 y 10 como menor y mayor calificación respectivamente.

Tabla 8. Análisis de alternativas para motores.

ÍTEM	CRITERIO	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
1	Costo	5	6	9
2	Implementación	7	8	8
3	Precisión	10	7	4
4	Confiabilidad	8	5	6
5	Velocidad	6	7	7
Sumatorio C.		36	33	34
Promedio Porcentual		72%	66%	68%

La alternativa 1, los motores a pasos es la óptima por su precisión y confiabilidad que es claramente superior a las demás alternativas.

2.11. Alternativas de Controladores

2.11.1. PLC

Son dispositivos electrónicos digitales utilizados para controlar procesos industriales, como líneas de producción, plantas químicas y centrales eléctricas de manera confiable y resistente con múltiples funciones. Debido a estas características, son la opción preferida en la automatización industrial. El diseño de un sistema PLC se basa en los requisitos de la aplicación y las limitaciones en el entorno donde se aplicará [22].

2.11.2. Arduino

Plataforma de código abierto a crear proyectos electrónicos interactivos. Proporciona una interfaz de hardware y software fácil de usar para la experimentación con la computación física. Con una amplia comunidad de creadores, diseñadores e ingenieros [23].

2.11.3. ESP 32

Es un dispositivo electrónico capaz de manejar 32 bits de datos en una sola operación. Proporcionan un procesamiento de datos e instrucciones más rápido y eficiente en comparación con los procesadores de 16 bits. La capacidad de procesar grandes cantidades de datos ha hecho que los procesadores de 32 bits sean populares en muchas aplicaciones [24] [30].

2.12. Sistema de calificación de controladores

En la Tabla 9 se muestra el sistema de calificación para referirse a los mejores criterios para cada alternativa que tiene la mayor factibilidad al implementar.

Tabla 9. Sistema de calificación de controladores

CRITERIO	EQUIVALENCIA DE INDICADORES		
	Rango 1-3	Rango 4-7	Rango 8-10
Costo	Alto	Normal	Económica
Implementación	Complejo	Común	Fácil
Programación	Complejo	Normal	Fácil
Confiabilidad	Mala	Normal	Buena
Tamaño	Grande	Normal	Pequeño

2.13. Análisis de alternativas para controladores

En la Tabla 10 a continuación, se observa que los diferentes criterios van asociados con su respectivo porcentaje, en el análisis para cada criterio se utiliza los números de referencia 1 y 10 como menor y mayor calificación respectivamente.

Tabla 10. Análisis de alternativas para controladores.

ÍTEM	CRITERIO	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
1	Costo	2	9	9
2	Implementación	5	9	8
3	Programación	7	7	7
4	Confiabilidad	9	7	8
5	Tamaño	3	8	8
Sumatorio C.		26	40	37
Promedio Porcentual		52%	80%	74%

La mejor alternativa en este caso por su confiabilidad, tamaño, coste y facilidad de programación es la alternativa 3, también su capacidad de procesamiento es clave ya que tiene doble núcleo y es de gran utilidad para multi tarea simultanea ya que otras tarjetas económicas no disponen de esta función.

2.14. Alternativa de sensores

2.14.1. Encoder

Son componentes electrónicos que convierten una posición angular o lineal en una señal eléctrica. Se utilizan en una variedad de prácticas, como robótica, sistemas de control de movimiento y automatización industrial [25].

2.14.2. Sensor de contacto

Dispositivo utilizado en detectar la presencia o falta de un objeto dentro de un cierto rango de movimiento y para enviar una señal a un sistema de control para que detenga o arranque una máquina [26].

2.15. Sistema de calificación de sensores

En la Tabla 11 se muestra el sistema de calificación para referirse a los mejores criterios para cada alternativa que tiene la mayor factibilidad para poder implementar.

Tabla 11. Sistema de calificación de sensores.

CRITERIO	EQUIVALENCIA DE INDICADORES		
	Rango 1-3	Rango 4-7	Rango 8-10
Costo	Alto	Normal	Económica
Implementación	Compleja	Común	Fácil
Operación	Complicada	Aceptable	Fácil
Confiabilidad	Mala	Normal	Buena
Tamaño	Grande	Normal	Pequeño

2.16. Análisis de alternativas para sensores

En la Tabla 12, se observa que los criterios van asociados con su respectivo porcentaje, en el análisis para cada criterio se utiliza los números de referencia 1 y 10 como menor y mayor calificación respectivamente.

Tabla 22. Análisis de alternativas para sensores.

ITEM	CRITERIO	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
1	Costo	3	10
2	Implementación	7	9
3	Precisión	10	7
5	Tamaño	5	9
Sumatorio C.		25	35
Promedio Porcentual		63%	88%

Los resultados muestran que la Alternativa 2 es la mejor opción, por el cual presenta una amplia diferencia contra la otra alternativa, un 86% muy superior a la primera alternativa. En la mayoría de los apartados se emplean finales de carrera debido a su tamaño reducido, costo barato y su fácil implementación.

CAPÍTULO III

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Este capítulo describe el proceso de diseño y construcción de un equipo bobinador semiautomático de transformadores. Se incluye los cálculos necesarios para asegurar el funcionamiento deseado, abarcando aspecto mecánicos y electrónicos.

3.1. Diseño de Prototipo

De acuerdo con el estudio de las alternativas de diseño e implementación, se optó por la opción de polietileno, el cual se realizará el prototipo utilizando el software asistido por computador SolidWorks.

El software en cuestión está equipado con las herramientas necesarias para realizar exhaustivas verificaciones de cumplimiento de los componentes que serán diseñados para la construcción del equipo. Una vez concluidas las etapas de diseño, se procederá al ensamblaje, como se muestra en la Figura 16, que presenta una perspectiva detallada de los componentes en disposición explosionada. Adicionalmente, en el Anexo 2 se concluyen los planos técnicos utilizados durante el proceso de construcción.

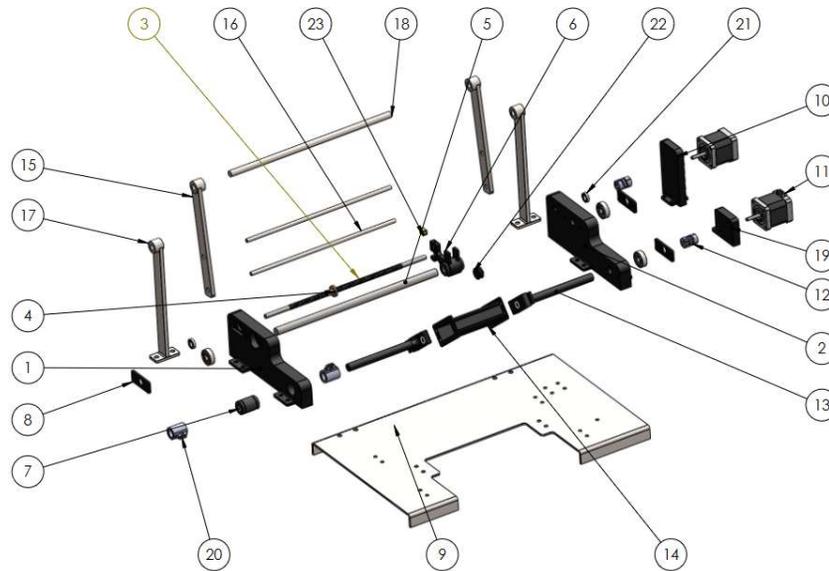


Figura 16. Despiece de la Bobinadora de Transformadores.

En la Tabla 13 se describe los componentes, que contiene el equipo bobinador de transformadores.

Tabla 3. Partes del equipo bobinador de transformadores.

Número	Parte	Detalle
1	Lateral Derecho	Pieza impresa 3D donde se alojan los rodamientos de los ejes y tornillo de potencia
2	Lateral Izquierdo	Pieza impresa 3D donde se alojan los rodamientos de los ejes y tornillo de potencia
3	Tornillo de potencia	Traslada de forma lineal el husillo
4	Husillo	Tuerca de movilidad, que depende del movimiento del eje del Motor PAP
5	Guía lineal-Eje de acero plateado	Este elemento guía al rodamiento axial en una sola dirección
6	Pieza unión Husillo-Rodamiento Axial	Dirige el cable de forma precisa a lo largo del carrete a bobinar
7	Rodamiento Axial	Soporta la unión con el Husillo que actúa en dirección paralela al tornillo de potencia
8	Tapa Rodamiento	Sujeta al rodamiento contra la pieza lateral
9	Placa base	Placa de acero inoxidable perforada donde se ajusta a los elementos del equipo.
10	Base Motor PAP tornillo de potencia	Soporte impreso 3D para la sujeción del motor PAP
11	Motor Paso a Paso (PAP)	Actuador que define la posición del husillo
12	Acople flexible de aluminio	Acopla al motor PAP con el eje
13	Soporte Carrete	Eje que transmite las revoluciones al Carrete
14	Carrete	Pieza donde se enrolla el alambre esmaltado
15	Eslabón Tensador	Eslabón con 2 ejes de tensión
16	Eje eslabón Tensador	Eje que actúa como polea para tensar el alambre esmaltado
17	Soporte Bobina	Soporte del eje de bobina de cable esmaltado
18	Eje Soporte Bobina	Soporte bobina de cable esmaltado
19	Base Motor PAP Carrete	Soporte impreso 3D para la sujeción del motor PAP
20	Bocín 12mm	Delimita la movilidad
21	Rodamientos	Facilitan el movimiento entre los ejes y las piezas laterales
22	Dado guía alambre	Dado impreso 3D que sirve de última guía al alambre esmaltado.
23	Bornera de bronce	Recibe al alambre esmaltado del sistema tensor

En adición a los elementos del equipo previamente mencionados en la Tabla 13 Se utilizarán elementos de sujeción como pernos y tornillos para el enlace de dichos elementos.

3.2. Dispositivo ensamblado

Realizado el diseño del prototipo, se procede con el ensamble para obtener las dimensiones del equipo con el software SolidWorks, como se observa en la Tabla 4.

Tabla 4. Dimensiones del equipo bobinador de transformadores.

Dimensión	Medida en milímetros
Largo	275
Ancho	462
Alto	260

El prototipo tiene un peso aproximado de 10 kilogramos, en la Figura 17 se muestra la máquina bobinadora de transformadores en perspectiva 3D, en el anexo 1 se muestra en detalle las partes del prototipo.

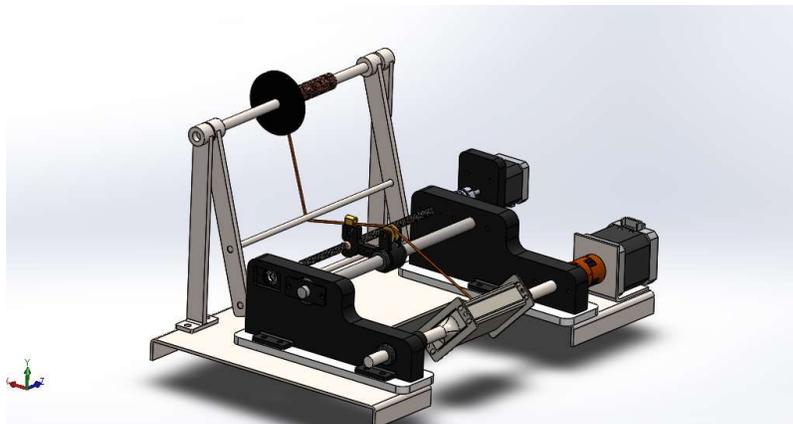


Figura 17. Perspectiva 3D del equipo ensamblado.

3.3. Cálculo y selección de equipos

Se realiza los cálculos estáticos y dinámicos, estos dependen de los siguientes factores: el peso de la bobina de alambre esmaltado para el cálculo estático de la estructura que lo va a soportar, el cálculo de par motor requerido para el movimiento del husillo y el par motor necesario para el motor que revoluciona el núcleo del transformador.

3.3.1. Calculo eje Soporte de Bobina

Para realizar el cálculo del eje soporte de la bobina se necesita determinar cuál es la masa de la bobina de rollo esmaltado que se va a utilizar, en la Tabla 15 se detalla las masas de los diferentes diámetros de cable esmaltado que es comercializado en el país.

Tabla 4. Masa del rollo según el calibre del cable.

Calibre	Masa en kilogramos	Longitud en metros
15	5.47	100
17	3.44	100
19	2.16	100
22	1.37	100

En la tabla 16 se detalla la masa de los soportes y ejes de tensión que actúan en el eje.

Tabla 5. Masa de las piezas del sistema de tensión.

