


**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**CARRERA DE MECÁNICA**

**PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA:**

# "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA LA FABRICACIÓN DE RESORTES HELICOIDALES DE ½'' Y 1'' DE DIÁMETRO INTERIOR"

**AUTORES:** Alexis Ricardo Mayorga Ochoa

Santiago Paúl Hinojosa Santillán

**TUTOR:** Ing. Gonzalo Eduardo López Villacis, Mg.

**AMBATO – ECUADOR**

**Febrero – 2025**

## APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Proyecto Técnico, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA LA FABRICACIÓN DE RESORTES HELICOIDALES DE ½'' Y 1'' DE DIÁMETRO INTERIOR"**, elaborado por el señor **Alexis Ricardo Mayorga Ochoa**, portador de la cédula de ciudadanía C.I. 1805450531 y el señor **Santiago Paúl Hinojosa Santillán**, portador de la cédula de ciudadanía C.I. 0604067769, estudiantes de la Carrera de Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente Proyecto Técnico es original de sus autores.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, febrero 2025

Gonzalo E. López

……

**Ing. Gonzalo Eduardo López Villacís, Mg.**

**TUTOR**

## AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Alexis Ricardo Mayorga Ochoa, portador de cédula de ciudadanía: C.I. 180545053 y Santiago Paúl Hinojosa Santillán, portador de cédula de ciudadanía: C.I. 0604067769, declaramos que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Proyecto Técnico con el tema: **"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA LA FABRICACIÓN DE RESORTES HELICOIDALES DE ½" Y 1" DE DIÁMETRO INTERIOR",** así como también las ideas de diseño, parámetros, criterios, análisis, gráficas, conclusiones y recomendaciones son de nuestra exclusiva responsabilidad como autores del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, febrero 2025

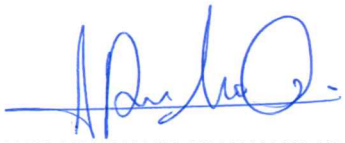
| | |
|---|---|
| **Alexis Ricardo Mayorga Ochoa** | **Santiago Paúl Hinojosa Santillán** |
| **C.I. 1805450531** | **C.I. 0604067769** |
| **AUTOR** | **AUTOR** |

## DERECHOS DE AUTOR

Autorizamos a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Técnico o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedemos los derechos en línea patrimoniales de nuestro Proyecto Técnico, con fines de difusión pública, además aprobamos la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando nuestros derechos de autor.

Ambato, febrero 2025



……

**Alexis Ricardo Mayorga Ochoa**

**C.I. 1805450531**

**AUTOR**



……

**Santiago Paúl Hinojosa Santillán**

**C.I. 0604067769**

**AUTOR**

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Técnico, realizado por los estudiantes Alexis Ricardo Mayorga Ochoa y Santiago Paúl Hinojosa Santillán, de la Carrera de Mecánica bajo el tema: **"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA LA FABRICACIÓN DE RESORTES HELICOIDALES DE ½" Y 1" DE DIÁMETRO INTERIOR".**

Ambato, febrero 2025

Por constancia firma:

| | |
|---|---|
| ..... | ..... |
| **Ing. Jorge Patricio Guamanquispe Toasa, Mg.** | **Ing. Diego Fernando Núñez Núñez, Mg.** |
| **MIEMBRO CALIFICADOR** | **MIEMBRO CALIFICADOR** |

## DEDICATORIA

Quisiera agradecer en primer lugar a Dios por haber estado siempre a mi lado dándome la fuerza y la voluntad necesaria para no rendirme en todos estos años de carrera universitaria, gracias por ser un apoyo incondicional y mostrarme siempre el camino.

Me gustaría que estas palabras vayan dedicadas a mi papá, Paúl Rodrigo Hinojosa Gallegos, a mi mamá, Anita Paulina Santillán Cáceres, a mis hermanos, Erick Daniel Hinojosa Santillán, Alexis Andrés Hinojosa Santillán, Paúl Gabriel Hinojosa Santillán, a mi sobrina, Danna Christina Hinojosa Acán, a mi abuelo, Carlos Alfredo Santillán Luna, a mi abuela, Anita Graciela Cáceres Bárcenas, a mi familia entera, quienes siempre estuvieron a mi lado en todo lugar y en todo momento, quiero agradecerles infinitamente por siempre brindarme su apoyo incondicional en cada uno de los momentos de esta trayectoria, les dedico este proyecto como una muestra de mi gratitud por el simple hecho de jamás dejarme solo y siempre brindarme sus ánimos de aliento y apoyo cada día cada hora y a cada segundo de esta experiencia. Los llevo en el fondo de mi corazón y de mi alma siempre, sepan que me tendrán ahí para ustedes hasta el último de mis días.

A mis amigos, Diego García y Renato Garcés, que siempre estuvieron apoyándome y dándome consejos en todo momento con el objetivo de seguir adelante y culminar mi carrera universitaria.

"Un corazón sabio vale más que un corazón benevolente"

Santiago Paúl Hinojosa Santillán

## DEDICATORIA

Agradezco y dedico este proyecto a Dios por darme la fuerza para ser perseverante, lo dedico a mis padres, Mauricio Mayorga y mi madre Dalida Ochoa, quienes han sido un pilar fundamental a lo largo de estos años de estudio y me han dado la inspiración para seguir adelante cada día para enfrentar cada reto que se ha presentado, dedico también mi proyecto a mi enamorada Renata Chiluisa, quien ha sido un pilar fundamental cuando las situaciones han sido difíciles dentro de la carrera dándome apoyo moral y sentimental.

Para este presente proyecto también agradezco y dedico mi proyecto a quienes fueron participes para que tenga éxito hasta el final de mi carrera, a mis abuelos paternos Gonzalo Mayorga y Laura Mayorga quienes me han brindado sabiduría para momentos difíciles, este proyecto lo dedico también a mi hermano Gabriel Mayorga por ser una persona que crece inspirado en mi sabiduría, agradezco y dedico también este proyecto a mis profesores que a lo largo de la carrera han brindado su experiencia y han mostrado su lado humano ante situaciones adversas.

