



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

**IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA  
AUTOMÁTICA DOBLADORA DE ALAMBRE PARA FABRICACIÓN  
DE RESORTES**

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

AUTORES: Scarlet Mabel Medina Cascante  
Sandy Sofía Suárez Crespín  
TUTOR: Ing. José Alexander Zambrano García

Guayaquil - Ecuador  
2025

19/02/26

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Scarlet Mabel Medina Cascante** con documento de identificación N° **0953666716** y **Sandy Sofía Suárez Crespín** con documento de identificación N° **0940822448**; 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.

Guayaquil, 18 de febrero del año 2026

Atentamente,



---

Scarlet Mabel Medina Cascante  
0953666716



---

Sandy Sofía Suárez Crespín  
0940822448

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, **Scarlet Mabel Medina Cascante** con documento de identificación N° **0953666716** y **Sandy Sofía Suárez Crespín** con documento de identificación N° **0940822448**, 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: IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA AUTOMÁTICA DOBLADORA DE ALAMBRE PARA FABRICACIÓN DE RESORTES**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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.

Guayaquil, 18 de febrero del año 2026

Atentamente,



---

Scarlet Mabel Medina Cascante  
0953666716



---

Sandy Sofía Suárez Crespín  
0940822448

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **José Alexander Zambrano García**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA AUTOMÁTICA DOBLADORA DE ALAMBRE PARA FABRICACIÓN DE RESORTES**, realizado por **Scarlet Mabel Medina Cascante** con documento de identificación N° **0953666716** y por **Sandy Sofía Suárez Crespín** con documento de identificación N° **0940822448**, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción **Dispositivo Tecnológico** que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 18 de febrero del año 2026

Atentamente,



---

Ing. Jose Alexander Zambrano Garcia, Mgtr.

0703175521

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación, en primer lugar, a Dios, por haberme concedido la vida, la salud y la fortaleza necesaria para superar cada obstáculo y continuar adelante en este trabajo de titulación y alcanzar esta meta. También dedico este trabajo de titulación a mis padres, Betty Cascante y Celso Medina, por darme su amor y apoyo incondicional, por ser mi mayor inspiración para seguir luchando por mis sueños, por todo lo sacrificado para que yo este donde estoy hoy en día. Gracias por confiar en mí y por todos los sacrificios que han realizado para que hoy pueda culminar esta importante etapa de mi vida.

A toda mi familia, por sus palabras de aliento, paciencia y comprensión durante todo el proceso de desarrollo de este proyecto. A mi compañera de tesis, Sandy Suárez Crespín, por acompañarme en este largo proceso, por su infinita paciencia hacia mí, por el optimismo que demuestra en todo, que has estado en cada etapa y cada reto para mí. Es un honor ser su compañera de tesis. Y finalmente, a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron para que este proyecto se hiciera realidad.

**Scarlet Mabel Medina Cascante**

Dedico este trabajo de titulación a mis padres, Francisco Suarez y Macaria Crespín. Mi padre no solo ha sido un apoyo fundamental en mi vida; ha sido mano a la obra también, parte activa en la construcción de la base estructural de la máquina. Gracias por su esfuerzo y su tiempo. Gracias por las tardes largas en el taller, por enseñarme, con su ejemplo, que el trabajo en equipo y la constancia hacen posible cualquier meta. Su compañía y su voluntad han hecho más liviano cada paso.

A mis hermanos mayores, Gabriel Suarez y David Suarez. De manera especial, a Gabriel: un pilar esencial durante el desarrollo de este proyecto. Trabajó a mi lado, día y noche; aportó conocimientos, paciencia y un compromiso que no se olvida. Este logro también es suyo. A David, que siempre estuvo pendiente de mis estudios, le agradezco sus sabios consejos y esas palabras de aliento que llegaron justo cuando las necesitaba.

Finalmente, dedico esta investigación a toda mi familia, cuya forma de vivir y de dar lo mejor inspira cada día. Con su ejemplo me enseñaron que la educación es el legado más valioso. Gracias por creer en mí, por empujarme cuando flaqueo y por celebrar conmigo cada pequeño triunfo.

**Sandy Sofía Suárez Crespín**

## AGRADECIMIENTO

Expreso mis más sinceros agradecimientos a Dios por guiar mis pasos, darme sabiduría y permitirme culminar con éxito este proyecto.

A mis padres y a mi familia, por su apoyo moral, emocional y económico, por motivarme a no rendirme y por acompañarme en cada etapa de mi formación académica.

A mi compañera de tesis, por su amistad, compromiso y disposición para trabajar en equipo, así como por su perseverancia, colaboración, responsabilidad y dedicación durante el desarrollo de este proyecto. Asimismo, agradezco a su familia por abrirme las puertas de su hogar y brindarnos su apoyo, lo cual fue fundamental para la realización de este trabajo.

A mi docente tutor de tesis, por compartir sus conocimientos, orientación y tiempo, los cuales fueron esenciales para el desarrollo y culminación de este proyecto.

A mis compañeros y amigos, por su apoyo, ánimo y acompañamiento durante todo este proceso. Por brindarme risas y ánimos durante este proceso, por su infinita paciencia y por mostrar su optimismo con este proyecto y creer en nosotras.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de manera directa o indirecta, contribuyeron al desarrollo y culminación de este proyecto.

**Scarlet Mabel Medina Cascante**

Mi más profundo agradecimiento a mis padres, quienes han sido mi pilar, mi guía y mi refugio en cada etapa de mi vida. Gracias por cada sacrificio, por cada esfuerzo hecho con amor y dedicación, y por todas las veces que pusieron mis sueños y necesidades antes que los suyos para que yo pudiera avanzar y cumplir mis metas. Su confianza en mí, incluso en los momentos en que yo misma dudaba de mis capacidades, fue la fuerza que me impulsó a seguir adelante. Gracias por enseñarme con su ejemplo la importancia del esfuerzo, la perseverancia y la honestidad. Este logro no es solo mío, sino también suyo; cada paso, cada éxito y cada logro que hoy celebro lleva un pedacito de ustedes. Los amo con todo mi corazón y les estaré eternamente agradecida por darme alas para volar y raíces para siempre recordar de dónde vengo.

Asimismo, agradezco a mis hermanos por estar presentes en cada momento de mi formación. Por sus consejos oportunos, por las palabras sinceras, por ese “tú puedes” que llegó justo cuando más lo necesitaba. Su apoyo constante y su motivación fueron un recordatorio de que no estaba sola, incluso en los días más difíciles. Más que hermanos, han sido cómplices, guías y amigos invaluable; como hermanos mayores, me inspiran a seguir adelante y me enseñan con su ejemplo la importancia de la perseverancia y el esfuerzo. Este logro que hoy celebro también lleva consigo su amor, su paciencia y su entrega

A mi compañera de tesis, Scarlet Medina, alguien que ha sido luz y compañía desde nuestros días en el colegio, compartí el sueño de estudiar Mecatrónica. Durante estos cuatro años hemos reído, aprendido y superado cada obstáculo juntas; en lo bueno celebramos, y en lo difícil nos apoyamos, creciendo juntas, tanto personal como académicamente. Tener la fortuna de realizar este trabajo de titulación a tu lado ha sido un verdadero honor;

tu compromiso, tu entrega y tu dedicación hicieron que cada reto se convirtiera en aprendizaje. Más allá de lo académico, valoro la amistad profunda, la confianza y la complicidad que construimos. Gracias por tu paciencia, por tu fuerza, por tu lealtad y por caminar siempre a mi lado hasta llegar a este momento que celebramos juntas.

Finalmente, agradezco a mis amigos, dentro y fuera de la universidad, quienes con su compañía hicieron este camino más llevadero. Gracias por escucharme, por animarme cuando el cansancio pesaba y por celebrar conmigo cada pequeño avance. Entre risas, desvelos y conversaciones sinceras, me recordaron que todo esfuerzo tiene sentido. Sin ustedes, este proceso no habría sido el mismo.

**Sandy Sofía Suárez Crespín**

## RESUMEN

En este trabajo de titulación se tiene como objetivo la implementación de un prototipo de máquina automática dobladora de alambre para la fabricación de resortes helicoidales de compresión, orientado a mejorar la precisión y eficiencia del proceso productivo frente a los métodos manuales utilizados en pequeños talleres industriales.

En la actualidad, los resortes constituyen elementos fundamentales en múltiples sectores industriales, como automotriz, agrícola, médico e industria en general, debido a su capacidad para almacenar energía mecánica, absorber impactos y mantener fuerzas constantes dentro de sistemas dinámicos. Sin embargo, la alta demanda y a las exigencias técnicas en parámetros como longitud, paso y número de espiras, gran parte de su fabricación en entornos de pequeña escala continúa realizándose de forma manual, lo que limita la uniformidad y aumenta los tiempos de producción y dificulta el cumplimiento de estándares de calidad.

El problema radica en la falta de soluciones automatizadas accesibles y de bajo costo que permitan a pequeños productores fabricar resortes con especificaciones técnicas controladas. Las máquinas industriales disponibles en el mercado presentan altos costos de adquisición, limitada flexibilidad en la configuración de parámetros y complejidad tecnológica, lo que restringe su implementación en contextos locales.

Como respuesta a este problema, se plantea el diseño y construcción de un prototipo automatizado capaz de fabricar resortes de compresión a partir de alambre de acero calibre 22, permitiendo al usuario configurar parámetros como longitud y paso mediante una interfaz hombre-máquina (HMI). El sistema integra componentes mecánicos, eléctricos y de control, combinando dos motores paso a paso NEMA 17 para el sistema de arrastre y formado del alambre, un servomotor para el mecanismo de corte en frío, una fuente de alimentación y un sistema de control basado en Arduino con drivers A4988 y pantalla táctil Nextion.

El desarrollo del proyecto incluyó el diseño mecánico estructural modelado en SolidWorks, el análisis de esfuerzos mediante el criterio de Von Mises, evaluación de desplazamientos y deformaciones unitarias, así como el cálculo de potencia, fuerzas de flexión, fuerzas de corte y dimensionamiento de ejes, engranajes y elementos de transmisión. Se consideraron además los principios teóricos fundamentales de los resortes helicoidales de compresión, incluyendo la Ley de Hooke, parámetros geométricos de diseño, estabilidad frente al pandeo lateral y selección de materiales adecuados según normas ASTM.

## ABSTRACT

This degree project aims at the implementation of a prototype automatic wire bending machine for the manufacturing of helical compression springs, focused on improving the precision and efficiency of the production process compared to manual methods used in small industrial workshops.

Currently, springs are fundamental components in multiple industrial sectors such as automotive, agricultural, medical, and general industry, due to their ability to store mechanical energy, absorb impacts, and maintain constant forces within dynamic systems. However, despite the high demand and the technical requirements in parameters such as length, pitch, and number of coils, a large portion of their production in small-scale environments continues to be carried out manually, which limits uniformity, increases production time, and makes compliance with quality standards more difficult.

The problem lies in the lack of accessible and low-cost automated solutions that allow small producers to manufacture springs with controlled technical specifications. Industrial machines available on the market present high acquisition costs, limited flexibility in parameter configuration, and technological complexity, which restrict their implementation in local contexts.

As a response to this problem, the design and construction of an automated prototype capable of manufacturing compression springs from 22-gauge steel wire is proposed, allowing the user to configure parameters such as length and pitch through a Human–Machine Interface (HMI). The system integrates mechanical, electrical, and control components, combining two NEMA 17 stepper motors for the wire feeding and forming system, a servomotor for the cold cutting mechanism, a power supply, and a control system based on Arduino with A4988 drivers and a Nextion touchscreen display.

The project development included structural mechanical design modeled in SolidWorks, stress analysis using the Von Mises criterion, evaluation of displacements and unit strains, as well as power calculations, bending forces, cutting forces, and the dimensioning of shafts, gears, and transmission elements. Fundamental theoretical principles of helical compression springs were also considered, including Hooke's Law, geometric design parameters, lateral buckling stability, and material selection according to ASTM standards.

## ÍNDICE

<b>I.</b>	<b>Introducción</b>	1
<b>II.</b>	<b>Problema</b>	2
<b>III.</b>	<b>Justificación</b>	3
<b>IV.</b>	<b>Objetivos</b>	4
IV-A.	Objetivo general . . . . .	4
IV-B.	Objetivos específicos . . . . .	4
<b>V.</b>	<b>Marco Teórico</b>	5
V-A.	Resortes . . . . .	5
V-A1.	Historia del resorte . . . . .	5
V-A2.	Importancia de los resortes en la ingeniería . . . . .	6
V-B.	Tipos de materiales para la fabricación de resortes . . . . .	7
V-B1.	Tipos de resortes . . . . .	8
V-B2.	Aplicaciones industriales del resortes . . . . .	9
V-B3.	Parametros . . . . .	12
V-C.	Estabilidad en resortes helicoidales de compresión . . . . .	12
V-D.	Parámetros de fabricación de resortes . . . . .	14
V-E.	Máquinas para fabricación resortes . . . . .	14
V-E1.	Componentes . . . . .	14
V-E2.	Análisis de funcionamiento y eficiencia . . . . .	15
V-F.	Marco hipotético . . . . .	15
<b>VI.</b>	<b>Marco Metodológico</b>	18
VI-A.	Diagrama de flujo . . . . .	20
VI-B.	Alternativas y selección de máquina . . . . .	21
VI-B1.	Tipos de máquinas para la fabricación de resortes: . . . . .	21
VI-B2.	Alternativa y selección: . . . . .	25
VI-B3.	Características de la maquina para fabricar resortes: . . . . .	25
VI-C.	Especificaciones Técnicas . . . . .	26
VI-C1.	Rango de fabricación . . . . .	26
VI-C2.	Especificaciones técnicas de la máquina . . . . .	27
VI-D.	Selección de componentes . . . . .	28
VI-E.	Selección del tipo de sistema . . . . .	29
VI-E1.	Selección del sistema mecánico: . . . . .	29
VI-E2.	Selección del sistema eléctrico: . . . . .	30
VI-E3.	Selección del sistema de control (HMI – Arduino): . . . . .	30
VI-F.	Diseño y descripción del funcionamiento de la máquina dobladora de alambre para la fabricación de resortes . . . . .	31
VI-G.	Diseño mecánico y cálculo de componentes . . . . .	32
VI-G1.	Parámetros para la construcción: . . . . .	32
VI-G2.	Bastidor y superficie de trabajo: . . . . .	33
VI-G3.	Carrete de almacenamiento del alambre: . . . . .	34
VI-G4.	Rodillo para guía y conformar el alambre: . . . . .	35
VI-G5.	Cálculo y selección del motor para el arrastre de alambre . . . . .	35
VI-G6.	Cálculo y selección del motor para el formado de alambre . . . . .	37
VI-G7.	Servomotor para el sistema de corte del alambre . . . . .	38

VI-G8.	Fuente de Poder del Sistema . . . . .	40
VI-G9.	Análisis de consumo eléctrico . . . . .	41
VI-G10.	Análisis Mecánico y Dimensionamiento de los Elementos de la Máquina Dobladora de Resortes . . . . .	42
VI-G11.	Análisis estructural de la máquina . . . . .	45
VI-H.	Diseño del circuito eléctrico . . . . .	49
VI-I.	Diseño de la interfaz de usuario . . . . .	50
VI-I1.	Proceso de construcción de la máquina dobladora de resortes: . . . . .	52
VI-I2.	Integración Eléctrica: . . . . .	53
VI-I3.	Programación y Configuración del Sistema de Controla: . . . . .	54
VI-I4.	Pruebas de funcionamiento del sistema: . . . . .	55
<b>VII.</b>	<b>Resultados</b>	<b>56</b>
VII-A.	Norma DIN 2096 aplicada al resorte: . . . . .	56
VII-A1.	Cálculo de la constante elástica del resorte . . . . .	57
VII-A2.	Comparación de resultados . . . . .	58
<b>VIII.</b>	<b>Cronograma</b>	<b>60</b>
<b>IX.</b>	<b>Presupuesto</b>	<b>61</b>
<b>X.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>62</b>
<b>XI.</b>	<b>Recomendaciones</b>	<b>62</b>
	<b>Referencias</b>	<b>63</b>
	<b>Anexo A: Componentes eléctricos y Mecánicos</b>	<b>65</b>
	<b>Anexo B: Planos</b>	<b>81</b>
	<b>Anexo C: Programación de pantalla Nextion Editor y Arduino UNO</b>	<b>86</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Fórmulas para calcular las dimensiones de resortes de compresión( $N_a$ =Número de espiras activas) . .	12
2.	Constante de las limitantes de resorte. . . . .	13
3.	Prototipo de máquina automática dobladora de alambre para la fabricación de resortes de compresión.	29
4.	Distribución de componentes electrónicos y de control . . . . .	32
5.	Diseño 3D en SolidWorks . . . . .	34
6.	Carrete de almacenamiento del alambre Diseño 3D en SolidWorks . . . . .	34
7.	Carrete de almacenamiento del alambre Diseño 3D en SolidWorks . . . . .	35
8.	Motor paso a paso NEMA 17 – Diseño 3D en SolidWorks . . . . .	36
9.	Motor paso a paso NEMA 17 – Diseño 3D en SolidWorks . . . . .	38
10.	Servomotor Diseño 3D en SolidWorks . . . . .	40
11.	Fuente de poder . . . . .	40
12.	Diseño 3D en SolidWorks . . . . .	42
13.	Vista esquemática del guiado de resorte . . . . .	43
14.	Vista esquemática del Eje Intermedio de Transmisión . . . . .	44
15.	Material de la estructura diseñada en SolidWorks . . . . .	45
16.	Simulación de la distribución de esfuerzos . . . . .	46
17.	Simulación de Análisis de desplazamientos . . . . .	47
18.	Simulación de Análisis de deformaciones unitarias . . . . .	48
19.	Esquema del circuito eléctrico de la máquina dobladora de alambre para la fabricación de resortes. .	50
20.	Diseño de la interfaz de usuario . . . . .	51
21.	Configuración de parámetros . . . . .	51
22.	Proceso de construcción y ensamblaje mecánico. . . . .	52
23.	Conexion electrica en protoboard . . . . .	53
24.	Proceso de integración eléctrica. . . . .	54
25.	codigo de Arduino. . . . .	54
26.	Resultado del resorte fabricado . . . . .	55
27.	Medición del resorte fabricado . . . . .	59
28.	Medición de resorte fabricado . . . . .	59
29.	Características eléctricas de Arduino UNO . . . . .	65
30.	Características eléctricas del motor NEMA17 . . . . .	66
31.	Características eléctricas de drive A4988 . . . . .	67
32.	Características de funcionamiento NX4827T043 . . . . .	68
33.	Características eléctricas de MG996R . . . . .	69
34.	Especificaciones de Fuente de Poder INS ATX P4 850W PC 110V / 220V . . . . .	70
35.	Características de Luz Piloto Led Verde . . . . .	71
36.	Características de Luz Piloto Led rojo . . . . .	72
37.	Características de Pulsador Paro de Emergencia - Tipo Hongo . . . . .	73
38.	Ficha técnica de la serie de rodamientos 6200-2RS. Se destaca el modelo 6203 utilizado en el diseño	74
39.	Ficha técnica de Tornillo cincado autotaladrante cabeza hexagonal Index 4,8 x 25 ABE4825 EAN 8423533190253 . . . . .	75
40.	Ficha técnica de tuerca . . . . .	76
41.	Ficha técnica de alimentador metálico extrusor mk8 cr-7 cr-8 cr-10 ender 3 izquierdo . . . . .	77
42.	Características de alicata . . . . .	78
43.	Características de capacitor . . . . .	79
44.	Características de capacitor . . . . .	80
45.	Bastidor acotada, por S. Suárez y S. Medina, Solidworks . . . . .	81
46.	Base de soporte acotada, por S. Suárez y S. Medina, Solidworks . . . . .	82
47.	Base de soporte acotada, por S. Suárez y S. Medina, Solidworks . . . . .	82
48.	Paso de alambre acotada, por S. Suárez y S. Medina, Solidworks . . . . .	83

49.	Alambre acotada, por S. Suárez y S. Medina, Solidworks . . . . .	84
50.	Mesa con componentes acotada, por S. Suárez y S. Medina, Solidworks . . . . .	84
51.	Mesa acotada, por S. Suárez y S. Medina, Solidworks . . . . .	85
52.	Paso de alambre acotada, por S. Suárez y S. Medina, Solidworks . . . . .	86
53.	Imágenes subidas para el diseño de la pantalla HMI . . . . .	87
54.	Atributos usados para la configuración numérica . . . . .	88
55.	Configuración de código para ejecutar el resorte con las especificaciones . . . . .	89
56.	Configuración de código para ejecutar el reset de todos los comandos . . . . .	89
57.	Código del programa . . . . .	90
58.	Código del programa . . . . .	90
59.	Código del programa . . . . .	91
60.	Código del programa . . . . .	91
61.	Código del programa . . . . .	92
62.	Código del programa . . . . .	92
63.	Código del programa . . . . .	93

## ÍNDICE DE TABLAS

I.	Diagrama de flujo . . . . .	20
II.	Características técnicas de la máquina enrolladora de alambre Torrington W11A . . . . .	21
III.	Características técnicas de la máquina CNC-635RW . . . . .	22
IV.	Características técnicas de la máquina automática de enrollado Simco YM-80 . . . . .	23
V.	Características de máquinas combinadas de conformado y corte axial tipo REB . . . . .	24
VI.	Especificaciones técnicas del resorte . . . . .	26
VII.	Especificaciones técnicas de la máquina . . . . .	27
VIII.	Componentes principales del sistema de la máquina dobladora de alambre de resortes . . . . .	28
IX.	Características técnicas del motor paso a paso NEMA 17 . . . . .	36
X.	Características técnicas del motor paso a paso NEMA 17 . . . . .	38
XI.	Especificaciones típicas del servomotor . . . . .	40
XII.	Especificaciones de la fuente conmutada . . . . .	41
XIII.	Parámetros principales del rodamiento 6203-2RS. . . . .	42
XIV.	Especificaciones técnicas del resorte helicoidal de compresión según DIN 2096 . . . . .	56
XV.	Especificaciones deseadas del resorte (diseño teórico) . . . . .	57
XVI.	Medidas obtenidas del resorte mediante calibrador . . . . .	57
XVII.	Cronograma . . . . .	60

## I. INTRODUCCIÓN

Los avances en la automatización industrial han cambiado significativamente los procesos de fabricación, lo que ha permitido mejorar la precisión, la eficiencia y la calidad de los productos en diversas industrias manufactureras. La integración de sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos a través de plataformas de control programables ha creado soluciones tecnológicas cada vez más asequibles y adaptables a diferentes volúmenes de producción. En este contexto, el desarrollo de dispositivos automatizados de bajo costo es una alternativa estratégica para fortalecer la competitividad de los pequeños talleres e industrias locales.

En el campo industrial, los resortes de compresión helicoidales son componentes esenciales en varias aplicaciones debido a su capacidad para almacenar energía mecánica, absorber vibraciones y mantener fuerzas constantes en sistemas dinámicos. Estos elementos son muy utilizados en el sector de la automoción, agrícola, médico e industrial en general y forman parte de sistemas de suspensión, válvulas, mecanismos de retorno, dispositivos de amortiguación y máquinas herramienta. Su correcto funcionamiento depende de parámetros geométricos y mecánicos específicos como el diámetro del alambre, el paso entre espiras, la longitud libre y la constante elástica. A pesar de la gran demanda y los estrictos requisitos técnicos asociados a su fabricación, el proceso de formación de muelles todavía se realiza manualmente en muchos pequeños talleres.

Este método tradicional crea importantes limitaciones en términos de repetibilidad, uniformidad y control dimensional, además de aumentar el tiempo de producción y dificulta el cumplimiento de los estándares de calidad. Por otro lado, los equipos industriales totalmente automáticos disponibles en el mercado están asociados a altos costos de adquisición, mantenimiento y operación, así como a una complejidad tecnológica, lo que limita su implementación en el contexto productivo local.

Teniendo en cuenta este problema, existe la necesidad de desarrollar una solución intermedia que combine automatización, precisión y disponibilidad económica. La presente tesis de grado aborda esta necesidad mediante el desarrollo e implementación de un prototipo de máquina dobladora de alambre automática para la producción de resortes de compresión helicoidales. El sistema propuesto permite el control de parámetros básicos como longitud y paso del resorte mediante una interfaz hombre-máquina (HMI) que integra un sistema de alimentación continua de alambre, mecanismos de bobinado y corte en frío y un sistema de control electrónico basado en Arduino.

El desarrollo del proyecto incluye un análisis teórico de los principios básicos que rigen el comportamiento de los resortes, incluida la ley de Hooke, el estudio de la estabilidad frente al pandeo lateral, la selección de materiales según normas técnicas y la determinación de las dimensiones de los elementos mecánicos involucrados. Asimismo, el diseño de la estructura prototipo se realiza mediante modelado tridimensional y simulaciones de tensiones, desplazamientos y deformaciones para garantizar la estabilidad y seguridad del sistema. Finalmente, el proyecto incluye la construcción física del prototipo, integración eléctrica y electrónica, programación del sistema de control y validación operativa mediante pruebas de producción y verificación de las especificaciones técnicas del resorte fabricado.

De esta forma, se pretende demostrar la viabilidad técnica de una solución automatizada de bajo coste que favorezca la consolidación tecnológica y productiva en los pequeños y medianos entornos industriales.

## II. PROBLEMA

En la actualidad, la tecnología ha revolucionado el desarrollo de diversos sistemas automatizados a tal grado que han ayudado a mejorar la eficiencia, precisión y la productividad en los procesos industriales [1]. En el campo industrial, esto ha permitido que se compagine a la perfección el diseño de dispositivos electromecánicos asociado a los sistemas de control programables, lo que permite generar soluciones más prácticas y adaptables para una diversidad de aplicaciones [2].

Los resortes son fundamentales en sistemas que necesitan amortiguar el impacto, almacenar energía o mantener fuerzas constantes [3]. Debido a su gran utilidad, se pueden encontrar en todo tipo de industrias, como la automotriz, la electrónica, la robótica, la industria médica y la aeroespacial. Sin embargo, industrias como la automotriz y la agrícola demandan resortes de gran exactitud en parámetros como la fuerza de compresión, la rigidez o la frecuencia natural, lo cual genera demandas crecientes en términos de calidad, rendimiento y producción [4]. No alcanzar estos estándares puede provocar averías en las máquinas o sistemas, recortando su vida útil y una notable disminución de la eficiencia en los sistemas en los que se incorporan [5].

Aunque hay una gran demanda y un aumento en las exigencias técnicas, la fabricación de estos componentes continúa siendo manual en muchos talleres pequeños. Esto implica limitaciones en cuanto a uniformidad, repetibilidad, precisión y eficiencia [6]. La falta de automatización en el proceso no solo extiende las etapas de producción, sino que también incrementa los plazos de producción [7]. Este panorama limita la capacidad de seguir normas técnicas estrictas y complica la estandarización de los productos. A pesar de que hay equipos industriales totalmente automatizados para la producción de resortes, su elevado costo y la complejidad de la tecnología dificultan su adquisición para pequeños productores y emprendedores [8]. Esta ausencia de automatización, unida a la complejidad de la tecnología industrial actual, obstaculiza que los pequeños productores puedan acceder a soluciones apropiadas, restringiendo su expansión y habilidad para innovar tecnológicamente a nivel local [9].

Aunque existen máquinas automáticas para fabricar resortes, presentan limitaciones técnicas como la poca flexibilidad para ajustar parámetros del resorte (paso, diámetro, longitud y número de espiras), dificultades en la configuración para lotes pequeños, altos costos de adquisición y mantenimiento, así como sistemas de control poco personalizables [10]. Lo que afecta directamente la calidad del producto final, estas limitaciones reducen la eficiencia, incrementan los costos operativos y dificultan la integración de estas máquinas en talleres que buscan soluciones adaptadas a una producción más ágil, económica y con estándares exigentes de calidad [11].

### III. JUSTIFICACIÓN

En Ecuador, los resortes tienen una gran demanda en industrias como la industria automotriz, la agricultura y otros procesos industriales [12]. Estos elementos son esenciales para el desempeño, eficacia y protección de los sistemas en los que se incorporan [13]. Por su capacidad para resistir presiones y generar una fuerza de recuperación. Esta capacidad de adaptación los convierte en esenciales en muchas aplicaciones [14].