Pieza	Masa en kilogramos unidad	Cantidad
Eslabón Tensador Izquierdo	0.201	2
Eje de Tensión Inferior	0.061	2

Se calcula la fuerza distribuida y las fuerzas puntuales con la Ecuación (7).

$$Fd = m * g \quad (7)$$

$$Fd = 5.47[Kg] * (9.8)\left[\frac{m}{s^2}\right]$$

$$Fd = 53.606 N$$

Donde:

- Fd : Fuerza distribuida en Newtons metro [Nm]
- m : Masa del eje en Kilogramos [Kg]
- g : Gravedad en metros sobre segundos cuadrados. [$\frac{m}{s^2}$]

Se realiza el diagrama de cuerpo libre del soporte con los respectivos puntos de apoyo que actúan en el sistema, como se observa en la Figura 18.

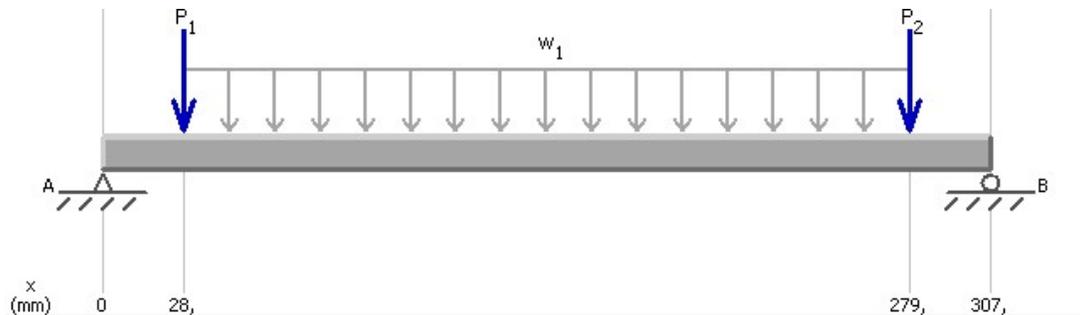


Figura 18. Diagrama De Cuerpo del eje.

Utilizando el software Md Solid se obtiene los resultados de A_y y B_y en el diagrama de fuerza cortante, como se aprecia en la Figura 19.

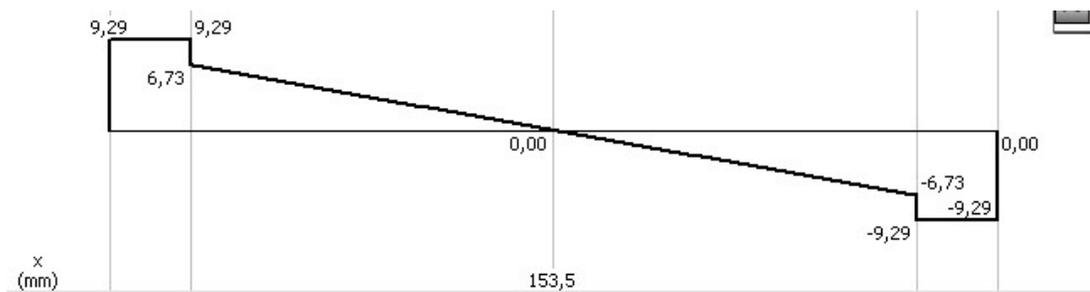


Figura 19. Diagrama De Fuerza Cortante.

3.3.2. Diagrama de momento máximo

En la Figura 20 se realiza la simulación con software de cálculo de vigas Md Solid.

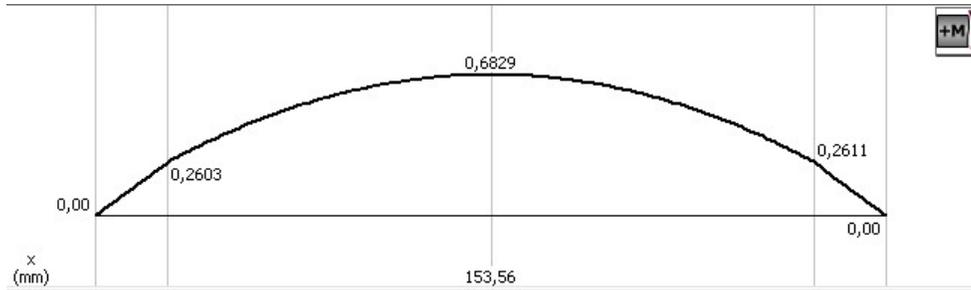


Figura 20. Diagrama De Momento Flector.

El momento máximo está ubicado en el centro y es de 0,6829 [Nm].

3.3.3. Momento de Inercia

Se utiliza la Ecuación (8) para obtener la inercia del eje de 10 milímetros con distribución de masa cuerpo.

$$i = \frac{1}{2} * M * R^2 \quad (8)$$

$$i = \frac{1}{2} * 0,188[kg] * 0,5[mm]^2$$

$$i = 0,047[kg \text{ mm}^2]$$

Donde:

- i : Inercia expresada en kilogramos por milímetro cuadrado [kg mm²]
- M : Masa del eje expresada en kilogramos [kg]
- R : Radio del eje expresado en milímetros [mm]

3.3.4. Factor de seguridad

Se lo utiliza para determinar la capacidad de carga del eje con relación a la carga aplicada utilizando la Ecuación (9).

$$F_s = \frac{S_y}{Q + F_{p1} + F_{p2}} \quad (9)$$

$$S_y = 200 [MPa]$$

$$F_s = \frac{200 [MPa]}{13.45[N] + 9.3[N] + 9.3[N]}$$

$$F_s = \frac{200 \text{ [MPa]}}{32.05 \text{ [N]}}$$

$$F_s = 6.24$$

Donde:

- F_s : Índice de Factor de seguridad
- S_y : Limite elástico del material expresado en Mega Pascales [MPa]

3.3.5. Simulación estática en SolidWorks con el método de elementos finitos

Se ingresa los siguientes datos para realizar el análisis de estructura en el eje de acero inoxidable de diámetro 0.01 [m] de longitud 0,307 [m] con una carga distribuida de 53,606 [N] y dos cargas puntuales de 2,567 [N] en 2 puntos de apoyo.

3.3.5.1 Análisis de tensiones mecánicas

Este análisis se refiere a los esfuerzos y deformaciones del eje sólido, permitiendo evaluar la resistencia y el rendimiento de fabricación. El índice máximo de presión que soporta esta zona es de 2.193 [MPa], se aprecia en la Figura 19.

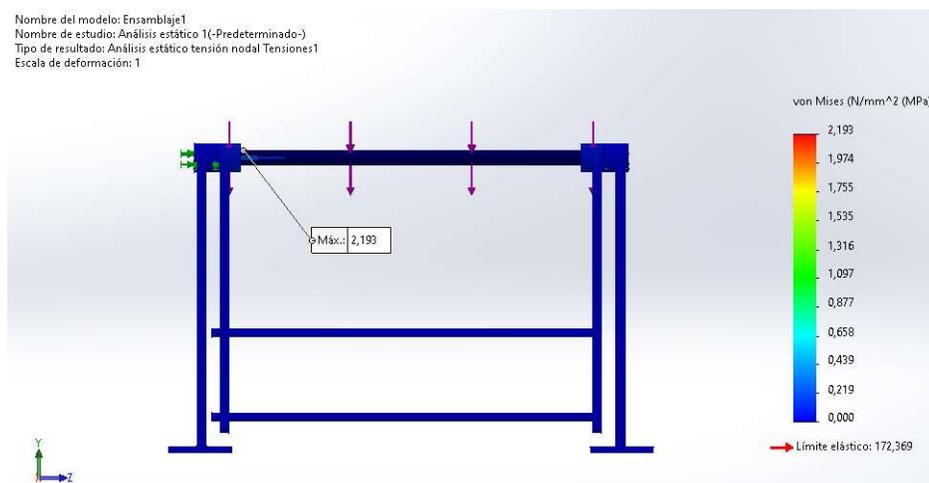


Figura 21. Análisis de Tensiones.

3.3.5.2 Análisis de desplazamiento

Se analiza cómo se deformará el soporte bajo una carga aplicada. Cómo se observa en la Figura 22 en el área central tiene su punto máximo de deformación de 0.004 [mm].

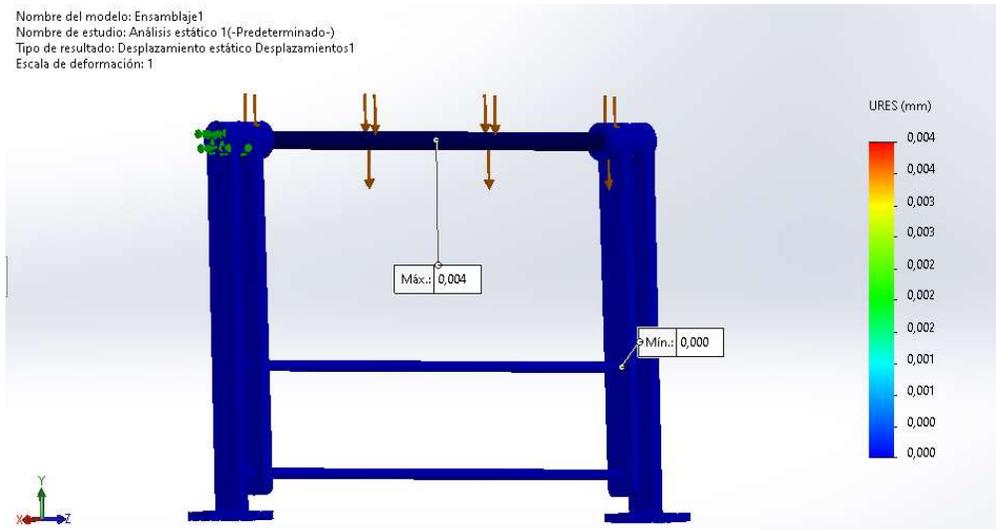


Figura 22. Análisis de Desplazamiento.

3.3.5.3 Factor de seguridad

Este análisis evalúa las condiciones a las que serán sometidas el modelo y las que podrá soportar, lo que permite comprender como se comportará estructuralmente el modelo. Como se observa en la Figura 23 el índice de factor de seguridad mínimo es 6.4, lo cual indica que el modelo soporta 6 veces la carga necesaria.

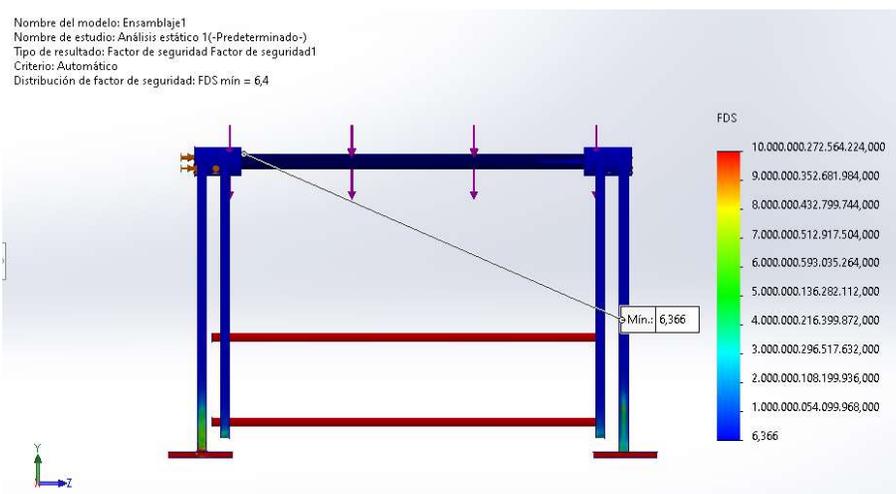


Figura 23. Factor de seguridad.

3.4. Cálculo y selección de equipos

Como se observa en la Figura 23, en el eje soporte de bobina se tiene dos bocines con eslabones que soportan 2 ejes, los cuales tensionan de forma diferente al cable.

3.4.1. Calculo eje Soporte de Bobina

Se configuro una tensión baja para los calibres de diámetro 22-19, estos tienen una densidad de cable baja. Se analiza la tensión CD, BC y AB la cuales definen la tensión del cable al ingresar en el carrete como se observa en la Figura 24.

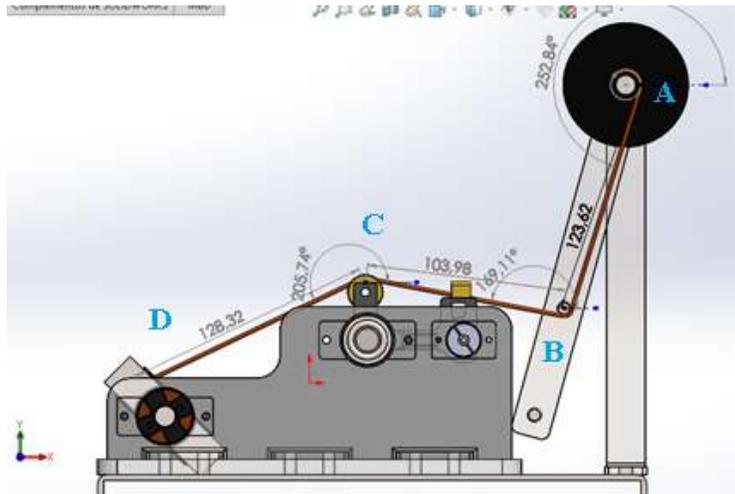


Figura 24. Tensión del cable.