Alexis Ricardo Mayorga Ochoa

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR ..... ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN ..... iii
DERECHOS DE AUTOR ..... iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO ..... v
DEDICADORIA ..... vi
DEDICATORIA ..... vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS ..... viii
ÍNDICE DE TABLAS ..... xii
ÍNDICE DE FIGURAS ..... xv
RESUMEN EJECUTIVO ..... xvii
ABSTRACT ..... xviii
CAPÍTULO I ..... 1
1 MARCO TEÓRICO ..... 1
1.1 Antecedentes investigativos ..... 1
1.2 Investigaciones previas ..... 2
1.3 Aplicaciones en la industria ..... 2
1.4 Resortes Helicoidales ..... 3
1.5 Tipos de resortes helicoidales ..... 5
1.6 Parámetros geométricos ..... 6
1.6.1 Resortes helicoidales a tracción y compresión ..... 6
1.7 Constante de rigidez (K) ..... 7
1.8 Materiales para resortes ..... 9
1.9 Parámetros básicos de diseño de un resorte helicoidal ..... 10
1.9.1 Cálculo del diámetro del alambre (d) ..... 10
1.9.2 Cálculo del diámetro de la espira (D) ..... 10

1.9.3 Número de vueltas (N) ..... 11
1.9.4 Fuerza aplicada en el resorte ..... 11
1.9.5 Esfuerzos en el resorte ..... 11
1.9.6 Deflexión máxima del resorte (Δ) ..... 11
1.9.7 Cálculo del factor de seguridad ..... 12
1.10 Alternativas de máquinas para fabricar resortes existentes en el mercado 12
1.10.1 Máquina ITAYA ..... 13
1.10.2 Máquina BRISTOL ..... 13
1.10.3 Máquina BUILDWELL ..... 14
1.10.4 Máquina BOBBIO ..... 15
1.10.5 Máquina MTS ..... 15
..... 15
1.10.6 Máquina CHIN YN CHANG ..... 16
1.11 Normas ..... 17
1.12 Justificación ..... 17
1.13 Objetivo General ..... 18
1.14 Objetivos Específicos ..... 18
CAPÍTULO II ..... 19
2 METODOLOGÍA ..... 19
2.1 Materiales, Equipos y Herramientas ..... 19
2.1.1 Descripción de materiales y perfiles estructurales ..... 20
2.1.2 Descripción de equipos y herramientas ..... 27
2.2 Métodos ..... 29
2.3 Descripción de la metodología ..... 29
2.4 Procedimientos de las fases de la metodología ..... 30
2.5 Análisis de la mejor alternativa ..... 32
2.6 Planteamiento de la evaluación ..... 32

2.7 Análisis de resultados ..... 37
2.8 Modelado ..... 38
2.9 Ergonomía para el modelado ..... 38
2.10 Procesos de fabricación ..... 39
2.10.1 Torneado ..... 40
2.10.2 Limado ..... 40
2.10.3 Medir, trazar y cortar ..... 41
2.10.4 Soldadura SMAW ..... 42
2.10.5 Taladro pedestal y machuelado ..... 42
2.10.6 Acabado y pintura ..... 43
CAPÍTULO III ..... 44
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN ..... 44
3.1 Introducción a los cálculos ..... 44
3.2 Caso de estudio ..... 44
3.3 Cálculos ..... 45
3.3.1 Cálculo de comprobación de potencia del motorreductor ..... 45
3.3.2 Cálculo de comprobación de diámetro del eje seleccionado ..... 47
3.4 Comprobación de factores de seguridad ..... 53
3.4.1 Factor de seguridad del eje principal ..... 53
3.4.2 Factor de seguridad de los ejes de las matrices ..... 54
3.4.3 Factor de seguridad de la estructura de la máquina ..... 56
3.5 Resultados de diseño, construcción y pruebas de funcionamiento ..... 57
3.5.1 Bastidor ..... 57
3.5.2 Sistema de transmisión por cadena ..... 58
3.5.3 Eje principal ..... 59
3.5.4 Carro guía alambre ..... 60
3.5.5 Características técnicas finales ..... 61

3.5.6 Pruebas de fabricación ..... 63
3.5.7 Posibles mejoras al diseño de la máquina ..... 64
3.6 Costos ..... 66
3.6.1 Costos Materia Prima ..... 67
3.6.2 Costos Componentes Principales ..... 67
3.6.3 Costos Procesos de Manufactura ..... 67
3.7 Costos adicionales ..... 68
3.8 Costo total de la máquina ..... 68
CAPÍTULO IV ..... 69
4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... 69
4.1 Conclusiones ..... 69
4.2 Recomendaciones ..... 70
ANEXOS ..... 75

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I ..... 4

CLASIFICACIÓN DE LOS RESORTES EN BASE A SUS CARACTE´RISTICAS ..... 5

TABLA II ..... 13

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA MÁQUINA ITAYA ..... 13

TABLA III ..... 14

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA MÁQUINA BRISTOL ..... 14

TABLA IV ..... 14

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA BUILDWELL ..... 14

TABLA V ..... 15

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA MÁQUINA BOBBIO ..... 15

TABLA VI ..... 16

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA MÁQUINA MTS ..... 16

TABLA VII ..... 16

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA MÁQUINA CHIN YAN CHANG ..... 16

TABLA VIII ..... 20

PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO AISI 1018 ..... 20

TABLA IX ..... 24

TAMAÑOS DE PASOS DE CADENAS BAJO NORMA ANSI ..... 24

TABLA X ..... 24

TAMAÑOS DE CABEZAS DE RODILLOS ..... 24

TABLA XI ..... 28

DESCRIPCCIÓN DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS ..... 28

TABLA XII ..... 29

DESCRIPCCIÓN DE LAS FASES DE LA METODOLOGÍA ..... 29

TABLA XIII ..... 32

DESCRIPCCIÓN Y VALORES DE LAS PONDERACIONES ..... 32
TABLA XIV ..... 33
EVALUACIÓN CRITERIO 1 ..... 33
TABLA XV ..... 34
EVALUACIÓN CRITERIO 2 ..... 34
TABLA XVI ..... 34
EVALUACIÓN CRITERIO 3 ..... 34
TABLA XVII ..... 35
EVALUACIÓN CRITERIO 4 ..... 35
TABLA XVIII ..... 35
EVALUACIÓN CRITERIO 5 ..... 35
TABLA XIX ..... 36
EVALUACIÓN CRITERIO 6 ..... 36
TABLA XX ..... 36
EVALUACIÓN CRITERIO 7 ..... 36
TABLA XXI ..... 37
SUMA DE LA EVALUACIÓN DE LOS CRITERIOS ..... 37
TABLA XXII ..... 51
PARÁMETROS EN EL FACTOR DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL ..... 51
TABLA XXIII ..... 52
EFECTO DE TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA A LA TENSIÓN ..... 52
TABLA XXIV ..... 52
FACTOR DE CONFIABILIDAD EN BASE A RESISTENCIA A LA FATIGA ... 52
TABLA XXV ..... 67
COSTOS DE MATERIA PRIMA ..... 67
TABLA XXVI ..... 67
COSTOS COMPONENTES PRINCIPALES ..... 67

TABLA XXVII ..... 67
COSTOS DE LOS PROCESOS DE MANUFACTURA ..... 67
TABLA XXVIII ..... 68
COSTOS ADICIONALES ..... 68
TABLA XXIX ..... 68
COSTOS TOTALES ..... 68
TABLA XXX ..... 94
PROCESO DE MANTENIMIENTO PARA LA MÁQUINA ..... 94