En la industria automotriz, los resortes son esenciales en los sistemas de suspensión, ya que ayudan a absorber impactos y vibraciones [15]. Lo que asegura una conducción estable y segura. Además, tienen una función esencial en los amortiguadores y en los sistemas de frenos, contribuyendo al bienestar y a la protección de quienes manejan y de los pasajeros [16]. En la industria agrícola, estos resortes son fundamentales en herramientas como sembradoras, rastrillos y arados, además de ser elementos esenciales en los sistemas de suspensión y elevación en vehículos como tractores y cosechadoras.

La automatización de procesos brinda beneficios fundamentales para las empresas modernas, ya que disminuye los gastos operacionales al reducir la intervención manual, previniendo fallos y maximizando el uso eficiente de materiales [17]. Además, potencia la competitividad al ofrecer respuestas más ágiles y adaptables a las exigencias del mercado, permitiendo ajustar la producción ante una demanda elevada sin periodos de inactividad. También mejora la seguridad laboral al reducir la exposición de los trabajadores a tareas riesgosas e incrementa la productividad al posibilitar operaciones constantes con menos interrupciones. A su vez, garantiza una alta calidad en el producto final mediante procesos uniformes, precisos y repetibles. La trazabilidad automatizada facilita el seguimiento y control de calidad en cada etapa. Por otro lado, contribuye a reducir el impacto ambiental optimizando el consumo de energía y recursos mejorando la toma de decisiones al ofrecer datos precisos en tiempo real [18].

Por todo lo expuesto se propone el diseño y desarrollo de un prototipo automatizado para la producción de resortes, con el objetivo de superar las limitaciones del proceso manual y responder a las exigencias actuales de calidad y eficiencia [19]. Esta solución permitirá verificar parámetros esenciales como la tensión y el comportamiento del resorte bajo carga mediante ensayos de tracción, asegurando el cumplimiento de especificaciones técnicas y generando datos útiles para futuras aplicaciones industriales [20].

## IV. OBJETIVOS

### *IV-A. Objetivo general*

Implementar un prototipo de máquina automática dobladora de alambre para fabricación de resortes a compresión especificando la longitud y el paso a través de un HMI.

### *IV-B. Objetivos específicos*

- Diseñar los sistemas mecánicos y eléctricos del prototipo de la máquina automática que permita el pliegue controlado de alambre calibre 22.
- Implementar un HMI para el pliegue del resorte según las especificaciones de longitud y paso definidas por el usuario.
- Validar el funcionamiento de la máquina mediante las verificaciones de las especificaciones técnicas del resorte fabricado.

## V. MARCO TEÓRICO

### V-A. Resortes

#### V-A1. Historia del resorte

Los resortes se remontan a la prehistoria y llegan hasta nuestros tiempos. Si bien hoy muchos objetos utilizan y requieren resortes para su funcionamiento, la idea de acumular energía mediante la tensión de materiales se remonta a la aparición del arco y la flecha, cuyo sistema es, por definición, un resorte[21].

El ser humano observó las ventajas de las propiedades elásticas en el mundo vegetal y las incorporaron a inventos que no sólo mejoraron sus condiciones en comparación con otras especies[22], sino que fueron esenciales para su supervivencia.

La constante transformación de la naturaleza para crear herramientas dio paso, entre los años 4000 y 3000 a. C., al surgimiento de la palanca, la rueda y una gran variedad de instrumentos que aprovechaban la elasticidad de diferentes formas, como las fíbulas, catapultas y ballestas[23].

Estos fueron los primeros vestigios del nacimiento de la mecánica, que evolucionaría rápidamente a través de las edades del bronce y del hierro, dando lugar a nuevos materiales para explorar su elasticidad. En el período helenístico, y por medio de Arquímedes, comenzaron los estudios sobre las máquinas simples, cuya utilización daría paso posteriormente a las primeras nociones de la elástica y la dinámica.

La llegada de la pólvora negra alrededor del año 1300 d.C. supuso el desarrollo de nuevos armamentos con mecanismos más complejos, lo que condujo a la fabricación de resortes forjados o conformados, muchos de los cuales aún se utilizan.[24] En los cerrojos comenzaron a aparecer los primeros resortes helicoidales.

#### ■ Leonardo da Vinci

La utilización de resortes en objetos motrices aparece por primera vez en diseños de Leonardo da Vinci (1452–1519), [25]tales como el mecanismo de llave de rueda, el cerrojo automático e incluso el vínculo de motor de tracción, todos ellos basados en el funcionamiento de resortes helicoidales.

Hacia el año 1500 comenzó a aplicarse el resorte en espiral como elemento motor en la relojería y, durante el siglo XVII, empezó a reemplazar progresivamente al péndulo[26].

#### ■ Robert Hooke

En este contexto surge la figura del científico inglés Robert Hooke (1635–1703), cuyos aportes fueron trascendentales. En el año 1678 formuló la ley que lleva su nombre[27], mediante la cual determinó que la deformación de un material es proporcional a la fuerza que se ejerce sobre él. Asimismo, estableció que la fuerza que devuelve un resorte a su posición de equilibrio es proporcional a la distancia que se desplaza de dicha posición[28].

La expresión matemática de la ley de Hooke se define como:

$$F = -k \Delta x$$

donde  $F$  es la fuerza restauradora,  $k$  la constante elástica del resorte y  $\Delta x$  el desplazamiento respecto a la posición de equilibrio.

Para llegar a este descubrimiento fue necesario el desarrollo previo de la metalurgia[29]. Algún mecánico o herrero debió construir una pieza metálica enrollada en forma de hélice y descubrir empíricamente sus propiedades elásticas, aunque su estudio cuantitativo se realizaría más tarde[30].

Antes de formular esta ley, en 1675, Hooke inventó el volante con resorte espiral[31]. Los resortes espirales se contraen y se relajan alrededor de la posición de equilibrio en períodos iguales, lo que permitió regular la oscilación rotatoria de una rueda volante en los relojes.

Gracias a este avance, los relojes pudieron convertirse en portátiles y sustituir a los de péndulo. Mientras que la gravedad controla la amplitud de la oscilación en un reloj de péndulo, el resorte espiral regula la oscilación rotatoria en los relojes portátiles[32]. En ambos casos, la fuerza restauradora crece con la amplitud, lo que hace que oscilaciones grandes y pequeñas tarden el mismo tiempo en completarse.

El período de oscilación no depende de la amplitud y se expresa como:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

El resorte espiral hizo posible la aparición de las piezas de relojería portátiles. Al eliminar el pesado péndulo, se pudieron construir relojes de pulsera precisos e insensibles al balanceo de un barco, lo que resultó clave para determinar la longitud geográfica. Posteriormente surgieron los cronómetros[33].

#### *V-A2. Importancia de los resortes en la ingeniería*







Los resortes acumulan trabajo en forma de energía y, al liberarla, realizan trabajo. Representan para una máquina un equivalente al músculo para el ser humano, ya que generan flexibilidad, tensión, velocidad o potencia[34]. A pesar de su aspecto simple, se han convertido en un elemento indispensable de cualquier artefacto de la era moderna.

Como portadores de una fuerza conservativa, los resortes permiten el almacenamiento y liberación controlada de energía, lo que ha dado lugar al desarrollo de numerosos dispositivos y mecanismos impulsados por su acción[35].

## V-B. Tipos de materiales para la fabricación de resortes

- **Alambre de resorte estirado en frío (ASTM A227, SAE 1066)**
  - Acero para resortes de uso general, más económico.
  - Adecuado para carga estática, no para fatiga o impacto.
  - Composición: 0.5–0.65 % C, 0.1 % Mn, 0.3 % Si.
  - Elevado límite de elasticidad por acritud del estirado.
  - Fabricación: simple enrollamiento, generalmente sin tratamiento posterior.
  - Calidad relativamente baja.
- **Alambre de cuerda de piano (ASTM A228, SAE 1085)**
  - El más empleado para resortes pequeños.
  - Alta resistencia a la tensión y soporta cargas repetidas.
  - Composición: 0.6–1 % C, 0.6–1.5 % Mn.
  - Proceso: horno continuo + baño de plomo fundido.
- **Alambre de resorte revenido en aceite (ASTM A229, SAE 1065)**
  - Acero para resortes de uso general.
  - Alternativa más económica al alambre de piano, usado en tamaños mayores.
  - No adecuado para cargas de choque o impacto.
  - Proceso: horno continuo → temple en aceite → horno para eliminar tensiones → trefilado final.
  - Mayor tenacidad y alargamiento que los anteriores.
- **Acero al cromo-vanadio (ASTM A232, SAE 6150)**
  - Aleación popular para resortes sometidos a esfuerzos elevados.
  - Alta resistencia a la fatiga y durabilidad.
  - Adecuado para cargas de choque o impacto.
  - Usado en resortes de válvulas de motores de aviones.
- **Acero al cromo-silicio (ASTM A402, SAE 9254)**
  - Excelente para resortes sometidos a esfuerzos elevados e impacto.
  - Larga vida útil.
  - Excelente desempeño en aplicaciones de altas temperaturas.
- **Acero inoxidable cromo-níquel (ASTM A313, SAE 30302)**
  - Adecuado para aplicaciones con cargas de fatiga.
  - Alta resistencia a la corrosión.
  - Mejor facilidad de conformado, aunque menor resistencia.
  - Estirado en frío, con baja relajación a altas temperaturas.
  - Puede alcanzar resistencias comparables o superiores al alambre de cuerda de piano.

V-B1. Tipos de resortes

Tipos de resortes	Características	Representación
Resorte de compresión	Se comprime en dirección axial para soportar cargas de compresión. Se utiliza comúnmente en sistemas de suspensión y dispositivos de amortiguación en automóviles.	
Resorte de torsión	Está diseñado para soportar fuerzas de torsión. Se utiliza en dispositivos que requieren un movimiento rotacional controlado o regulado.	
Resorte de disco	Conocido también como arandela Belleville, es un resorte de forma cónica que opera mediante flexión axial. Su función principal es soportar cargas elevadas con un desplazamiento reducido, y se emplea con frecuencia en uniones atornilladas, acoplamientos y válvulas que requieren una fuerza constante.	
Resorte cónico	Presenta un diámetro variable que le otorga mayor estabilidad y compresión progresiva, reduciendo fallos y mejorando la absorción de energía. Se usa en amortiguadores, válvulas y suspensiones.	
Resorte espiral	Es una cinta metálica enrollada en forma de espiral que almacena energía al enrollarse o desenrollarse. Se utiliza para generar o regular movimientos rotativos, como en relojes, medidores y mecanismos de retorno.	
Resorte tensión	es un resorte helicoidal diseñado para trabajar bajo tensión, alargándose al aplicarle una fuerza. Su propósito es retornar a su forma original cuando la carga desaparece. Se utiliza en dispositivos de seguridad, sistemas de frenado, trampas mecánicas y mecanismos de tensión.	

## V-B2. Aplicaciones industriales del resorte

Los resortes están presentes en una amplia variedad de equipos industriales, cumpliendo funciones críticas de control de fuerza, amortiguación y posicionado.

A continuación se describen algunas aplicaciones representativas en maquinaria de planta, ilustrando cómo los diferentes tipos de resortes se integran en válvulas, actuadores, prensas y sistemas de amortiguación, así como ejemplos concretos de su uso en líneas de manufactura automatizada. Finalmente, se ofrecen mejores prácticas operativas para asegurar un desempeño confiable de estos componentes en servicio continuo[36].

Los resortes desempeñan un rol vital en muchas industrias, especialmente la automotriz, ingeniería, médica y energética. Aproximadamente la mitad de la producción global de resortes se destina a vehículos, donde son componentes clave en suspensiones, motores, embragues, frenos, actuadores y mecanismos interiores.

En el ámbito de fluidos y procesos, los resortes son esenciales en válvulas y actuadores[37]. Por ejemplo, una válvula de seguridad de caldera tiene un resorte calibrado que la mantiene cerrada hasta que la presión supera un umbral, venciendo la fuerza del resorte y abriendo la válvula para aliviar la presión.

En válvulas de control de proceso, los actuadores neumáticos a menudo incorporan un resorte de retorno por falla (fail-safe): si se pierde el aire de control, el resorte lleva la válvula a una posición segura (abierta o cerrada)[38]. También en actuadores eléctricos se emplean muelles para asegurar movimientos suaves y para mantener la posición en caso de corte de energía. En sistemas hidráulicos, los acumuladores de membrana pueden usar resortes para presurizar fluidos. Así, desde la regulación de un flujo hasta la acción de emergencia, los resortes garantizan que estos dispositivos funcionen de forma confiable.

En el área de maquinaria pesada, prensas y sistemas de amortiguación son otra aplicación típica. Las prensas mecánicas de estampado utilizan resortes de troquel (muelles robustos de alta precisión) integrados en el molde: tras cada golpe, los resortes ayudan a expulsar la pieza y retornan la matriz a su posición inicial.

Estos resortes de troquel están diseñados para soportar millones de ciclos de compresión, garantizando la productividad en líneas de estampado automotriz, por ejemplo. Por su parte, en los amortiguadores de vibración (como los que aíslan una máquina rotativa de la estructura), los muelles (solos o combinados con amortiguadores hidráulicos) absorben y disipan energía, protegiendo la maquinaria y reduciendo el ruido[39].

Un caso cotidiano son los amortiguadores de vehículos: el resorte helicoidal soporta el peso y absorbe baches, mientras el amortiguador (shock absorber) disipa la energía cinética. En equipos industriales, muelles similares se usan en bases antivibratorias, sistemas de suspensión de equipos móviles (montacargas, vehículos de mina) e incluso en herramientas de impacto para reducir el golpe transmitido al operador.

Alimentadores vibratorios: Equipos que orientan piezas (como tazones vibratorios) usan resortes de lámina o pletinas elásticas para suspender la tolva y ajustar la frecuencia de vibración, permitiendo mover piezas por vibración.

Transportadores y bandas: Muchos tensores de banda son simplemente resortes (de compresión o extensión) que mantienen la tensión adecuada en una cinta transportadora a medida que ésta se alarga por uso, garantizando que no patine ni se desalinee.

Moldes de inyección y troqueles: En moldes para plástico, se incorporan resortes de compresión que empujan las placas eyectoras para expulsar las piezas moldeadas al abrir el molde. De modo similar, en troqueles de corte/embutido, además de los muelles principales de retorno, a menudo pequeños resortes auxiliares mantienen en posición tiras metálicas o chapas durante el proceso de estampado.

Garras y herramientas robóticas: Los efectores finales de robots (pinzas, grippers) suelen tener resortes internos para asegurar una fuerza de agarre constante y tolerancia ante variaciones. Por ejemplo, una pinza neumática puede incluir muelles que la cierran por defecto (fail-safe) o que amortiguan el contacto con la pieza para no dañarla[38].

Mecanismos de equilibrado: Máquinas que requieren contrapeso, como ciertos brazos móviles o puertas abatibles de máquinas, utilizan resortes de torsión para compensar el peso (similar al portón de un auto, pero en versión industrial). Esto facilita que un operario levante o baje componentes pesados con menor esfuerzo, mejorando la ergonomía y seguridad[30].

Debido a su gran versatilidad, los resortes de compresión se emplean ampliamente en diversas industrias

## 1. Automotriz

- **Sistema de suspensión:** Minimiza los impactos de las vías, soporta el peso del vehículo y proporciona comodidad y estabilidad durante la conducción (en conjunto con los amortiguadores).
- **Placa de presión del embrague:** Genera la fuerza de sujeción necesaria para mantener el disco de embrague y el volante unidos, permitiendo la transmisión de energía. Al soltar el pedal, retorna a su posición original.
- **Válvulas del motor:** Garantizan el cierre y apertura controlada de las válvulas de admisión y escape.
- **Asientos ajustables:** En los mecanismos de regulación y amortiguación del movimiento.
- **Sistemas de freno:** Algunos mecanismos incorporan resortes para el retorno de zapatas o pastillas a su posición inicial.
- **Cinturones de seguridad retráctiles:** Utilizan resortes helicoidales para permitir el enrollado automático de la cinta.
- **Amortiguadores de dirección:** Ayudan a estabilizar el sistema de dirección y absorber vibraciones.
- **Pedales de acelerador y freno:** Incorporan resortes de retorno para garantizar que vuelvan a su posición original.

## 2. Industrial

- **Válvulas mecánicas:** Funcionan mediante la aplicación de una fuerza para abrir o cerrar el paso del fluido (según su diseño). Mantienen una posición predeterminada, ya sea abierta o cerrada por defecto, cuando no existe una señal de control activa.

- **Amortiguadores de prensas o perforadoras:** Reducen la energía del impacto, protegen los moldes y las máquinas, y contribuyen a disminuir la vibración y el ruido durante el funcionamiento.
- **Mecanismos de sujeción y posicionamiento:** Proporcionan una fuerza de resistencia continua para mantener las piezas en su lugar o facilitar su retorno a la posición o forma original.
- **Sistemas de cierre automático:** Permiten el retorno suave de compuertas o tapas metálicas.
- **Interruptores y relés:** Proporcionan la fuerza de retorno para volver a la posición de reposo.
- **Sistemas neumáticos e hidráulicos:** Los resortes permiten el retorno de pistones en cilindros de simple efecto.
- **Transportadores industriales:** Se emplean en mecanismos tensores para mantener la tensión adecuada en bandas.
- **Herramientas manuales (pinzas, alicates):** Incorporan resortes para facilitar la apertura automática después del uso.
- **Maquinaria de embalaje:** Utilizados en mecanismos de presión y retorno para procesos repetitivos

### 3. Uso cotidiano

- **Bolígrafos retráctiles:** Facilitan la expansión (almacenaje de energía de compresión) y contracción (liberación de energía) del cartucho de tinta.
- **Botones de dispositivos electrónicos (mandos, teclados, electrodomésticos):** Proporcionan una experiencia absorbente cuando se presionan y vuelven a su forma original cuando se sueltan, garantizando un contacto preciso y cómodo.
- **Puertas con cierre automático:** Utilizan resortes para asegurar el cierre controlado.
- **Colchones y muebles tapizados:** Emplean resortes para proporcionar soporte y confort.
- **Juguetes mecánicos:** Almacenan energía elástica para generar movimiento.
- **Relojes mecánicos:** Utilizan resortes espirales para almacenar y liberar energía gradualmente.
- **Ganchos de ropa y pinzas:** Incorporan pequeños resortes para ejercer presión constante.

■ **Resorte de compresion**

Para comprender el funcionamiento y diseño de un resorte de compresión, es importante conocer los conceptos fundamentales que lo definen. Este tipo de resorte se fabrica generalmente con alambre de sección circular, enrollado en forma cilíndrica y con espiras separadas de manera uniforme. Dependiendo de su uso, pueden aplicarse diferentes configuraciones en las puntas o extremos.

- **Fórmulas para calcular las dimensiones de resortes de compresión:** Las siguientes fórmulas permiten determinar las principales dimensiones geométricas de un resorte de compresión, las cuales son esenciales para su diseño y análisis. Estas expresiones relacionan parámetros como el número de espiras activas, la longitud libre, la longitud sólida, el paso del resorte, y otros factores que influyen en su comportamiento mecánico.

Término	Tipo de extremos de resortes			
	Plano	Plano y esmerilado	A escuadra o cerrado	A escuadra y esmerilado
Espiras de extremo, $N_e$	0	1	2	2
Espiras totales, $N_t$	$N_a$	$N_a + 1$	$N_a + 2$	$N_a + 2$
Longitud libre, $L_0$	$pN_a + d$	$p(N_a + 1)$	$pN_a + 3d$	$pN_a + 2d$
Longitud sólida, $L_s$	$d(N_t + 1)$	$dN_t$	$d(N_t + 1)$	$dN_t$
Paso, $p$	$(L_0 - d)N_a$	$L_0(N_a + 1)$	$(L_0 - 3d)N_a$	$(L_0 - 2d)N_a$

Figura 1. Fórmulas para calcular las dimensiones de resortes de compresión ( $N_a$ =Número de espiras activas)

V-C. *Estabilidad en resortes helicoidales de compresión*

Cuando un resorte helicoidal de compresión es sometido a una carga elevada, puede experimentar un fenómeno conocido como *pandeo lateral* o *alabeo*. Este efecto es análogo al pandeo que ocurre en columnas delgadas sometidas a compresión axial. La pérdida de estabilidad sucede cuando la deflexión axial del resorte alcanza un valor crítico, momento en el cual el comportamiento lineal se ve comprometido.

La deflexión crítica  $y_{cr}$ , correspondiente al inicio de la inestabilidad, puede determinarse mediante la siguiente expresión:

$$y_{cr} = L_0 C_1 \left[ 1 - \left( 1 - \frac{C_2}{\lambda_{ef}^2} \right)^{1/2} \right]$$

donde:

- $y_{cr}$ : deflexión en el punto de inestabilidad.
- $L_0$ : longitud libre del resorte.
- $C_1$  y  $C_2$ : constantes empíricas que dependen de las condiciones de apoyo de los extremos.
- $\lambda_{ef}$ : relación de esbeltez efectiva del resorte.

La relación de esbeltez efectiva se define como:

$$\lambda_{ef} = \frac{\pi L_0}{D}$$

donde  $D$  representa el diámetro medio del resorte. Esta relación es un parámetro importante, ya que permite comparar el comportamiento de un resorte con el de una columna sometida a carga de compresión. Además, las constantes  $d_1$  y  $d_2$  asociadas a la estabilidad se expresan como:

$$d_1 = \frac{m_i}{2(\pi - G)} \quad \text{y} \quad d_2 = \frac{2\pi^2(m_i - G)}{2G^2}$$

Estas dependen de las condiciones de los extremos del resorte, como por ejemplo si se encuentran fijos o libres. En general, los resortes con una alta relación de esbeltez ( $L_0/D$  grande) son más propensos al pandeo, mientras que aquellos con menor esbeltez presentan una mayor estabilidad ante cargas de compresión.

La ecuación incluye el parámetro denominado constante de condición de los extremos ( $\alpha$ ), cuyo valor depende directamente del tipo de soporte o restricción que presenten los extremos del resorte. En la literatura técnica se dispone de valores tabulados de  $\alpha$  para distintas configuraciones de apoyo, los cuales son análogos a los factores de condición utilizados en el análisis de columnas sometidas a compresión.

La estabilidad absoluta del resorte se alcanza cuando el término  $\frac{G}{\lambda_{ef}^2}$  de la ecuación es menor que la unidad. En este caso, la condición de estabilidad absoluta se expresa como:

$$L_0 < \frac{\pi D}{\alpha} \sqrt{\frac{2(\pi - G)}{2G^2}} \tag{10-12}$$

Para el caso de los aceros, esta relación se simplifica a:

$$L_0 < 2,63 \frac{D}{\alpha} \tag{10-13}$$

donde:

- $L_0$ : longitud libre del resorte,
- $D$ : diámetro medio del resorte,
- $\alpha$ : constante de condición de los extremos.

En configuraciones típicas, los valores de  $\alpha$  varían según el soporte de los extremos:

- Para extremos **escuadrados y esmerilados**,  $\alpha = 0,5$  y la condición de estabilidad se cumple si  $L_0 < 5,26D$ .

Condición de extremo	Constante $\alpha$
Resorte apoyado entre superficies planas paralelas (extremos fijos)	0.5
Un extremo apoyado por una superficie plana perpendicular al eje del resorte (fijo); el otro extremo con pivote (articulado)	0.707
Ambos extremos con pivote (articulados)	1
Un extremo sujeto; el otro libre	2

Figura 2. Constante de las limitantes de resorte.

#### V-D. *Parámetros de fabricación de resortes*

Los resortes se fabrican mediante procesos de trabajo en frío o en caliente, dependiendo del tamaño del material, del índice del resorte y de las propiedades mecánicas que se deseen obtener. En términos generales, no se recomienda emplear alambre preendurecido si el valor del índice del resorte  $D/d < 4$  o si  $D/d > \frac{12}{1}$ .

Durante el enrollado, los materiales de los resortes pueden experimentar esfuerzos residuales debido a la flexión, los cuales se orientan normalmente en la dirección de los esfuerzos de trabajo torsionales de un resorte helicoidal. Por este motivo, en la fabricación de resortes se acostumbra aplicar un tratamiento térmico moderado que alivie dichas tensiones internas y mejore el desempeño del material.

El diseñador puede seleccionar entre una amplia gama de materiales adecuados para la fabricación de resortes. Entre los más comunes se encuentran los aceros al carbono, aceros de aleación y aceros resistentes a la corrosión. Asimismo, existen materiales no ferrosos utilizados con frecuencia, como el bronce fosforado, el cobre berilio y diversas aleaciones de níquel, empleados principalmente en aplicaciones donde se requiere alta resistencia a la fatiga y buena conductividad eléctrica o térmica.

#### V-E. *Máquinas para fabricación resortes*

Se han creado diferentes categorías de máquinas para la producción de resortes, según el grado de automatización, el tipo de resorte producido y el método de formación del alambre.

#### V-EI. *Componentes*

- Arduino Uno: Es una placa de desarrollo pequeña y compacta que se utiliza para controlar el sistema de la máquina dobladora de alambre. Su bajo costo y facilidad de programación lo hacen ideal para el manejo de entradas y salidas digitales y analógicas.
- Controlador de Motor Paso a Paso A4988: Es el controlador del motor paso a paso que se utiliza para gestionar el movimiento del motor Nema 17. Este módulo es esencial para controlar la cantidad de pasos, la velocidad y la dirección de los motores. Permite un control preciso del motor, logrando el doblado exacto del alambre sin pérdida de pasos.
- Pantalla LCD 20x4: Se utiliza para mostrar parámetros cruciales como el paso, el diámetro y la longitud del resorte.
- Potenciómetros digitales: Permiten al usuario seleccionar y ajustar los parámetros desde el panel.
- Botones de control: Actúan como interruptores manuales para iniciar o detener la operación.
- Motor Paso a Paso NEMA 17: Motores de alta precisión que se utilizan para controlar el movimiento en aplicaciones de automatización. Son ideales para aplicaciones que requieren un control preciso de la posición y la velocidad. En tu prototipo, estos motores impulsan el sistema de alimentación y el de doblado.
- Rodamientos (Rodamientos 3 mm 693ZZ): Son piezas esenciales para reducir la fricción en los puntos de contacto de la máquina. Se usan en partes móviles de la máquina, como los ejes de los motores, para garantizar un movimiento suave y continuo, previniendo el desgaste prematuro de las piezas durante el proceso de doblado.
- Alimentador de Filamentos (Guía de alambre): Es el elemento encargado de suministrar el material adecuado al proceso de impresión 3D de las piezas que se utilizarán en la máquina dobladora. Este componente es crucial

para garantizar una alimentación continua de material y evitar atascos o interrupciones en el proceso de fabricación de las piezas. En el contexto de tu máquina, esta pieza actúa como el sistema de guía/alimentación del alambre.

- Tuercas y Pernos M4: Son componentes estándar utilizados para el montaje de los diferentes partes de la máquina. Aseguran que toda la estructura permanezca estable y funcional durante la operación.
- Base de madera/Caja de control: Soporte estructural para la maqueta y soporte para el control automático.

#### *V-E2. Análisis de funcionamiento y eficiencia*

El análisis de las máquinas para fabricar resortes se centra en su capacidad para producir componentes con alta precisión, repetibilidad y adaptabilidad. A continuación se presentan los aspectos clave:

- Precisión dimensional La capacidad de la máquina para mantener parámetros como paso, diámetro y longitud dentro de tolerancias específicas. Las máquinas CNC destacan en este aspecto.
- Repetibilidad La habilidad de producir múltiples resortes con las mismas características sin variaciones significativas. Es esencial para producción en serie.
- Flexibilidad de configuración Las máquinas modernas permiten ajustar parámetros fácilmente para fabricar distintos tipos de resortes. Esto es crucial para lotes pequeños o personalizados.
- Velocidad de producción Depende del tipo de máquina y del diseño del resorte. Las máquinas automáticas combinadas suelen tener mayor rendimiento.
- Costo operativo y mantenimiento Las máquinas tradicionales tienen menor costo inicial pero requieren más intervención manual. Las CNC tienen mayor costo pero ofrecen mejor eficiencia y menor desperdicio.
- Integración con sistemas de calidad Algunas máquinas permiten registrar datos de producción y realizar ensayos de tracción o compresión para validar el comportamiento del resorte.
- Adaptabilidad a talleres pequeños El diseño de prototipos accesibles, como el que tú estás desarrollando, busca ofrecer soluciones económicas y funcionales para emprendedores y pequeñas industrias.