Se conoce que el cable AWG 22 es de diámetro 0.644[mm] y área transversal de 0.326[mm²] con una densidad del cobre de 8.89[g/cm³].

3.4.1.1 Tensión AB

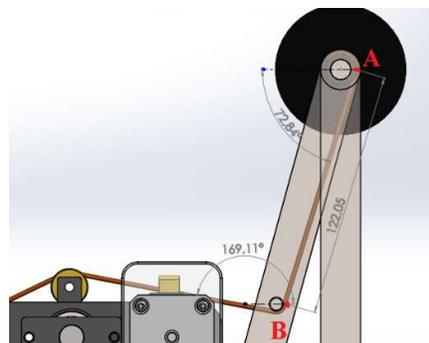


Figura 25. Tensión AB.

Dado que se empieza desde el carrete donde no existe fricción como se observa en la Figura 25, se considera la tensión como solamente el peso del alambre, entonces la tensión AB la se calcula mediante la Ecuación (10).

$$T_{AB} = \text{Peso}_{AB} * \text{Gravedad} \quad (10)$$

$$\text{Peso}_{AB} = \text{Longitud}_{AB} * \text{AreaTransversal} * \text{DensidadCable}$$

$$\text{Peso}_{AB} = 0.122[m] * 0.326[mm^2] * 8.89[g/cm^3]$$

$$\text{Peso}_{AB} = 0.356 [kg]$$

$$T_{AB} = 0.356[kg] * 9.81[m/s^2]$$

$$T_{AB} = 3.49 [N]$$

Donde:

- T_{AB} : Tensión desde el punto A al punto B en Newtons [N]
- Longitud_{AB} : Distancia del punto A al punto B
- Peso_{AB} : Peso del alambre en la distancia A – B en kilogramos [Kg]
- Area Transversal : Dimensión de un corte transversal en el cable [mm²]
- DensidadCable : Masa del cable por unidad del volumen [g/cm³]

3.4.1.2 Tensión BC

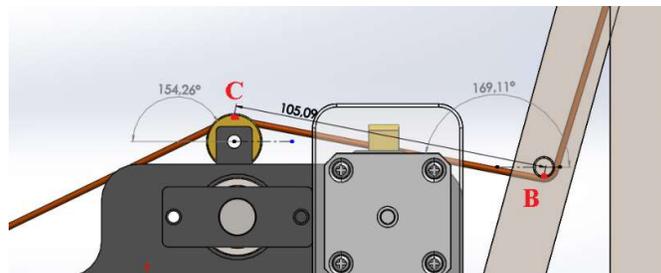


Figura 26. Tensión BC.

Se calcula la tensión BC mediante la Ecuación (11), recordando que el ángulo BC es de 169 grados al este a una longitud de 105 [mm] cómo se observa en la Figura 26.

$$T_{BC} = \text{Peso}_{BC} + V_{BC} \quad (11)$$

$$\text{Peso}_{BC} = \text{Longitud}_{BC} * \text{AreaTransversal} * \text{DensidadCable}$$

$$\text{Peso}_{BC} = 0.105[m] * 0.326[mm^2] * 8.89[g/cm^3]$$

$$Peso_{BC} = 0.298 \text{ [kg]}$$

$$V_{BC} = Peso_{BC} * \text{sen}(BC)$$

$$V_{BC} = 0.298 \text{ [kg]} * \text{sen}(11)$$

$$V_{BC} = 0.056 \text{ [kg]}$$

$$T_{BC} = Peso_{BC} + V_{BC}$$

$$T_{BC} = (0.298 \text{ [kg]} + 0.056 \text{ [kg]}) * 9.81[m/s^2]$$

$$T_{BC} = 3.48 \text{ [N]}$$

- T_{BC} : Tensión desde el punto B al punto C en Newtons [N]
- $Longitud_{BC}$: Distancia del punto B al punto C en milímetros [mm]
- $Peso_{BC}$: Peso del alambre en la distancia B – C en kilogramos [Kg]
- V_{BC} : Componente vertical de la tension BC en kilogramos [Kg]

3.4.1.3 Tensión CD

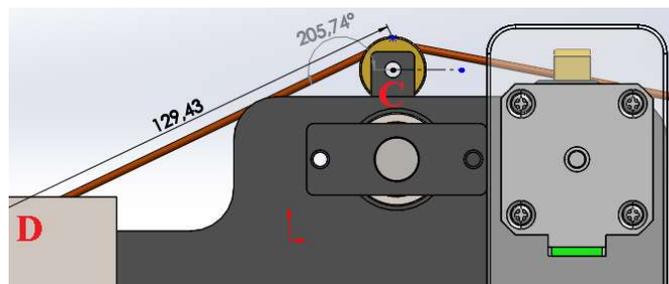


Figura 27. Tensión CD.

Se calcula la tensión CD mediante la Ecuación (12), recordando que el ángulo CD es de 205 grados al este a una longitud de 129 [mm], como se observa en la Figura 27.

$$T_{CD} = Peso_{CD} + V_{CD} \quad (12)$$

$$Peso_{CD} = Longitud_{CD} * AreaTransversal * DensidadCable$$

$$Peso_{CD} = 0.129[m] * 0.326[mm^2] * 8.89[g/cm^3]$$

$$Peso_{CD} = 0.37 \text{ [kg]}$$

$$V_{CD} = Peso_{CD} * \cos(CD)$$

$$V_{CD} = 0.37 \text{ [kg]} * \cos(25)$$

$$V_{CD} = 0.336 \text{ [kg]}$$

$$T_{CD} = Peso_{CD} + V_{CD}$$

$$T_{CD} = (0.37 \text{ [kg]} + 0.336 \text{ [kg]}) * 9.81[m/s^2]$$

$$T_{CD} = 6.92 \text{ [N]}$$

Donde:

- T_{CD} : Tensión desde el punto C al punto D en Newtons [N]
- $Longitud_{CD}$: Distancia del punto C al punto D en milímetros [mm]
- $Peso_{CD}$: Peso del alambre en la distancia C – D en kilogramos [Kg]
- V_{CD} : Componente vertical de la tension BC en kilogramos [Kg]

3.4.1.4 Tensión total

Se calcula la tensión total de alambre el trayecto de todo el prototipo mediante la Ecuación (13).

$$T_T = T_{AB} + T_{BC} + T_{CD} \quad (13)$$

$$T_T = 3.49[N] + 3.48[N] + 6.92 [N]$$

$$T_T = 13.89 [N]$$

- T_T : Sumatoria de tensiones en Newtons [N]

3.4.1.5 Par motor necesario

Se calcula el par requerido para la selección del motor mediante la Ecuación (14).

$$P_m = T_T[N] * Longitud_T \quad (14)$$

$$P_m = 13.89[N] * 0.418[m^2]$$

$$P_m = 2.42[N/m^2]$$

Donde:

- P_m : Par motor en Newtons metro cuadrado [N/m^2]

3.5. Selección de equipo electrónico

La elección de estos equipos debe ser minuciosa para asegurar el adecuado funcionamiento del equipo y garantizar el bajo costo. Es importante que los equipos seleccionados sean de calidad y estén actualizados para garantizar la validez y precisión de los resultados requeridos.

3.5.1. Motores electrónicos

En la alternativa de motores previa en la Tabla 8, la mejor opción a elegir es el motor a pasos, a continuación, se calcula las respectivas potencias y corrientes para la elección correcta de dicho dispositivo.

El estándar NEMA comprende de un conjunto de motores estandarizados más comunes para este tipo de aplicaciones que son:

Tabla 17. Motores NEMA general de los tamaños de estructura.

Motores a Pasos NEMA			
Tamaño Cuadro	Diámetro (mm)	Par Típico (Nm)	RPM
NEMA 8	20	0.01 - 0.04	0-1000
NEMA 11	28	0.06 - 0.05	0-1000
NEMA 14	35	0.05 - 0.5	0-1000
NEMA 16	39	0.1 - 0.25	0-1000
NEMA 17	43	0.2 - 1	0-1000
NEMA 23	57	0.5-3	0-1000
NEMA 24	60	1.2 - 4.6	0-1000
NEMA 34	86	3 - 12	0-1000
NEMA 42	102	12 - 20	0-1000

Características del NEMA 17 elegido por sus características, precio y facilidad de encontrarlo en el mercado para la parte móvil del carril guía.

- **Tamaño:** 42.3×48mm, sin eje.
- **Peso:** 350 g (13 oz).
- **Pasos por vuelta:** 200.

- **Grados:** 1,8° por paso.
- **Corriente:** 1.2 Amperios por bobinado, 2.4 Amperios por motor.
- **Tensión:** 12 V.
- **Resistencia:** 3.3 Ohm por bobina.
- **Torque:** 3.2 kg/cm (44 oz-in).
- **Inductancia:** 2.8 mH por bobina

Características del NEMA 23 motor elegido por cumplir con el par motor calculado en la Ecuación (14), para la parte del embobinado por su capacidad de mantener una tensión adecuada.

- **Estándar:** NEMA 23
- Paso: 1.8°
- Número de pasos por revolución: 200
- Voltaje: 5.2V
- Corriente: 2.5A/fase
- Resistencia: 2.6 Ohm/fase ($\pm 10\%$)
- Inductancia: 9.4 mH/fase ($\pm 20\%$)
- Par de retención: 1.200 mN
- Inercia / Rotor interia: 280 g / cm²
- Número de hilos: 4
- Peso: 690 g
- Diámetro del eje: 8 mm
- Dimensiones: 55 x 57 x 57 mm (sin eje)

3.5.2. Potencia eléctrica

La potencia eléctrica del motor a pasos NEMA 17 se determina mediante la Ecuación (15)

$$W = V \cdot I \quad (15)$$

$$W = 12 \cdot 2.4$$

$$W = 28.8w$$

La potencia eléctrica del motor a pasos NEMA 23 aplicando la Ecuación (15), es igual a 60W.

3.6. Driver para servomotor NEMA 17

Se realizan los respectivos cálculos para seleccionar el controlador dependiendo del voltaje y el amperaje.

3.6.1. Cálculos de protección para driver del motor a pasos

Para realizar los cálculos necesarios para proteger el motor de sobre corrientes, se conoce que la corriente máxima que puede soportar el motor a pasos, la corriente máxima del NEMA 17 es $I = 1.2 A$.

A partir de la corriente máxima, se puede ajustar la corriente del controlador A4988 utilizando el voltaje de referencia (V_{ref}) según la Ecuación (16).

$$I_{max} = \frac{V_{ref}}{8 \times R_s} \quad (16)$$

$$V_{ref} = I_{max} \times (8 \times R_s)$$

$$V_{ref} = 1.2 \times (8 \times 0.1)$$

$$V_{ref} = 0.96$$

Donde:

R_s = Resistencia de ajuste en el driver.

Con la Ecuación (16) despejada se obtiene el voltaje de referencia para el controlador, es importante ajustar la corriente de forma adecuada para evitar que el motor sufra un exceso de corriente y se sobrecaliente, lo que podría dañar tanto el motor como el driver. El controlador A4988 también cuenta con protección térmica y contra cortocircuitos incorporada. Finalmente, es importante seguir las recomendaciones del fabricante tanto del motor como del controlador y consultar las especificaciones técnicas para garantizar que se estén utilizando de manera adecuada y segura.

3.7. Driver para servomotor NEMA 23

Se realizan los respectivos cálculos mediante tablas para seleccionar el controlador dependiendo del voltaje y el amperaje.

3.7.1. Configuración del driver para el servo motor NEMA 23

El controlador TB6600 dispone de interruptores físicos para el control de los pasos, una dificultad que tiene esto es que no se puede controlar por medio de programación siendo imposible cambiar de velocidad sin que afecte su fluidez, como no es necesario el cambio de velocidad este driver es perfecto para el proyecto.

Para la configuración de la protección del motor se necesita saber la corriente máxima que soporta el motor, la NEMA 23 puede soportar una corriente máxima de: $I = 2.5 A$

Tabla 18. Protección de corriente máxima

Corriente (A)	Max Corriente	S4	S5	S6
0.5	0.7	ON	ON	ON
1.0	1.2	ON	OFF	ON
1.5	1.7	ON	ON	OFF
2.0	2.2	ON	OFF	OFF
2.5	2.7	OFF	ON	ON
2.8	2.9	OFF	OFF	OFF
3.0	3.2	OFF	ON	OFF
3.5	4.0	OFF	OFF	OFF

Se sabe que la máxima corriente que soporta el motor es de 2.2 de corriente máxima, con el switch 4 activado y el switch 5 y 6 apagado como se muestra en la Tabla 18.