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Características geométricas de un resorte helicoidal a tensión ..... 7
Figura 2. Características geométricas de un resorte helicoidal a compresión ..... 7
Figura 3. Aceros de alto carbono para resortes ..... 9
Figura 4. Propiedades mecánicas de aceros para resortes ..... 10
Figura 5. Máquina ITAYA..... 13
Figura 6. Máquina BRISTOL. ..... 13
Figura 7. Máquina BUILDWELL..... 14
Figura 8. Máquina BOBBIO ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 9. Máquina MTS ..... 15
Figura 10. Máquina CHIN YN CHANG. ..... 16
Figura 11. Cotas del perfil estructural tipo Ángulo L ..... 20
Figura 12. Propiedades geométricas del perfil estructural tipo ángulo..... 21
Figura 13. Cotas del perfil estructural tipo Canal G ..... 21
Figura 14. Propiedades geométricas del perfil estructural tipo canal G. ..... 21
Figura 15. Cotas del perfil Tipo Platina ..... 22
Figura 16. Propiedades geométricas del perfil estructural tipo platina ..... 22
Figura 17. Sección transversal de una catarina con una maza ..... 23
Figura 18. Catarina con una maza de 21 dientes paso 3/4. ..... 23
Figura 19. Dimensiones de chumaceras de piso para trabajo normal . ..... 26
Figura 20. Propiedades geométricas de una chumacera de piso para trabajo normal 26
Figura 21. Motorreductor de tipo coaxial ..... 27
Figura 22. Alturas recomendadas para trabajar de pie ..... 38
Figura 23. Espacios recomendados de espacio libre para los pies ..... 39
Figura 24. Modelo de la máquina elaboradora de resortes. ..... 39
Figura 25. Proceso de torneado. ..... 40
Figura 26. Proceso de limado para elaboración de una chaveta. ..... 41
Figura 27. Proceso de corte de perfil tipo ángulo con moladora. ..... 41
Figura 28. Proceso de soldadura tipo SMAW. ..... 42
Figura 29. Proceso elaboración de agujeros en una placa de acero con un taladro pedestal. ..... 43
Figura 30. Proceso de machuelado para elaboración de prisionero. ..... 43
Figura 31. Máquina ensamblada y con acabado de pintura de todas sus partes. ..... 43

Figura 32. Esquema del sistema de transmisión de potencia. ..... 44
Figura 33. Fuerzas actuantes en el sistema de transmisión de potencia..... 47
Figura 34. Parámetros en el factor de superficie. ..... 51
Figura 35. Valores medios del del factor de carga ..... 51
Figura 36. Modelo en software del eje principal. ..... 53
Figura 37. Análisis el factor de seguridad en el eje principal. ..... 54
Figura 38. Modelo en software del eje matriz de 1 pulgada. ..... 54
Figura 39. Análisis el factor de seguridad en el eje matriz de 1 pulgada. ..... 55
Figura 40.Modelo en software del eje matriz de 1/2 pulgada. ..... 55
Figura 41. Análisis el factor de seguridad en el eje matriz de 1/2 pulgada. ..... 55
Figura 42.Modelo en software de la estructura de la máquina. ..... 56
Figura 43. Análisis el factor de seguridad en la estructura de la máquina. ..... 57
Figura 44. Modelo en software del bastidor. ..... 58
Figura 45. Bastidor construido. ..... 58
Figura 46. Ensamble del sistema por transmisión en software. ..... 59
Figura 47. Ensamble del sistema por transmisión. ..... 59
Figura 48. Diseño en software de eje principal y los componentes que lo conforma. 60
Figura 49. Eje principal con los componentes ensamblados. ..... 60
Figura 50. Diseño en software del sistema de guía para el alambre. ..... 61
Figura 51. Ensamble del sistema del carro guía. ..... 61
Figura 52. Pruebas de funcionamiento. ..... 62
Figura 53. Ensamble con acabados finales de la máquina. ..... 63
Figura 54. Características de un resorte helicoidal a tensión . ..... 92
Figura 55. Características de un resorte helicoidal a compresión ..... 92
Figura 56. Descripción de materiales para resortes. ..... 93

## RESUMEN EJECUTIVO

La industrialización en Ecuador ha sido impulsada significativamente por avances tecnológicos que benefician diversos sectores industriales. Entre ellos, los vehículos de carga son esenciales para la comercialización, lo que genera una alta demanda de componentes específicos, como los resortes. Estos elementos mecánicos son ampliamente utilizados en diferentes industrias, especialmente, en el sector automotriz. Sin embargo, en el país, los procesos de fabricación de resortes suelen ser artesanales, carentes de criterios técnicos de diseño, lo que dificulta satisfacer las crecientes necesidades de precisión y calidad.

En este contexto, se diseñó y construyó una máquina para la fabricación de resortes helicoidales de media y 1 pulgada de diámetro interior, con el propósito de tecnificar el proceso y mejorar la eficiencia de la producción. Se investigó parámetros de diseño adecuados, se empleó un software de ingeniería para la elaboración del diseño, y realizar pruebas de funcionalidad para validar su desempeño. El enfoque del estudio combinó una metodología aplicada basada en la selección de elementos mecánicos, comparación con modelos existentes y cálculos técnicos garantizando factores de seguridad óptimos.

Como resultado, se ha diseñado una máquina capaz de fabricar resortes bajo pedido con medidas específicas, alineada con las exigencias del sector automotriz, la cual representa mayor demanda. El principal aporte de este proyecto radica en su contribución al crecimiento de la industria ecuatoriana, al introducir tecnologías innovadoras que mejoran los procesos de fabricación artesanal. Además, demuestra la aplicación práctica de conocimientos de ingeniería para resolver problemas industriales reales, promoviendo la eficiencia y el desarrollo del sector manufacturero en el país.



**Palabras clave:** Máquina industrial, resorte helicoidal, resorte a tracción, resorte a compresión, procesos de fabricación.

## ABSTRACT

Industrialization in Ecuador has been significantly driven by technological advances that benefit various industrial sectors. Among these, cargo vehicles play a crucial role in commercialization, generating a high demand for specific components, such as springs. These mechanical elements are widely used across different industries, particularly in the automotive sector. However, in Ecuador, spring manufacturing processes are typically handmade and lack technical design criteria, making it difficult to meet the growing demand for precision and quality.

In response to this challenge, a machine was designed and built for the manufacture of helical springs with inner diameters of 1/2 inch and 1 inch. The objective was to modernize the process and improve production efficiency. Appropriate design parameters were researched, engineering software was utilized for development, and functional tests were conducted to validate the machine's performance. The study employed an applied methodology that included the selection of mechanical elements, comparisons with existing models, and technical calculations to ensure optimal safety factors.

As a result, a machine was developed that can manufacture custom springs with precise measurements tailored to the requirements of the automotive sector, which represents the highest demand. The primary contribution of this project is its support for the growth of Ecuador’s industrial sector by introducing innovative technologies that enhance traditional manufacturing processes. Furthermore, it highlights the practical application of engineering knowledge to address real-world industrial challenges, fostering efficiency and development in the country’s manufacturing sector.