#### *V-F. Marco hipotético*

El presente proyecto se fundamenta en la hipótesis de que es posible diseñar e implementar un prototipo de máquina automática dobladora de alambre para la fabricación de resortes, capaz de optimizar los procesos de producción mediante el uso de control electrónico, motores paso a paso y un sistema de programación basado en Arduino.

Se sugiere que la automatización del proceso de doblado de alambre disminuirá notablemente el error humano, aumentará la precisión geométrica de los resortes producidos y acortará el tiempo de producción. Además, la incorporación de una pantalla para visualizar parámetros como el diámetro y el paso del resorte permitirá un control más efectivo del proceso y facilitará el ajuste dinámico en tiempo real de las variables de producción. De igual manera, se afirma que el uso de materiales ligeros y duraderos en la construcción del prototipo, junto con un diseño mecánico optimizado, garantizarán la estabilidad y repetibilidad del sistema de doblado durante el funcionamiento continuo.

Finalmente, se presume que el prototipo propuesto, al ser de bajo costo, fácil mantenimiento y operación sencilla, puede constituir una alternativa viable para talleres o pequeñas industrias dedicadas a la manufactura de resortes, contribuyendo al desarrollo tecnológico, a la modernización de los procesos productivos y a la mejora de la competitividad industrial local.

Para el desarrollo del presente proyecto se selecciona como alternativa de diseño la implementación de una máquina automática programable para la fabricación de resortes helicoidales de compresión, a partir de alambre de acero calibre 22. Esta máquina está orientada a la producción de resortes pequeños y medianos, permitiendo el control preciso de parámetros geométricos fundamentales como el diámetro del resorte, la longitud total y el paso entre espiras, los cuales son ingresados directamente por el usuario mediante una interfaz hombre-máquina.

El funcionamiento del prototipo se basa en un sistema de alimentación continua del alambre, el cual es guiado hacia un eje de enrollado accionado por un motor paso a paso, permitiendo la formación controlada de las espiras del resorte. El sistema de control electrónico gestiona el movimiento del motor de acuerdo con los parámetros definidos por el usuario, garantizando uniformidad, repetibilidad y precisión en la fabricación de los resortes helicoidales. Esta configuración permite adaptar la producción a diferentes especificaciones sin necesidad de realizar ajustes mecánicos complejos.

De las distintas máquinas analizadas para la fabricación de resortes, tales como las máquinas mecánicas tradicionales, las máquinas CNC industriales y las máquinas automáticas de enrollado, la alternativa seleccionada se adapta principalmente al concepto de las máquinas automáticas de enrollado de alambre. Este tipo de máquinas se caracteriza por conformar el alambre en forma helicoidal mediante un sistema motorizado, controlando parámetros como el diámetro y el paso del resorte de manera automática. Las máquinas mecánicas tradicionales, basadas en sistemas de levas y engranajes, presentan limitaciones importantes en cuanto a flexibilidad, ya que el cambio de dimensiones del resorte requiere ajustes manuales y reemplazo de componentes mecánicos. Por esto, esta máquina no es adecuada para el objetivo del proyecto, que busca facilidad de configuración y adaptación a otras especificaciones.

Por otro lado, aunque las máquinas CNC industriales para fabricación de resortes ofrecen altos niveles de precisión y automatización, estas utilizan control numérico mediante código G y software CAM, además de presentar elevados costos de adquisición, operación y mantenimiento. La máquina desarrollada en el presente proyecto no se clasifica como CNC, ya que no emplea programación por código G ni sistemas CAM, sino que opera mediante un control paramétrico directo, donde el usuario introduce las dimensiones del resorte a través de la interfaz hombre-máquina.

En este contexto, la máquina propuesta se clasifica correctamente como una máquina automática programable de enrollado de alambre, con control electrónico basado en Arduino y motores paso a paso. Esta clasificación permite ubicar al prototipo entre las soluciones automatizadas de bajo costo, ofreciendo una alternativa viable para talleres pequeños, entornos académicos y producción de bajo volumen, sin sacrificar la precisión necesaria para la fabricación de resortes helicoidales de compresión.

En comparación con máquinas comerciales conocidas como Spring Coiling Machine, Automatic Spring Coiler o Automatic Spring Forming Machine, el prototipo desarrollado comparte principios de funcionamiento como la

alimentación continua del alambre, el control del diámetro y del paso entre espiras y la automatización del proceso de enrollado. No obstante, se diferencia por su estructura simplificada, menor costo y facilidad de implementación, características que justifican la selección de esta alternativa como base para el desarrollo del proyecto.

Por estas razones, se concluye que la máquina automática programable de enrollado de alambre es la alternativa que mejor se adapta a los objetivos planteados, permitiendo la fabricación controlada de resortes helicoidales de compresión a partir de alambre de acero calibre 22, con flexibilidad, precisión y accesibilidad económica. Por las razones expuestas, se concluye que la máquina automática programable de enrollado de alambre es la alternativa que mejor se adapta a los objetivos planteados, permitiendo la fabricación controlada de resortes helicoidales de compresión a partir de alambre de acero calibre 22, con flexibilidad, precisión y accesibilidad económica.

## VI. MARCO METODOLÓGICO

Este proyecto se desarrolla según una metodología experimental y aplicada, el cual tiene como objetivo desarrollar e implementar un prototipo de máquina dobladora de alambre automática para la producción de resortes. El planteamiento metodológico se estructura en once fases principales, que permiten el diseño, construcción, automatización y validación del sistema propuesto de forma manejable.

### 1. **Establecer las especificaciones técnicas del resorte**

En esta fase se determinan los parámetros geométricos y mecánicos del resorte, tales como el diámetro del alambre, el paso, el número de espiras, la longitud libre y la constante elástica. Estos datos permiten definir el comportamiento del resorte y sus condiciones de trabajo, de acuerdo con las necesidades del sistema.

### 2. **Establecer las especificaciones técnicas de la máquina**

Se definen los requerimientos técnicos que debe cumplir la máquina dobladora, como el tipo de resorte a fabricar, las dimensiones máximas del alambre, la precisión del paso, la velocidad de doblado y el tipo de control a emplear. Esta información sirve de base para el diseño mecánico y electrónico del prototipo.

### 3. **Evaluación de alternativas y selección del diseño**

En esta etapa se analizan diferentes configuraciones de máquinas dobladoras (mecánicas, CNC y automáticas combinadas), considerando aspectos como costo, flexibilidad, mantenimiento y adaptabilidad. Con base en dicha evaluación se selecciona el diseño más apropiado para el desarrollo del prototipo automatizado.

### 4. **Bosquejo, características y función de la máquina**

Se elabora un boceto preliminar que describe el principio de funcionamiento del sistema, la disposición de los ejes, el sistema de alimentación del alambre y el mecanismo de doblado. Esta fase permite definir la arquitectura general del prototipo y su modo de operación.

### 5. **Selección de componentes**

Se seleccionan los componentes mecánicos y electrónicos necesarios para la construcción de la máquina, entre ellos los motores paso a paso NEMA 17, controladores A4988, HMI Nextion, Arduino UNO, rodamientos, Drivers A4988, servomotores y fuente de alimentación. La selección se realiza con base en criterios de disponibilidad, costo y compatibilidad técnica.

### 6. **Diseño mecánico y cálculo de componentes**

En esta fase se elaboran los planos y modelos tridimensionales de la estructura, soportes y mecanismos del prototipo. Se aplican cálculos de torque, fuerza y desplazamiento con el fin de garantizar la estabilidad, precisión y durabilidad del sistema durante el proceso de doblado del alambre.

### 7. **Diseño eléctrico y electrónico**

Se desarrollan los esquemas eléctricos y de control que integran el sistema electrónico de la máquina. En ellos se incluyen el Arduino Uno, los controladores de los motores, la interfaz HMI y los sensores, con el objetivo de establecer la comunicación entre los componentes y permitir el ajuste de parámetros desde el panel de usuario.

### 8. **Automatización de la máquina**

Durante esta etapa se programa el sistema de control encargado de gestionar los movimientos de los motores, la lectura de los sensores y la visualización de los parámetros en la interfaz HMI. El objetivo es lograr que el prototipo opere de forma autónoma, fabricando resortes con precisión y repetibilidad.

#### **9. Construcción del prototipo**

Una vez completado el diseño, se procederá al ensamblaje de las piezas impresas en 3D junto con los componentes mecánicos y electrónicos sobre la base estructural. En esta fase se realizarán ajustes de alineación y sujeción para asegurar el correcto funcionamiento del sistema de doblado y alimentación del alambre.

#### **10. Pruebas y validación del prototipo**

Posteriormente, se efectuarán pruebas de funcionamiento con el fin de verificar el desempeño de la máquina y la calidad de los resortes producidos. Se evaluarán parámetros como el paso, la longitud y la rigidez del resorte mediante ensayos experimentales, comprobando el cumplimiento de las especificaciones establecidas.

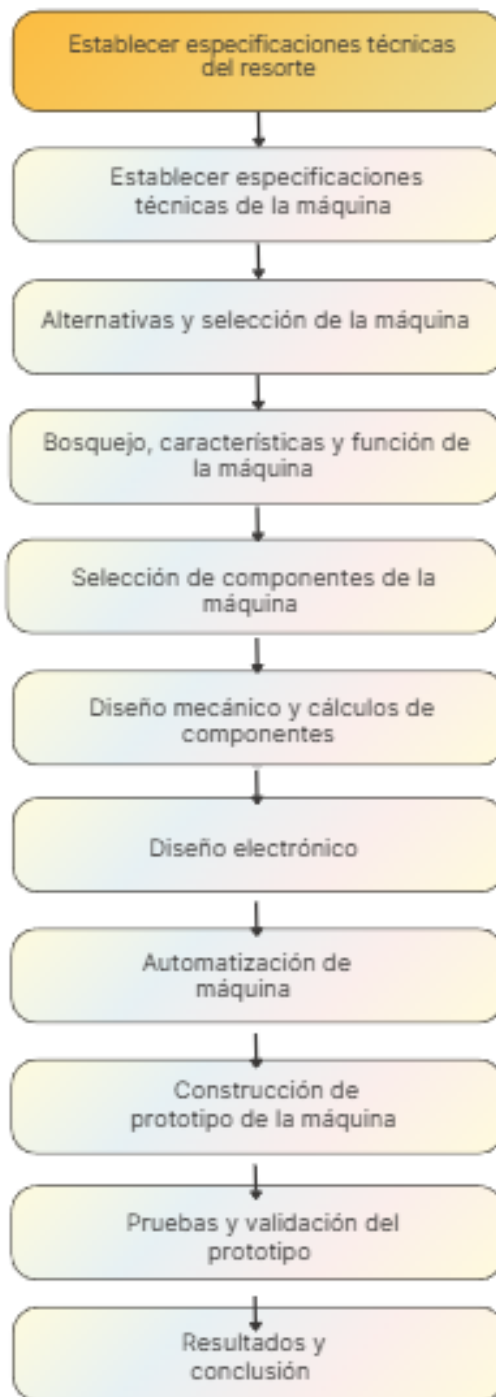
#### **11. Resultados y conclusiones**

Finalmente, se analizarán los resultados obtenidos durante las pruebas, destacando los logros alcanzados, las limitaciones identificadas y las posibles mejoras. Esta fase permitirá validar la funcionalidad del prototipo y determinar su viabilidad como una solución automatizada y de bajo costo para la fabricación de resortes.

VI-A. Diagrama de flujo

A continuación se muestra el diagrama de flujo en la figura I.

Tabla I  
DIAGRAMA DE FLUJO



## VI-B. Alternativas y selección de máquina

En la actualidad, el mercado ofrece una amplia gama de máquinas destinadas a la fabricación de resortes[40]. En el ámbito industrial, la producción se orienta principalmente hacia el uso de equipos automáticos y semiautomáticos, ya que estos garantizan mayores niveles de eficiencia, precisión y repetibilidad en los procesos. La elección de la máquina más apropiada está condicionada por diversos factores, entre ellos el volumen de producción requerido, las características geométricas y la complejidad del resorte, el grado de automatización deseado y los recursos económicos disponibles.

### VI-B1. Tipos de máquinas para la fabricación de resortes:

Los avances tecnológicos en los equipos destinados a la producción de resortes han propiciado mejoras significativas en sus principios de funcionamiento, incorporando sistemas cada vez más precisos[41], eficientes y confiables[42]. La comprensión detallada de estos fundamentos operativos resulta esencial para analizar la interacción entre los distintos mecanismos que intervienen en el proceso, tales como los sistemas de alimentación, conformado y corte del alambre. Este conocimiento permite realizar una selección adecuada de los componentes mecánicos, eléctricos y de control más idóneos, de acuerdo con las exigencias técnicas del proyecto, favoreciendo así el desarrollo de un diseño optimizado, robusto y plenamente funcional, capaz de responder de manera eficiente a las necesidades productivas establecidas.

Tabla II  
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA MÁQUINA ENROLLADORA DE ALAMBRE TORRINGTON W11A


<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
Marca y modelo	Torrington W11A – Torin
Serie	134891-WS
Origen	Estados Unidos (EUA)
Capacidad de alambre	0.015 – 0.072
Diámetro exterior del resorte	0.093 – 1.562
Motor	220 V
Sistema de enderezado	Integrado
Contador de piezas	Incluido
Horómetro	Incluido
Porta leva	Para sistema de torsión
Producción estándar	20 – 200 piezas por minuto
Producción opcional	17 – 170 ppm / 28 – 280 ppm
Precio aproximado	10,000.00 USD
<b>Imagen de la máquina</b>	
	

Tabla III  
 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA MÁQUINA CNC-635RW

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
Tipo de máquina	CNC para fabricación de resortes
Fabricante	Simco Spring Machinery
Número de ejes	Hasta 6 ejes
Sistema de control	Control de prioridad y servocontrol MS/CNC
Interfaz	Pantalla con menú de ayuda
Conectividad	Puerto USB
Programación	Tiempo de duración y velocidad programables
Funcionalidades	Opciones avanzadas configurables
Dimensiones	2900 × 2600 × 1970 mm
Peso	2900 kg
Tipo de resortes	Compresión, tensión y torsión
Interfaz	Pantalla con menú de ayuda, interfaz táctil Windows 10
Conectividad	Puerto USB, salida de datos en tiempo real (Industria 4.0)
Programación	Tiempo de duración y velocidad programables, hasta 999 programas almacenados
Funcionalidades	Opciones avanzadas configurables, cambio rápido horario/antihorario
Dimensiones	2900 × 2600 × 1970 mm
Peso	2900 kg
Capacidad de alambre	0.13 mm – 32 mm (según modelo)
Velocidad de producción	Hasta 300 piezas por minuto
Modos de corte	Recto, oscilante (swing cut), torcido (twist cut), por vuelo (fly cut)
Sistema de servomotores	Motores Yaskawa de alta precisión
Controlador	Yaskawa Mechatronlink, integración Omron/Schneider
Herramental estándar	Carburo, acero SKD11, acero rápido (HSS)
Diseño	Modular, facilita mantenimiento y asegura precisión
Tipos de resortes	Compresión, tensión, torsión, cónicos, de batería, sellos de aceite

**Imagen de la máquina**



Tabla IV  
 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA MÁQUINA AUTOMÁTICA DE ENROLLADO SIMCO YM-80

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
Sistema de control	Servo control YASKAWA (Japón)
Número de ejes	6/7 ejes estándar
Movimientos de servo	Control de tensión, giro, deslizamiento y eje
Sistema de detección	Detector de grietas/manchas (opcional)
Precisión	Alta
Mantenimiento	Sencillo
Estructura	Cuerpo de fundición
Rigidez	Alta resistencia a vibraciones
Tipo de corte	Recto, rotatorio y de torsión
Interfaz	Pantalla táctil
Software	Spring patentado basado en Windows 10
Programación	Gráfica e intuitiva
Ajustes	Diámetro exterior, paso y número de bobinas
Rigidez	Alta resistencia a vibraciones
Tipo de corte	Recto, rotatorio y de torsión (swing cut, twist cut, fly cut)
Lubricación	Sistema automático
Interfaz	Pantalla táctil con menú de ayuda
Software	Spring patentado basado en Windows 10
Visualización	Vista previa 3D del resorte
Programación	Gráfica e intuitiva, tiempo y velocidad programables, hasta 999 programas
Ajustes	Diámetro exterior, paso y número de bobinas
Capacidad de alambre	0.13 mm – 32 mm (según modelo)
Velocidad de producción	Hasta 300 piezas por minuto
Compatibilidad	Exportación/importación de datos vía USB y red local
Monitoreo	Reporte de producción y alarmas en tiempo real
Seguridad	Parada de emergencia y protección contra sobrecarga
Eficiencia energética	Optimización de consumo por servomotores
Sistema de refrigeración	Integrado para prolongar vida útil de componentes
Producción continua	Capacidad de trabajar en ciclos largos sin interrupción
Tipos de resortes	Compresión, tensión, torsión, cónicos, dobles, de batería, sellos de aceite
Dimensiones	2900 × 2600 × 1970 mm
Peso	2900 kg

**Imagen de la máquina**



Tabla V  
 CARACTERÍSTICAS DE MÁQUINAS COMBINADAS DE CONFORMADO Y CORTE AXIAL TIPO REB

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
Tipo de máquina	Conformado y corte combinado
Potencia de compresión	Hasta 287,000 lbs
Capacidad de conformado	Hasta 6 pasos
Unidad adicional	Unidad de cierre complementaria
Sistema de control	Control secuencial programable
Interfaz	Panel táctil
Facilidad de uso	Operación intuitiva
Capacidad de conformado	Hasta 6 pasos
Geometrías	Adecuada para geometrías complejas
Sistema de control	Control secuencial programable
Interfaz	Panel táctil
Facilidad de uso	Operación intuitiva
Precisión	Alta, con repetibilidad garantizada
Mantenimiento	Sencillo, con acceso rápido a componentes
Estructura	Cuerpo de fundición de alta rigidez
Resistencia	Alta resistencia a vibraciones y cargas dinámicas
Tipo de corte	Recto, rotatorio y de torsión
Lubricación	Sistema automático integrado
Software	Programa patentado basado en Windows 10
Visualización	Vista previa 3D de la pieza
Programación	Gráfica e intuitiva, con almacenamiento de programas
Ajustes	Diámetro exterior, paso y número de bobinas
Capacidad de memoria	Hasta 999 programas distintos
Compatibilidad	Exportación/importación de datos vía USB y red local
Monitoreo	Reporte de producción y alarmas en tiempo real
Seguridad	Parada de emergencia y protección contra sobrecarga
Sistema de refrigeración	Integrado para prolongar vida útil de componentes
Producción continua	Capacidad de trabajar en ciclos largos sin interrupción

**Imagen de la máquina**



### VI-B2. *Alternativa y selección:*

Con el fin de proponer y evaluar diversas alternativas de elección, se realizó un análisis de las características requeridas para el diseño e implementación del prototipo de máquina dobladora automática de alambre para la producción de resortes de compresión. Este análisis toma en cuenta los aspectos técnicos, operativos y económicos que permiten identificar la alternativa más adecuada para cumplir con los requisitos del proyecto, así como las condiciones de operación y uso planificadas en un ambiente experimental académico.

### VI-B3. *Características de la máquina para fabricar resortes:*

El diseño de una máquina automática para la fabricación de resortes de compresión requiere la definición de un conjunto de características técnicas y funcionales que aseguren un desempeño eficiente, seguro y confiable. Estas características no solo se relacionan con el proceso de conformado del alambre, sino también con la interacción entre la máquina, el operador y el entorno de trabajo, incorporando además consideraciones de carácter económico. Bajo este enfoque, se establecen los parámetros fundamentales que servirán como base para la selección y evaluación de las diferentes alternativas de los subsistemas mecánicos, eléctricos y de control que integran la máquina.

- **Seguridad:** El prototipo debe incorporar resguardos en las partes móviles, un botón de parada de emergencia y el aislamiento de los mecanismos de doblado y corte, garantizando la seguridad del operador durante la operación.
- **Rendimiento:** La máquina debe asegurar un conformado preciso y repetitivo del alambre calibre 22, permitiendo la fabricación automática de resortes de compresión con dimensiones uniformes.
- **Facilidad de construcción y montaje:** El diseño del prototipo debe permitir un ensamblaje sencillo mediante el uso de componentes estandarizados y materiales de fácil disponibilidad.
- **Mantenimiento preventivo:** El sistema debe facilitar el acceso a los componentes mecánicos y eléctricos, reduciendo los tiempos de parada y asegurando una operación continua.
- **Facilidad de operación:** La máquina debe contar con una interfaz hombre-máquina intuitiva que permita el ingreso de los parámetros del resorte sin requerir conocimientos avanzados.
- **Costos:** Se busca una solución que ofrezca una adecuada relación costo-beneficio, considerando los costos de diseño, fabricación y mantenimiento del prototipo.
- **Otros criterios:** Se consideran aspectos adicionales como la adaptabilidad a distintos parámetros de fabricación, eficiencia energética, disponibilidad de repuestos y posibilidad de futuras mejoras o automatización.

### VI-C. Especificaciones Técnicas

Con el propósito de garantizar un proceso de fabricación eficiente y seguro, se establecen a continuación las especificaciones técnicas que definen tanto las características del resorte a producir como las capacidades de la máquina dobladora automática.

En primer lugar, se detallan las condiciones de diseño y parámetros fundamentales del resorte, los cuales aseguran su correcto desempeño mecánico. Posteriormente, se presentan las especificaciones técnicas de la máquina, que describen sus dimensiones de trabajo, mecanismos de accionamiento y sistemas de seguridad, orientados a optimizar la producción y preservar la integridad del operador.

#### VI-C1. Rango de fabricación

A continuación se muestra a tabla con las especificaciones de la fabricación del resorte

Tabla VI  
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL RESORTE

<b>Especificación del resorte</b>	<b>Descripción</b>
Paso del resorte	Entre 1.2 mm y 2 mm. Define separación entre espiras y rigidez del resorte.
Diámetro del alambre	Alambre de acero calibre 22 (0.64 mm). Hilo delgado, flexible y de baja a media carga.
Diámetro de la espira	Configurable entre 5 mm y 10 mm. Afecta rigidez y capacidad de carga.
Material	El alambre de acero al carbono calibre 22 empleado en el proyecto se rige por la norma ASTM A510.

## VI-C2. Especificaciones técnicas de la máquina

A continuación se muestra la tabla con las especificaciones de la fabricación de la máquina.

Tabla VII  
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA MÁQUINA

<b>Especificación de la máquina</b>	<b>Descripción</b>
Dimensiones de trabajo	Procesa alambres de 0.5 mm a 1.2 mm. Longitud máxima: 10 mm por pieza.
Rango de paso	El rango de ajuste del paso puede variar aproximadamente entre 1 mm y 5 mm, dependiendo del diseño del mecanismo de guiado, la velocidad de avance y el diámetro utilizado.
Sistema de accionamiento	Motor eléctrico con velocidad regulable para bobinado.
Mecanismo de guiado	Rodillos o boquillas para alinear y sujetar el alambre.
Restricciones	Requiere supervisión. No apta para resortes de alta carga o grandes dimensiones.
Capacidad de producción	La capacidad de producción fabricar resortes depende directamente del tamaño y la longitud del resorte a realizar, ya que estos factores determinan el tiempo de enrollado y corte del alambre. En función de estas variables y del ajuste de la máquina, la producción puede variar, siendo habitual un rendimiento aproximado de 3 a 5 resortes por minuto.
Seguridad	Zona protegida, parada de emergencia y aislamiento eléctrico básico.

#### VI-D. Selección de componentes

La Tabla VIII presenta las especificaciones técnicas de los componentes seleccionados para el desarrollo del prototipo de la máquina automática dobladora de alambre destinada a la fabricación de resortes de compresión. En ella se detallan los parámetros eléctricos, mecánicos y funcionales más relevantes de cada componente, los cuales han sido definidos con base en los requerimientos de operación, precisión, compatibilidad y seguridad del sistema. Esta información constituye un soporte técnico para la correcta integración y funcionamiento de los subsistemas que conforman la máquina.

Tabla VIII  
COMPONENTES PRINCIPALES DEL SISTEMA DE LA MÁQUINA DOBLADORA DE ALAMBRE DE RESORTES

Componente	Modelo / Tipo	Especificaciones técnicas principales	Función en el sistema
Motor paso a paso	NEMA 17	Ángulo de paso: 1.8° Corriente nominal: 1.2 – 1.7 A Torque típico: 40 – 50 N·cm Voltaje nominal: 12 – 24 V	Accionar el sistema de arrastre y enrollado del alambre, controlando el paso y el número de espiras del resorte.
Driver de motor	A4988 / DRV8825	Voltaje de operación: 8 – 35 V Corriente máxima: hasta 2.2 A Micro-pasos: 1/16 – 1/32	Controlar la corriente y el posicionamiento del motor paso a paso.
Fuente de alimentación	Fuente DC regulada	Voltaje de salida: 12 V o 24 V Corriente nominal: 5 – 10 A	Suministrar energía al sistema eléctrico y de control.
Microcontrolador	Arduino Uno	Voltaje de operación: 5 V Entradas y salidas digitales y analógicas Comunicación serial	Procesar las señales del HMI y controlar los actuadores eléctricos.
Interfaz HMI	Pantalla Nextion	Pantalla táctil TFT Comunicación UART Alimentación: 5 V	Permitir al usuario ingresar los parámetros de longitud y paso del resorte.
Engranajes	Engranajes rectos	Material: plástico técnico o metal Relación de transmisión definida por diseño	Transmitir el movimiento del motor al sistema mecánico.
Ejes	Ejes cilíndricos	Material: acero Diámetro según diseño	Soportar y transmitir el movimiento mecánico.
Soportes	Soportes de motor y ejes	Material: impreso en 3D Diseño personalizado	Asegurar la alineación y estabilidad del sistema.
Dispositivos de protección	Fusibles / interruptores	Protección contra sobrecorriente y cortocircuito	Proteger el sistema eléctrico.

### VI-E. Selección del tipo de sistema

Con el fin de garantizar el correcto funcionamiento del prototipo de la máquina automática dobladora de alambre para la fabricación de resortes de compresión, se realiza la selección de los principales subsistemas que la conforman. Este proceso de selección se basa en criterios técnicos, operativos y económicos, considerando las necesidades específicas del proyecto y las condiciones de operación previstas. En este contexto, se analizan y definen el sistema mecánico, el sistema eléctrico y el sistema de control, los cuales permiten asegurar precisión en el conformado del alambre, facilidad de operación mediante una interfaz HMI y una adecuada integración entre los componentes que conforman la máquina[31].

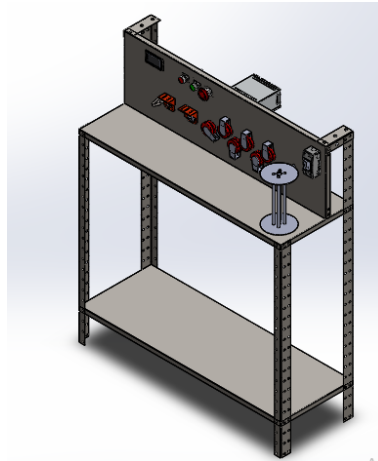


Figura 3. Prototipo de máquina automática dobladora de alambre para la fabricación de resortes de compresión.

#### VI-E1. Selección del sistema mecánico:

Para el prototipo de la máquina automática dobladora de alambre se selecciona un sistema mecánico de conformado y arrastre, diseñado específicamente para la fabricación de resortes de compresión a partir de alambre calibre 22. Este sistema mecánico está conformado por soportes de motor, engranes de transmisión y un extrusor o mecanismo de tracción del alambre, los cuales trabajan de manera sincronizada para garantizar un desplazamiento y doblado controlado del material[20].