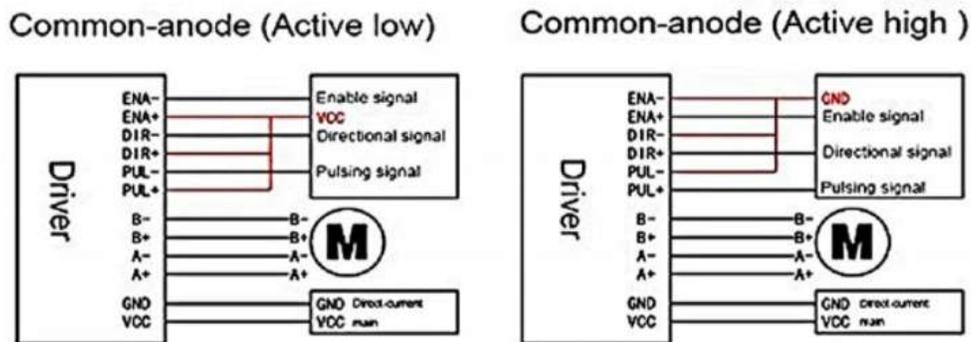


Figura 28. Diagrama del controlador A4988.

En la Figura 28 se observa los dos modos de conexión del controlador TB6600, de cátodo común que consiste en conectar todos los negativos al GND y de ánodo común que

consiste en conectar todos los positivos a VCC. Se eligió de cátodo común para que los pines del controlador se configuren como salidas y evitar el uso de protecciones mediante resistencias.

3.8. Sistema de alimentación del circuito eléctrico.

Con los elementos mencionados anteriormente se conoce la fuente de alimentación que se necesita. Se obtiene el voltaje máximo de funcionamiento del motor a pasos, que es el de mayor consumo de la máquina: $V = 12v$

El amperaje se obtiene de la corriente máxima de cada dispositivo que tiene el circuito.

$$I = 1A + 3.7A$$

$$I = 4.4 A$$

Con los datos recopilados se necesitará una fuente de 12v a un mínimo de 5 A para una correcta alimentación de toda la máquina.

3.9. Sistema de control electrónico

Se presenta los componentes de control a utilizar que están conformados por un microcontrolador ESP32, dos drivers A4988, dos motores a pasos Nema 17 y dos finales de carrera el cual todo está conectado y alimentado por una fuente DC de 12 V.

En la Figura 29 se presenta las conexiones para el funcionamiento del prototipo en un diagrama.

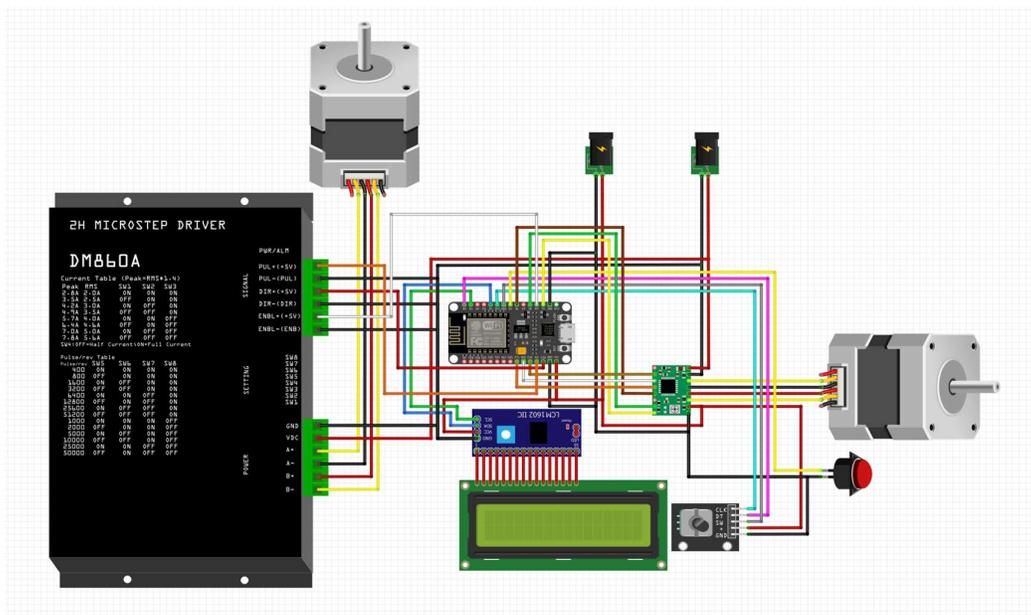


Figura 29. Diagrama de conexiones de la máquina.

Los elementos que se presentan en el esquemático de la Figura 29 son:

- Microcontrolador ESP32 que procesa y controla todas las señales de los interruptores para el control preciso de los motores.
- LCD 16x2 permite visualizar el número de vueltas y datos que van a ser ingresados como instrucciones para el uso de la máquina.
- Encoder para el control en ingreso de datos y vueltas a la máquina.
- Finales de carrera que funcionan como interruptores para calibrar y setear el inicio de la máquina al principio de cada proceso.
- Drivers A4988 y TB6600 de motores a pasos para un control de velocidad, dirección y posición de los motores a pasos Nema 17 y 23 respectivamente.
- Nema 17 y Nema 23 motores a pasos de 1.8 grados por paso el cual con el control respectivo darán las vueltas necesarias para el embobinado del núcleo del transformador.

3.10.2 Diagrama de flujo

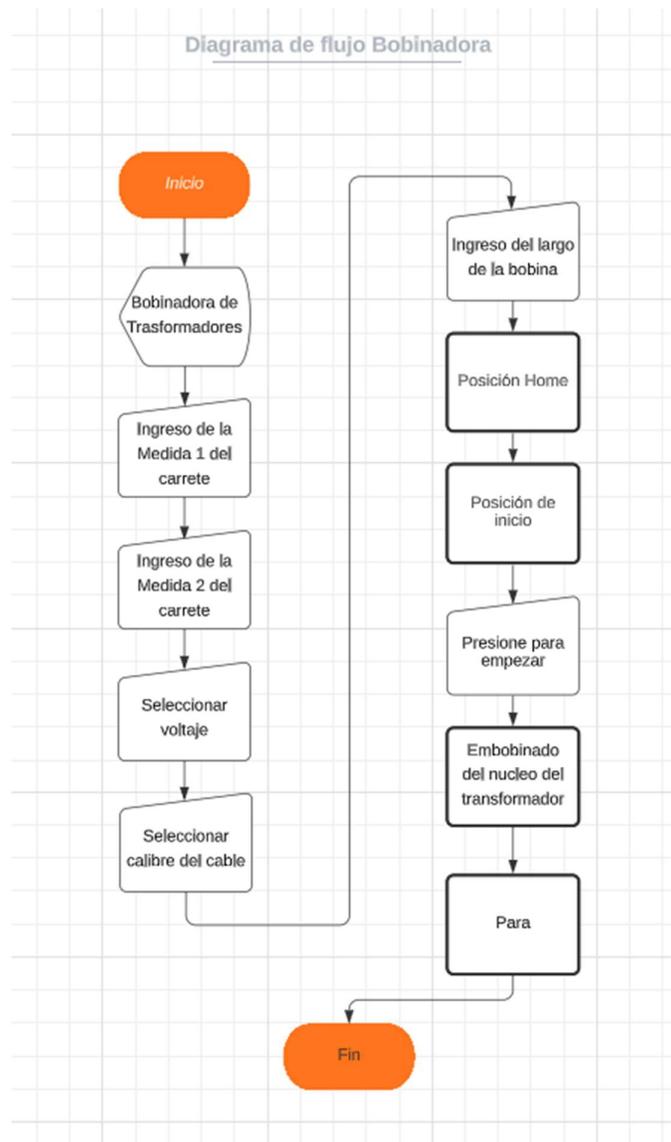


Figura 30. Flujograma funcionamiento equipo.

En la Figura 30 se observa el diagrama de funcionamiento del equipo comenzando por mostrar el título de “Bobinadora de Transformadores” en pantalla, mediante ingreso manual con ayuda del Encoder se ingresa las medidas del carrete en X y Y respectivamente, se ingresa el voltaje deseado del embobinado, calibre, y largo del carrete. Una vez ingresado los datos necesarios la máquina se posiciona en home para ir al inicio, a la espera de que se coloque el cable manualmente por el operador y se presione empezar, una vez realizado esto la máquina empieza a embobinar hasta llegar a las configuraciones ingresadas anteriormente.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y RESULTADOS

El presente capítulo lleva a cabo el análisis y funcionamiento del equipo bobinador semiautomático de transformadores, se realiza 3 pruebas de bobinado con diferentes voltajes y calibres de alambre.

4.1. Prueba para la obtención de un transformador de 120VAC a 5 VAC

Para realizar la prueba se ingresaron los parámetros mostrados en la Tabla 19 para el primer devanado.

Tabla 19. Parámetros prueba 1, primer devanado.

Parámetros	Entrada
Alto	45
Ancho	38
Voltaje	120
Longitud del carrete	45

Como se muestra en la Figura 31, el devanado primario esta uniforme y ha concluido con las vueltas calculadas.

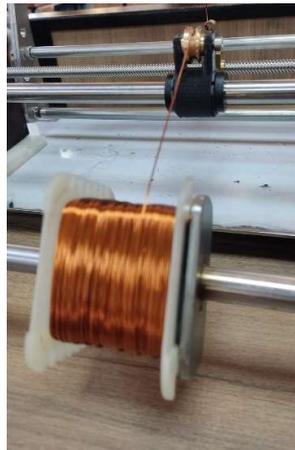


Figura 31. Devanado 120 VAC.

Se procede a cortar el alambre y a aislar la bobina como se observa en la Figura 32.

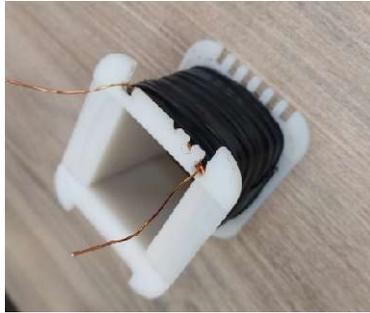


Figura 32. Aislado Devanado 110 VAC.

Para realizar el segundo devanado se ingresan los parámetros mostrados en la Tabla 20.

Tabla 20. Parámetros prueba 1, segundo devanado.

Parámetros	Entrada
Alto	45
Ancho	38
Voltaje	5
Longitud del carrete	45

Se realiza el bobinado del devanado secundario de 5 VAC con alambre AWG 17 como se observa en la Figura 33.

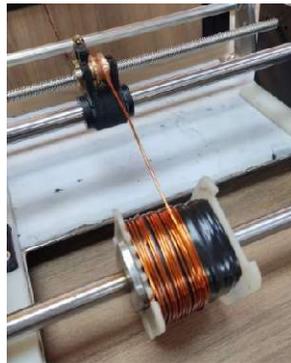


Figura 33. Devanado 5 VAC.

Se procede a aislar la bobina y armar el transformador con el núcleo de chapas metálicas como se observa en la Figura 34.

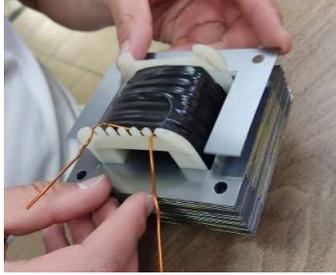


Figura 34. Ensamble Transformador 120VAC-5VAC

Se realiza las respectivas mediciones voltaje a la salida como se muestra en la Figura 35.



Figura 35. Medición devanado primario y secundario.

Mediante la prueba realizada se obtiene los valores de la Tabla 21.

Tabla 21. Resultados prueba 1.

	Voltaje Deseado	Voltaje Medido
Valor entrada	120 VAC	124.5 VAC
Valor de salida	5 VAC	5.363 VAC

El error porcentual para el primario se presentan mediante la Ecuación (17).

$$e\% = \frac{\text{Dato medido} - \text{Dato deseado}}{\text{Dato deseado}} * 100\% \quad (17)$$

$$e\% = \frac{124.5 [VDC] - 120[VDC]}{120[VDC]} * 100\%$$

$$e\% = 3.75\%$$

El error porcentual para el secundario se presentan mediante la Ecuación (18).

$$e\% = \frac{\text{Dato medido} - \text{Dato deseado}}{\text{Dato deseado}} * 100\% \quad (18)$$

$$e\% = \frac{5.363 [VDC] - 5[VDC]}{5[VDC]} * 100\%$$

$$e\% = 7.26\%$$

4.2. Prueba 120 VAC a 24 VAC

Para realizar la prueba se ingresaron los parámetros mostrados en la Tabla 22.