**Keywords:** Industrial machine, helical spring, tension spring, compression spring, manufacturing process.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### Antecedentes investigativos

El avance tecnológico que hemos experimentado a lo largo del tiempo ha sido notablemente evidente para el mundo, abarcando diversas áreas de la ciencia con el propósito de beneficiar a la industria y, por ende, a la humanidad en general. Este desarrollo tecnológico se ha manifestad de una manera muy significativa en lo que respecta a la implementación de sistemas mecánicos destinados a distintos procesos requeridos por la industria. Esto ha generado la aparición de un sin número de elementos mecánicos, entre los cuales, los resortes helicoidales destacan por su importancia fundamental en sistemas donde se requiera almacenar o liberar energía. Los resortes son elementos mecánicos que han estado presentes a lo largo del desarrollo de la humanidad, en la revolución industrial la fabricación de resortes se incrementó para satisfacer la demanda del sector automotriz, en la actualidad la mayoría de los sistemas mecánicos requiere del uso de resortes [1].

Un resorte es un elemento mecánico que se encuentra presente en la gran mayoría de los sistemas mecánicos existentes en la actualidad, por lo tanto, debido a su versatilidad y funcionalidad, este tipo de componente abre paso a una amplia gama de aplicaciones, que van desde algo tan sencillo como un interruptor eléctrico hasta algo tan complejo como la suspensión de un transbordado espacial, como también el mecanismo anti vibratorio de un telescopio [2]. La importancia y la variedad de sus formas en estos contextos demuestran su utilidad en una extensa diversidad de dispositivos tecnológicos y mecánicos.

A nivel mundial, uno de los mayores proveedores de máquinas para la fabricación de resortes helicoidales es China, que ofrece una amplia variedad de modelos para la producción de estos elementos mecánicos. Sin embargo, un desafío significativo radica en el elevado costo de exportación hacía países con altas tasas de impuestos, como son los países de América Latina. Este inconveniente ha llevado a que en distintas ciudades de estos países se construyan máquinas para la fabricación de resortes, pero de una manera más artesanal debido a su alta demanda especialmente en

el campo de la industria automotriz, siendo esta la razón por la que hemos decidido el tema de nuestro trabajo de técnico de titulación.

**Investigaciones previas**

Los resortes han estado presentes en el desarrollo de todo tipo de artefactos creados por los seres humanos, los primeros resortes presentes en este desarrollo fueron los arcos de caza usados en la antigüedad. En 1665 Robert Hooke formuló la ley de Hooke en la cual describe cómo un cuerpo elástico se deforma proporcionalmente a la fuerza aplicada sobre este, esto dio paso a la invención de los resortes helicoidales.

Los resortes se han convertido en elemento mecánicos de importancia en diferentes campos de la industria de acuerdo con su aplicación. Los resortes se han seguido estudiando ya que la industria que se encuentra en continuo avance busca cada vez analizar detalladamente los fenómenos que se producen en los resortes para determinar mejoras que aumentan sus ciclos de fatiga [3].

Uno de los tipos de resortes más usados en la industria son las ballestas de amortiguamiento, usadas en vehículos de carga. La única empresa que se dedica a la fabricación de este tipo de resortes es la empresa VANDERBILT S.A. El incremento de vehículos en el país ha provocado que la empresa no abastezca las unidades que requiere el mercado, es por esto por lo que ha optado por adaptarse a un proyecto de estudio por elementos finitos de las ballestas para incrementar su producción por medio de la optimización de la materia prima [4].

**Aplicaciones en la industria**

En el Ecuador, con mayor demanda en la industria automotriz como para todos los procesos industriales, los resortes helicoidales son componentes indispensables que contribuyen al rendimiento, eficiencia y seguridad de los mecanismos que se han diseñado con estos componentes. La capacidad de resistir fuerzas de compresión y proporcionar una fuerza de retorno que presentan dichos resortes, los hace elementos de gran importancia en una variedad considerable de aplicaciones industriales.

Los resortes helicoidales son componentes mecánicos esenciales para la industria automotriz, ya que están presentes en un sin número de sistemas y mecanismos de los vehículos automotrices, principalmente en los sistemas de suspensión con el objetivo de absorber impactos y vibraciones, proporcionando al usuario una conducción

estable. Además, se emplean en los amortiguadores y en sistemas de frenado, garantizando de esta manera un manejo seguro y cómodo del vehículo, como también la seguridad del conducto y los pasajeros.

Por otro lado, en la industria agrícola los resortes helicoidales desempeñan un papel muy importante en lo que respecta a los equipos y maquinaria utilizadas en una gran variedad de actividades agrícolas. Se utilizan en implementos agrícolas como sembradoras, rastrillos y arados, donde proporcionan la presión necesaria para penetrar el suelo y realizar trabajos de labranza de una manera eficiente. Al igual que en los vehículos de la industria automotriz, estos resortes se los utiliza en los sistemas de suspensión de la maquinaria agrícola como son los tractores y cosechadoras, garantizando una conducción estable en terrenos irregulares. Aportando también en sistemas de elevación y carga, lo cual facilita el levantamiento y transporte de cargas pesadas en el trabajo de campo.

Tomando en cuenta que, su diseño robusto y duradero permite soportar las condiciones y entornos exigentes en los que operan los vehículos y equipos tanto en la industria automotriz como en la industria agrícola, convirtiéndolos en componentes que generar una demanda muy alta a nivel nacional.

**Resortes Helicoidales**

Cuando deseamos que un mecanismo cumpla con flexibilidad o deformación se pueden emplear resortes. Los resortes se emplean para ejercer fuerzas, pares o absorber energía de cargas aplicadas [5].

Los resortes son utilizados en una gran variedad de aplicaciones, desde la suspensión de un vehículo hasta un mecanismo de relojería. Los materiales para la fabricación de los resortes son diversos, como también su forma y su tamaño, teniendo en cuenta el amplio campo de aplicaciones que abarcan los mismos.

Los resortes se clasifican según una variedad de criterios, los cuales incluyen su forma estructural, método de carga y descarga de energía, como también su aplicación específica. De acuerdo con su forma estructural los resortes pueden ser de alambre helicoidal, de lámina, de torsión, de compresión y extensión, cada uno de estos con sus propias características que definen su funcionabilidad y desempeño. Según su método

de carga y descarga de energía, tenemos los resortes de tensión los cuales se estiran al aplicar fuerzas externas, y los de compresión que se comprimen bajo cargas externas.

La clasificación de los resortes es de suma importancia para poder comprender la variedad y utilidad de estos, dentro de un amplio campo de aplicaciones ya sean de carácter industrial o de diseño. Según [6] los resortes se pueden clasificar con relación a sus características.