Los soportes de motor, fabricados mediante impresión 3D o mecanizado ligero, permiten una correcta alineación de los motores con los elementos de transmisión, asegurando estabilidad y reducción de vibraciones durante la operación. Los engranes se emplean para transmitir el movimiento rotacional del motor hacia el sistema de conformado, permitiendo un control preciso de la velocidad y del número de vueltas necesarias para definir el paso del resorte.

El extrusor de arrastre del alambre cumple la función de alimentar y jalar el alambre de forma continua y controlada hacia el sistema de doblado, garantizando uniformidad en el proceso de enrollado. La selección de este sistema mecánico se fundamenta en su simplicidad, bajo costo con el control electrónico del prototipo.

### *VI-E2. Selección del sistema eléctrico:*

El sistema eléctrico del prototipo se selecciona considerando criterios de seguridad, confiabilidad y compatibilidad con aplicaciones académicas. Se opta por un sistema eléctrico alimentado a bajo voltaje, lo cual reduce los riesgos eléctricos y facilita la integración de los diferentes componentes del sistema.

Este sistema está compuesto por un motor paso a paso, encargado de accionar el mecanismo de arrastre y conformado del alambre; drivers de potencia, que permiten controlar adecuadamente la corriente y el torque del motor; una fuente de alimentación, y dispositivos de protección eléctrica, tales como fusibles e interruptores, que protegen al sistema ante sobrecorrientes o fallas eléctricas.

Asimismo, se incorpora una pantalla Nextion HMI, la cual forma parte del sistema eléctrico y permite la visualización de parámetros y estados de operación. La selección de estos componentes se justifica por su disponibilidad comercial, facilidad de conexión y adecuada relación costo–beneficio, siendo ideales para el desarrollo del prototipo.

### *VI-E3. Selección del sistema de control (HMI – Arduino):*

Para el control del prototipo se selecciona un sistema basado en un microcontrolador Arduino, en conjunto con una pantalla Nextion HMI, formando una arquitectura de control sencilla, flexible y eficiente. Este sistema permite automatizar el proceso de fabricación de resortes de compresión y facilitar la interacción entre el usuario y la máquina.

El Arduino se encarga de procesar las señales provenientes del HMI y de controlar los actuadores eléctricos, principalmente el motor paso a paso, mediante los drivers de potencia. A través del Nextion HMI, el usuario puede ingresar los parámetros del resorte, tales como longitud, paso y número de espiras, los cuales son enviados al microcontrolador para ejecutar el proceso de doblado de forma automática.

La selección de este sistema de control se fundamenta en su facilidad de programación, bajo costo y amplia documentación disponible. Además, permite futuras ampliaciones del sistema, como la incorporación de sensores de retroalimentación o la adaptación del prototipo a otros calibres de alambre.

#### *VI-F. Diseño y descripción del funcionamiento de la máquina dobladora de alambre para la fabricación de resortes*

La máquina dobladora de alambre para la fabricación de resortes está diseñada para producir resortes helicoidales a partir de alambre de acero, garantizando precisión dimensional, repetibilidad y eficiencia en el proceso productivo. El funcionamiento del sistema se basa en la alimentación controlada del alambre, su conformado mediante elementos mecánicos y el corte automático del resorte una vez alcanzadas las dimensiones programadas.

El proceso inicia con la configuración de los parámetros de fabricación a través de una interfaz hombre-máquina (HMI). En esta interfaz se ingresan las dimensiones del resorte a fabricar, tales como el diámetro del alambre, el diámetro interno del resorte, el paso entre espiras, la longitud libre y el número de vueltas requeridas. Estos parámetros son enviados al sistema de control, el cual coordina el movimiento de los motores y actuadores de la máquina.

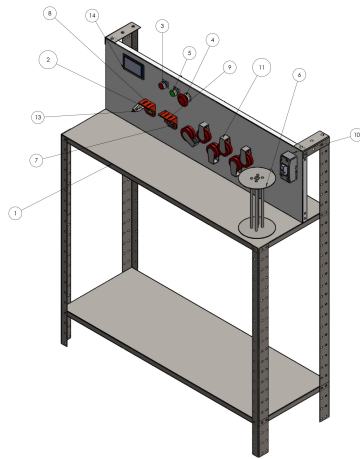
El alambre de acero utilizado como materia prima presenta alta resistencia mecánica, buena capacidad de deformación plástica y adecuada resistencia a la fatiga, características fundamentales para la fabricación de resortes. Generalmente se emplea alambre de acero al carbono o acero aleado, seleccionado de acuerdo con las exigencias mecánicas del resorte final, como carga de trabajo y vida útil.

Una vez configurados los parámetros, el alambre es alimentado desde el carrete hacia el sistema de avance mediante un conjunto de rodillos de arrastre o rodillos de alimentación[43]. Estos rodillos, accionados por motores eléctricos, aplican una fuerza normal suficiente para generar fricción y permitir el desplazamiento continuo del alambre sin deslizamientos. La velocidad de avance es controlada electrónicamente para asegurar la precisión del paso del resorte.

Posteriormente, el alambre es guiado hacia el sistema de conformado, donde entra en contacto con el mandril de bobinado y los pasadores o rodillos de doblado. El mandril define el diámetro interno del resorte, mientras que los pasadores ejercen la fuerza necesaria para curvar el alambre y formar las espiras helicoidales. Durante esta etapa, el alambre experimenta principalmente esfuerzos de flexión y torsión, los cuales son considerados en el diseño mecánico de los componentes.

El sistema de bobinado está sincronizado con el avance del alambre para garantizar que el número de espiras y el paso entre ellas correspondan a los valores programados en el HMI. Esta sincronización permite obtener resortes con alta uniformidad geométrica y repetibilidad dimensional.

Una vez alcanzada la longitud y el número de espiras requeridas, el resorte es separado del alambre continuo mediante un sistema de corte. Este sistema está accionado por un servomotor, el cual controla con precisión el movimiento de una pinza de sujeción y la cuchilla de corte. Finalmente, el resorte terminado es liberado del sistema de conformado, quedando listo para su posterior inspección o tratamiento adicional.



Nº DE ELEMENTO	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	mesa completa sin componentes	Base mecánica de la estación de trabajo fabricada con perfiles de aluminio	1
2	Motor nema 17	Motor paso a paso estándar de tamaño 17, alimentado por un controlador de velocidad y control de movimiento.	2
3	ALAMP BUTTON red	Botón pulsador de color rojo, utilizado como control de detención de la función específica dentro del sistema.	1
4	Emergency Stop!	Interruptor de seguridad que permite detener inmediatamente el funcionamiento de la máquina en caso de emergencia.	1
5	ALAMP BUTTON green	Botón pulsador adicional, destinado a funciones auxiliares o modo de operación.	1
6	Carrilete de almacenamiento del alambre	Dispositivo mecánico que permite enrollar y desenrollar el alambre de manera ordenada.	1
7	Estructor	Mecanismo encargado de guiar y enrollar el material de corte de alambre.	1
8	Base de motor A	Soporte mecánico para fijar un motor en la estructura, permitiendo la guía del motor.	1
9	Soce de motor B	Segundo soporte para motor, complementario al anterior, para el formado del alambre.	1
10	Puente de poder	Unidad de alimentación eléctrica que suministra la energía a los componentes y motores.	1
11	Isolamiento/rodillo	En este sistema, permiten el giro suave de los rodillos, aumentando la vida útil de los componentes.	7
12	Sensomotor	Actuador eléctrico de precisión que permite controlar la posición mediante señal de control para el corte de alambre.	1
13	Pico de corte	Elemento mecánico utilizado para incidir en el alambre en el proceso de fabricación.	1
14	Nextion-10482704L011 - 4.3inch next LCD Screen	Nextion-10482704L011 - 4.3" next LCD Screen	1

Figura 4. Distribución de componentes electrónicos y de control

## VI-G. Diseño mecánico y cálculo de componentes

El prototipo de la máquina automática dobladora de alambre para la producción de resortes de compresión ha sido diseñado siguiendo principios de ergonomía. Este enfoque busca garantizar que su operación sea cómoda, accesible y segura para un usuario promedio.

En el desarrollo del diseño también se han tenido en cuenta aspectos económicos, así como la disponibilidad y facilidad de adquisición de materiales y componentes. Se han priorizado soluciones viables que se adapten a un entorno académico. La concepción del prototipo se sustenta en un análisis detallado de máquinas existentes tanto en el mercado como en la industria metalmeccánica.

## VI-G1. Parámetros para la construcción:

Para la construcción del prototipo de la máquina automática dobladora de alambre se establecen una serie de parámetros técnicos que permiten garantizar un funcionamiento adecuado, seguro y confiable del sistema. Estos parámetros sirven como base para el diseño, fabricación y ensamblaje de los componentes mecánicos, eléctricos y de control de la máquina.

### 1. Material a utilizar

Para la estructura base y los elementos sometidos a esfuerzos mecánicos se consideraron materiales metálicos de uso común en prototipos industriales. En el caso de los soportes de motor, engranes y componentes del sistema de arrastre del alambre, se emplearon piezas fabricadas mediante impresión 3D, utilizando polímeros técnicos adecuados por su resistencia mecánica, facilidad de fabricación y bajo costo, lo que permitió una rápida iteración en el diseño.

## 2. **Parámetros geométricos de las piezas**

Para componentes como el extrusor, rodillos de arrastre y guías del alambre, se tomaron en cuenta el calibre del alambre a trabajar (calibre 22), así como el diámetro y paso del resorte a fabricar. En el caso de piezas como ejes, engranes y soportes, se consideraron los diámetros de los elementos de transmisión y las cargas generadas durante el proceso de doblado.

## 3. **Velocidad de operación**

La velocidad del sistema de arrastre y doblado fue definida en función del tipo de resorte a fabricar, buscando un equilibrio entre precisión dimensional y estabilidad del proceso. Esta velocidad es controlada mediante un motor paso a paso, permitiendo ajustes finos desde la interfaz HMI.

## 4. **Alimentación del equipo**

El sistema eléctrico de la máquina opera a bajo voltaje, alimentado por una fuente de corriente continua adecuada para el motor paso a paso, los drivers de potencia y el sistema de control. Esta configuración incrementa la seguridad del operador y reduce los riesgos eléctricos durante la operación.

## 5. **Manejo del equipo**

El manejo del prototipo es de tipo automático, integrando un sistema de control basado en Arduino y una pantalla Nextion HMI. Desde la interfaz, el usuario puede configurar parámetros como la longitud y el paso del resorte. El sistema cuenta con pulsadores de control para el arranque y parada del proceso, permitiendo una operación sencilla, segura e intuitiva.

## 6. **Sistema de corte de alambre**

Se incorporó al prototipo un sistema de corte de alambre con el objetivo de optimizar los tiempos de producción y garantizar longitudes uniformes en los resortes fabricados. Este sistema permite realizar el corte de manera precisa y repetitiva, integrándose de forma sincronizada con el proceso de doblado.

### *VI-G2. Bastidor y superficie de trabajo:*

La estructura principal de la máquina consta de un bastidor tipo mesa diseñado para soportar la superficie de trabajo y dar soporte a los sistemas mecánicos junto con la caja de control. Las unidades de comando y señal, como botones pulsadores, interruptores e interfaz hombre-máquina (HMI), lo que asegura un manejo cómodo y seguro durante la operación. La estructura garantiza la resistencia necesaria a las cargas creadas en los procesos de enrollado y doblado de alambre garantizando una distribución uniforme de los esfuerzos.

### **Propiedades de masa de mesa metálica**

- Masa = 14536.00 gramos
- Volumen = 1847013.98 milímetros cúbicos
- Área de superficie = 4162202.62 milímetros cuadrados
- Centro de masa: ( milímetros ) X = -12.44 Y = 797.72

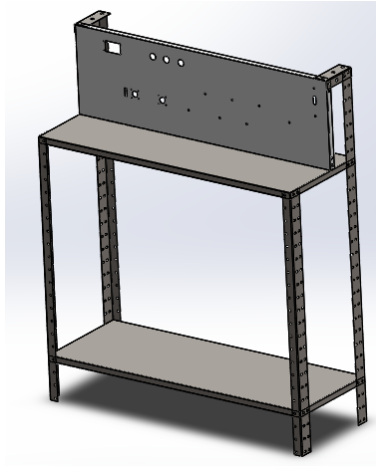


Figura 5. Diseño 3D en SolidWorks

### VI-G3. Carrete de almacenamiento del alambre:

El rodillo tipo carrete almacena y suministra el alambre para la fabricación de resortes, manteniéndolo ordenado y con tensión uniforme. Está formado por dos discos unidos por elementos longitudinales que le dan rigidez y espacio adecuado, y se monta sobre un eje con rodamientos que permiten un giro libre y estable para la alimentación hacia los sistemas de enderezado y conformado.

#### Propiedades de masa de carrete de almacenamiento del alambre

- Masa = 1327.23 gramos
- Volumen = 165903.34 milímetros cúbicos
- Área de superficie = 111721.07 milímetros cuadrados
- Centro de masa: ( milímetros )
  - X = -0.03
  - Y = -0.02

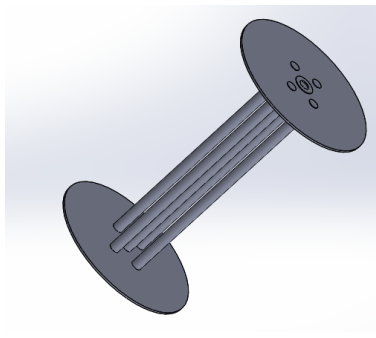


Figura 6. Carrete de almacenamiento del alambre Diseño 3D en SolidWorks

#### VI-G4. Rodillo para guía y conformar el alambre:

El rodillo guía cumple la función de conducir y conformar el alambre durante la fabricación de resortes de compresión, aplicando la fuerza de flexión necesaria para la formación uniforme de las espiras. Este componente se encuentra montado sobre un soporte estructural provisto de ranuras de ajuste, las cuales garantizan una correcta alineación y permiten regular su posición.

##### Propiedades de masa de rodillo para guiar

- Masa = 148.29 gramos
- Volumen = 70946.80 milímetros cúbicos
- Área de superficie = 23310.80 milímetros cuadrados
- Centro de masa: ( milímetros ) X = -10.27 Y = 0.33

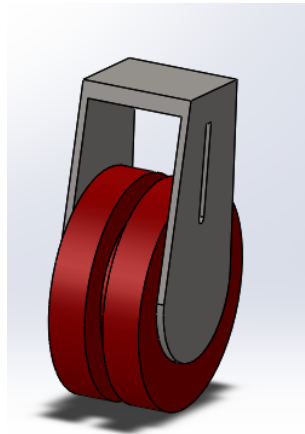


Figura 7. Carrete de almacenamiento del alambre Diseño 3D en SolidWorks

#### VI-G5. Cálculo y selección del motor para el arrastre de alambre

La fuerza requerida depende de:

- Fricción en el extrusor
- Fricción en guías
- Resistencia al desenrollado

Se modela como:

$$F = \mu N$$

En un extrusor tipo rodillo, los valores típicos de arrastre para alambre delgado son:

$$F_{\text{arrastre}} \approx 5 - 15 \text{ N}$$

$$F_{\text{arrastre}} = 15 \text{ N}$$

Torque requerido en rodillo de arrastre

$$r = 5 \text{ mm} = 0,005 \text{ m}$$

$$T = F \cdot r$$

$$T = 15 \cdot 0,005 = 0,075 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Aplicando un factor de seguridad:

$$FS = 2$$

$$T_{\text{diseño}} = 0,15 \text{ N} \cdot \text{m}$$

### Selección del motor de arrastre

Motor NEMA 17:

$$T_{\text{motor}} \approx 0,5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$0,5 \gg 0,15$$

El motor seleccionado cumple adecuadamente los requerimientos de torque para el arrastre del alambre, con margen suficiente para compensar pérdidas por fricción y variaciones de carga.

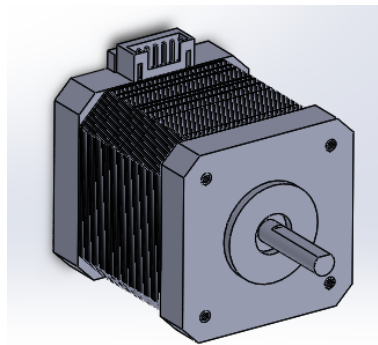


Figura 8. Motor paso a paso NEMA 17 – Diseño 3D en SolidWorks

Tabla IX  
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL MOTOR PASO A PASO NEMA 17

Parámetro	Especificación
Tipo de motor	Motor paso a paso
Norma	NEMA 17
Tensión nominal	12 V DC
Corriente nominal	5 A
Tipo de control	Bipolar
Paso angular	1.8°
Número de pasos por vuelta	200 pasos
Torque nominal	0.45 N·m
Aplicación	Arrastre y conformado del alambre

## VI-G6. Cálculo y selección del motor para el formado de alambre

Para la selección del motor de formado se calculó primero el torque necesario para doblar el alambre hasta producir deformación plástica. Durante la fabricación del resorte, el material trabaja principalmente a flexión alrededor del pasador doblador, por lo que se determinó el momento requerido según el diámetro del alambre y el límite elástico del acero. Con este valor y considerando el radio efectivo de aplicación, se obtuvo el torque mínimo que debía entregar el motor, el cual sirvió como criterio para su selección.

- Material: Acero bajo carbono
- Esfuerzo de fluencia aproximado:

$$\sigma_y = 300 \text{ MPa}$$

- Calibre 22:

$$d = 0,71 \text{ mm} = 0,00071 \text{ m}$$

- Radio efectivo del pasador doblador:

$$r = 10 \text{ mm} = 0,01 \text{ m}$$

### Momento necesario para plastificación

$$M_y = \sigma_y \cdot \frac{\pi d^3}{32}$$

$$M_y = 300 \times 10^6 \cdot \frac{\pi(0,00071)^3}{32}$$

$$M_y = 0,0105 \text{ N} \cdot \text{m}$$

### Torque requerido en el eje del motor

$$T_{\text{requerido}} = 0,0105 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Aplicando un factor de seguridad mecánico:

$$FS = 3$$

$$T_{\text{diseño}} = 0,0315 \text{ N} \cdot \text{m}$$

### Selección del motor NEMA 17 – 1.7 A

Torque nominal típico:

$$T_{\text{motor}} \approx 0,45 - 0,52 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$0,5 \gg 0,0315$$

El motor seleccionado es ampliamente suficiente para el formado del alambre, operando muy por debajo de su capacidad nominal, lo que garantiza estabilidad térmica y una vida útil prolongada.

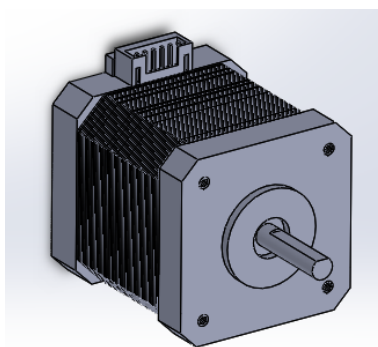


Figura 9. Motor paso a paso NEMA 17 – Diseño 3D en SolidWorks

Tabla X  
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL MOTOR PASO A PASO NEMA 17

Parámetro	Especificación
Tipo de motor	Motor paso a paso
Norma	NEMA 17
Tensión nominal	12 V DC
Corriente nominal	5 A
Tipo de control	Bipolar
Paso angular	1.8°
Número de pasos por vuelta	200 pasos
Torque nominal	0.45 N·m
Aplicación	Arrastre y conformado del alambre

#### VI-G7. Servomotor para el sistema de corte del alambre

##### Cálculo y selección del motor para el mecanismo de corte

- Alambre: Calibre 22

$$d = 0,71 \text{ mm} = 0,00071 \text{ m}$$

- Material: Acero bajo carbono
- Esfuerzo de fluencia aproximado:

$$\sigma_y = 300 \text{ MPa}$$

- Esfuerzo cortante máximo:

$$\tau_{\max} \approx 0,6\sigma_y = 180 \text{ MPa}$$

##### Fuerza necesaria para cortar el alambre

Área transversal:

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi(0,00071)^2}{4} = 3,96 \times 10^{-7} \text{ m}^2$$

Esfuerzo cortante máximo (según criterio usado en el documento):

$$\tau_{max} \approx 0,6 \sigma_y = 0,6(300 \text{ MPa}) = 180 \text{ MPa}$$

Fuerza teórica ideal:

$$F_{teo} = \tau_{max} A = (180 \times 10^6)(3,96 \times 10^{-7}) \approx 71 \text{ N}$$

Sin embargo, en el corte real en frío intervienen pérdidas por fricción, deformación plástica, ángulo de cuchilla y condiciones no ideales. Por ello, se introduce un factor de corrección de corte real  $K_c$  (típicamente 2 a 4).

$$K_c = 3$$

Fuerza de diseño:

$$F_{dis} = K_c F_{teo} = 3(71) \approx 213 \text{ N}$$

*Torque requerido en el mecanismo de corte (corregido)*

Brazo efectivo del mecanismo:

$$r = 20 \text{ mm} = 0,02 \text{ m}$$

Torque de diseño sin factor de seguridad:

$$T_{dis} = F_{dis} r = 214(0,02) = 4,28 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Aplicando factor de seguridad  $FS = 1,5$ :

$$T_{req} = FS T_{dis} = 1,5(4,28) = 6,42 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Por lo tanto, el torque mínimo requerido para el mecanismo de corte es:

$$\boxed{T_{req} \approx 6,4 \text{ N}\cdot\text{m}}$$

El servomotor MG996R es adecuado para el proceso de corte del alambre calibre 22, siempre que el radio efectivo del mecanismo de corte se mantenga reducido. Bajo estas condiciones, el torque requerido se encuentra dentro de la capacidad nominal del servomotor, garantizando un corte eficiente y repetitivo.

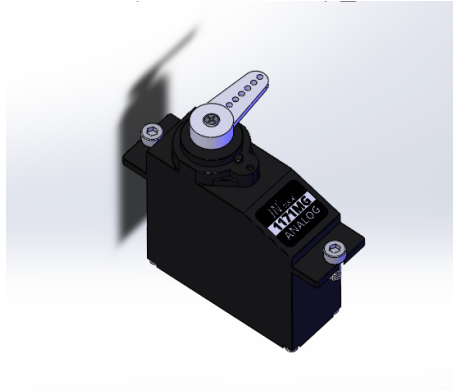


Figura 10. Servomotor Diseño 3D en SolidWorks

Tabla XI  
ESPECIFICACIONES TÍPICAS DEL SERVOMOTOR

Parámetro	Valor típico
Tipo de motor	Servomotor analógico 1109MG
Torque máximo	17 kg-cm
Voltaje de operación	6 V DC
Corriente nominal	1.5 – 2 A
Corriente pico (bloqueo)	hasta 2.5 A
Ángulo de operación	0° – 180°
Señal de control	PWM
Frecuencia PWM	50 Hz
Tiempo de respuesta	0.16 s / 60°
Tipo de engranajes	Metálicos

#### VI-G8. Fuente de Poder del Sistema

La dobladora de alambre dispone de un suministro de energía ajustable de 12 V y 5 A, el cual proporciona la electricidad que requieren todos los componentes eléctricos y electrónicos de la máquina, asegurando un desempeño fiable y seguro. Aunque opera cercana a su límite en condiciones de carga máxima, el diseño secuencial de la máquina evita sobrecargas simultáneas, permitiendo un funcionamiento seguro y eficiente.



Figura 11. Fuente de poder

Tabla XII  
ESPECIFICACIONES DE LA FUENTE CONMUTADA

Parámetro	Especificación
Tipo	Fuente conmutada ATX
Modelo	P4-850W
Voltaje de salida principal	+12 V DC
Corriente máxima en +12 V	38 A
Potencia máxima en +12 V	456 W
Otras salidas	+5 V, +3.3 V, -12 V
Regulación	$\pm 5\%$
Protección	Sobrecarga, cortocircuito y sobrecorriente

#### VI-G9. Análisis de consumo eléctrico

Aunque la fuente posee una potencia nominal total de 850 W, el sistema únicamente utiliza la línea de +12 V, cuya capacidad máxima es:

$$I_{12V_{\max}} = 38 \text{ A}$$

$$P_{12V_{\max}} = V \cdot I = 12 \text{ V} \cdot 38 \text{ A} = 456 \text{ W}$$

#### Consumo estimado del sistema

Motores NEMA 17:

$$I_{\text{NEMA total}} = 2 \times 1,5 = 3 \text{ A}$$

$$I_{\text{servo}} = 2,5 \text{ A}$$

$$I_{\text{Arduino}} \approx 0,05 \text{ A} \quad I_{\text{Nextion}} \approx 0,5 \text{ A}$$

$$I_{\text{control}} = 0,55 \text{ A}$$

#### Corriente total estimada:

$$I_{\text{total}} = I_{\text{NEMA}} + I_{\text{servo}} + I_{\text{control}} = 3 + 2,5 + 0,55 = 6,05 \text{ A}$$

#### Potencia total requerida

$$P_{\text{total}} = V \cdot I_{\text{total}} = 12 \times 6,05 = 72,6 \text{ W}$$

#### Comparación con la fuente disponible

$$P_{\text{fuente}} = 60 \text{ W} < P_{\text{total}} = 72,6 \text{ W}$$

El sistema puede requerir hasta 72.6 W en condiciones pico

Comparación con la fuente disponible:

$$P_{\text{requerida}} = 72,6 \text{ W}$$

$$\frac{72,6}{456} \times 100 \approx 16\%$$

### Rodamiento de Contacto Angular 6203-2RS

Se seleccionó el rodamiento 6203-2RS para sostener los rodillos de almacenamiento, ya que puede manejar cargas radiales y axiales de nivel moderado, requiere poco mantenimiento gracias a su doble sello 2RS y tiene una capacidad de carga superior en relación a las fuerzas presentes en el sistema. Esta decisión asegura una rotación constante, mínima fricción y una durabilidad extensa, lo que favorece la eficacia en el proceso de suministro del alambre.

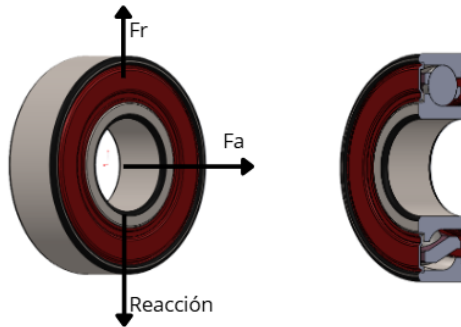


Figura 12. Diseño 3D en SolidWorks

Tabla XIII  
PARÁMETROS PRINCIPALES DEL RODAMIENTO 6203-2RS.

Parámetro	Valor
Tipo	Rodamiento rígido de bolas (contacto angular ligero)
Designación	6203-2RS
Diámetro interior ( $d$ )	17 mm
Diámetro exterior ( $D$ )	40 mm
Ancho ( $B$ )	12 mm
Capacidad dinámica ( $C$ )	9 500 N
Capacidad estática ( $C_0$ )	4 800 N
Sellado	2RS (doble sello de caucho)
Velocidad máxima (grasado)	12 000 rpm
Material	Acero al cromo (AISI 52100)

### Cálculo de la carga radial aplicada

Peso del carrete:

$$m = 0,85879 \text{ kg}$$

$$F_p = m \cdot g = 0,85879 \cdot 9,81 = 8,42 \text{ N}$$

Tensión del alambre:

$$F_t = 80,5 \text{ N}$$

La carga radial total es:

$$F_r = F_p + F_t = 8,42 + 80,5 = 88,92 \text{ N}$$

### Verificación con capacidad dinámica del rodamiento

Para el rodamiento 6203-2RS se tiene:

$$C \approx 9500 \text{ N}$$

$$F_S = \frac{C}{F_r}$$

$$F_S = \frac{9500}{88,92} \approx 107$$

### Fuerza de Flexión para el Rolado

En la etapa de formación, el alambre necesita curvarse en torno al núcleo para conseguir la configuración en espiral del resorte. Esta acción produce un momento de flexión que origina tensiones de estiramiento en la parte exterior y compresión en el interior del hilo. Para que el material sufra una deformación permanente, la tensión ejercida debe superar el límite elástico del acero. A partir de este concepto, se establece el momento mínimo necesario para comenzar el proceso de deformación plástica y, posteriormente, la fuerza que se debe aplicar al pasador o rodillo que realiza el doblado.