Tabla 22. Parámetros prueba 2, segundo devanado.

Parámetros	Entrada
Alto	45
Ancho	38
Voltaje	24
Longitud del carrete	45

Como se muestra en la Figura 36, el devanado secundario esta uniforme y ha concluido con las vueltas calculadas.



Figura 36. Devanado secundario 24VAC.

Se procede a aislar la bobina y armar el transformador como se observa en la Figura 37.



Figura 37. Ensamble Transformador 120VAC-24VAC

Se realiza las respectivas mediciones utilizando 2 multímetros como se muestra en la Figura 38.



Figura 38. Medición devanado primario y secundario.

Mediante la prueba realizada se obtiene los valores de la Tabla 23.

Tabla 23. Resultados prueba 2.

	Voltaje Deseado	Voltaje Medido
Valor entrada	120 VAC	123.7 VAC
Valor de salida	24 VAC	26.33 VAC

Una vez obtenido el resultado real, se calcula el error porcentual en el segundo devanado mediante la Ecuación (19).

$$e\% = \frac{\text{Dato medido} - \text{Dato deseado}}{\text{Dato deseado}} * 100\% \quad (19)$$

$$e\% = \frac{26.33 [VDC] - 24[VDC]}{24[VDC]} * 100\%$$

$$e\% = 9.70\%$$

4.3. Prueba 120 VAC a 12 VAC

Para realizar la prueba se ingresaron los parámetros mostrados en la Tabla 24.

Tabla 24. Parámetros prueba 3, segundo devanado.

Parámetros	Entrada
Alto	45
Ancho	38
Voltaje	12
Longitud del carrete	45

Como se muestra en la Figura 39, el devanado secundario está uniforme y ha concluido con las vueltas calculadas.



Figura 39. Segundo devanado 12 VAC.

Se realiza la respectiva medición utilizando un multímetro como se muestra en la Figura 40.



Figura 40. Medición devanado secundario.

Mediante la prueba realizada se obtiene los valores de la Tabla 25.

Tabla 25. Resultados prueba 3.

	Voltaje Deseado	Voltaje Medido
Valor entrada	120 VAC	123.7 VAC
Valor de salida	12 VAC	11.5 VAC

Una vez obtenido el resultado real, se calcula el error porcentual en el segundo devanado mediante la Ecuación (20).

$$e\% = \frac{\text{Dato medido} - \text{Dato deseado}}{\text{Dato deseado}} * 100\% \quad (20)$$

$$e\% = \frac{11.5 [VDC] - 12[VDC]}{12[VDC]} * 100\%$$

$$e\% = 4.16\%$$

4.4. Análisis de Costos

Para la construcción del equipo se realizó la adquisición de piezas mecánicas y equipos electrónicos y se utilizó diferentes procesos de impresión 3D. A continuación, se detalla los costos para la construcción del prototipo.

4.4.1. Costos de elementos mecánicos

Los accesorios y piezas mecánicas utilizadas en el prototipo se detallan en la Tabla 26.

Tabla 26. Detalle componentes mecánicos.

Cantidad	Descripción	Precio por unidad [USD]	Precio por unidad [USD]
1	Placa Inoxidable	20	20
1	Barra Inoxidable	13	13
7	Rodamientos	5	35
1	Eje de acero Plata 12 mm	9	9
1	Bornera Bronce	0.50	0.50
1	Eje de acero Inoxidable 6mm	7	7

22	Pernos Hexagonales	0.25	5.8
1	Tornillo de Potencia	8	8
1	Husillo	6	6
2	Acoples Aluminio	3	6
4	Bocines	2	8
12	Pernos Allen	0.25	3
TOTAL			121.3

4.4.2. Costos de componentes electrónicos

En la Tabla 27 se observan los instrumentos electrónicos de control del equipo bobinador.

Tabla 27. Detalle componentes electrónicos.

Cantidad	Descripción	Precio por unidad [USD]	Precio por unidad [USD]
1	ESP32	15	15
1	LCD	10	10
1	Modulo LCD I2C	4	4
1	Modulo Step Down	3.5	3.5
1	Encoder	5	5
2	Driver A4988	4	8
2	Capacitores 100uF	0.2	0.4
1	Fuente 12v - 5A	13	13
2	NEMA 17	20	40
3	Cable	0.35	1.05
TOTAL			99.95

4.4.3. Costos de Impresión 3D

En la Tabla 28 se especifica las horas, costos de material y de electricidad de la impresión 3D de las estructuras de la máquina.

Tabla 68. Impresión 3D.

Costos			
Horas	Plástico	Luz	Impresión
16:19	1.20 [USD]	0.54 [USD]	13.87 [USD]
SUB TOTAL		15.61 [USD]	
IVA		1.87 [USD]	
TOTAL		17.48 [USD]	

4.4.4. Costos de mano de obra

Según el Ministerio del Trabajo el salario básico es de 450 dólares se toma en cuenta es valor para saber el costo por hora es de 2.81 dólares americanos como se observa en la Tabla 29.

Tabla 7. Detalle Mano de Obra.

Horas	Descripción	Valor por hora [USD]	Precio total [USD]
18	Diseño mecánico	2.81	50.58
30	Construcción	2.81	84.3
20	Programación	2.81	56.2
TOTAL			191.08

4.4.5. Costos totales de la Bobinadora de transformadores semiautomática

Con lo observado de las Tablas 25, 26, 27, 28 y 29 se puede calcular el costo total de la máquina con la siguiente Tabla 30.

Tabla 30. Costos totales del equipo.

Descripción	Precio [USD]
Material mecánico	121.3
Material Impresión	17.48
Material electrónico	114.95
Mano de Obra	191.08
TOTAL	444.81

4.5. Análisis VAN

Para calcular el VAN se utiliza la Ecuación (21), donde se ingresa el flujo de caja, un capital inicial de 1500 dólares y rentabilidad al 25%.

$$VAN = -A + \frac{F1}{(1+i)^1} + \frac{F2}{(1+i)^2} + \frac{F3}{(1+i)^3} + \frac{F4}{(1+i)^4} + \frac{F5}{(1+i)^5} \quad (21)$$

$$VAN = -1500 + \frac{444.81}{(1 + 0.25)^1} + \frac{444.81}{(1 + 0.25)^2} + \frac{444.81}{(1 + 0.25)^3} + \frac{444.81}{(1 + 0.25)^4} + \frac{444.81}{(1 + 0.25)^5}$$

$$VAN = 450.79$$

Donde:

A = Inversión inicial

$F1, F2, F3, F4, F5$ = Flujo de caja

i = Tasa de descuento

Con el objetivo de mejorar la rentabilidad del proyecto, se utiliza Microsoft Excel que mejora la obtención de datos deseados como se evidencia en la Tabla 31.

Tabla 31. Tabla de cálculo del VAN.

Rentabilidad	25	%	
Inversión	-1500	[USD]	[USD]
AÑO	Saldo actualizado	Saldo actualizado 25%	FLUJO NETO
0	0	0	-1500
1	-779.92	355.84	444.81
2	-124.00	284.67	444.81
3	403.741	227.74	444.81
4	598.53	182.19	444.81
5	635.62	145.75	444.81
		VAN	450.79

4.6. Análisis TIR

Para realizar los cálculos del TIR se emplea los valores, como se observa la Tabla 32.

Tabla 32. Tabla de cálculo del TIR.

Rentabilidad	25	%	
Inversión	-1500	[USD]	[USD]
AÑO	Saldo acumulado	Saldo actualizado 25%	FLUJO NETO
0	0	0	-2000
1	-779.92	355.84	444.81
2	-124.00	284.67	444.81
3	403.741	227.74	444.81
4	598.53	182.19	444.81
5	635.62	145.75	444.81
		TIR	29%

Según los cálculos efectuados, se obtiene una rentabilidad del proyecto de 29%, la cual es superior al 25% de rentabilidad proporcionada por el VAN.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se presentan las recomendaciones y conclusiones derivadas de los pasos seguidos durante la construcción del proyecto de titulación que consiste en una bobinadora semiautomática de transformadores de baja potencia.

CONCLUSIONES

- Se realizó una investigación de los diferentes aspectos relacionados en el bobinado de transformadores de baja potencia. El propósito principal fue establecer los parámetros óptimos para el diseño y funcionamiento de la máquina bobinadora. Los resultados obtenidos en esta investigación se utilizan como base para plantear diferentes alternativas de construcción y, finalmente, se aplicaron en el diseño del prototipo.
- En la etapa de diseño, se utilizó el software Solid Works para desarrollar el equipo. Mediante este software, se realizó un análisis detallado de deformaciones, tensiones y esfuerzos presentes en el soporte de bobina estos resultados mostraron que el índice de factor de seguridad, calculado y representado en la Figura 23, alcanzó un valor de 6.24. Lo cual demuestra que el equipo es capaz de resistir seis veces más esfuerzo del que será sometida en condiciones normales de funcionamiento.
- En el control del prototipo, se utilizó un ESP32 con una programación basada en hilos, lo que permitió el control simultáneo de los dos motores encargados del movimiento del husillo y del carrete. Además, se agregó una pantalla LCD y un encoder para la interfaz con el usuario, lo que simplifica considerablemente la operación del equipo.
- Mediante las pruebas realizadas se obtiene que el error promedio entre el voltaje deseado y el voltaje obtenido a la salida del transformador es del 6.22%, lo cual representa un error aceptable para transformadores de baja potencia.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda tener en cuenta las tolerancias de las impresoras 3D a utilizar, ya que por lo general si se imprime con las medidas requeridas el resultado no será el esperado.
- Se recomienda utilizar acoples flexibles, ya que la manufactura no es tan precisa como los servicios CNC y esto puede generar resultados de desalineación.
- Se recomienda en este tipo de máquinas que trabajan con objetos alargados y requieren precisión, diseñar un sistema adecuado para templar el material a trabajar para obtener mejores resultados.
- Se recomienda utilizar materiales anticorrosivos, ya que el contacto a la humedad puede llevar un desgaste de materiales y una posterior ineficiencia del equipo.

REFERENCIAS

- [1] J. C. Olivares Galván, M. A. Venegas y S. Magdalena, «La Historia del Transformador,» *Miembros IEEE*, pp. 1-6, 2006.
- [2] K. Y. Agudelo Marín, «Diseño y construcción de transformadores de corriente en la empresa Magnetron S.A.S,» Pereira, 2019.
- [3] A. P. Gutiérrez García y A. R. Melo Castellanos , «Diseño y construcción de máquina bobinadora semiautomática de motores Brushless,» 2018.
- [4] J. A. Leonett Marcano, «Diseño e implementación de un conjunto de máquinas bobinadoras con sistema de velocidad variable,» Guayana, 2017.
- [5] J. F. Cadena Lemos, «Diseño y construcción de un transformador de corriente de uso industrial para medida en baja tensión,» 1991.
- [6] E. E. Staff, Circuitos magnéticos y transformadores, M. I. o. Technology, Ed., Editorial Reverté , 1965.
- [7] S. Kumar, L. Jain, R. Gorur, G. Karady y R. Ayyanar, «Electric Field Calculations on Dry-Type Medium Voltage Current Transformers,» 2012.
- [8] W. M. Flanagan , Handbook of transformer desing and applications, S. Edition, Ed., Mc Graw Hill, 1992.
- [9] B. S. Guru y H. R. Hiziroglu, Transformadores: teoría, diseño y aplicaciones, Boston: Editorial Thomson Learning, 2001.
- [10] J. W. Nilsson y S. A. Riedel, Circuitos eléctricos, D. edición, Ed., Pearson , 2015.
- [11] E. Peñalvo López, V. León Martínez y J. Montañana Romeu, Acoplamientos magnéticos y máquinas eléctricas de inducción, Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia, 2018.
- [12] E. A. Martínez Londoño, «Diagnóstico de transformadores de corriente y de potencia a partir de la evaluación y análisis de resultados de pruebas,» 2018.
- [13] F. Conti, «Motores paso a paso,» Editorial ALSINA, Buenos Aires, 2005.
- [14] M. Banzi, «Getting Started with Arduino,» Maker Media, 2014.