TABLA I

CLASIFICACIÓN DE LOS RESORTES EN BASE A SUS CARACTE´RISTICAS [6]

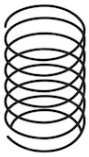
| **Tipos de resortes** | **Características** | **Representación** |
|---|---|---|
| Resortes helicoidales a compresión | Se comprimen axialmente para resistir fuerzas de compresión, utilizados en amortiguadores y sistemas de suspensión de vehículos. |  |
| Resortes helicoidales de extensión | Se estiran axialmente para resistir fuerzas de tracción, son utilizados en aplicaciones de retorno automático o de tracción. |  |
| Resorte de torsión | Estos resortes están diseñados para resistir fuerzas de torsión, generalmente se los utiliza en mecanismos que requieren un movimiento rotativo controlado. |  |
| Roldanas de resorte | Se caracterizan por un cilindro con una ranura en espiral y una bola que se engancha en ella, utilizados en mecanismos de bloqueo y en sistemas de seguridad. |  |

TABLA I

CLASIFICACIÓN DE LOS RESORTES EN BASE A SUS CARACTE´RISTICAS (CONTINUACIÓN) [6]

| | | |
|---|---|---|
| Resorte de voluta de compresión | Estos resortes presentan una forma espiral plana y se comprimen axialmente para resistir fuerzas de compresión, diseñados para proporcionar una fuerza constante a lo largo de su longitud. |  |
| Resortes de energía | Estos resortes convierten la energía mecánica en energía cinética o viceversa, utilizados en un sin número de aplicaciones como juguetes, relojes y mecanismos de precisión. |  |
| Resortes planos | Fabricados con láminas planas de metal, este tipo de resorte se utiliza en aplicaciones que necesitan una carga baja y alta flexibilidad. |  |
| Resortes de hoja o de ballesta | Estos resortes se caracterizan por ser una serie de láminas metálicas apiladas y curvadas, los cuales proporcionan un alta resistencia y flexibilidad. |  |

## Tipos de resortes helicoidales

Los resortes helicoidales se encuentran con mayor frecuencia en los mecanismos de máquinas y aplicaciones industriales. EL proceso de su elaboración consiste en bobinar alambre sobre un eje, esto crea las hélices que los componen [7].

Resortes helicoidales de compresión: estos resortes están diseñados para resistir fuerzas de compresión, cuando se aplica una carga axial externa el resorte se comprime proporcionando una fuerza de retorno cuando la carga se elimina. Sus aplicaciones van desde sistemas de suspensión, amortiguadores en vehículos hasta mecanismos de compresión en maquinaria [7].

Resortes helicoidales de extensión: a diferencia de los resortes helicoidales de compresión, estos son sometidos a cargas axiales de tracción, proporcionando de igual

manera una fuerza de retorno cuando se libera la carga. Normalmente se los utiliza en puertas de garaje y los sistemas de almacenamiento retráctiles [7].

Resortes helicoidales de torsión: son resortes específicamente diseñados para resistir fuerzas de torsión. Sus aplicaciones comúnmente requieren un movimiento rotativo controlado, como en los mecanismos de cierre automático y sistemas de control de la dirección en vehículos [7].

Resortes helicoidales cónicos: Estos resortes tienen un diseño en donde el diámetro disminuye gradualmente a lo largo de su longitud, lo cual permite proporcionar una fuerza variable en función de la posición de compresión o extensión. Se los utiliza en mecanismos de ajuste de tensión y también en los sistemas de suspensión de vehículos [7].

**Parámetros geométricos**

En la industria, los resortes helicoidales que más se elaboran de una manera artesanal son los resortes helicoidales de tracción y compresión, los parámetros geométricos que se detallarán a continuación tienen la finalidad de definir los límites de las longitudes mínimas y máximas que se pueden registrar en este tipo de resortes.

**Resortes helicoidales a tracción y compresión**

Los resortes a tracción conocido como resortes de extensión, funciona resistiendo una fuerza de tracción. Absorbe y almacena energía a medida que se extiende y luego, a una cierta longitud, creará una fuerza de retorno y devolverá dos componentes a su posición original. En su estado original, sin carga, las bobinas adyacentes se tocarán entre sí, sin embargo, la tensión inicial debe superarse antes de que se extienda un resorte de tensión [8].

Los resortes de compresión son elaborados y diseñados con el propósito de que las espiras que lo conforman se opongan a las fuerzas de compresión a lo largo del eje de torsión del resorte, es la configuración más común de resortes que se puede encontrar en los mecanismos en diferentes aplicaciones de la industria [9].

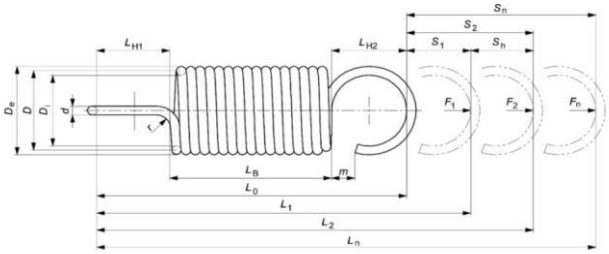


Figura 1. Características geométricas de un resorte helicoidal a tensión [10].

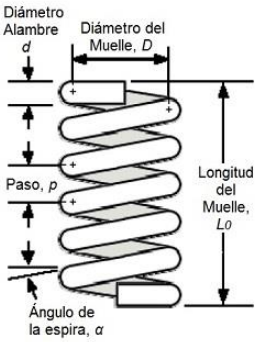



Figura 2. Características geométricas de un resorte helicoidal a compresión [10].

Las características geométricas de la Figura 1. y la Figura 2. se detallan en los anexos, en la Figura 54. y en la Figura 55.

**Constante de rigidez (K)**

La constante de rigidez K de un resorte, también denominada coeficiente de elasticidad, representa la medida de la fuerza necesaria para deformar un resorte a una determinada distancia. Es decir, nos indica cuánta fuerza es necesaria para comprimir o estirar el resorte por unidad de longitud.

Las unidades de la constante de rigidez K se expresa en unidades de fuerza por unidad de longitud, en el Sistema Internacional de Unidades (N/m) y en el Sistema Inglés (lb/in). La fórmula para calcular dicha constante de elasticidad va a depender del tipo de resorte y del material del cual haya sido fabricado [6],generalmente se expresa como:

$$K = \frac{F}{x} \tag{1}$$

Donde,

$K$= constante de rigidez del resorte (N/m ó lb/in)

$F$= fuerza aplicada en el resorte (N ó lb)

$x$= distancia de deformación del resorte (m)

Para calcular la constante de rigidez de forma teórica, se considera la deflexión de los resortes helicoidales. La energía de deformación en el elemento (U) se puede obtener utilizando el teorema de Castigliano. La energía total de deformación de un resorte helicoidal está compuesta por una componente de torsión y una de cortante:

$$U = \frac{T^2 l}{2GJ} + \frac{F^2 l}{2AG} \tag{2}$$

Donde,

$T$= el elemento torsional aplicado al elemento.

$l$= la longitud del elemento.

$G$= es el módulo de corte del material.

$J$= el elemento de inercia polar del elemento vida respecto al eje de torsión.

$A$= el área de la sección transversal del elemento.

$F$= la carga axial aplicada al elemento.