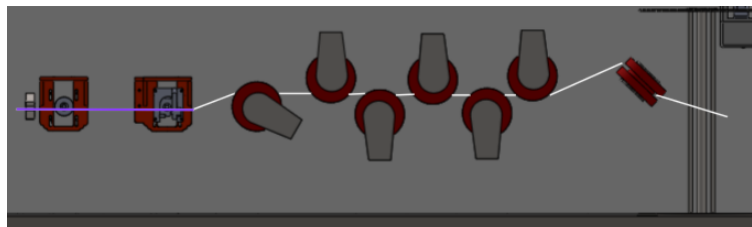


Figura 13. Vista esquemática del guiado de resorte

### Cálculo de la fuerza de doblado del alambre

Área transversal del alambre:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi(0,64)^2}{4} = 0,322 \text{ mm}^2$$

Momento de inercia de la sección:

$$I = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{\pi(0,64)^4}{64} = 0,0082 \text{ mm}^4$$

Distancia a la fibra extrema:

$$c = \frac{d}{2} = \frac{0,64}{2} = 0,32 \text{ mm}$$

Momento necesario para deformación plástica (con límite elástico del acero):

$$\sigma_y = 400 \text{ MPa} = 400 \text{ N/mm}^2$$

$$M = \frac{\sigma_y \cdot I}{c} = \frac{400 \cdot 0,0082}{0,32} = 10,25 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Fuerza mínima de doblado (radio del resorte  $R = 2,5 \text{ mm}$ ):

$$F = \frac{M}{R} = \frac{10,25}{2,5} = 4,1 \text{ N}$$

Fuerza de diseño (considerando pérdidas por fricción y endurecimiento):

$$F_{\text{diseño}} = 2 \cdot F = 2 \cdot 4,1 = 8 \text{ N}$$

Dimensionamiento de Elementos Mecánicos

**Eje Intermedio de Transmisión** El eje intermedio de transmisión es el encargado de transferir el movimiento rotacional desde el motor hacia el sistema que alimenta el alambre. Esta pieza asegura que el sistema funcione de manera sincronizada y preserva la correcta alineación mecánica entre los elementos que están conectados.

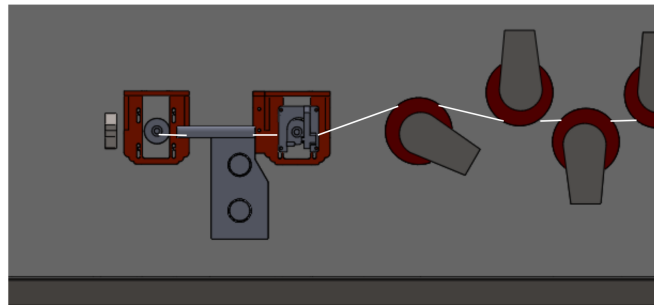


Figura 14. Vista esquemática del Eje Intermedio de Transmisión

## VI-G11. Análisis estructural de la máquina

Una vez diseñada la estructura, se procede a realizar la simulación mediante el módulo SolidWorks Simulation, específicamente con un análisis estático, con el objetivo de evaluar el desempeño mecánico de la estructura bajo las condiciones de trabajo esperadas. Este análisis facilita la identificación de zonas críticas, posibles concentraciones de esfuerzo, deformaciones y desplazamientos, garantizando que el diseño sea seguro y funcional antes de su fabricación.

### Simulación de la estructura con análisis estático

La estructura está diseñada para soportar la masa del motor, el sistema de transmisión por bandas que asegura el funcionamiento del mecanismo de doblado. En el análisis estructural se consideran las propiedades del material elegido, el AISI 1020, con este material se estudia la capacidad de resistencia y el desempeño de la estructura frente a las condiciones de carga previstas durante su operación.

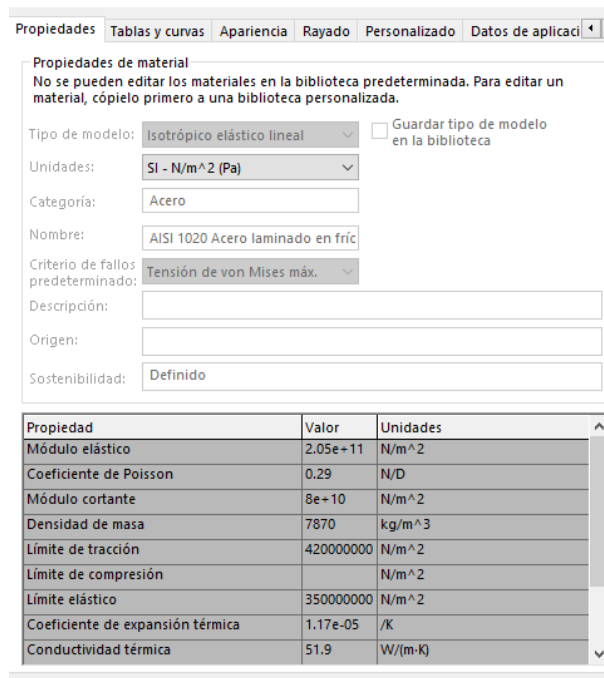


Figura 15. Material de la estructura diseñada en SolidWorks

### Análisis de tensiones de Von Mises

La simulación muestra la distribución de esfuerzos en la mesa completa. Los valores máximos de tensión se concentran en la parte superior de la estructura, especialmente en el panel frontal y la superficie de la mesa donde se ubican el motor y los componentes mecánicos.

$$\sigma_{VM} \approx 1,57 \times 10^8 \text{ N/m}^2 = 157 \text{ MPa}$$

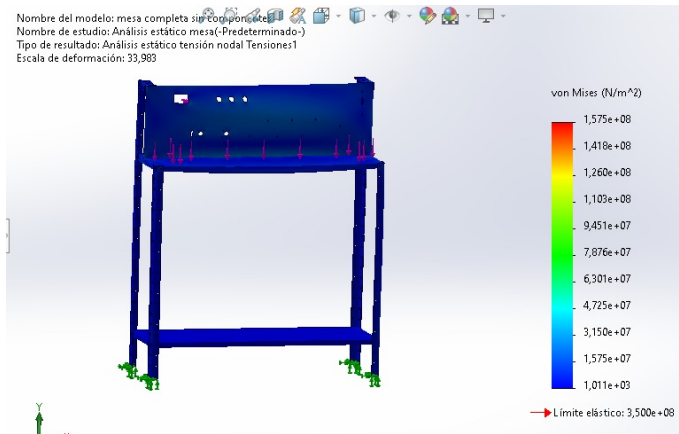


Figura 16. Simulación de la distribución de esfuerzos

$$\sigma_y \approx 210 \text{ MPa}$$

**Datos:**

$$F = 100 \text{ N}$$

$$x = 0,80 \text{ m}$$

**Momento flector:**

$$M = F \cdot x = 100 \cdot 0,80 = 80 \text{ N} \cdot \text{m}$$

**Distancia máxima a la fibra neutra:**

$$c = 0,00635 \text{ m}$$

**Segundo momento de área de la sección cuadrada:**

$$I = 4,96 \times 10^{-9} \text{ m}^4$$

**Esfuerzo flexionante:**

$$\sigma_F = \frac{M \cdot c}{I} = \frac{80 \cdot 0,00635}{4,96 \times 10^{-9}} \approx 102,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_F \approx 102,6 \text{ MPa}$$

**Límite elástico del AISI 1020:**

$$\sigma_y \approx 210 \text{ MPa}$$

**Factor de seguridad (FS):**

$$FS = \frac{\sigma_y}{\sigma_F} = \frac{210}{102,6} \approx 2,05$$

La estructura de la mesa concentra los mayores esfuerzos en la parte superior, alcanzando un máximo de 157 MPa, valor inferior al límite elástico del acero AISI 1020 (210 MPa), lo que confirma que trabaja en el rango elástico sin riesgo de deformación plástica. En las varillas cuadradas, con una fuerza de 100 N, se obtuvo un

esfuerzo de 102,6 MPa y un factor de seguridad de 2,05, indicando que el diseño es seguro bajo carga estática

### Análisis de desplazamientos

En la simulación se analiza cómo las cargas aplicadas afectan los desplazamientos de la estructura, con el fin de evaluar su comportamiento mecánico y verificar que las deformaciones se mantengan dentro de límites aceptables. Para ello, se considera la relación entre las fuerzas externas y los desplazamientos generados en los puntos de interés, así como el comportamiento de los elementos tipo viga bajo distintas condiciones de carga y apoyo. El análisis permite comparar los resultados obtenidos mediante simulación con estimaciones teóricas, utilizando las propiedades del acero AISI 1020 y las dimensiones de los elementos estructurales, lo que contribuye a confirmar la rigidez y estabilidad del sistema.

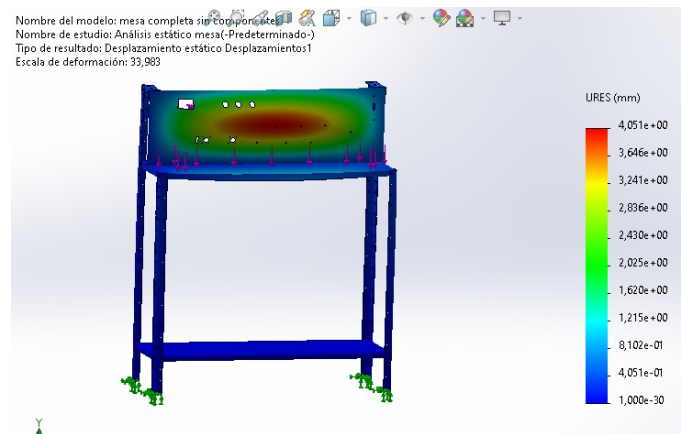


Figura 17. Simulación de Análisis de desplazamientos

Relación general entre cargas y desplazamientos (Método de Rigidez):

$$\{F\} = [K] \cdot \{U\}$$

donde:

F: vector de fuerzas aplicadas

K: matriz de rigidez global del sistema

U: vector de desplazamientos nodales

### Desplazamiento máximo en vigas (teoría de flexión de Euler-Bernoulli):

Para una viga simplemente apoyada con carga puntual en el centro:

$$\delta_{\max} = \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I}$$

donde:

F: fuerza aplicada

L: longitud de la viga

E: módulo de elasticidad del material (AISI 1020  $\rightarrow E \approx 205$  GPa)

$I$ : segundo momento de área de la sección

### Desplazamiento en voladizo con carga puntual en el extremo:

$$\delta = \frac{F \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I}$$

El análisis de desplazamientos muestra un valor máximo de 4,051 mm en la parte superior central de la mesa, mientras que los apoyos fijos prácticamente no se mueven. Este desplazamiento es pequeño en relación con la geometría total, lo que confirma que la estructura mantiene su rigidez y estabilidad bajo la carga aplicada. Además, los resultados pueden verificarse manualmente mediante las ecuaciones de flexión, utilizando las propiedades del acero AISI 1020 ( $E=205\text{GPa}$ ) y las dimensiones de los elementos estructurales.

### Análisis de deformaciones unitarias

En la simulación se presenta el análisis de las deformaciones unitarias generadas en la estructura como resultado de las cargas aplicadas. Este análisis permite identificar las zonas donde el material experimenta mayores cambios de longitud, así como verificar que dichas deformaciones se mantengan dentro de valores aceptables. A partir de los resultados de la simulación, se observa que la deformación máxima se concentra en la parte superior de la mesa, mientras que los apoyos permanecen prácticamente sin variación.

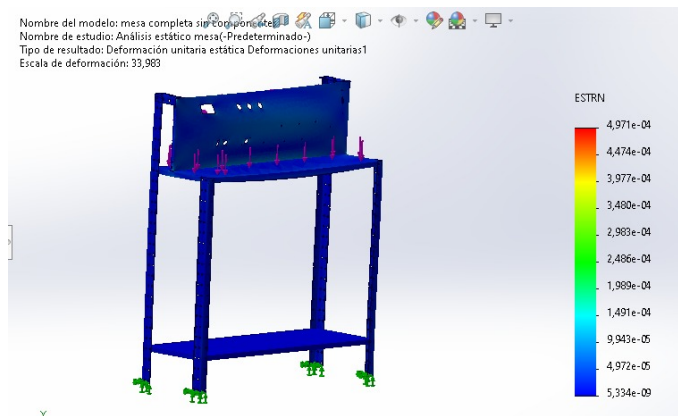


Figura 18. Simulación de Análisis de deformaciones unitarias

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

donde:

$\Delta L$ : cambio de longitud (desplazamiento)

$L$ : longitud original del elemento

### Relación con tensiones (Ley de Hooke):

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

### Usando el valor máximo de deformación:

$$\sigma_{\max} = E \cdot \varepsilon_{\max} = (2,05 \times 10^{11}) \cdot (4,971 \times 10^{-4})$$

$$\sigma_{\max} \approx 1,02 \times 10^8 \text{ N/m}^2 = 102 \text{ MPa}$$

La mesa presenta una deformación máxima de  $[\varepsilon_{\max} = 4,971 \times 10^{-4}]$  en la parte superior, mientras que los apoyos permanecen prácticamente sin cambios. La tensión equivalente es:

$$\sigma_{\text{eq}} = 102 \text{ MPa}$$

Comparada con el límite elástico del AISI 1020:

$$\sigma_y = 210 \text{ MPa}$$

Se confirma que la estructura trabaja en el rango elástico, mantiene su rigidez y no corre riesgo de deformación plástica.

El estudio completo de la mesa muestra que la tensión máxima de Von Mises alcanzó 157 MPa, valor inferior al límite elástico del acero AISI 1020 (210 MPa), confirmando que la estructura trabaja en el rango elástico sin riesgo de deformación plástica. En las varillas cuadradas, con una fuerza aplicada de 100 N, se obtuvo un esfuerzo flexionante de 102,6 MPa, lo que da un factor de seguridad de 2,05, adecuado para condiciones estáticas. Finalmente, el desplazamiento máximo registrado fue de 4,051 mm en la parte superior central, mientras que los apoyos permanecieron prácticamente inmóviles. La deformación unitaria máxima fue de

$$\varepsilon_{\max} = 4,971 \times 10^{-4}$$

, equivalente a una tensión de 102 MPa, coherente con los resultados anteriores.

### VI-H. *Diseño del circuito eléctrico*

El diseño eléctrico de la máquina para doblar alambre se propone asegurar un control efectivo de los motores paso a paso, una experiencia fácil para el usuario a través de la interfaz HMI, y una defensa adecuada de los elementos electrónicos.

El diagrama eléctrico se realizó en Fritzing, facilitando una representación clara de las interconexiones entre los diversos dispositivos del sistema. La unidad central de control se fundamenta en un Arduino Uno, responsable de manejar las señales que llegan de la pantalla táctil Nextion y producir las señales de control digitales necesarias para los motores paso a paso.

El control de los motores NEMA 17 se lleva a cabo a través de drivers A4988, los cuales permiten ajustar la dirección, la velocidad y la cantidad de pasos. La alimentación de energía principal del sistema se obtiene de una fuente de 12 V, que está destinada principalmente para los motores, mientras que el Arduino y los módulos de

control funcionan a 5 V, lo que garantiza un entorno de bajo voltaje que mejora la seguridad del equipo.

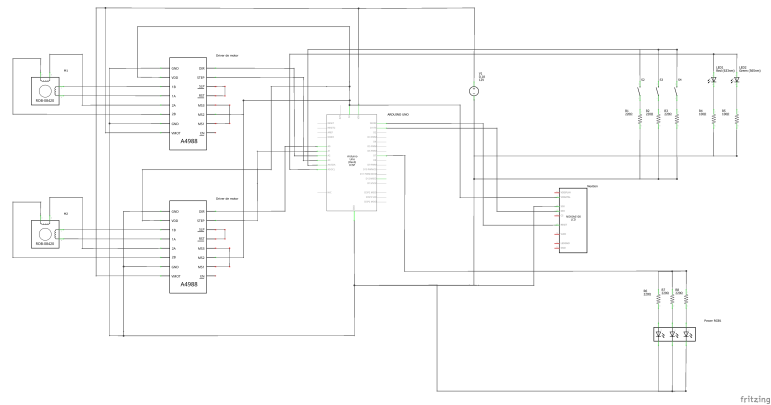


Figura 19. Esquema del circuito eléctrico de la máquina dobladora de alambre para la fabricación de resortes.

En la Figura 19 se puede observar la disposición general de los componentes eléctricos y la interconexión entre los distintos módulos del sistema. El esquema permite identificar claramente la relación entre la unidad de control, los drivers A4988, los motores paso a paso NEMA 17 y la interfaz HMI, así como las líneas de alimentación y señal. Esta representación facilita la comprensión del funcionamiento del sistema, el diagnóstico de fallas y futuras tareas de mantenimiento o ampliación. Además, se evidencia la separación entre las etapas de potencia y control, lo que contribuye a mejorar la seguridad, confiabilidad y desempeño del circuito eléctrico de la máquina dobladora de alambre.

Interfaz de usuario con pantalla Nextion Para la operación de la máquina dobladora de alambre se implementó una pantalla táctil *Nextion*, la cual permite al operador configurar y supervisar los parámetros de trabajo de manera sencilla e intuitiva. La pantalla *Nextion* se comunica con el microcontrolador del sistema a través de comunicación serial, garantizando una transmisión confiable de datos y una respuesta rápida a las acciones del operador. Además, su uso contribuye a mejorar la ergonomía y la seguridad del equipo, al centralizar el control de la máquina en una única interfaz visual.

#### VI-I. Diseño de la interfaz de usuario

La pantalla principal funciona como el centro de control, allí se muestran los parámetros más importantes del proceso y también se encuentran los botones y comandos necesarios para manejar el sistema.

##### **Configuración de parámetros**

En el centro de la pantalla se encuentran los campos para programar los parámetros de trabajo del resorte. Estos se ajustan mediante botones táctiles y campos numéricos, lo que permite una programación precisa. Los parámetros configurables son:

- Diámetro del resorte: define el tamaño final del resorte de compresión.
- Número de espiras: indica cuántas vueltas tendrá el resorte.
- Paso del resorte: establece la distancia entre cada espira durante el conformado.
- Cantidad de resortes: numero de cuantos resortes quieres fabricar.

##### **Control de operación**



Figura 20. Diseño de la interfaz de usuario

En la parte inferior se ubican los botones que permiten manejar la máquina:

- Inicio de ciclo: activa el ciclo automático de fabricación.
- Paro de sistema: detiene el sistema de manera segura.
- Reset: restablece los parámetros y prepara la máquina para un nuevo ciclo.

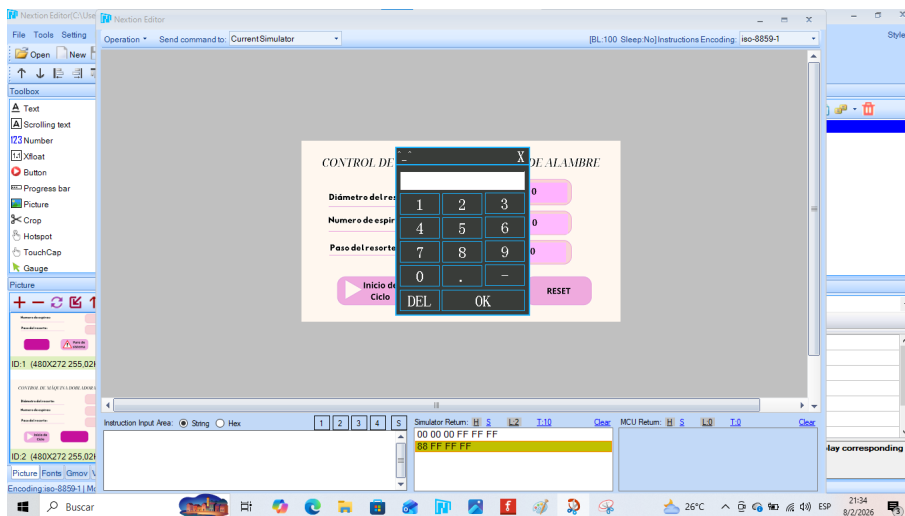


Figura 21. Configuración de parámetros

## VI-II. Proceso de construcción de la máquina dobladora de resortes:

El desarrollo en la creación de la máquina encargada de doblar resortes se llevó a cabo de integrando fases mecánicas, estructurales y eléctricas. La Figura X ilustra el procedimiento de ensamblaje del sistema destinado a la guía y conformación del alambre.



Figura 22. Proceso de construcción y ensamblaje mecánico.

Para la construcción de la estructura base se utilizó una estantería metálica reforzada que proporciona rigidez estructural, estabilidad durante el proceso de doblado y soporte para el panel frontal de mecanismos. La base inferior se destinó al almacenamiento del alambre y herramientas, mientras que el nivel superior funciona como plataforma de trabajo y montaje.

En el panel frontal se instalaron rodillos guía para direccionamiento del alambre, soportes ajustables, puntos de fijación para el sistema de doblado y un espacio destinado para la pantalla Nextion y pulsadores de control. El trazado preliminar del recorrido del alambre se realizó manualmente sobre el panel, definiendo la línea de alimentación, el punto de curvatura y la zona de corte. Se implementó además un sistema de múltiples rodillos alineados horizontalmente con el fin de reducir la fricción, mantener la alineación del alambre y evitar deformaciones no deseadas, permitiendo controlar el desplazamiento lineal antes del proceso de enrollado.

En el extremo derecho se colocó el soporte para la bobina de alambre, que facilita el desenrollado continuo, la alimentación controlada y la reducción de torsión accidental, garantizando la uniformidad en el paso del resorte.

En la parte superior del panel se instalaron un pulsador de encendido, un pulsador de parada y un botón de emergencia, previendo la futura integración de la pantalla Nextion para configuración de parámetros, un Arduino como unidad de control y drivers para motores NEMA 17. Durante la validación mecánica inicial se realizaron pruebas manuales para verificar la alineación del alambre, comprobar la firmeza estructural, ajustar las distancias entre rodillos e identificar posibles puntos de fricción, lo que permitió realizar correcciones antes de la integración del sistema automatizado.

## VI-12. Integración Eléctrica:

Se realizó el montaje y organización del sistema de cableado dentro del panel posterior de la máquina, asegurando una distribución lógica de potencia y señales de control. En la parte superior del panel se ubicaron los elementos de mando, incluyendo pulsadores de encendido, paro y emergencia, los cuales fueron conectados a las entradas digitales del Arduino para permitir el control manual y la detención inmediata del sistema en caso necesario.

A un costado se instaló una fuente de alimentación de 12 V, encargada de distribuir energía a los drivers de los motores NEMA 17 y al servomotor de corte. El Arduino fue fijado en la zona superior derecha del panel para facilitar la conexión directa hacia los drivers y minimizar la longitud de los conductores de señal, reduciendo así posibles interferencias eléctricas. Los drivers de los motores paso a paso fueron montados próximos al Arduino para optimizar la distribución de las señales STEP y DIR, así como la fuente de alimentación, manteniendo la separación entre las líneas de control y de alta corriente.

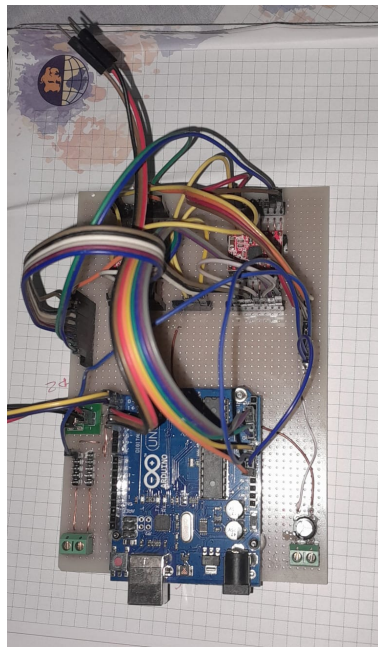


Figura 23. Conexión eléctrica en protoboard

Durante esta etapa se verificó continuidad eléctrica con multímetro, correcta polaridad de alimentación y estabilidad del voltaje bajo carga, comprobando que el sistema responde de manera coherente a las órdenes programadas. Esta configuración permitió consolidar un sistema eléctrico estructurado, seguro y funcional, integrando de forma ordenada la alimentación, el control y la actuación dentro del conjunto mecatrónico de la máquina dobladora de resortes.



Figura 24. Proceso de integración eléctrica.

### VI-13. Programación y Configuración del Sistema de Control:

Durante la programación y validación del sistema de control se desarrolló el código en Arduino con el objetivo de coordinar de manera secuencial los motores paso a paso NEMA 17, el servomotor de corte y la comunicación con la pantalla Nextion. Inicialmente se definieron y configuraron los pines digitales correspondientes a las señales STEP y DIR de cada motor, el pin de control PWM del servomotor y la entrada digital asociada al botón de emergencia, estableciendo las condiciones de operación en el bloque de inicialización.

Posteriormente se implementó la comunicación serial a 9600 baudios para permitir la recepción de parámetros desde la interfaz HMI, principalmente el número de espiras programadas por el operador. Una vez energizado el sistema y recibidos los datos, el programa ejecuta la secuencia automática de fabricación, generando pulsos sincronizados hacia los drivers de los motores paso a paso para controlar tanto la alimentación del alambre como la formación del resorte, donde la cantidad de pulsos enviados determina la longitud y el número de espiras obtenidas.

```
sketch_0614a.ino
1 #include "BasicStepperDriver.h"
2 #include <Servo.h>
3
4 // Motor alimentación
5 #define STEP_FEED 2
6 #define DIR_FEED 3
7 // Motor resorte
8 #define STEP_FORN 4
9 #define DIR_FORN 5
10 // Servo de corte
11 #define SERVO_PIN 6
12 // Botón de emergencia
13 #define EMERGENCY_PIN 7
14
15 Servo servoCorte;
16
17 long pasosPorEspiras = 200;
18 int numeroEspiras = 5;
19 int velocidadPaso = 800;
20
21 bool emergenciaActiva = false;
22
23 void setup() {
24   pinMode(STEP_FEED, OUTPUT);
25   pinMode(DIR_FEED, OUTPUT);
26   pinMode(STEP_FORN, OUTPUT);
27 }
```

Figura 25. código de Arduino.

#### VI-14. Pruebas de funcionamiento del sistema:

Una vez finalizada la instalación y organización del cableado, se realizaron pruebas operativas preliminares para confirmar la correcta integración eléctrica del sistema. Primero se realizó una prueba general de arranque activando la fuente de alimentación de 12 V y verificando si había cortocircuitos, sobrecalentamiento o caídas repentinas de voltaje.

Después de esto se realizaron pruebas individuales de los motores paso a paso NEMA 17 activándolos de forma independiente mediante el programa de control cargado en el Arduino. Se comprobó el sentido de giro, la respuesta a las señales STEP y DIR, la estabilidad del movimiento y la ausencia de vibraciones excesivas. La corriente de los controladores también se ajustó para evitar el sobrecalentamiento y garantizar un par suficiente durante el funcionamiento. Luego se probó el servomotor responsable del sistema de corte enviando señales PWM para controlar su desplazamiento angular, retorno a la posición original y sincronización con la secuencia programada. Posteriormente, se verificó la conexión entre el display Nextion y el Arduino mediante el envío y recepción de información a través del puerto de serie. Se validó que los datos introducidos en la interfaz, como la cantidad de vueltas y el tamaño del resorte, fueron entendidos adecuadamente por el sistema de control y se procesaron sin inconvenientes.

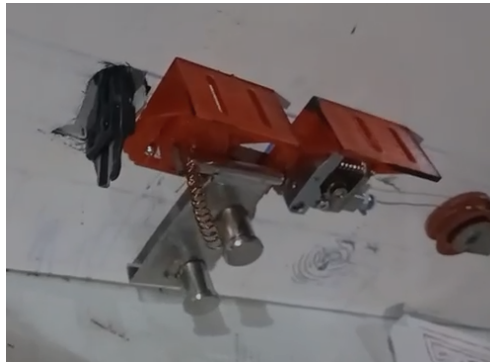


Figura 26. Resultado del resorte fabricado

## VII. RESULTADOS

Se realizó la validación integral del funcionamiento de la máquina mediante la verificación de las especificaciones técnicas del resorte fabricado, con el propósito de comprobar que los parámetros programados en el sistema de control se reflejen con precisión en el producto final[44]. Para ello, se fabricaron múltiples muestras bajo condiciones controladas, manteniendo constantes los valores de diámetro del alambre, diámetro exterior del resorte y número de espiras configurados en la pantalla Nextion.