- [15] M. Zenon Cucho y M. Freri Orihuela, «Microcontroladores ATMEGA8,» 2007.
- [16] I. Garcia Mutis y J. Lagos López, «Diseño E Implementación De Un Control CNC Para Crear Modelos Y Esculturas En Tercera Dimensión A Partir De Un Diseño CAD,» Bogotá, 2009.
- [17] J. A. Escandón Pérez, «Diseño y construcción de un montaje para la calibración del dinamómetro de torno MCL6-4-2000 serie M3 537 en la maquina Instron 5586,» *Instname: Universidad de los Andes*, 2020.
- [18] K. Hamada, Y. Ohta y H. Sasaki, «A microcontroller-based encoder interface for measuring motor speed and position,» *In IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, pp. 1300-1305, 2006.
- [19] E. Jaén Tlazalo, «Cálculo y diseño de engranajes helicoidales,» Xalapa, 2011.
- [20] SENA, Mecanismos Rodamientos, Bogotá: Subdirección de Desarrollo Técnico Pedagógico División de Desarrollo de Proyectos, 1981.
- [21] R. G. Budynas y K. J. Nisbett, «Diseño en ingeniería mecánica de Shigley,» Mc Graw Hill, 2008.
- [22] R. S. Mishra y R. K. Behera, «Effect of austenitizing temperature on microstructure and mechanical properties of precipitation hardened PH 13-8 Mo stainless steel,» *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 12, nº 5, pp. 805-813, 2021.
- [23] J. R. Harvey, «Effect of elevated temperature on the strength of aluminum conductors,» *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. 91, nº 5, pp. 2277-2283, 1972.
- [24] M. Jain y G. Singh, «Thermal and mechanical properties of Grivory HTV-5X1 black polymer composite,» *IEEE Xplore International Conference on Emerging Trends in Engineering, Technology and Science (ICEETS)*, pp. 1-5, 2017.
- [25] H. Yang, «Investigation of the mechanical properties of ABS material processing by fused deposition modeling,» *IEEE Xplore 3rd International Conference on Materials Engineering and Application (ICMEA)*, pp. 251-255, 2017.
- [26] A. Sulaiman, «Stepper motor,» *Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering*, New York: John Wiley & Sons, Inc, pp. 1-7, 2014.

- [27] E. Person, «Servomechanism,» *IEEE Control Systems Magazine*, vol. 15, n° 5, pp. 24-28, 1995.
- [28] A. Tariq y et al , «Comparison of PI and Fuzzy Logic Controllers for DC Motor Speed Control,» *IEEE Xplore International Conference on Advances in Electrical Engineering (ICAEE)*, pp. 283-288, 2020.
- [29] M. Al-Hajri y A. Al-Maqbali, «Design and Implementation of Programmable Logic Controllers (PLCs) for Industrial Applications,» *IEEE Xplore International Conference on Communication, Control, Computing and Electronics Engineering (ICCCCEE)*, pp. 1-5, 2018.
- [30] D. Mellis, «Arduino: A Platform for Physical Computing,» *IEEE Pervasive Computing*, vol. 7, n° 2, pp. 12-16, 2008.
- [31] M. Ali, S. Ayaz, «Design and Implementation of 32-bit RISC Processor using Verilog HDL,» *IEEE Xplore International Conference on Computer Applications and Information Security (ICCAIS)*, pp. 1-6, 2020.
- [32] T. Yoo, J. Kim, «Development of Squid-Type Linear Encoder with a Separate Reading Head for UHV SEM,» *IEEE Xplore 32nd International Vacuum Nanoelectronics Conference (IVNC)*, pp. 1-2, 2018.
- [33] T. R. Wulff, et al, «Smart Limit Switches for Aerospace Actuators,» *IEEE Xplore, IEEE Aerospace Conference*, pp. 1-8, 2019.

ANEXOS

ANEXO 1

Código de programación de la ESP32

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <AccelStepper.h>
LiquidCrystal_I2C lcd (0x27, 16, 2);
AccelStepper stepperX (1, 4, 15);
#define DT 23
#define CLK 19
#define SW 18
#define home_switch five
#define STEP1 4 // pin STEP de A4988 a pin four
#define DIR1 15 // pin DIR de A4988 a pin 15
#define sleep1 seventeen
#define STEP2 12 // pin STEP de TB6600 a pin twelve
#define DIR2 13 // pin DIR de TB6600 a pin 13
#define sleep2 two
#define ms1 fourteen
#define ms2 twenty-seven
#define ms3 twenty-six
int aState.
int aLastState.
String Scout.
long initial_homing=-1.
String linea1, linea2;
int seleccion = 0.
int paro = 0.
int comenzar = 0.
int rep = 10000.
int distancia = 0.
int pasos = 0.
int pos = 0.
int AWG = 0.
int ini = 0.
int level_menu = 10.
int opcion = 0.
bool btnpress = false.
byte dato = 0.
int voltaje = 1;
int vueltas = 0;
int calibre = 0;
int bobina = 1.
int motor2=0.
float lado1 = 1.
float lado2 = 1.
float area = 0.
float relacion = 0.
```

```

volatile int counter = -1; // Posicion del encoder
char *menu1[] = {"10 AWG 15A", "16 AWG 3.7A", "17 AWG 3.2A", "20
AWG 1.6A", "22 AWG 0.92A"}; // Arreglo del Menu 1
TaskHandle_t Task1.

```

```

void Task1code(void * pvParameters ){
  while(true)
  {
    Serial.println(vueltas);
    if (comenzar==2) {
      motor2=(vueltas*800);
      digitalWrite (DIR2, LOW); // giro en un sentido
      for (int i = 0; i <= motor2; i++){ // 200 pasos para motor de 0.9 grados de angulo de
paso
        digitalWrite(STEP2, HIGH); // nivel alto
        delay(1); // por 10 mseg
        digitalWrite(STEP2, LOW); // nivel bajo
        delay(1); // por 10 mseg
      }
      comenzar=0;
      vueltas=0;
      motor2=0;
      paro=3;
    }
    vTaskDelay(10);
  }
}

void setup(){
  Serial.begin(115200);
  pinMode(home_switch, INPUT_PULLUP);
  delay(5);
  pinMode(ms1 , OUTPUT);
  pinMode(ms2 , OUTPUT);
  pinMode(ms3 , OUTPUT);
  pinMode(sleep1 , OUTPUT);
  pinMode(sleep2 , OUTPUT);
  pinMode (DT,INPUT);
  pinMode (CLK,INPUT);
  pinMode (SW,INPUT_PULLUP);
  pinMode(STEP1, OUTPUT); // pin 4 como salida
  pinMode(DIR1, OUTPUT); // pin 5 como salida
  pinMode(STEP2, OUTPUT); // pin 4 como salida
  pinMode(DIR2, OUTPUT); // pin 5 como salida
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  fn_credits();
  digitalWrite(sleep1 , LOW);
  digitalWrite(sleep2 , HIGH);
  fn_lado1();
}

```

```

    xTaskCreatePinnedToCore(Task1code, "Task1", 10000, NULL, 1,
&Task1, 0);
}
void loop(){
    selectOption();

    //Por Voltaje
    //Menu Lado1
    if(level_menu == 10){
        if(fn_encoder(11)){
            if(counter <=1){
                counter = 1;
            }
            lado1 = counter;
            fn_lado1();
        }
        if(btnpress){
            counter = 0;
            level_menu = 11;
            fn_lado2();
            btnpress = false;
        }
    }
    //Menu Lado2
    if(level_menu == 11){
        if(fn_encoder(11)){
            if(counter <=1){
                counter = 1;
            }
            lado2 = counter;
            fn_lado2();
        }
        if(btnpress){
            counter = 0;
            level_menu = 12;
            fn_voltaje();
            btnpress = false;
        }
    }
    //Menu Voltaje
    if(level_menu == 12){

        if(fn_encoder(11)){
            if(counter <=1){
                counter = 1;
            }
            voltaje = counter;
            fn_voltaje();
        }
        if(btnpress){
            counter = 0;

```

```

area= (lado1*lado2)/100;
relacion= area*0.02112;
vueltas= voltaje/relacion;
Serial.println(lado1);
Serial.println(lado2);
Serial.println(area);
Serial.println(relacion);
Serial.println(voltaje);
Serial.println(vueltas);
level_menu = 13;
fn_calibre();
btnpress = false;
}
}
//Menu Calibre
if(level_menu == 13){
  if(fn_encoder(11)){
    if(counter >=4){
      counter = 4;
    }
    calibre = counter;
    fn_calibre();
  }
  if(btnpress){
    counter = 0;
    if (calibre == 0){ // AWG10
      AWG = 1000;
    }
    if (calibre == 1){ // AWG16
      AWG = 2000;
    }
    if (calibre == 2){ // AWG17
      AWG = 2200;
    }
    if (calibre == 3){ // AWG20
      AWG = 3200;
    }
    if (calibre == 4){ // AWG22
      AWG = 4000;
    }
    level_menu = 14;
    fn_bobina();
    btnpress = false;
  }
}
//Menu bobina
if(level_menu == 14){

  if(fn_encoder(11)){
    if(counter <=1){

```

```

    counter = 1;
  }
  bobina = counter;
  fn_bobina();
}
if(btnpress){
  counter = 0;
  distancia = bobina/0.0025;
  level_menu = 15;
  fn_bobina();
  btnpress = false;
}
}
}
//Menu Empezar
if(level_menu == 15){
  if(ini == 0){
    Espere();
    Home();
    delay(1000);
    digitalWrite(sleep1 , HIGH);
    digitalWrite(ms1 , LOW);
    digitalWrite(ms2 , LOW);
    digitalWrite(ms3 , LOW);
    digitalWrite(DIR1, LOW); // giro en un sentido
    for(int i = 0; i < 1550; i++){
      digitalWrite(STEP1, HIGH); // nivel alto
      delay(1); // por 10 mseg
      digitalWrite(STEP1, LOW); // nivel bajo
      delay(1); // por 10 mseg
    }
    ini=1;
    digitalWrite(sleep1 , LOW);
    fn_empezar();
  }
  if(btnpress){
    digitalWrite(sleep1 , HIGH);
    digitalWrite(sleep2 , LOW);
    digitalWrite(ms1 , HIGH);
    digitalWrite(ms2 , HIGH);
    digitalWrite(ms3 , HIGH);
    comenzar = 2;
    for(int j = 0; j < rep; j++){
      if (paro==3){
        rep=0;
        distancia=0;
      }
      digitalWrite(DIR1, LOW); // giro en un sentido
      for(int i = 0; i <= distancia; i++){
        if (paro==3){
          rep=0;

```

```

    distancia=0;
  }
  digitalWrite(STEP1, HIGH); // nivel alto
  delayMicroseconds(AWG); // por 1 mseg
  digitalWrite(STEP1, LOW); // nivel bajo
  delayMicroseconds(AWG); // por 1 mseg
  }
  delay(10); // demora de 10 milisegundos
  digitalWrite(DIR1, HIGH); // giro en sentido opuesto
  for(int i = 0; i < distancia; i++){
    if (paro==3){
      rep=0;
      distancia=0;
    }
    digitalWrite(STEP1, HIGH);
    delayMicroseconds(AWG);
    digitalWrite(STEP1, LOW);
    delayMicroseconds(AWG);
  }
  delay(10);
}
level_menu = 10;
btnpress = false;
rep=10000;
paro=0;
ini=0;
AWG = 0;
voltaje=1;
vueltas=0;
lado1=1;
lado2=1;
calibre=0;
bobina=1;
fn_lado1();
digitalWrite(sleep1 , LOW);
digitalWrite(sleep2 , HIGH);
}
}
}

```

//Funciones

```

void fn_menu(int pos,String menus[],byte sizemenu){
  lcd.clear();
  linea1="";
  linea2="";
  if((pos % 2) == 0){
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.write(byte(0));
    linea1 = menus[pos];
  }
  if(pos+1 != sizemenu){
    linea2 = menus[pos+1];
  }
}

```

```

    }
  }else{
    linea1 = menus[pos-1];
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.write(byte(0));
    linea2 = menus[pos];
  }
  lcd.setCursor(1, 0);
  lcd.print(linea1);
  lcd.setCursor(1, 1);
  lcd.print(linea2);
}
bool fn_encoder(byte sizemenu){
  bool retorno = false;
  aState = digitalRead(DT);
  if (aState != aLastState){
    if (digitalRead(CLK) != aState) {
      counter --;
    } else {
      counter ++;
    }
  }
  if(counter <=0){
    counter = 0;
  }
  retorno = true;
}
aLastState = aState;
return retorno;
}
void selectOption(){
  if(digitalRead(SW) == LOW){
    delay(700);
    btnpress = true;
  }
}
void fn_lado1(){
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print(" ");
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Ingrese Lado 1");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(" ");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(lado1);
}
void fn_lado2(){
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print(" ");
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Ingrese Lado 2");
}

```

```

    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(lado2);
}
void fn_voltaje(){
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Ingreso Voltaje");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(voltaje);
}
void fn_calibre(){
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Ingreso Calibre");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(menu1[counter]);
}
void fn_bobina(){
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Ancho de Carrete");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(bobina);
}
void fn_empezar(){
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print(" Coloque cable");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Presione Empezar");
}
void Espere(){
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print(" Espere");
}

```