Sustituyendo $T = \frac{FD}{2}$, $l = \pi DN$, $J = \frac{\pi d^4}{32}$, $A = \frac{\pi d^2}{4}$ en la ecuación (2) se obtiene:

$$U = \frac{4F^2 D^3 N}{d^4 G} + \frac{2F^2 DN}{d^2 G} \tag{3}$$

Donde,

$D$= el diámetro medio del cuerpo del resorte.

$d$= el diámetro del alambre.

$N$= Na es el número de espiras activas.

Se aplica el teorema de Castigliano para determinar la deflexión total, obtenido la siguiente ecuación:

$$y = \frac{\partial U}{\partial F} = \frac{8FD^3 N}{d^4 G} + \frac{4FDN}{d^2 G} \tag{4}$$

Sabiendo que $C = \frac{D}{d}$, la ecuación (4) se reordena obteniendo:

$$y = \frac{8FD^3N}{d^4G}\left(1 + \frac{1}{2C^2}\right) = \frac{8FD^3N}{d^4G} \tag{5}$$

Donde,

$C$= el índice del resorte

La constante de resorte (1), se usa únicamente cuando se tiene datos experimentales medibles de fuerza y deformación. La ecuación (6) a continuación, se utiliza para determinar la constante de rigidez de una manera teórica sin la necesidad de medir la fuerza y deformación.

$$K = \frac{d^4G}{8FD^3N} \tag{6}$$

**Materiales para resortes**

Los resortes normalmente se fabrican mediante la utilización de procesos de trabajo en frío o en caliente, esto va a depender de las propiedades deseadas. Los esfuerzos residuales que se inducen en el enrollado de resortes son mediante flexión, los cuales son normales a la dirección de los esfuerzos de trabajo torsionales de un resorte helicoidal. En la manufactura, dichos esfuerzos se liberan después del enrollado mediante un tratamiento térmico moderado [11].

Existe a nuestra disposición una amplia gama de materiales para la fabricación de resortes, dentro de los cuales están los aceros al carbono, aceros de aleación y aceros inoxidables, entre otros tenemos materiales no ferrosos como el bronce fosforoso, latón, cobre berilio y diversas aleaciones de níquel.

| Material | Límite elástico, porcentaje de $S_{ut}$, tensión | torsión | Diámetro $d$, pulg | $E$ Mpsi | $E$ GPa | $G$ Mpsi | $G$ GPa |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Alambre de piano A228 | 65-75 | 45-60 | <0.032 | 29.5 | 203.4 | 12.0 | 82.7 |
| | | | 0.033-0.063 | 29.0 | 200 | 11.85 | 81.7 |
| | | | 0.064-0.125 | 28.5 | 196.5 | 11.75 | 81.0 |
| | | | >0.125 | 28.0 | 193 | 11.6 | 80.0 |
| Resorte estirado duro A227 | 60-70 | 45-55 | <0.032 | 28.8 | 198.6 | 11.7 | 80.7 |
| | | | 0.033-0.063 | 28.7 | 197.9 | 11.6 | 80.0 |
| | | | 0.064-0.125 | 28.6 | 197.2 | 11.5 | 79.3 |
| | | | >0.125 | 28.5 | 196.5 | 11.4 | 78.6 |

Figura 3. Aceros de alto carbono para resortes [11].

| Material | Límite elástico, porcentaje de $S_{ut}$, tensión | torsión | Diámetro $d$, pulg | $E$ Mpsi | $E$ GPa | $G$ Mpsi | $G$ GPa |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Templado en aceite A239 | 85-90 | 45-50 | | 28.5 | 196.5 | 11.2 | 77.2 |
| Resorte de válvula A230 | 85-90 | 50-60 | | 29.5 | 203.4 | 11.2 | 77.2 |
| Cromo-vanadio A231 | 88-93 | 65-75 | | 29.5 | 203.4 | 11.2 | 77.2 |
| A232 | 88-93 | | | 29.5 | 203.4 | 11.2 | 77.2 |
| Cromo-silicio A401 | 85-93 | 65-75 | | 29.5 | 203.4 | 11.2 | 77.2 |
| Acero inoxidable | | | | | | | |
| A313* | 65-75 | 45-55 | | 28 | 193 | 10 | 69.0 |
| 17-7PH | 75-80 | 55-60 | | 29.5 | 208.4 | 11 | 75.8 |
| 414 | 65-70 | 42-55 | | 29 | 200 | 11.2 | 77.2 |
| 420 | 65-75 | 45-55 | | 29 | 200 | 11.2 | 77.2 |
| 431 | 72-76 | 50-55 | | 30 | 206 | 11.5 | 79.3 |
| Bronce fosforado B159 | 75-80 | 45-50 | | 15 | 103.4 | 6 | 41.4 |
| Cobre al berilio B197 | 70 | 50 | | 17 | 117.2 | 6.5 | 44.8 |
| | 75 | 50-55 | | 19 | 131 | 7.3 | 50.3 |
| Aleación inconel X-750 | 65-70 | 40-45 | | 31 | 213.7 | 11.2 | 77.2 |

Figura 4. Propiedades mecánicas de aceros para resortes [11].

En la Figura 56, se detalla las diferentes aplicaciones de los materiales más comunes utilizados para la fabricación de resortes.

La fabricación de un resorte helicoidal no solo implica cálculos precisos en cuanto a su diseño, sino también la selección adecuada del material, esto garantiza que el resorte funcione de una manera segura y eficiente para la aplicación diseñada.

**Parámetros básicos de diseño de un resorte helicoidal**

**Cálculo del diámetro del alambre (d)**

Generalmente, el diámetro del alambre es seleccionado con base en la carga máxima y en las especificaciones del material. Este parámetro es crucial para asegurar que el resorte pueda soportar las fuerzas aplicadas sin deformarse permanentemente.

**Cálculo del diámetro de la espira (D)**

El diámetro medio de la espira se determina en función del espacio disponible y las dimensiones requeridas del resorte. Se calcula como:

$$D_m = \frac{D_e + D_i}{2} \tag{7}$$

Donde,

$D_e$: diámetro exterior del resorte.

$D_i$: diámetro interior del resorte.

**Número de vueltas (N)**

El número de vueltas totales $N_t$ incluye las vueltas activas $N_a$ y las vueltas de acabado o apoyo $N_s$, siendo las vueltas activas las que se deforman bajo carga y se calculan en función de la longitud libre y la deflexión máxima esperada del resorte:

$$N_a = \frac{\Delta * D_m^3 * k}{G * d^4} \tag{8}$$

**Fuerza aplicada en el resorte**

Para calcular la carga máxima (F) que puede soportar un resorte se usa la fórmula:

$$F = \frac{G * d^4}{8 * D_m^3 * N_a} * \delta \tag{9}$$

Donde,

$G$: es el módulo de rigidez del material.

$\delta$: es la deformación o el desplazamiento del resorte.

**Esfuerzos en el resorte**

El esfuerzo cortante en el alambre del resorte ($\tau$) se calcula utilizando la ecuación de Wahl, la cual toma en cuenta la concentración de tensiones:

$$\tau = \frac{8 * F * D_m}{\pi * d^3} * K_w \tag{10}$$

Donde,

$F$: es la fuerza aplicada en el resorte.