### VII-A. Norma DIN 2096 aplicada al resorte:

El resorte helicoidal a compresión diseñado en este proyecto se rige por la norma DIN 2096, la cual establece las especificaciones de calidad para resortes helicoidales cilíndricos fabricados con alambre redondo.

Esta norma define los requisitos relacionados con el material, los procesos de fabricación, tratamientos térmicos, características mecánicas, resistencia a la fatiga y métodos de ensayo, garantizando un desempeño adecuado bajo cargas repetitivas.

La aplicación de la norma DIN 2096 asegura que el resorte cumpla con estándares internacionales de confiabilidad, durabilidad y seguridad, especialmente en sistemas mecánicos sometidos a esfuerzos dinámicos.

Por lo tanto, su adopción resulta adecuada para el resorte de compresión propuesto, fabricado en acero al carbono y diseñado para soportar cargas mecánicas dentro de un rango de deformación elástica controlado.

Tabla XIV  
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL RESORTE HELICOIDAL DE COMPRESIÓN SEGÚN DIN 2096

<b>Norma aplicada</b>	DIN 2096 — Establece los requisitos de calidad, fabricación y desempeño mecánico para resortes helicoidales cilíndricos de compresión fabricados con alambre redondo.
<b>Tipo de resorte</b>	Resorte helicoidal cilíndrico de compresión.
<b>Material</b>	Acero al carbono trefilado conforme a ASTM A510, adecuado para soportar cargas repetitivas y deformaciones elásticas sin falla estructural.
<b>Diámetro del alambre</b>	0.64 mm (calibre 22), seleccionado por su flexibilidad y resistencia a cargas medias.
<b>Diámetro exterior de la espira</b>	Entre 5 mm y 10 mm, influye directamente en la rigidez y capacidad de carga del resorte.
<b>Paso del resorte</b>	Entre 1 mm y 2 mm, determina la separación entre espiras y el comportamiento elástico del resorte.
<b>Tipo de carga</b>	Compresión axial con deformación dentro del rango elástico del material.
<b>Propiedades mecánicas</b>	Alta resistencia a la fatiga, buena elasticidad, límite elástico elevado y capacidad de recuperación de forma después de la deformación.
<b>Aplicación</b>	Uso en sistemas mecánicos donde se requiere almacenamiento y liberación controlada de energía mediante compresión.

Tabla XV  
 ESPECIFICACIONES DESEADAS DEL RESORTE (DISEÑO TEÓRICO)

Parámetro	Símbolo	Valor de diseño
Longitud libre	$L_0$	39 mm
Longitud de trabajo estimada	$L_c$	29 mm
Diámetro exterior de espira	$D_o$	7,1 mm
Diámetro del alambre	$d$	0,64 mm
Diámetro medio de espira	$D = D_o - d$	6,45 mm
Paso de espiras	$p$	2,8 mm
Número de espiras activas	$N_a$	8

Tabla XVI  
 MEDIDAS OBTENIDAS DEL RESORTE MEDIANTE CALIBRADOR

Parámetro	Símbolo	Valor obtenido
Longitud libre	$L_0$	36 mm
Longitud medida comprimida )	$L_c$	27 mm
Diámetro exterior de la espira	$D_o$	6,5 mm
Diámetro del alambre (calibre 22.)	$d$	0,64 mm
Diámetro medio de la espira	$D = D_o - d$	5,86 mm
Paso aproximado entre espiras	$p$	2,5 mm
Número de espiras	$N_a$	8

#### VII-A1. Cálculo de la constante elástica del resorte

La constante elástica de un resorte helicoidal de compresión se calcula mediante:

$$k = \frac{G d^4}{8 D^3 N_a}$$

#### Donde:

- $G$  = Módulo de rigidez del material (acero al carbono) =  $79,3 \times 10^9 Pa$
- $d$  = Diámetro del alambre (Tabla de mediciones) =  $0,64 mm$
- $D_o$  = Diámetro exterior del resorte (Tabla de mediciones) =  $6,5 mm$
- $D$  = Diámetro medio de la espira =  $D_o - d$
- $N_a$  = Número de espiras activas (Tabla de mediciones) = 8

#### Conversión

$$d = 0,64 mm = 0,64 \times 10^{-3} m$$

$$D_o = 6,5 mm$$

$$D = D_o - d = 6,5 - 0,64 = 5,86 \text{ mm} = 5,86 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$N_a = 8$$

**Sustituyendo en la ecuación:**

$$k = \frac{(79,3 \times 10^9) (0,64 \times 10^{-3})^4}{8 (5,86 \times 10^{-3})^3 (8)}$$

$$k = \frac{(79,3 \times 10^9) (1,677 \times 10^{-13})}{8 (2,01 \times 10^{-7}) (8)}$$

$$k = \frac{1,329 \times 10^{-2}}{1,286 \times 10^{-5}}$$

$$k \approx 1033 \text{ N/m}$$

**Conversión a unidades prácticas:**

$$k \approx 1,03 \text{ N/mm}$$

Por lo tanto, la constante del resorte fabricado es:

$$k \approx 1,03 \text{ N/mm}$$

#### VII-A2. Comparación de resultados

Con base en las especificaciones deseadas y las medidas obtenidas mediante calibrador, se evidencia que el resorte fabricado reproduce la geometría general del diseño, manteniendo constantes el diámetro del alambre  $d = 0,64 \text{ mm}$  y el número de espiras activas  $N_a = 8$  (error 0 %). Sin embargo, las dimensiones principales presentan desviaciones negativas: la longitud libre pasó de 39 mm a 36 mm (error  $\approx 7,7 \%$ ), la longitud comprimida de 29 mm a 27 mm (error  $\approx 6,9 \%$ ), el diámetro exterior de 7,1 mm a 6,5 mm (error  $\approx 8,5 \%$ ), el diámetro medio de 6,45 mm a 5,86 mm (error  $\approx 9,1 \%$ ) y el paso de 2,8 mm a 2,5 mm (error  $\approx 10,7 \%$ ). En conjunto, los errores dimensionales se mantienen alrededor de 6–11 %, lo que indica una fabricación cercana al objetivo, aunque con tendencia a obtener un resorte más cerrado y de menor diámetro.

Esta reducción del diámetro medio impacta directamente en la rigidez del elemento elástico. Al calcular la constante del resorte con  $G = 79,3 \text{ GPa}$ ,  $d = 0,64 \text{ mm}$ ,  $D = 5,86 \text{ mm}$  y  $N_a = 8$ , se obtiene  $k \approx 1033 \text{ N/m}$  (1,03 N/mm), valor mayor al del diseño teórico (aprox.  $k \approx 775 \text{ N/m}$ , 0,775 N/mm), representando un incremento cercano al 33 %. Por tanto, aunque la validación dimensional es aceptable dentro de márgenes moderados, la validación de resistencia evidencia que el resorte fabricado resulta más rígido de lo previsto, principalmente por la disminución del diámetro medio. Para acercarse al diseño original se recomienda ajustar el proceso de fabricación incrementando  $D$  o aumentando  $N_a$ , con el fin de reducir la constante elástica.

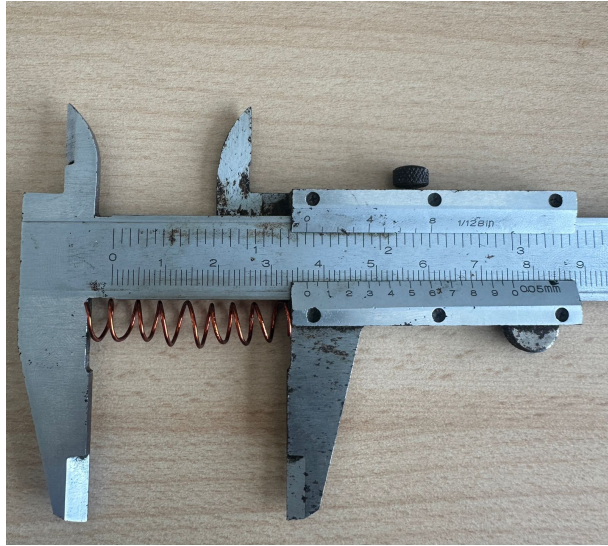


Figura 27. Medición del resorte fabricado



Figura 28. Medición de resorte fabricado



## IX. PRESUPUESTO

Nombre del elemento	Descripción	Cantidad	Valor total
Arduino uno	tarjeta electrónica	1	25\$
Motor paso a paso NEMA 17	Motor de posicionamiento	2	12\$
Controlador de motor Driver A4988	Controlador de motor paso a paso	2	4\$
Alimentador de filamento	Sistema de guía	1	10\$
Piezas impresas 3D	Estructura y soportes	5	40\$
Rodamientos	Reducción de fricción	5	10\$
Tuercas	10MM	5	5\$
Pernos	10mm	5	5\$
Alambre	Número 22	1	10\$
Fuente de alimentación	12V 5A	1	20\$
Protoboard	Conexiones de prueba	1	5\$
cables jumper	1 set	1	5\$
Caja de control metálica	soporte para control automatico	1	25\$
Base	Soporte estructural de la maqueta	1	3\$
NX4827T043 HMI	Mostrar paso, diámetro, longitud.	1	85\$
Módulo I2C	Adaptador	1	2\$
<b>SUBTOTAL MAQUETA</b>			<b>221\$</b>
Mano de obra		1	100\$
Servo motor	Mostrar paso, diámetro, longitud.	1	9\$
<b>SUBTOTAL COSTOS LOGÍSTICOS</b>			<b>80\$</b>
<b>TOTAL(MAQUETA + COSTOS LOGÍSTICOS)</b>			<b>596\$</b>

## X. CONCLUSIONES

Se logró crear y poner en funcionamiento un modelo operativo de una máquina automática para el doblado de alambre que puede producir resortes helicoidales de compresión utilizando alambre de acero de calibre 22, cumpliendo así con el objetivo central del proyecto. Esta máquina permite ajustar parámetros como longitud y paso a través de una interfaz de usuario HMI, evidenciando la posibilidad de automatización en procesos que normalmente se realizan de manera manual.

La combinación de sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos facilitó un proceso de fabricación que es más preciso, uniforme y repetible, lo que disminuyó notablemente la dependencia de la destreza del operario y redujo errores en las dimensiones de los resortes producidos.

La implementación de motores paso a paso para el movimiento y conformado del alambre, junto a un servomotor para el corte, permitió gestionar el movimiento de forma adecuada, logrando una perfecta sincronización entre la alimentación, el conformado y el corte del resorte.

El análisis estructural de los componentes y su dimensionamiento aseguraron que la máquina funcione dentro de rangos seguros de esfuerzos y deformaciones, lo que valida la estabilidad del prototipo durante su operación.

Las pruebas realizadas comprobaron que los resortes producidos cumplen con los parámetros geométricos establecidos, mostrando avances en repetibilidad, calidad y velocidad de producción en comparación con los métodos manuales.

El desarrollo de este prototipo evidencia que es viable implementar soluciones automatizadas de bajo costo dirigidas a pequeños talleres industriales, ayudando a mejorar la productividad y la competitividad en el ámbito local.

## XI. RECOMENDACIONES

Se recomienda considerar la adquisición de componentes electrónicos y mecánicos adicionales (repuestos), tales como drivers, motores, fuentes de alimentación, y elementos de protección, con el fin de garantizar la continuidad operativa del sistema ante posibles fallas por sobrecarga, desgaste, cortocircuitos o daños eléctricos inesperados. Esto permitirá reducir tiempos de parada y facilitar labores de mantenimiento correctivo durante la operación del equipo.

En estudios futuros, se sugiere ampliar la gama de calibres de alambre que la máquina puede manejar, facilitando su uso en más sectores industriales.

Llevar a cabo pruebas mecánicas de fatiga y carga en los resortes producidos para confirmar su desempeño en aplicaciones reales y certificar su utilización industrial.

## REFERENCIAS

- [1] S. Miller, *Understanding Coil Spring Suspension Systems in Vehicles*, Accedido: 10-06-2025. dirección: <https://springs-auto.com/blog/understanding-coil-spring-suspension-systems-in-vehicles/>.
- [2] K. Spring, «Ingeniería de control moderna,» 2008.
- [3] E. Quiñones, «Resortes en Sistemás Mecánicas,» 2020.
- [4] J. Thompson, «Dynamic Optimization in Spring Design,» *International Journal of Mechanical Design*, 2009.
- [5] D. J. A. Dávalos, «Comportamiento mecánico de resortes de tracción fabricados en Ecuador,» 2012.
- [6] T. M. y D. Abdul Budan, «MANUFACTURING AND EXPERIMENTATION OF COMPOSITE HELICAL SPRINGS FOR AUTOMOTIVE SUSPENSION,» 2012.
- [7] J. Park, «Repeatability Issues in Manual Spring Manufacturing,» *Manufacturing Engineering Review*, 2011.
- [8] E. C. Nieto, «Manufactura y automatización,» 2006.
- [9] A. González, «Brechas tecnológicas en la manufactura local,» *Tecnología y Desarrollo Productivo*, 2020.
- [10] autolink, *¿Cómo funciona una máquina para fabricar resortes de alambre?* Accedido: 10-06-2025. dirección: <https://www.autolinkcnc.com/es/blog/como-funciona-una-maquina-para-fabricar-resortes-de-alambre/>.
- [11] A. A. F. D. Mohamed Taktak Khalifa Omheni y M. Haddar, «Dynamic optimization design of a cylindrical helical spring,» 2014.
- [12] M. Navarro, «Diseño estructural de resortes en maquinaria pesada,» 2013.
- [13] C. Moreno, «Automatización de procesos industriales con PLC,» *Revista Latinoamericana de Ingeniería*, 2015.
- [14] J. Ramírez, «Resortes de precisión en vehículos modernos,» 2010.
- [15] rehisaresortes.mx, *Importancia de los resortes en la industria agrícola mexicana*, Accedido: 10-06-2025. dirección: <https://rehisaresortes.mx/blog/resortes-en-industria-agricola/>.
- [16] A. Méndez, «Automatización en la fabricación de componentes metálicos,» 2016.
- [17] R. Carrillo, «Optimización de procesos de doblado en resortes industriales,» 2017.
- [18] rpk, *Qué es un resorte y cómo impulsa la innovación en la industria*, Accedido: 10-06-2025. dirección: <https://rpk-global.com/es/que-es-un-resorte-y-como-impulsa-la-innovacion-en-la-industria>.
- [19] D. López, «Ensayos mecánicos aplicados al diseño de resortes,» 2018.
- [20] L. Flores, «Aplicaciones industriales de los resortes helicoidales,» 2015.
- [21] R. Norton, *Diseño de Máquinas. Un Enfoque Integrado*, 4ta. Pearson.
- [22] L. C. Anchondo y L. C. A, *Tecnología Mecánica I*. Editorial Limusa, 2002.
- [23] D. G. M. Supo y B. N. Ayala, «Diseño de un sistema automatizado para doblar estribos de construcción,» 2019.
- [24] J. Malekani, B. Schmutz, P. Gudimetla, Y. Gu, M. Schuetz y P. K. D. V. Yarlagaadda, «Studies on bending limitations for the optimal fit of orthopaedic bone plates,» *Advanced Materials Research*, vol. 602-604, págs. 1181-1185, 2013.
- [25] R. Budynas y K. Nisbett, *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*, 9.<sup>a</sup> ed. McGraw-Hill Interamericana, 2012.
- [26] S. Shapin, «Who was Robert Hooke?,» 1989.
- [27] A. S. P. Lin, C. M. Fechter, M. Magill, F. Wipf, T. Moore y R. E. Guldberg, «The effect of contouring on fatigue resistance of three types of fracture fixation plates,» *Journal of Orthopaedic Surgery*, vol. 11, 2016.
- [28] J. A. Barcat, «Robert Hooke (1635-1703),» *Medicina (Buenos Aires)*, vol. 63, n.º 6, págs. 753-756, 2003.

- [29] A. Sanger, «“LAS FUERZAS Y SU MEDICIÓN”: LEY DE HOOKE,» *Provincia de Santa Fe, Argentina: Malvinas Argentinas*, 2005.
- [30] L. C. Cuervo Daza, «Unidad didáctica para la enseñanza del concepto de fuerza en resortes reales más allá de la Ley de Hooke,» 2019.
- [31] Y. L. Gutiérrez Correa, «Diseño e implementación de un laboratorio remoto para estudiar el fenómeno físico de la ley hooke utilizando un sistema masa resorte,» 2022.
- [32] A. L. Cozzarín, E. Devece, L. E. Feloy, P. L. Torroba y M. d. I. M. Trípoli, «Ley de Hooke: un punto de encuentro entre Matemática A, Física I y Materiales,» en *VII Jornadas de Investigación, Transferencia y Extensión de la Facultad de Ingeniería (La Plata, 25 al 27 de abril de 2023)*, 2023.
- [33] G. Santiago, S. de León, A. Avalos y S. Marsicovetere, «Modelado de un sistema masa resorte acoplado con dos masas y tres resortes horizontales,»
- [34] A. M. Patiño, «Recurso Didáctico que mide la Constante Elástica del Resorte integrando la tecnología del Smartphone en el marco de la Teoría del Oscilador Armónico Simple,»
- [35] M. A. M. CASTILLO, J. E. CÓRDOBA y H. M. CASTILLO, «Resortes concepto de función y modelación,» *Experiencias significativas en educación matemática*, pág. 111,
- [36] D. Fernandez Caballero, «Modelización generalizada de resortes espirales a torsión. Aplicación en almacenamiento de energía.,» Tesis doct., Industriales, 2012.
- [37] J. JASSO, O. PÉREZ, L. PÉREZ y B. SÁENZ, «Aplicación de la metodología seis sigma para disminuir la variación de medición de la carga del resorte de fricción,» *línea*], En: *Ingeniería de procesos: Casos prácticos. Dr. Iván Juan Carlos Pérez Olgúñ. Director de Obra, Ed. Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez, Primera ed., México*, 2014.
- [38] G. García González, «Componente para acelerar el diseño de resortes helicoidales,» B.S. thesis, Universidad de las Ciencias Informáticas. Facultad 4, 2016.
- [39] J. Pelayo Carvajal, «Diseño técnico y análisis económico de un freno electromagnético de resorte,» 2024.
- [40] B. Schmutz, M. E. Wullschleger, H. Kim, H. Noser y M. A. Schütz, «Fit assessment of anatomic plates for the distal medial tibia,» *Journal of Orthopaedic Trauma*, vol. 22, n.º 4, págs. 258-263, 2008.
- [41] R.-M. Lin, R.-S. Lee e Y.-M. Huang, *Adjustable rod bending device for a corrective spinal rod which is used in a surgical operation*, Patent US6035691A, 2000.
- [42] I. S.A., *Manual de Soldadura INDURA*, 2018.
- [43] I. Group, *Tablas Técnicas de Acero Inoxidable*, Accedido: 03-06-2018, 2012.
- [44] *DIN 2093 Disc Springs Standard*, Disponible en: <https://pichgostaran.com/wp-content/uploads/2024/04/DIN-2093.pdf>, 2024.

ANEXO A

COMPONENTES ELÉCTRICOS Y MECANICOS

DataSheet de productos electrónicos

Arduino UNO R3



Specifications

Microcontroller	Atmega238
Operating Voltage	7-12 V recommended, 6-20 V limits
Digital I/O pins	14 (of which 6 PWM)
Analog input pins	6
DC current per I/O pin	40 mA
DC current for 3.3V pin	50 mA
Flash memory	32 KB
USB to Serial converter	Atmega16U2
UART	1
3V	available

Layout/connections Arduino UNO R3

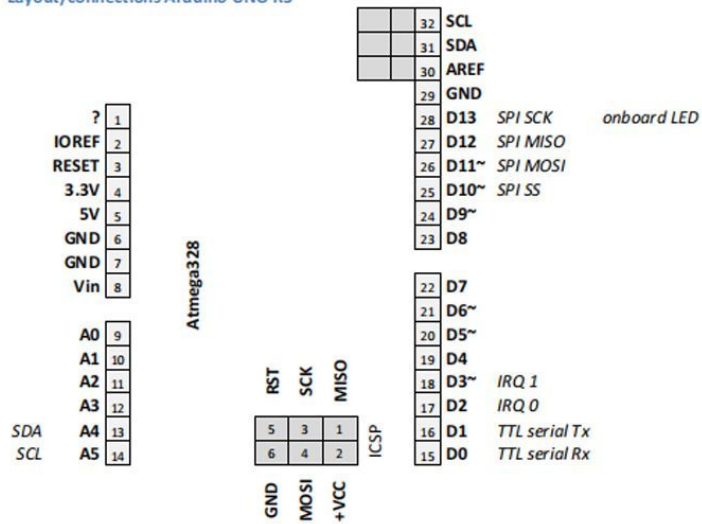


Figura 29. Características eléctricas de Arduino UNO



**AR-NEMA17 MOTOR PASO A PASO 5KGCM 1.8° 47MM**  
**1.8° Nema 17, Size 42mm High Torque Hybrid Stepping Motor**

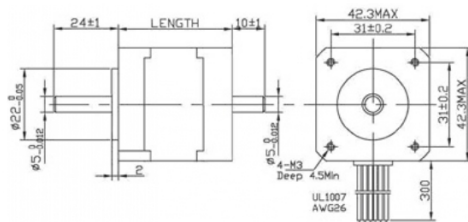
**Technique Parameter**

Item	Specification
Step Angle Accuracy	±5% (full step, no load)
Resistance Accuracy	±10%
Inductance Accuracy	±20%
Temperature Rise	80°CMax. (rated current, 2 phase on)
Ambient Temperature	-10°C-+50°C
Insulation Resistance	100MQMin. 500VDC
Dielectric Strength	500VAC for one minute
Shaft Radial Play	0.06Max (450 g-load)
Shaft Axial Play	0.08Max (450 g-load)

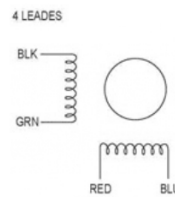
**Technique Specification**

Model No.		Rated Voltage	Current /Phase	Resistance /Phase	Inductance /Phase	Holding Torque	#Of Leads	Rotor Inertia	Weight	Length
Single Shaft	Double Shaft	V	A	Ω	mH	Oz-in-g-cm		g-cm2	Kg	mm
SM42HT47-1684A	SM42HT47-1684B	2.8	1.68	1.65	2.8	62 4400	4	68	0.35	47

**Dimensions**



**Wiring Diagram**



[www.sycelectronica.com.ar](http://www.sycelectronica.com.ar)

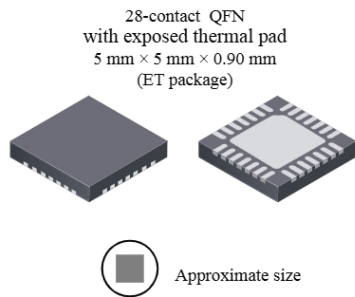
Figura 30. Características eléctricas del motor NEMA17

## DMOS Microstepping Driver with Translator And Overcurrent Protection

**Features and Benefits**

- Low  $R_{DS(ON)}$  outputs
- Automatic current decay mode detection/selection
- Mixed and Slow current decay modes
- Synchronous rectification for low power dissipation
- Internal UVLO
- Crossover-current protection
- 3.3 and 5 V compatible logic supply
- Thermal shutdown circuitry
- Short-to-ground protection
- Shorted load protection
- Five selectable step modes: full,  $1/2$ ,  $1/4$ ,  $1/8$ , and  $1/16$

**Package:**



**Description**

The A4988 is a complete microstepping motor driver with built-in translator for easy operation. It is designed to operate bipolar stepper motors in full-, half-, quarter-, eighth-, and sixteenth-step modes, with an output drive capacity of up to 35 V and  $\pm 2$  A. The A4988 includes a fixed off-time current regulator which has the ability to operate in Slow or Mixed decay modes.

The translator is the key to the easy implementation of the A4988. Simply inputting one pulse on the STEP input drives the motor one microstep. There are no phase sequence tables, high frequency control lines, or complex interfaces to program. The A4988 interface is an ideal fit for applications where a complex microprocessor is unavailable or is overburdened.

During stepping operation, the chopping control in the A4988 automatically selects the current decay mode, Slow or Mixed. In Mixed decay mode, the device is set initially to a fast decay for a proportion of the fixed off-time, then to a slow decay for the remainder of the off-time. Mixed decay current control results in reduced audible motor noise, increased step accuracy, and reduced power dissipation.

*Continued on the next page...*

**Typical Application Diagram**

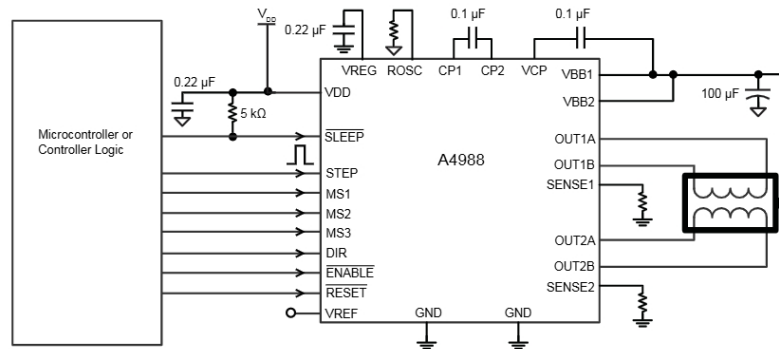


Figura 31. Características eléctricas de drive A4988

## Nextion 4.3" Intelligent Series HMI Touch Display

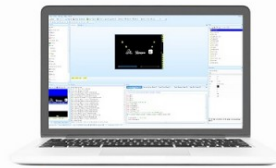
Nextion is a Human Machine Interface (HMI) solution combining an onboard processor and memory touch display with Nextion Editor software for HMI GUI project development.



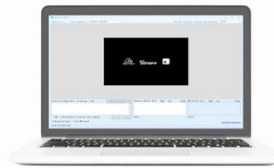
### NX4827P043-011R/C Hardware Feature:

- 4.3" LCD-TFT Capacitive/Resistive HMI touch display module
- 480 x 272 screen resolution
- RGB 65K true-to-life colours
- Onboard 200MHz MCU
- 512 KB SRAM
- 128 MB Flash memory
- XH2.54 4 Pins (+5V, TX, RX, GND) TTL serial interface
- Built-in 1024 Byte EEPROM, RTC and 8 GPIOs

## Create A Simple Test



- 1 Develop the HMI project via Nextion Editor



- 2 Debug Simulation



- 3 Upload the HMI project via SD Card / TTL serial



- 4 Power-On

### In The Box



NX4827P043-011R/C HMI DISPLAY\*1



XH2.54 4P Wire\*1



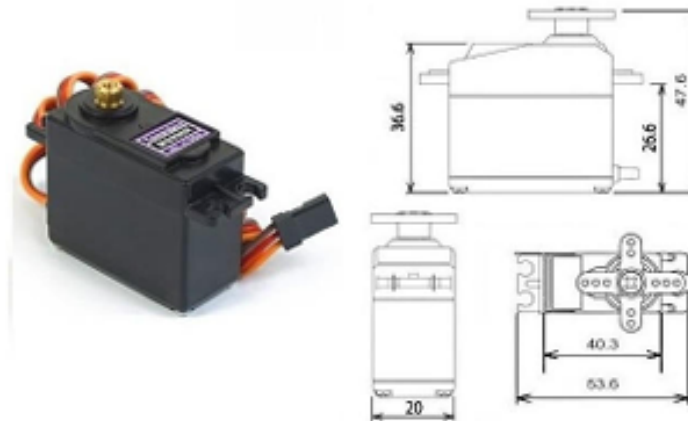
Power Supply Test Board\*1

### Specification

Model Name	NX4827P043-011R/C
Display Size	4.3"
Resolution	480*272
Touch Panel	RTP/CTP
MCU	200 MHz
Flash	128 MB
SRAM	512KB
EEPROM	1024 Byte
GPIOs	8
RTC	Yes

Figura 32. Características de funcionamiento NX4827T043

## MG996R High Torque Metal Gear Dual Ball Bearing Servo



This High-Torque MG996R Digital Servo features metal gearing resulting in extra high 10kg stalling torque in a tiny package. The MG996R is essentially an upgraded version of the famous MG995 servo, and features upgraded shock-proofing and a redesigned PCB and IC control system that make it much more accurate than its predecessor. The gearing and motor have also been upgraded to improve dead bandwidth and centering. The unit comes complete with 30cm wire and 3 pin 'S' type female header connector that fits most receivers, including Futaba, JR, GWS, Cirrus, Blue Bird, Blue Arrow, Corona, Berg, Spektrum and Hitec.