```

lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("      ");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print(" Inicio a Home");
}
void fn_credits(){
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print(" Bobinadora de");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(" Transformadores");
  delay(3000);
}
void Home(){
  digitalWrite(ms1 , HIGH);
  digitalWrite(ms2 , LOW);
  digitalWrite(ms3 , LOW);
  digitalWrite(sleep1 , HIGH);
  digitalWrite(DIR1, HIGH);
  while (digitalRead(home_switch)) { // Make the Stepper move CCW until the switch
is activated
  stepperX.moveTo(initial_homing); // Set the position to move to
  initial_homing--; // Decrease by 1 for next move if needed
  stepperX.run(); // Start moving the stepper
  delay(1);
  }
  stepperX.setCurrentPosition(0); // Set the current position as zero for now
  stepperX.setMaxSpeed(1000.0); // Set Max Speed of Stepper (Slower to get better
accuracy)
  stepperX.setAcceleration(1000.0); // Set Acceleration of Stepper
  initial_homing=1;
  while (!digitalRead(home_switch)) { // Make the Stepper move CW until the switch is
deactivated
  stepperX.moveTo(initial_homing);
  stepperX.run();
  initial_homing++;
  delay(1);
  }
  stepperX.setCurrentPosition(0);
  digitalWrite(sleep1 , LOW);
}
}

```

ANEXO 2

Vistas 3D del equipo Bobinador semiautomático de transformadores.

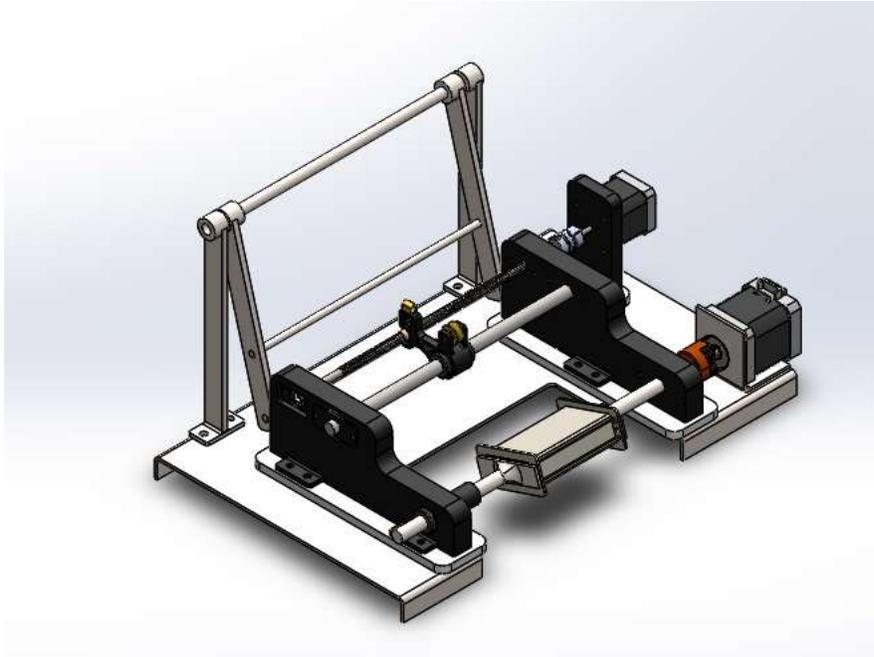


Figura 41. Perspectiva del equipo.

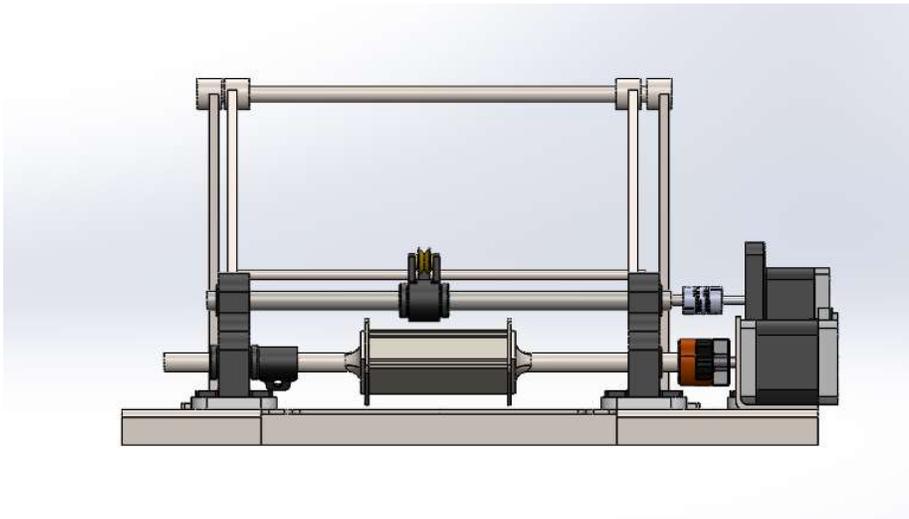


Figura 42. Vista frontal del equipo.

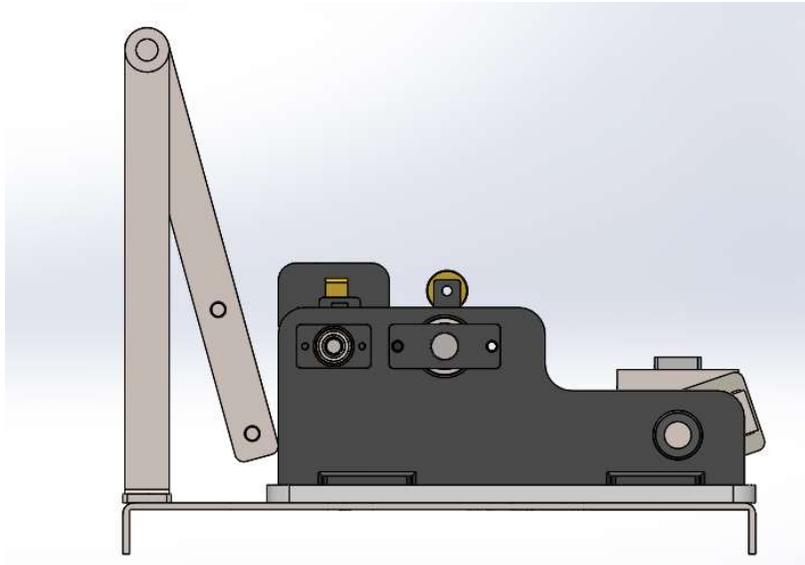


Figura 43. Vista lateral del equipo.

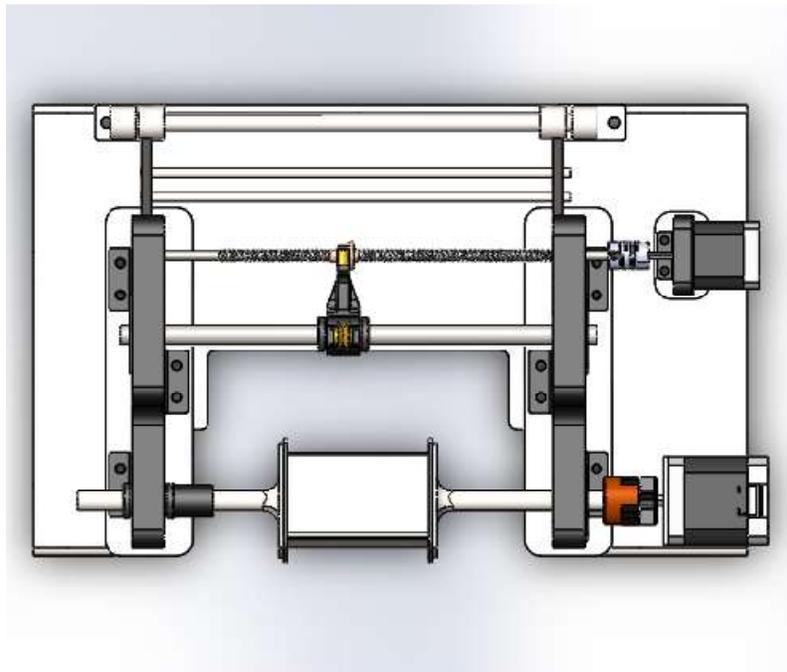


Figura 44. Vista superior del equipo.

ANEXO 3

Planos del equipo Bobinador semiautomático de transformadores.

4 3 2 1

F F

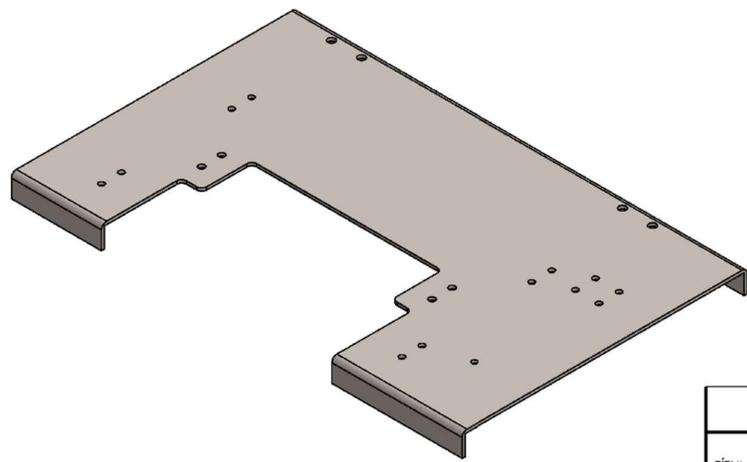
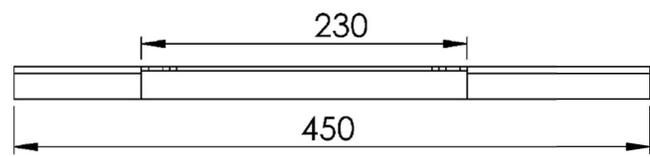
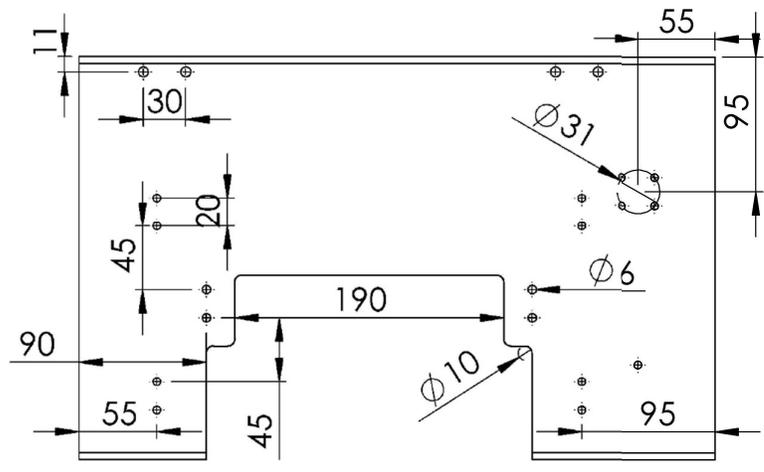
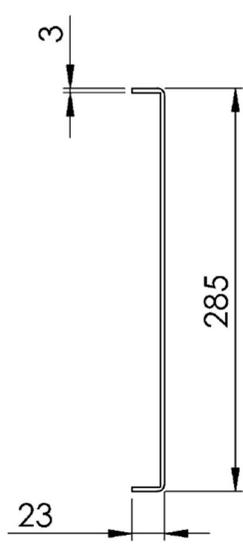