$K_w$: es el factor de Wahl (corrección por tensiones)

El factor de Wahl se calcula como:

$$K_w = \frac{4C - 1}{4C - 4} + \frac{0.615}{C} \tag{11}$$

Donde,

$C$: es el índice de resorte (relación entre el diámetro de la espira y el diámetro del alambre.

**Deflexión máxima del resorte (Δ)**

La deflexión máxima del resorte bajo una carga (F) se calcula con:

$$\Delta = \frac{8 * F * D_m^3 * N_a}{G * d^4} \tag{12}$$

**Cálculo del factor de seguridad**

$$SF = \frac{\tau_{yield}}{\tau_{max}} \tag{13}$$

Donde,

$\tau_{yield}$: esfuerzo de fluencia del material.

$\tau_{max}$: esfuerzo máximo experimentado por el resorte.

El diseño óptimo de un resorte helicoidal para una aplicación en específico va a prescindir de la adecuada selección del material, considerando tratamientos superficiales para mejorar la resistencia a la fatiga, el cálculo de la carga máxima que soporta el resorte, siendo uno de los puntos más importantes a considerar el factor de seguridad, ajustando los cálculos de diseño para garantizar que las tensiones en el resorte estén dentro de los límites seguros.

**Alternativas de máquinas para fabricar resortes existentes en el mercado**

El impacto del avance tecnológico en el área de la ingeniería, específicamente de la mecánica, ha dado lugar a la fabricación de distintos tipos de máquinas para la fabricación de resortes helicoidales las cuales nos pueden servir como referencia para la correcta selección y diseño de los componentes del presente proyecto [5].

En la actualidad, en diversos países como Italia, Japón, Alemania y Taiwán los sistemas CNC (Control Numérico por Computadora) son los más utilizados en la industria de fabricación de resortes mecánicos. Estos sistemas han ganado popularidad debido a su precisión, eficiencia y capacidad para automatizar procesos complejos, lo que ha llevado a que las maquinarias equipadas con este tipo de tecnología sean las más cotizadas por los fabricantes de resortes mecánicos. El tipo de máquina va a depender de los requerimientos deseados por cada una de las industrias, como es la cantidad de producción, el diámetro del alambre, la precisión y costos de fabricación [5].

A continuación, se presentan varios tipos de maquinaria de alto rendimiento que permiten la fabricación de una amplia gama de resortes mecánicos.

## Máquina ITAYA



Figura 5. Máquina ITAYA [5].

TABLA II

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA MÁQUINA ITAYA [5]

| Especificaciones técnicas | |
|---|---|
| Tipo de resorte | Compresión |
| Diámetro máximo del alambre | 3 mm |
| Diámetro máximo del resorte | 24 mm |
| Longitud máxima | 180 mm |
| Paso | Variable |
| Capacidad | 20 – 110 rpm |
| Costo | 22000 USD |

## Máquina BRISTOL



Figura 6. Máquina BRISTOL [5].

TABLA III

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA MÁQUINA BRISTOL [5]

| **Especificaciones técnicas** | |
|---|---|
| Tipo de resorte | Compresión |
| Diámetro máximo del alambre | 2 mm |
| Diámetro máximo del resorte | 35 mm |
| Longitud máxima | 120 mm |
| Paso | Variable |
| Capacidad | 25 - 90 rpm |
| Costo | 20000 USD |

## Máquina BUILDWELL

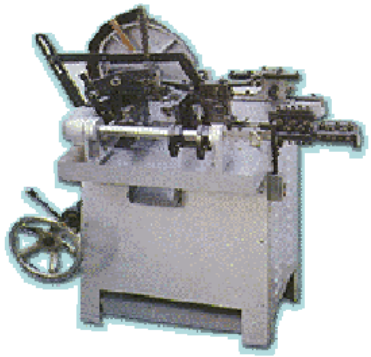


Figura 7. Máquina BUILDWELL [5].

TABLA IV

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA BUILDWELL [5]

| **Especificaciones técnicas** | |
|---|---|
| Tipo de resorte | Compresión |
| Diámetro máximo del alambre | 2.5 mm |
| Diámetro máximo del resorte | 20 mm |
| Longitud máxima | 250 mm |
| Paso | Variable |
| Capacidad | 10 - 25 rpm |
| Costo | 14000 USD |

## Máquina BOBBIO



Figura 8. Máquina BOBBIO [5].

TABLA V

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA MÁQUINA BOBBIO [5]

| **Especificaciones técnicas** | |
|---|---|
| Tipo de resorte | Compresión/Torsión |
| Diámetro máximo del alambre | 5.5 mm |
| Diámetro máximo del resorte | 60 mm |
| Longitud máxima | 2350 mm |
| Paso | Variable |
| Capacidad | 20 - 350 rpm |
| Costo | 35000 USD |

## Máquina MTS




*Figura 9. Máquina MTS [5].*

TABLA VI

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA MÁQUINA MTS [5]

| **Especificaciones técnicas** | |
|---|---|
| Tipo de resorte | Compresión/Torsión |
| Diámetro máximo del alambre | 4 mm |
| Diámetro máximo del resorte | 40 mm |
| Longitud máxima | 290 mm |
| Paso | Variable |
| Capacidad | 25 - 154 rpm |
| Costo | 27000 USD |

## Máquina CHIN YN CHANG



Figura 10. Máquina CHIN YN CHANG [5].

TABLA VII

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA MÁQUINA CHIN YAN CHANG [5]

| **Especificaciones técnicas** | |
|---|---|
| Tipo de resorte | Compresión |
| Diámetro máximo del alambre | 3 mm |
| Diámetro máximo del resorte | 15 mm |
| Longitud máxima | 300 mm |
| Paso | Variable |
| Capacidad | 10 - 30 rpm |
| Costo | 15000 USD |

**Normas**

La International Standard Organization (ISO), en conjunto con algunos comités específicos, como por ejemplo la Comisión Electrónica Internacional (IEC), y organismos internacionales como el comité técnico ISO/TC 227, prepararon la DRAFT INTERNATIONAL STANDARD ISO/DIS 22705-2 [6].

Está normativa se especializa en los parámetros del resorte de extensión helicoidales cilíndricos conformados en frío, trata sobre el resorte y las especificaciones necesarias para realizar la medición y la prueba de estos. También contiene normativa para las especificaciones geométricas, diseños y características metrológicas, simbología específica de los resortes, determina la característica de la bobina con que se construyen los resortes, así como también las abreviaturas y símbolos de cada una de las partes de dichos resortes [6].

**Justificación**

El mercado en el país no abastece las necesidades de las diferentes industrias que requieren de repuestos de resortes de diferentes tipos, entre ellos resortes de tipo helicoidal los cuales son los más comunes. La fabricación artesanal de resortes ha sido una opción para abastecer este amplio mercado que ha sido poco explotado. Los artesanos que disponen máquinas que no son elaboradas bajo normas de diseño y construcción se dedican a abastecer el mercado de resortes del sector automovilístico, siendo este la principal fuente de trabajo para los artesanos.