This high-torque standard servo can rotate approximately 120 degrees (60 in each direction). You can use any servo code, hardware or library to control these servos, so it's great for beginners who want to make stuff move without building a motor controller with feedback & gear box, especially since it will fit in small places. The MG996R Metal Gear Servo also comes with a selection of arms and hardware to get you set up nice and fast!

### Specifications

- Weight: 55 g
- Dimension: 40.7 x 19.7 x 42.9 mm approx.
- Stall torque: 9.4 kgf·cm (4.8 V), 11 kgf·cm (6 V)
- Operating speed: 0.17 s/60° (4.8 V), 0.14 s/60° (6 V)
- Operating voltage: 4.8 V a 7.2 V
- Running Current 500 mA – 900 mA (6V)
- Stall Current 2.5 A (6V)
- Dead band width: 5 µs
- Stable and shock proof double ball bearing design
- Temperature range: 0 °C – 55 °C

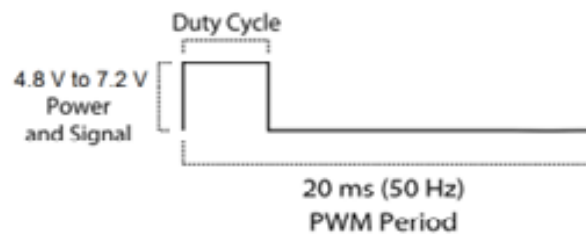
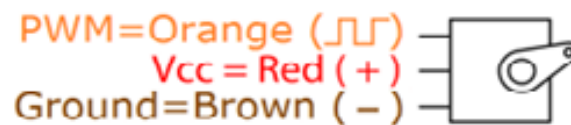


Figura 33. Características eléctricas de MG996R



<b>Marca</b>	INS
<b>Conectores</b>	<p>1 ATX de 4 pines.</p> <p>2 molex de 4 pines.</p> <p>1 ATX de 24 pines.</p> <p>2 puertos SATA.</p>
<b>Características</b>	<p>Cable de alimentación.</p> <p>Frecuencia de 50-60 Hz.</p> <p>Salida de poder 850 w.</p> <p>Corriente de uso 4-8 A</p> <p>Voltaje de 110-220 V.</p>

Figura 34. Especificaciones de Fuente de Poder INS ATX P4 850W PC 110V / 220V

### Luz Piloto Led 30mm 220v Verde



#### Características principales

Marca	Genérica
Modelo	Pack luz verde

#### Otros

Tensión máxima CA	220V
Tensión máxima CC	220V
Frecuencia máxima	50 MHz
Cantidad de baterías	0
Tipo de pantalla	LED
Con true RMS	No
Con testeo de continuidad	No
Con testeo de diodo	No

Figura 35. Características de Luz Piloto Led Verde

### Luz Piloto Led 30mm 220v Rojo



#### Características principales

Marca	Genérica
Modelo	Pack luz rojo

#### Otros

Tensión máxima CA	220V
Tensión máxima CC	220V
Frecuencia máxima	50 MHz
Cantidad de baterías	0
Tipo de pantalla	LED
Con true RMS	No
Con testeo de continuidad	No
Con testeo de diodo	No

Figura 36. Características de Luz Piloto Led rojo



## Serie NP2

### 1. General

Valores nominales eléctricos: CA50/60Hz, 380Vca/220Vcc;  
Grado de protección: IP40  
Normativa: IEC/EN60947-5-1

### 2. Condiciones de funcionamiento

- 2.1 La temperatura ambiente deberá hallarse entre -5°C~+40°C y la temperatura media a lo largo de 24 horas no deberá superar los +35°C.
- 2.2 Altitud: ≤2000m.
- 2.3 Condiciones atmosféricas: La humedad relativa no deberá superar el 50% cuando la temperatura alcance la máxima de +40°C. No obstante, se permitirá una humedad relativa mucho más elevada en condiciones de baja temperatura, por ejemplo, cuando la temperatura alcance los +20°C, la humedad relativa podrá ser de hasta el 90%. Deberán tomarse las medidas necesarias para la condensación que podría aparecer como resultado de los cambios de temperatura.
- 2.4 Grado de contaminación: 3
- 2.5 Categoría de sobretensión: II
- 2.6 El par de apriete es de 0.8~1.2N·m para los terminales del cable. La sección de la conexión del cable es de 0.5~2.5mm<sup>2</sup>, y deberá emplearse un conductor de 8mm de largo.



### 3. Datos técnicos

- 3.1 Tensión nominal de aislamiento Ui: 415V
- 3.2 Corriente térmica convencional Ith: 10A

Tensión nominal de funcionamiento Ue (V)	Corriente nominal de funcionamiento Ie (A)	
	AC-15	DC-13
415	1.9	-
240	3	0.27
125	-	0.55

### 3.3 Durabilidad

Vida eléctrica:

Tipo cabeza rasante y tipo cabeza de seta: CA 5x10<sup>7</sup> maniobras, CC 2x10<sup>7</sup> maniobras; otros tipos: 1x10<sup>6</sup> maniobras;  
Vida mecánica: tipo cabeza rasante y tipo cabeza de seta: 1 millón de maniobras, pulsador luminoso: 3x10<sup>7</sup> maniobras; otros tipos: 1x10<sup>7</sup> maniobras.

- 3.4 Dispositivo de protección contra cortocircuitos: NT00-16 16A

### 4. Datos de las bombillas de los botones luminosos

Parámetros básicos	Tipo directo
	Indicador LED
Corriente nominal de funcionamiento Ie	Ie ≤ 20mA
Tensión nominal de funcionamiento (V)	CA/CC 6, 12, 24, 48, 110, 230
Corriente nominal de funcionamiento de fuente de alimentación Ie	Ie ≤ 20mA
Tensión nominal de funcionamiento (V)	CA/CC 230, 380

### 5. Características

- 5.1 El botón de la parte delantera no se desmonta gracias al componente anti-movimiento del soporte metálico.
- 5.2 La fiabilidad del contacto queda garantizada gracias a las funciones duales de conmutación del circuito y de auto-limpieza de todos los puntos de contacto;
- 5.3 Los conjuntos de contactos NC y NA son independientes entre sí, y pueden combinarse libremente para su sustitución;
- 5.4 Los terminales de conexión protegidos hacen que su funcionamiento resulte seguro y fiable. De aspecto elegante gracias a la inclusión de piezas de funcionamiento y bases del pulsador de tipo metálico en aleaciones de zinc y de aluminio.

### 6. Serie NP2

NP2-BA [color]	Modelo	Color	1	2
	NP2-BA11	○	1	--
	NP2-BA21	●	1	--
	NP2-BA31	●	1	--
	NP2-BA41	●	1	--
	NP2-BA51	●	1	--
	NP2-BA61	●	1	--
	NP2-BA12	○	--	1
	NP2-BA22	●	--	1
	NP2-BA32	●	--	1
	NP2-BA42	●	--	1
	NP2-BA52	●	--	1
	NP2-BA62	●	--	1



Figura 37. Características de Pulsador Paro de Emergencia - Tipo Hongo

## 6200-2RS Series Bearings Main Data

Bearing No.	Boundary dimensions			
	d	D	B	rs min
6200	10	30	9	0.6
6201	12	32	10	0.6
6202	15	35	11	0.6
6203	17	40	12	0.6
6204	20	47	14	1
6205	25	52	15	1
6206	30	62	16	1
6207	35	72	17	1.1
6208	40	80	18	1.1
6209	45	85	19	1.1
6210	50	90	20	1.1
6211	55	100	21	1.5
6212	60	110	22	1.5
6213	65	120	23	1.5
6214	70	125	24	1.5
6215	75	130	25	1.5
6216	80	140	26	2
6217	85	150	28	2
6218	90	160	30	2
6219	95	170	32	2.1
6220	100	180	34	2.1
6221	105	190	36	2.1
6222	110	200	38	2.1
6224	120	215	40	2.1
6226	130	230	40	3
6228	140	250	42	3
6230	150	270	45	3
6232	160	290	48	3
6234	170	310	52	4
6236	180	320	52	4
6238	190	340	55	4
6240	200	360	58	4
6244	220	400	65	4

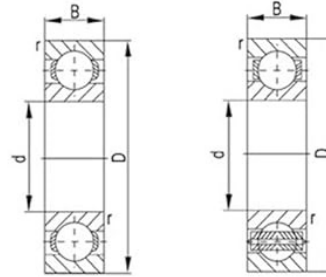









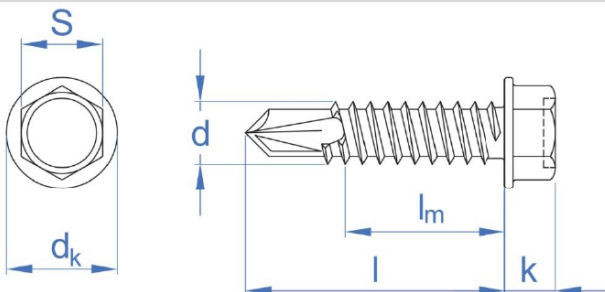


Figura 38. Ficha técnica de la serie de rodamientos 6200-2RS. Se destaca el modelo 6203 utilizado en el diseño

## 2. DATOS DE INSTALACIÓN

### 2.1 - ABE – DIN 7504-K

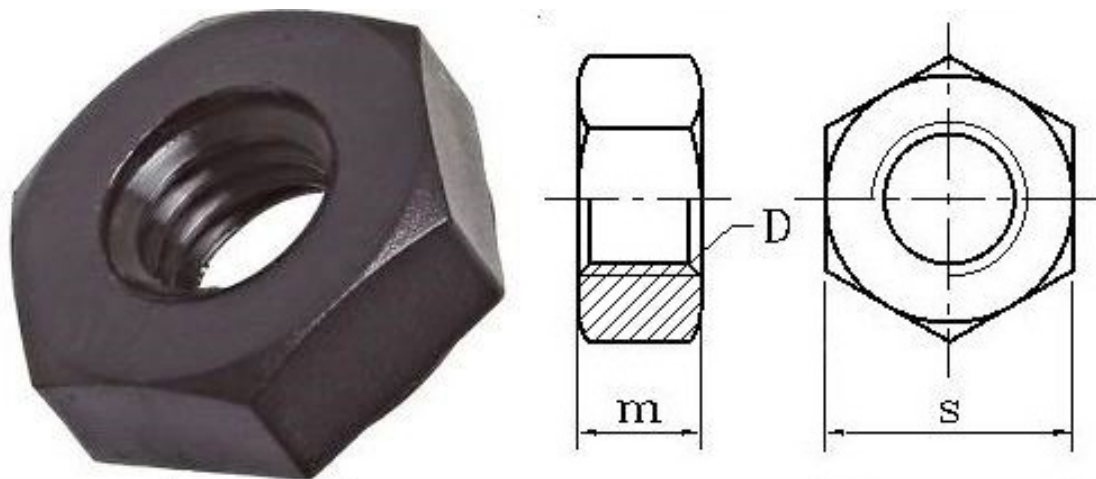
### Tornillo autotaladrante de cabeza hexagonal con arandela estampada

		<b>Propiedades</b>				
		 <p>Acero</p>	 <p>Recubrimiento cincado</p>	 <p>Disponible en diferentes colores</p>		
<b>Material base</b>		<b>Propiedades</b>				
 <p>Ensamblaje chapa</p>	 <p>Perfiles chapa</p>	 <p>Hexagonal con arandela estampada</p>	 <p>Hexagonal con arandela estampada</p>	 <p>Punta broca</p>		
<b>Datos de Instalación</b>						
<b>CODIGO</b>		<b>ST 3.5</b>	<b>ST 4.2</b>	<b>ST 4.8</b>	<b>ST 5.5</b>	<b>ST 6.3</b>
d <sub>k</sub> : diám. arandela cabeza	[mm]	8	8.5	10	10.5	12.6
k: espesor cabeza	[mm]	3.3	4.1	4.3	4.3	6.3
s: llave fija	[mm]	5.5	7	8	8	10
d: diámetro exterior rosca	[mm]	3.53	4.22	4.80	5.46	6.25
p: paso rosca	[mm]	1.3	1.4	1.6	1.8	1.8
l: longitudes	[mm]	9.5 - 32	13 - 38	13 - 38	19 - 75	19 - 240
Código punta de instalación (boca magnética hexagonal)		BOCA055	BOCA007	BOCA008	BOCA008	BOCA010
Capacidad de taladrado	[mm]	0.70 - 2.25	1.75 - 3.00	1.75 - 4.40	1.75 - 5.25	2.50 - 6.00
<b>PLANO</b>						
						

- Acabado cincado.
- Uso general en uniones chapa-chapa.
- Versiones con arandela EPDM montada para cierre estanco en fachadas y cubiertas (consultar Ficha Técnica ARVUL).



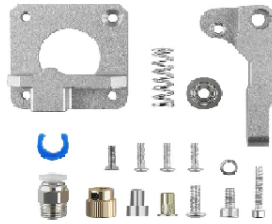
Figura 39. Ficha técnica de Tornillo cincado autotaladrante cabeza hexagonal Index 4,8 x 25 ABE4825 EAN 8423533190253



D	P	m		S	
		max	min	max	min
M1	0.25	0.8	0.55	2.5	2.4
M1.2	0.25	1	0.75	3	2.9
M1.4	0.3	1.2	0.95	3	2.9
M1.6	0.35	1.3	1.05	3.2	3.02
M1.7	0.35	1.4	1.15	3.5	3.38
M2	0.4	1.6	1.35	4	3.82
M2.3	0.45	1.8	1.55	4.5	4.32
M2.5	0.45	2	1.75	5	4.82
M2.6	0.45	2	2.15	5	4.82
M3	0.5	2.4	2.55	5.5	5.32
M3.5	0.6	2.8	2.9	6	5.82
M4	0.7	3.2	3.7	7	6.78
M5	0.8	4	3.7	8	7.78
M6	1	5	4.7	10	9.78
M7	1	5.5	5.2	11	10.73
M8	1/1.25	6.5	6.14	13	12.73

Figura 40. Ficha técnica de tuerca

Kit de alimentación de extrusor MK8 de aluminio mejorado for impresora 3D Ender 3/3 Pro/3 V2, Ender 5/5 Pro/5 Plus, CR-10/10S(Upgrade Gray Right)



**Descripción del producto**

Un excelente accesorio de impresora 3D con una excelente experiencia de usuario. Si tiene alguna pregunta, no dude en ponerse en contacto con nosotros.  
 Nota: Extrusor mejorado con ajuste de resorte, que no está disponible en la versión normal.  
 Las fotos son solo de referencia, puede haber alguna diferencia de color.  
 Nombre del producto:  
 Actualización del extrusor MK8  
 Color: Rojo / plata  
 Para: CR-7/CR-8/ CR-10/CR-10S  
 Filamento: 1,75 mm  
 Este extrusor MK8 modificado tiene un tubo guía de filamento, todos los tornillos y una unidad de repuesto.  
 Engranaje y conexión de tubo Bowden mejorada for la impresora 3D CR-10. Nuestro diseño proporciona...  
 Soporte completo de flexibles desde los extremos de entrada y salida. Hemos reducido el...  
 El precio y la complejidad de la impresión de flexibles. También permitirá imprimir más rápido con  
 Calidad sostenida y sin riesgo de dañar el filamento.  
 Superioridad:  
 1. Alimentación del controlador de aleación de aluminio original for CR-10/CR-10S/CR-8/CR-7, es estable y duradera.  
 2. Aleación de aluminio de metal completo, bloque de aluminio de bricolaje, necesita ensamblarlo usted mismo  
 3. Alta calidad  
 4. Con una presión más fuerte, empuja el filamento hacia la boquilla de la impresora.

**Información del producto**

**Especificaciones técnicas**

Fabricante	YHNNH
Número de pieza	YHNNH
Tamaño	One Size
Color	Upgrade Gray Right
Número de unidades en el paquete	1
¿Se necesitan baterías?	No

**Información adicional**

Dimensiones del paquete	1 x 1 x 1 cm; 50 g
Número de modelo del producto	YHNNH
ASIN	B0FPFCZVDP
Producto en Amazon.com.mx desde	2 septiembre 2025

Figura 41. Ficha técnica de alimentador metálico extrusor mk8 cr-7 cr-8 cr-10 ender 3 izquierdo

## Detalles del artículo

- Producto de importación;
- Mango ergonómico y antideslizante: el mango de dos colores hecho de PP + TPR tiene un diseño ergonómico y los cortadores de alambre brindan un agarre cómodo
- Almacenamiento conveniente: Diseñado con un cierre para un fácil almacenamiento y portabilidad, las tijeras de alambre que ahorran mano de obra garantizan
- Construcción reforzada: Tanto la parte delantera como la trasera de los alicates para cortar barras de acero están reforzadas con remaches de alta resistencia
- Material de primera : fabricado con materiales de alta cuidadosamente seleccionados y sometido a un proceso de enfriamiento de alta frecuencia,
- Diseño antipandeo de la hoja: equipado con un tornillo antipandeo de la hoja, alicates de corte vigoroso que permiten una apertura mínima ajustable para

Producto de importación No hay factura disponible Material: Acero Rango de corte: alambre de acero de 1,6 mm/0,06 pulgadas, alambre de hierro de 2,6 mm/0,10 pulgadas, cable de acero de 2,9 mm/0,12 pulgadas con revestimiento

### Especificaciones

#### Pais de origen - Textiles

Importado

#### Género

Unisex

#### Pais de Origen

CN - China

#### Contiene sustancias químicas

No

#### Grupo de Edad

Todas las Edades

#### Peso del Producto Ensamblado

0,34 kg

#### Contenido del Empaque

1 tijeras para romper cables.

#### Contenido del Empaque

1 tijeras para romper cables.

#### Longitud del Producto Ensamblado

25 cm

#### Ubicaciones recomendadas

Interior, Al aire libre

#### Características Adicionales

Tijeras para romper cables, Alicates para cortar barras de acero

#### Condiciones

Nuevo

#### Material

Acero

#### Ancho del Producto Ensamblado

10 cm

#### Gama Color

Multicolor

#### Color

Multicolor

#### Tipo de Sierpe

Clavo

#### Número de Modelo

DD40615

#### Altura del Producto Ensamblado

5 cm

#### Marca



Figura 42. Características de alicate

# General Purpose Capacitors

## GPR Series



### Features

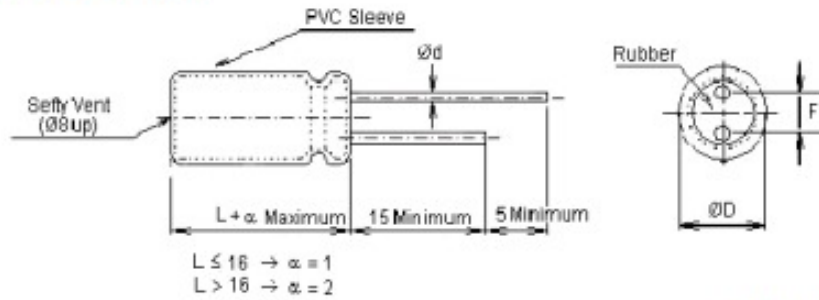
- Wide CV value range for general purpose
- Safely vent construction products, GPR series are guaranteed 2,000 hours at 85°C

### Specifications

Item	Performance																								
Operating Temperature Range	-40°C to +85°C																								
Rated Working Voltage Range	10 to 100V DC																								
Nominal Capacitance Range	0.1 to 22,000µF																								
Capacitance Tolerance	± 20% (at +20°C, 120 Hz)																								
Leakage Current	$I = 0.01CV$ or 3 (µA) Max. Which ever is greater after 3 mins. I : Leakage Current(µA) C : Rated Capacitance(µF) V : Working Voltage(v)																								
Dissipation Factor (tan δ) (120Hz \ +20°C)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Working voltage (V)</th> <th>10</th> <th>16</th> <th>25</th> <th>35</th> <th>50</th> <th>63</th> <th>100</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>tan δ Max.</td> <td>0.2</td> <td>0.17</td> <td>0.15</td> <td>0.12</td> <td>0.1</td> <td>0.09</td> <td>0.08</td> </tr> </tbody> </table> Add 0.02 per 1,000 µF for more than 1,000 µF	Working voltage (V)	10	16	25	35	50	63	100	tan δ Max.	0.2	0.17	0.15	0.12	0.1	0.09	0.08								
Working voltage (V)	10	16	25	35	50	63	100																		
tan δ Max.	0.2	0.17	0.15	0.12	0.1	0.09	0.08																		
Ripple Current	Refer to standard products table (120Hz, +85°C) Correction factor for frequency. <table border="1"> <thead> <tr> <th>Frequency (Hz)</th> <th>50 / 60</th> <th>120</th> <th>1 K</th> <th>10 K</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Correction Factor (Multiplier)</td> <td>0.7</td> <td>1</td> <td>1.3</td> <td>1.7</td> </tr> </tbody> </table>	Frequency (Hz)	50 / 60	120	1 K	10 K	Correction Factor (Multiplier)	0.7	1	1.3	1.7														
Frequency (Hz)	50 / 60	120	1 K	10 K																					
Correction Factor (Multiplier)	0.7	1	1.3	1.7																					
Characteristics at High and Low Temperature (Stability at 120 Hz)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Working voltage (V)</th> <th>10</th> <th>16</th> <th>25</th> <th>35</th> <th>50</th> <th>63</th> <th>100</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-25°C / +20°C</td> <td>3</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>-40°C / +20°C</td> <td>6</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>3</td> </tr> </tbody> </table> For capacitance value > 1,000 µF, Add 0.5 per another 1,000 µF for -25°C / +25°C. Add 1 per another 1,000 µF for -40°C / +20°C.	Working voltage (V)	10	16	25	35	50	63	100	-25°C / +20°C	3	2	2	2	2	2	2	-40°C / +20°C	6	4	4	3	3	3	3
Working voltage (V)	10	16	25	35	50	63	100																		
-25°C / +20°C	3	2	2	2	2	2	2																		
-40°C / +20°C	6	4	4	3	3	3	3																		
High Temperature Loading	After 2,000 hours application of DC rated working voltage at +85°C, The capacitor shall meet the following limits: Post test requirements at +20°C. <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Leakage current</td> <td>≤ the initial specified value</td> </tr> <tr> <td>Capacitance change</td> <td>≤ ±20% of initial measured value</td> </tr> <tr> <td>Dissipation factor (tan δ)</td> <td>≤ 150% of initial specified value</td> </tr> </tbody> </table>	Leakage current	≤ the initial specified value	Capacitance change	≤ ±20% of initial measured value	Dissipation factor (tan δ)	≤ 150% of initial specified value																		
Leakage current	≤ the initial specified value																								
Capacitance change	≤ ±20% of initial measured value																								
Dissipation factor (tan δ)	≤ 150% of initial specified value																								
Shelf Life	After storage for 500 hours at +85°C with no voltage applied. Post test requirements at +20°C same limits as high temperature loading.																								

Figura 43. Características de capacitor

### Diagram of Dimensions



Dimensions : Millimetres

ØD (+0.5 Max.)	5	6.3	8	10	13	16	18	22	25
F (±0.5)	2	2.5	3.5	5	5	7.5	7.5	10	12
Ød (±0.02)	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.8	0.8	0.8	0.8

### Case Size Table

Ø D x L (mm)

W V (SV) µF	10 (13)	16 (20)	25 (32)	35 (44)	50 (63)	63 (79)	100 (125)
0.1	-	-	-	→	5 × 11	-	5 × 11
0.22	-	-	-	→		-	
0.33	-	-	-	→		-	
0.47	-	-	-	→		-	
1	-	-	-	→		-	
2.2	-	-	-	→		-	
3.3	-	-	-	→		-	
4.7	-	-	-	→		-	
10	-	→	5 × 11	5 × 11	5 × 11	6.3 × 11	
22	-	→			6.3 × 11	8 × 11	
33	→	5 × 11			6.3 × 11	10 × 13	
47	→	6.3 × 11	6.3 × 11	6.3 × 11	8 × 11	10 × 16	
100	5 × 11				8 × 11	10 × 13	13 × 21
220	6.3 × 11				8 × 11	10 × 16	16 × 26
330	8 × 11	8 × 11	10 × 13	10 × 16	10 × 21	16 × 26	
470			10 × 16		13 × 21	16 × 32	
1,000			10 × 13		10 × 16	13 × 21	18 × 42

[www.element14.com](http://www.element14.com)  
[www.farnell.com](http://www.farnell.com)  
[www.newark.com](http://www.newark.com)



Figura 44. Características de capacitor

ANEXO B  
PLANOS

Planos de las piezas acotadas en solidworks 2024:

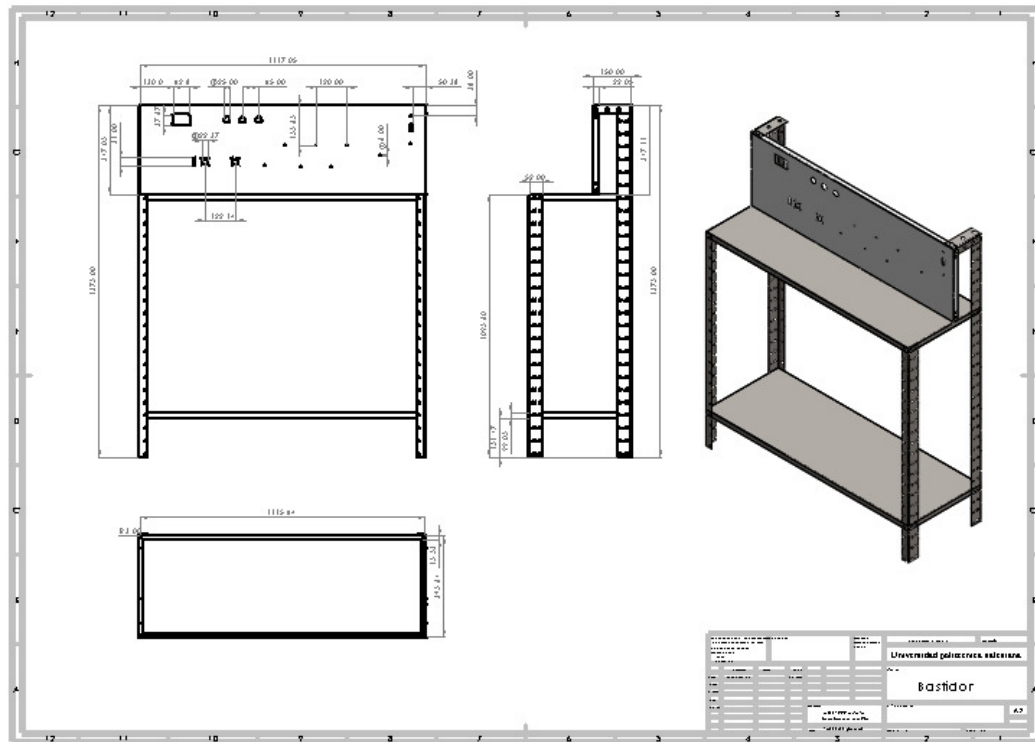


Figura 45. Bastidor acotada, por S. Suárez y S. Medina, Solidworks

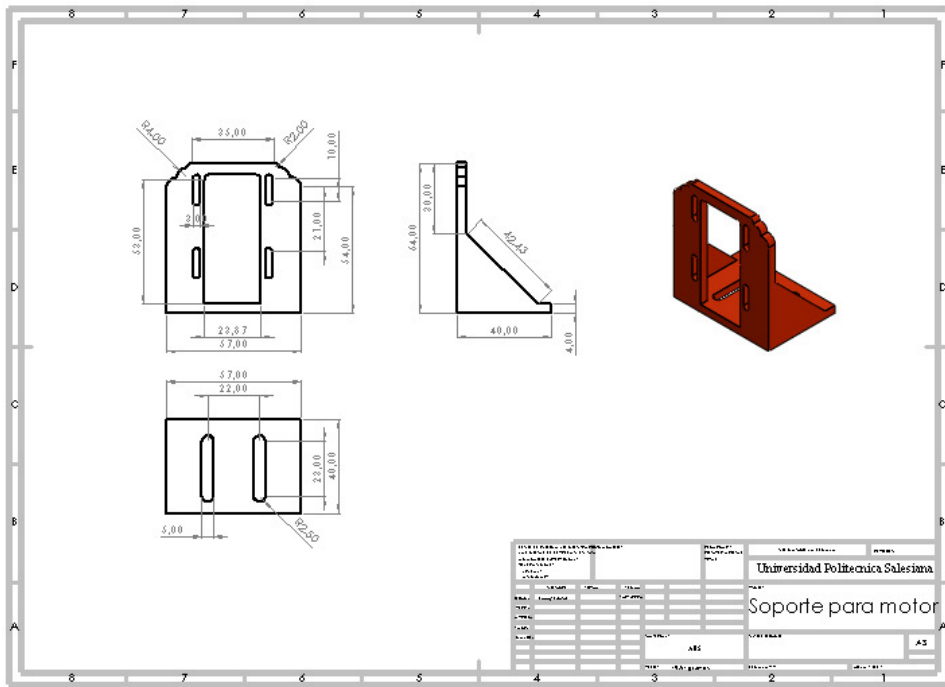


Figura 46. Base de soporte acotada, por S. Suárez y S. Medina, Solidworks

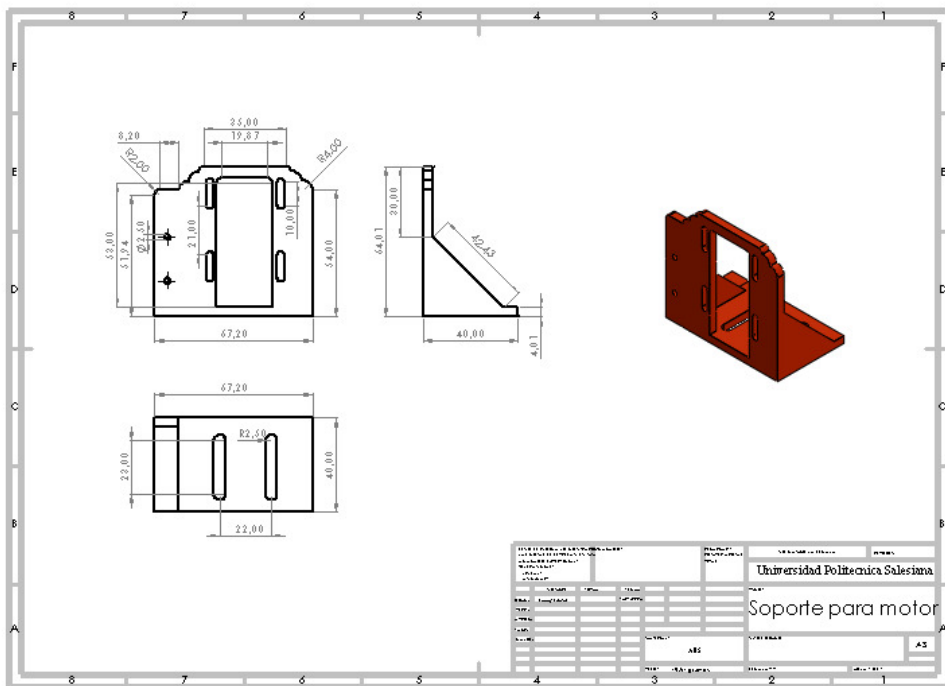


Figura 47. Base de soporte acotada, por S. Suárez y S. Medina, Solidworks



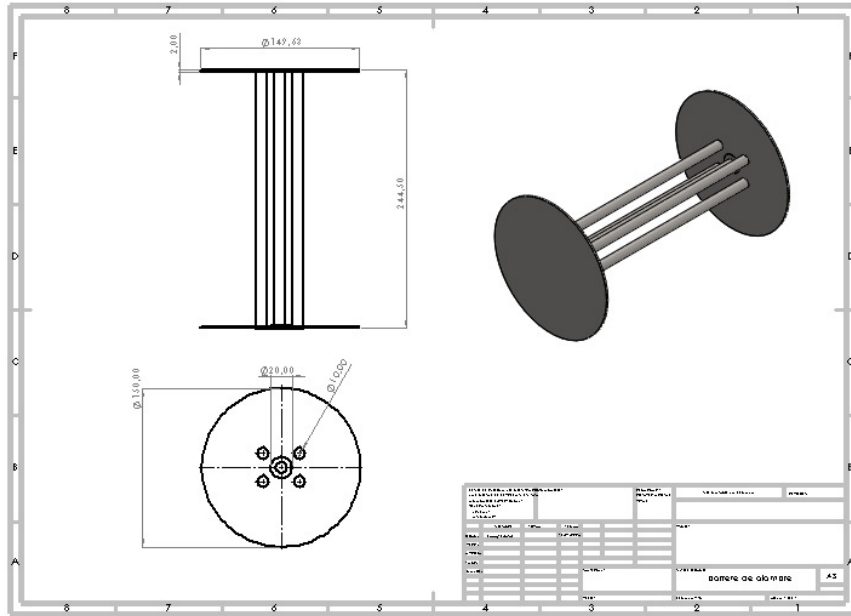


Figura 49. Alambre acotada, por S. Suárez y S. Medina, Solidworks

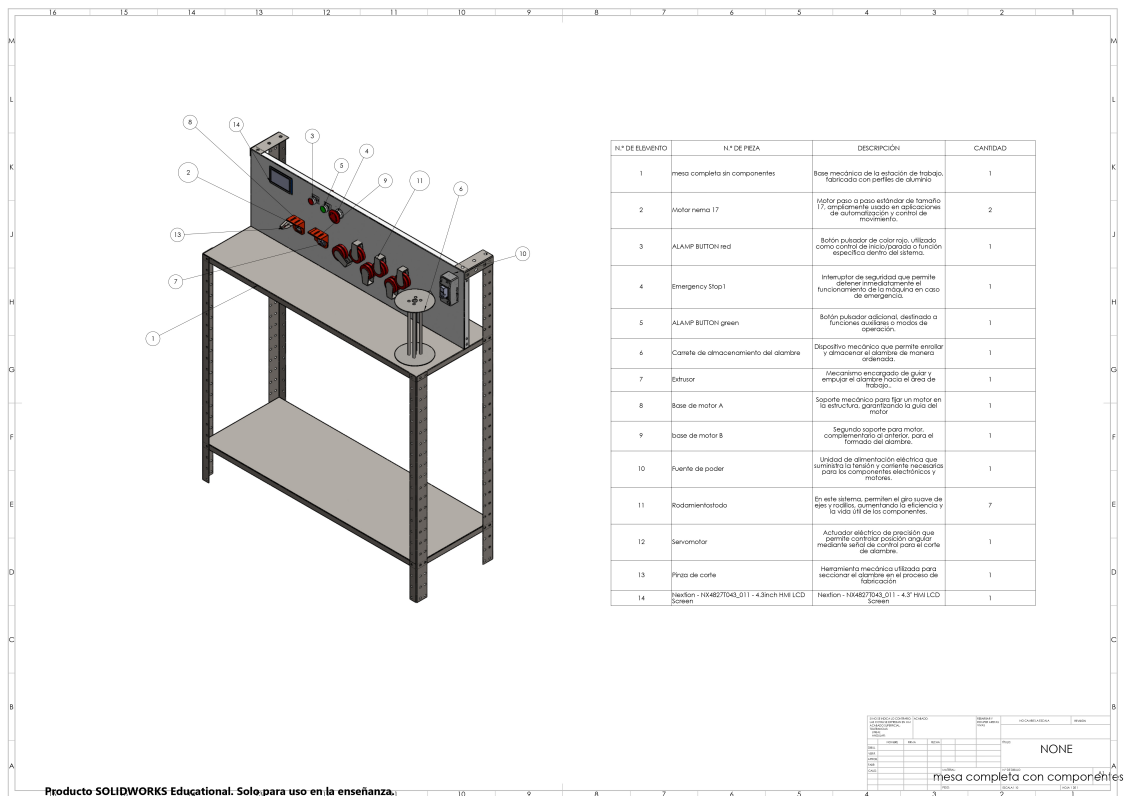


Figura 50. Mesa con componentes acotada, por S. Suárez y S. Medina, Solidworks

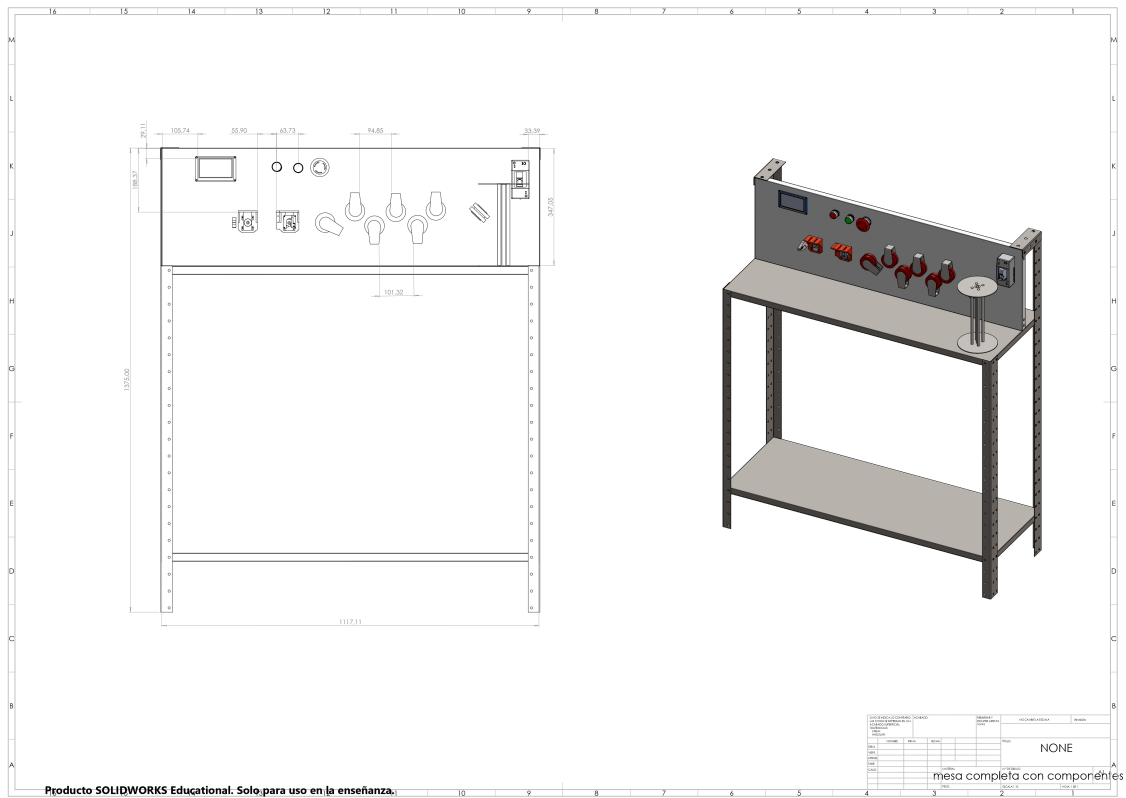


Figura 51. Mesa acotada, por S. Suárez y S. Medina, Solidworks

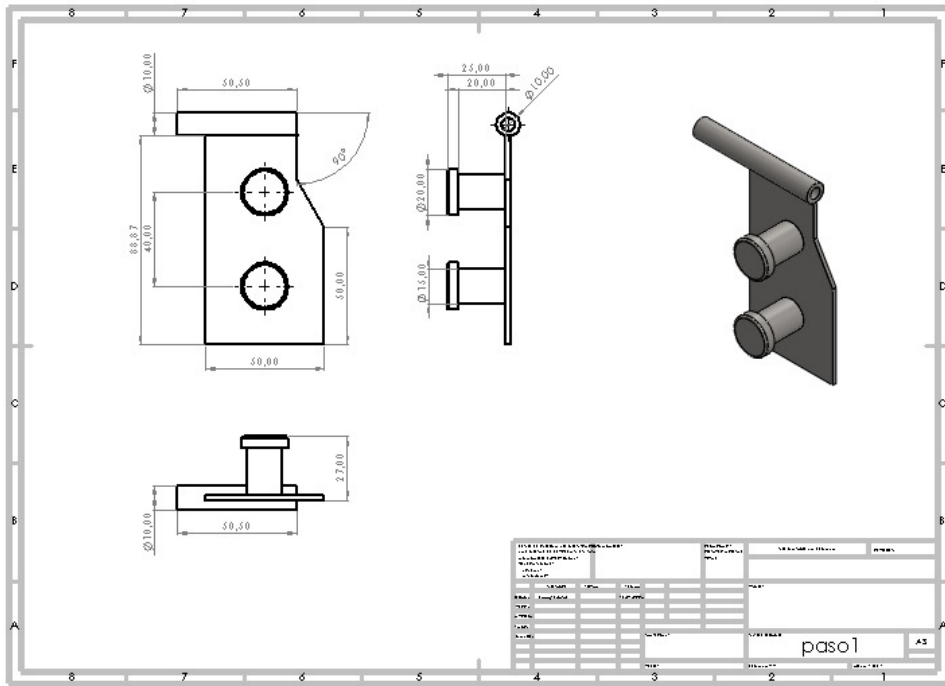


Figura 52. Paso de alambre acotada, por S. Suárez y S. Medina, Solidworks

## ANEXO C

### PROGRAMACIÓN DE PANTALLA NEXTION EDITOR Y ARDUINO UNO

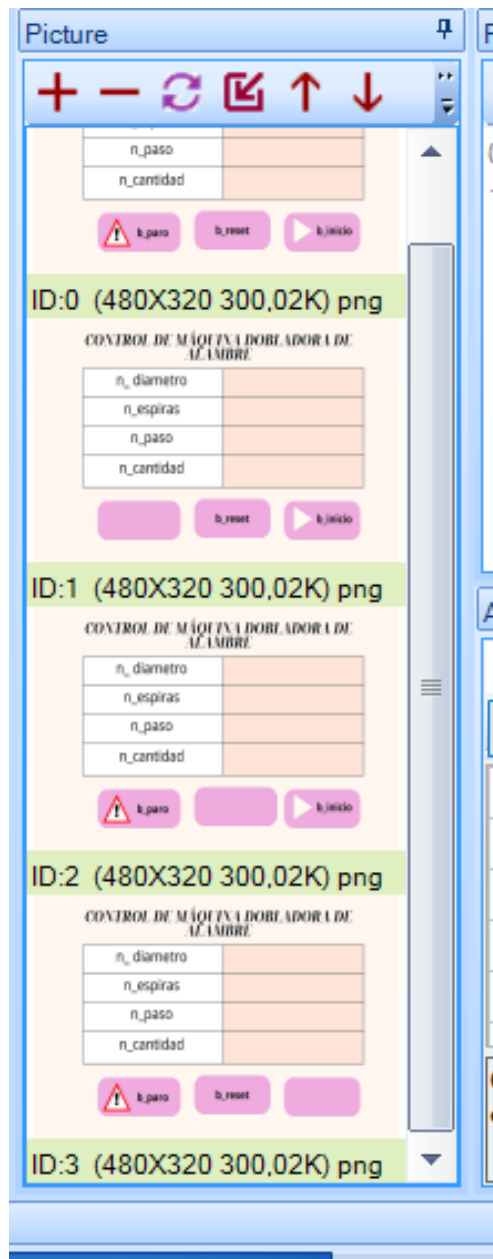


Figura 53. Imágenes subidas para el diseño de la pantalla HMI

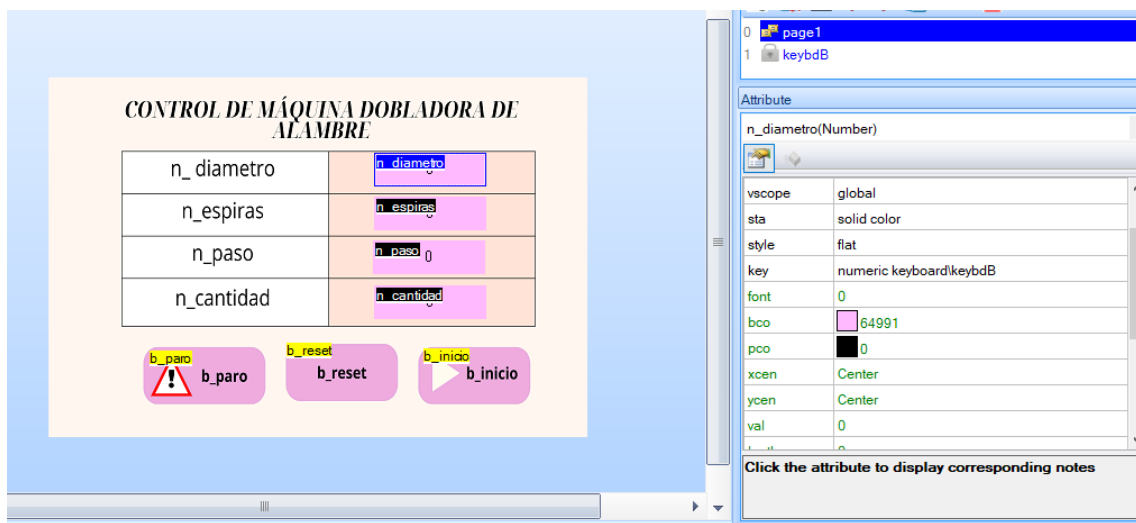


Figura 54. Atributos usados para la configuración numérica

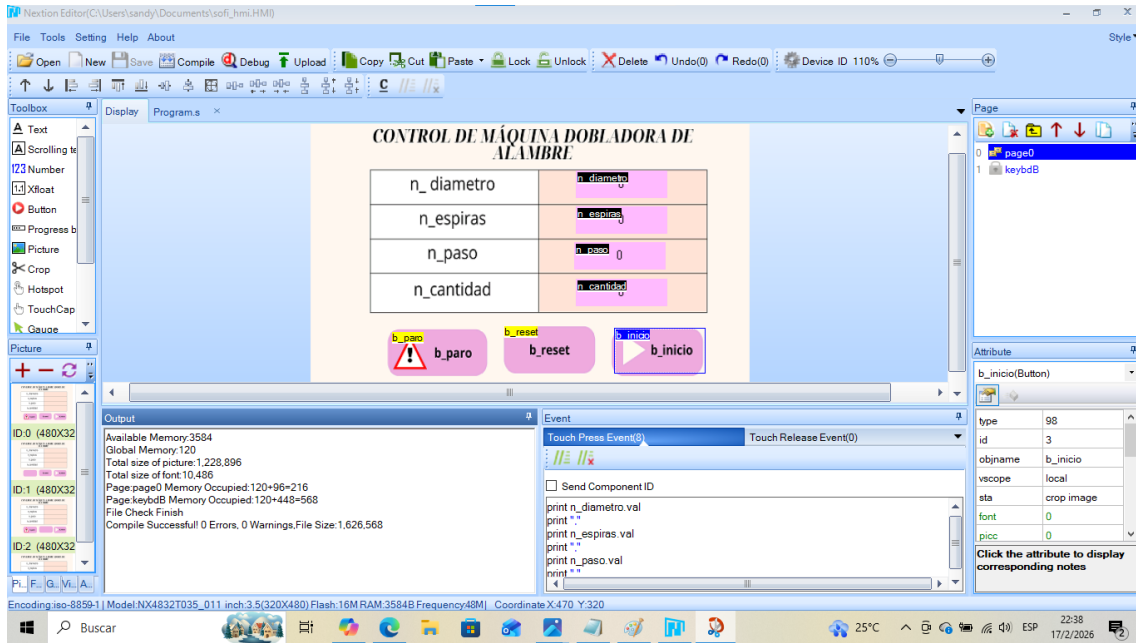


Figura 55. Configuración de código para ejecutar el resorte con las especificaciones

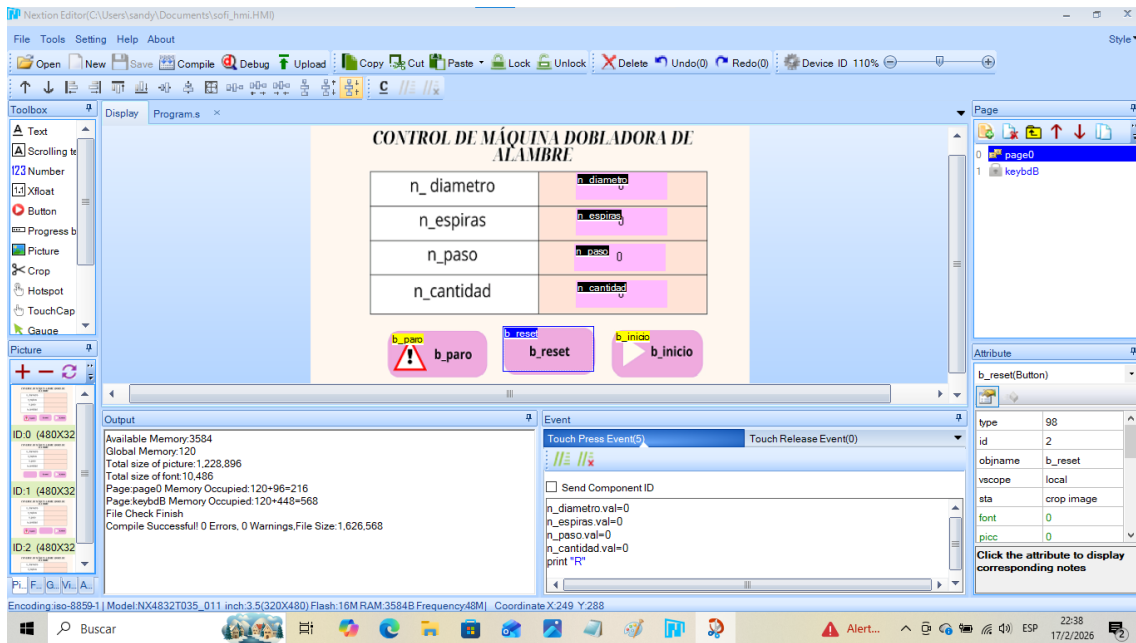


Figura 56. Configuración de código para ejecutar el reset de todos los comandos

```

pruebaservomotorSG90.ino
1  #include <Servo.h>
2
3  Servo cutter;
4
5  // ----- PINES -----
6  #define STEP_FEED 2
7  #define DIR_FEED 3
8  #define EN_FEED 4
9
10 #define STEP_BEND 5
11 #define DIR_BEND 6
12 #define EN_BEND 7
13
14 #define LUZ_PROD 10
15 #define LUZ_STOP 11
16 #define EMERGENCIA 12
17
18 // ----- VARIABLES -----
19 int diametro = 0;
20 int espiras = 0;
21 int paso = 0;
22 int cantidad = 0;
23
24 bool sistemaActivo = false;
25
26 String datos = "";
27
28 // -----

```

Figura 57. Código del programa

```

pruebaservomotorSG90.ino
30 void setup() {
31
32   pinMode(STEP_FEED, OUTPUT);
33   pinMode(DIR_FEED, OUTPUT);
34   pinMode(EN_FEED, OUTPUT);
35
36   pinMode(STEP_BEND, OUTPUT);
37   pinMode(DIR_BEND, OUTPUT);
38   pinMode(EN_BEND, OUTPUT);
39
40   pinMode(LUZ_PROD, OUTPUT);
41   pinMode(LUZ_STOP, OUTPUT);
42   pinMode(EMERGENCIA, INPUT_PULLUP);
43
44   cutter.attach(0);
45
46   digitalWrite(EN_FEED, LOW);
47   digitalWrite(EN_BEND, LOW);
48
49   Serial.begin(9600);
50 }
51
52 // -----
53
54 void loop() {
55
56   if (digitalRead(EMERGENCIA) == LOW) {
57     paroEmergencia();

```

Figura 58. Código del programa

```

pruebasemotorSG90.ino
59 leerNextion();
60
61
62 if (sistemaActivo) {
63   | fabricarResorte();
64 }
65 }
66
67 // -----
68
69 void leerNextion() {
70
71   if (Serial.available()) {
72
73     datos = Serial.readStringUntil('\n');
74     datos.trim();
75
76     if (datos.startsWith("I")) {
77
78       sistemaActivo = true;
79
80       int p1 = datos.indexOf(',');
81       int p2 = datos.indexOf(',', p1 + 1);
82       int p3 = datos.indexOf(',', p2 + 1);
83       int p4 = datos.indexOf(',', p3 + 1);
84
85       diametro = datos.substring(p1 + 1, p2).toInt();
86       espiras = datos.substring(p2 + 1, p3).toInt();

```

Figura 59. Código del programa

```

pruebasemotorSG90.ino
59 leerNextion();
60
61
62 if (sistemaActivo) {
63   | fabricarResorte();
64 }
65 }
66
67 // -----
68
69 void leerNextion() {
70
71   if (Serial.available()) {
72
73     datos = Serial.readStringUntil('\n');
74     datos.trim();
75
76     if (datos.startsWith("I")) {
77
78       sistemaActivo = true;
79
80       int p1 = datos.indexOf(',');
81       int p2 = datos.indexOf(',', p1 + 1);
82       int p3 = datos.indexOf(',', p2 + 1);
83       int p4 = datos.indexOf(',', p3 + 1);
84
85       diametro = datos.substring(p1 + 1, p2).toInt();
86       espiras = datos.substring(p2 + 1, p3).toInt();

```

Figura 60. Código del programa

```

pruebasemotorSG90.ino
88     cantidad = datos.substring(p4 + 1).toInt();
89   }
90
91   if (datos == "P") {
92     sistemaActivo = false;
93   }
94
95   if (datos == "R") {
96     sistemaActivo = false;
97     diametro = 0;
98     espiras = 0;
99     paso = 0;
100    cantidad = 0;
101  }
102  }
103  }
104
105  // -----
106
107  void fabricarResorte() {
108
109    digitalWrite(LUZ_PROD, HIGH);
110    digitalWrite(LUZ_STOP, LOW);
111
112    for (int u = 0; u < cantidad; u++) {
113
114      for (int i = 0; i < espiras; i++) {
115

```

Figura 61. Código del programa

```

pruebasemotorSG90.ino
117   }
118
119   cortar();
120 }
121
122 sistemaActivo = false;
123
124 digitalWrite(LUZ_PROD, LOW);
125 digitalWrite(LUZ_STOP, HIGH);
126 }
127
128 // -----
129
130 void moverMotores() {
131
132   digitalWrite(DIR_FEED, HIGH);
133   digitalWrite(DIR_BEND, HIGH);
134
135   int pasos = 200; // prueba base
136
137   for (int i = 0; i < pasos; i++) {
138
139     digitalWrite(STEP_FEED, HIGH);
140     digitalWrite(STEP_BEND, HIGH);
141     delayMicroseconds(800);
142
143     digitalWrite(STEP_FEED, LOW);
144     digitalWrite(STEP_BEND, LOW);

```

Figura 62. Código del programa

```
143     digitalWrite(STEP_FEED, LOW);
144     digitalWrite(STEP_BEND, LOW);
145     delayMicroseconds(800);
146 }
147 }
148
149 // -----
150
151 void cortar() {
152
153     cutter.write(90);
154     delay(600);
155
156     cutter.write(0);
157     delay(600);
158 }
159
160 // -----
161
162 void paroEmergencia() {
163
164     sistemaActivo = false;
165     digitalWrite(LUZ_PROD, LOW);
166     digitalWrite(LUZ_STOP, HIGH);
167 }
168
169
170
```

Output

Figura 63. Código del programa