E E

D D

C C

B B

A A



UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA		REVISIÓN
TÍTULO: Bobinadora Semiautomática de Transformadores		
N.º DE DIBUJO		Placa Base
NOMBRES		Cristian Realpe Daniel Quintana
ESCALA: 1: 5		HOJA 1 DE 5

A4

4 3 2 1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

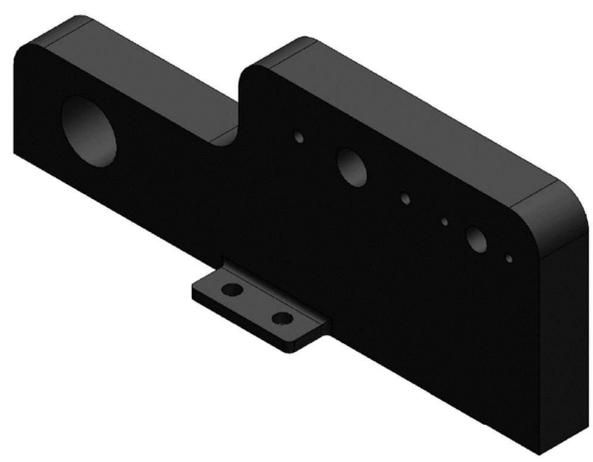
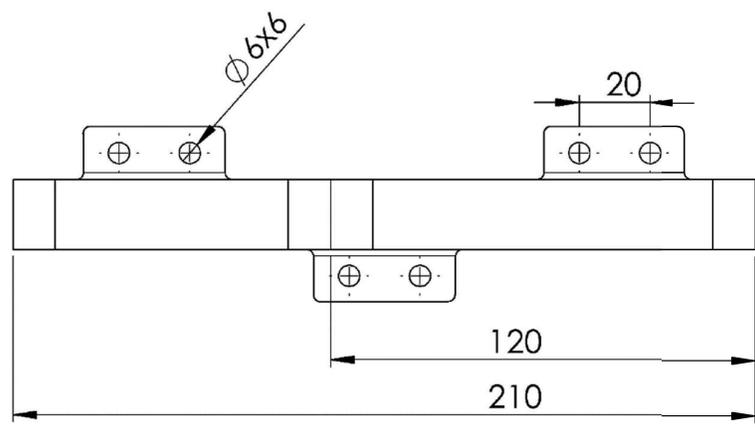
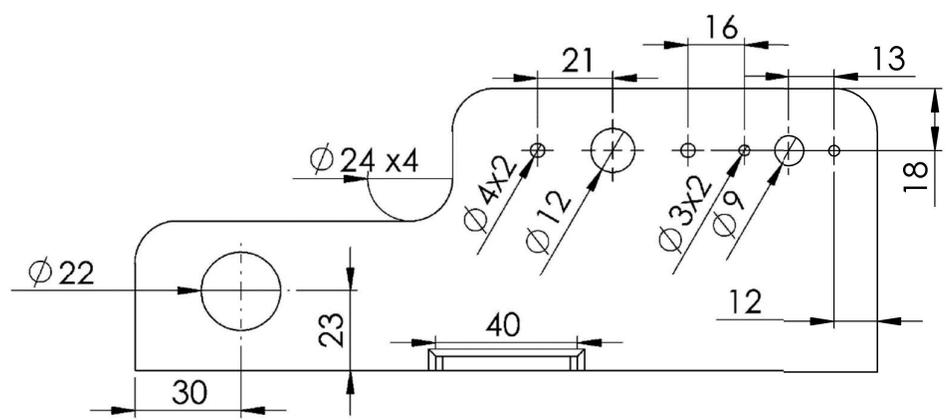
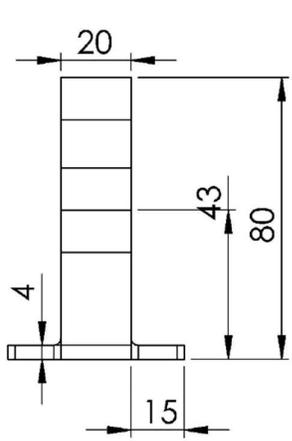
C

B

B

A

A



UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA		REVISIÓN
TÍTULO: Bobinadora Semiautomática de Transformadores		
N.º DE DIBUJO		Lateral
NOMBRES		A4
Cristian Realpe		
Daniel Quintana		
ESCALA: 1:2	HOJA 2 DE 5	

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

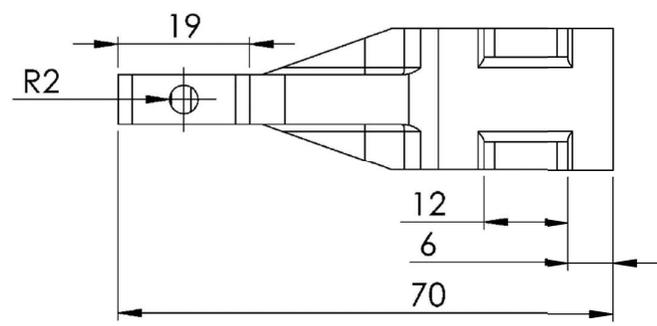
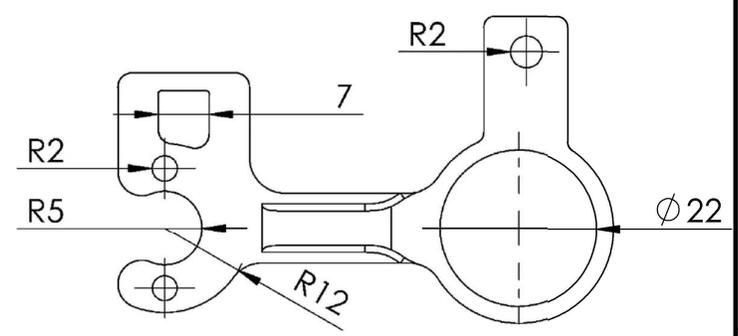
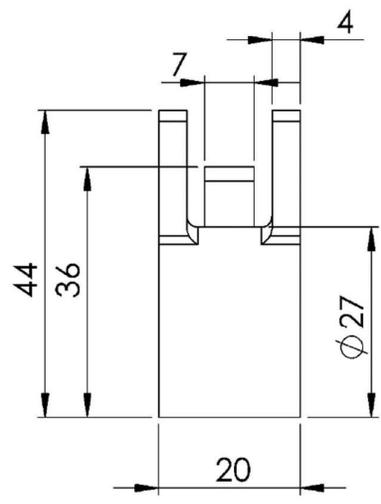
C

B

B

A

A



UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA	REVISIÓN
TÍTULO: Bobinadora Semiautomática de Transformadores	
N.º DE DIBUJO: Pieza Husillo	
NOMBRES: Cristian Realpe Daniel Quintana	
ESCALA: 1 : 1	HOJA 3 DE 5

A4

4

3

2

1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

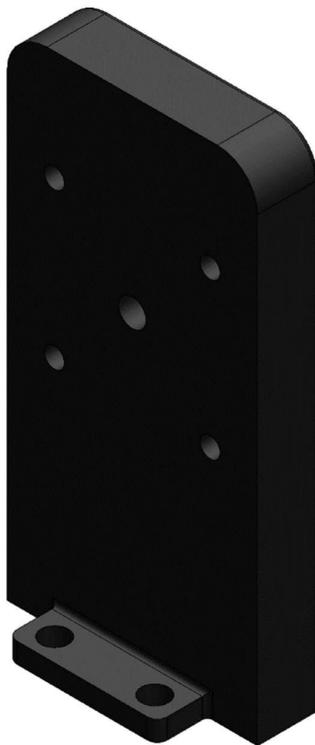
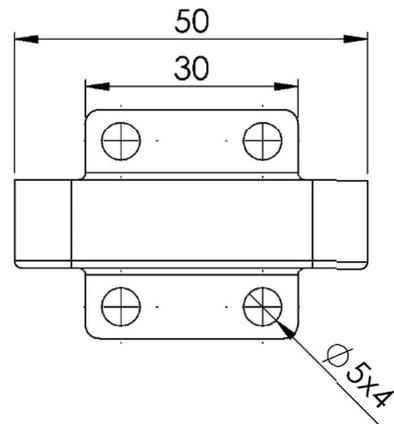
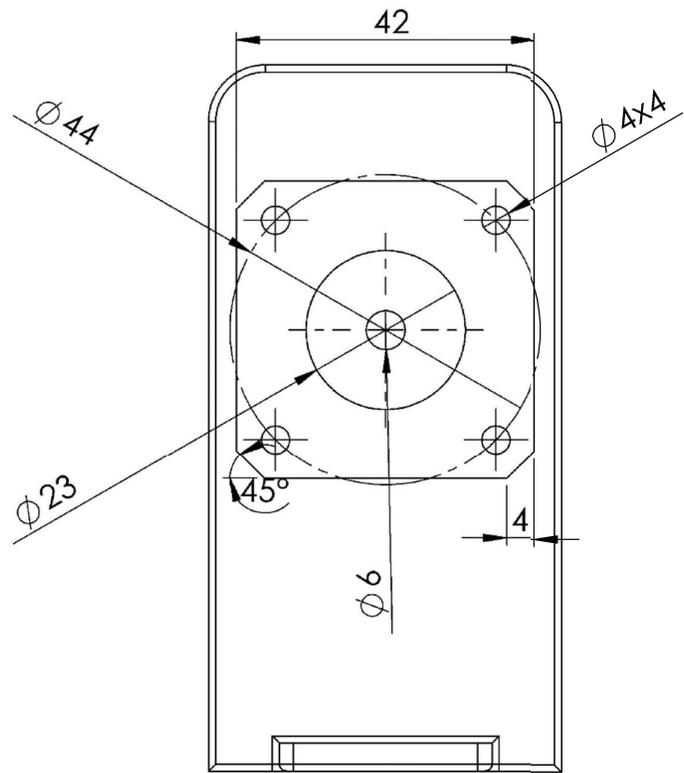
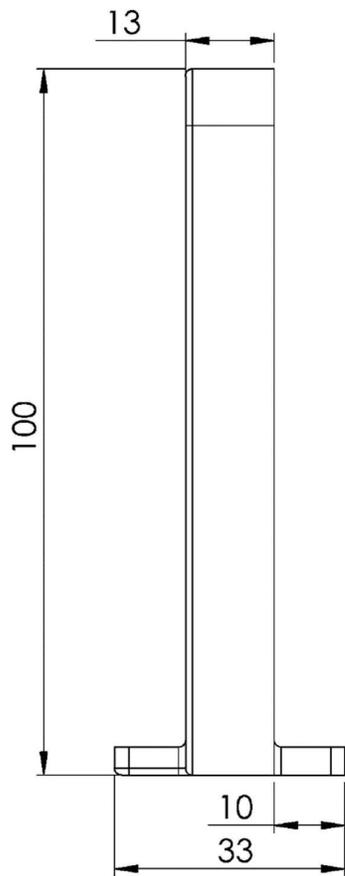
C

B

B

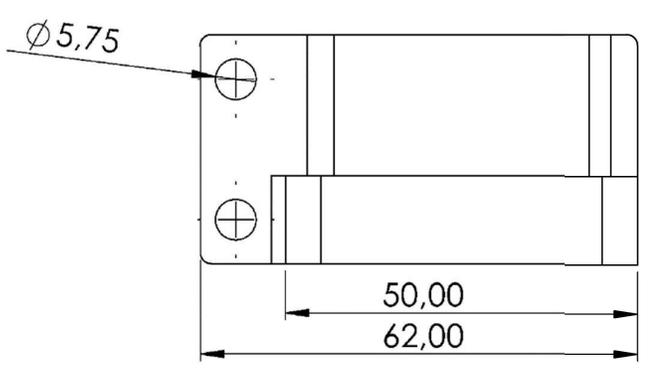
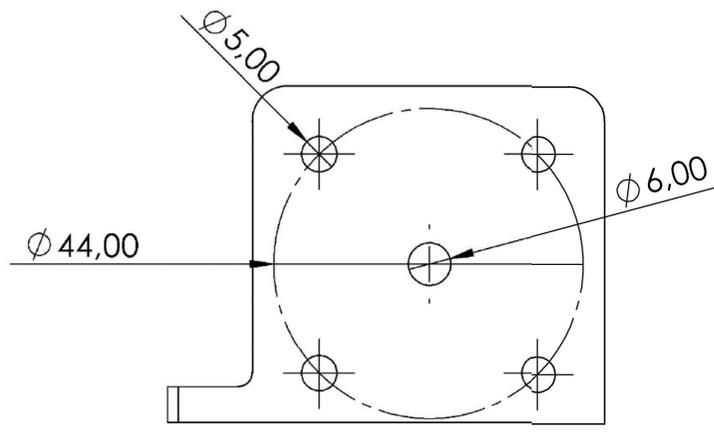
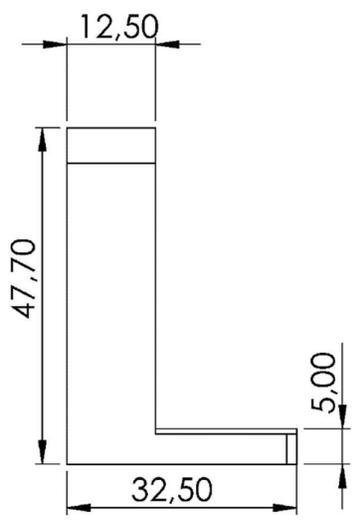
A

A



UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA	REVISIÓN
TÍTULO: Bobinadora Semiautomática de Transformadores	
N.º DE DIBUJO: Base Motor 1	
NOMBRES: Cristian Realpe Daniel Quintana	
ESCALA: 1:1	HOJA 4 DE 5

A4



UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA	REVISIÓN
TÍTULO: Bobinadora Semiautomática de Transformadores	
N.º DE DIBUJO: Base Motor 2	
NOMBRES: Cristian Realpe Daniel Quintana	
ESCALA: 1:1	HOJA 5 DE 5

A4