El diseño y construcción de una máquina para hacer resortes se presenta como un proyecto para impulsar la innovación aplicando conceptos actualizados de la carrera de ingeniería mecánica. Impulsar un proyecto que abarque un mercado sin explotar garantiza a la vez oportunidades laborales con un equipo actualizado. La utilización de normas de diseño mecánico en esta máquina también garantiza alta productividad y ningún riesgo que atente con la integridad física de los operadores.

Dada la importancia general de los resortes helicoidales en la ingeniería mecánica actual, este proyecto se alinea con la necesidad imperante de mejorar los métodos de producción de estos componentes esenciales, que mejore, respondiendo a la creciente demanda de estos componentes esenciales en la ingeniería mecánica. Al destacar la importancia de optimizar la producción de resortes y proponer soluciones innovadoras,

este proyecto contribuirá al avance continuo en el campo de la ingeniería mecánica, con el objetivo de diseñar y construir una máquina fabricadora de resortes helicoidales.

**Objetivo General**

Diseñar y construir una máquina para la fabricación de resortes helicoidales de ½´´ y 1´´ de diámetro interior.

**Objetivos Específicos**

- Investigar información relacionada con los parámetros de diseño adecuados para realizar el diseño de la máquina elaboradora de resortes helicoidales.
- Utilizar software de ingeniería para diseñar la máquina elaboradora de resortes helicoidales.
- Construir la máquina diseñada para medir su funcionabilidad fabricando los resortes propuestos.
- Realizar pruebas de funcionamiento de la máquina fabricadora de resortes helicoidales.

# CAPÍTULO II

## METODOLOGÍA

Este proyecto técnico se desarrolla con una adecuada aplicación de la metodología establecida, es fundamental trabajar de manera secuencial para cumplir los objetivos establecidos en base a etapas que se han marcado dentro de este proyecto técnico. Se definen cuatro etapas que engloban el seguimiento de la metodología del proyecto y son: investigación de información, cálculos de diseño y modelación computacional, elaboración de la máquina propuesta y la última etapa que consta de pruebas de funcionamiento y análisis de resultados.

La primera etapa para el desarrollo del proyecto se basa en la investigación de varios factores como: servicios relacionados a la fabricación de resortes en el país, materiales usados en la elaboración de resortes y disponibilidad en el mercado de maquinaria para la fabricación de resortes o maquinarias similares de fabricación artesanal. La segunda etapa es crucial para verificar el planteamiento del diseño y realizar modificaciones, esto con la ayuda de modelación computacional que nos permite realizar simulaciones de la máquina propuesta y tener un criterio más acertado para determinar con exactitud la selección de materiales y componentes necesarios para poner en práctica la elaboración del proyecto. La tercera etapa consta de la adquisición de los materiales y los procesos necesarios para transformar por medio de técnicas de metal mecánica los materiales adquiridos en la máquina diseñada. En la última etapa del desarrollo del proyecto técnico se realizarán pruebas de funcionamiento y poder comparar los objetivos establecidos con los resultados obtenidos en dichas pruebas, así poder realizar un análisis de los resultados.

### Materiales, Equipos y Herramientas

Los componentes principales de la máquina propuesta están diseñados en base a cálculos y normas que determinan el tipo de material o perfil estructural en el cual se deben elaborar los diferentes elementos. A continuación, se describirá las especificaciones técnicas de los materiales y perfiles estructurales seleccionados para el diseño del proyecto.

## Descripción de materiales y perfiles estructurales

### Acero de transmisión (AISI 1018)

Este acero con baja cantidad de carbono tiene buena maquinabilidad en frío y se aplica en ejes de transmisión que tienen bajo impacto de carga, además posee la propiedad de buena soldabilidad. Este material es adecuado para el eje principal motriz y para las matrices donde se realizarán los resortes.

TABLA VIII

PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO AISI 1018 [12]

| **PROPIEDADES MECÁNICAS** | | | |
|---|---|---|---|
| **Módulo de Elasticidad** | **Dureza (Rockwell B)** | **Resistencia mínima** | **Resistencia máxima** |
| 200GPa | 71 | 370 MPa | 440 MPa |

### Perfil Estructural Ángulo L

El perfil seleccionado para la fabricación del bastidor de la máquina es el L40x4, este perfil nos permite elaborar una amplia variedad de cortes y uniones que favorecen la construcción de la máquina, además como beneficio ante la corrosión la forma del perfil facilita la cobertura con pintura. El material de fabricación de este perfil estructural es ASTM A36 [13].

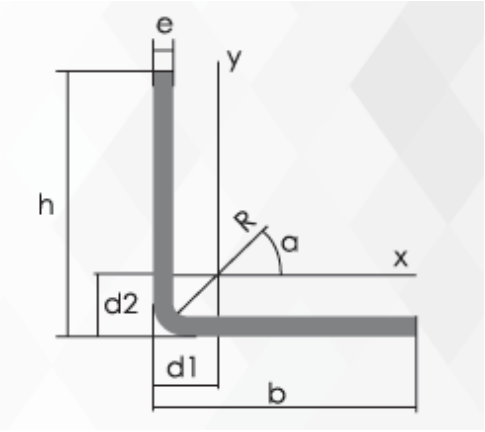



Figura 11. Cotas del perfil estructural tipo Ángulo L [13].

| Ángulos de alas iguales | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Descripción | b | h | e | Masa | Área | d1 | d2 | Ángulo a | Eje X - X | | | Eje Y - Y | | | Eje U - U | | | Eje V - V | | |
| | | | | | | | | | Ix | Wx | rx | Iy | Wy | ry | Iu | Wu | ru | Iv | Wv | rv |
| | mm | mm | mm | Kg/m | cm2 | cm | cm | (°) | cm4 | cm3 | cm | cm4 | cm3 | cm | cm4 | cm3 | cm | cm4 | cm3 | cm |
| L 20x 2 | 20 | 20 | 2 | 0,57 | 0,73 | 0,60 | 0,60 | 45,00 | 0,28 | 0,20 | 0,62 | 0,28 | 0,20 | 0,62 | 0,46 | 0,32 | 0,79 | 0,10 | 0,14 | 0,37 |
| L 20 x 3 | 20 | 20 | 3 | 0,81 | 1,03 | 0,65 | 0,65 | 45,00 | 0,38 | 0,28 | 0,60 | 0,38 | 0,28 | 0,60 | 0,63 | 0,45 | 0,78 | 0,12 | 0,17 | 0,34 |
| L 25x 2 | 25 | 25 | 2 | 0,73 | 0,93 | 0,72 | 0,72 | 45,00 | 0,56 | 0,32 | 0,78 | 0,56 | 0,32 | 0,78 | 0,92 | 0,52 | 1,00 | 0,20 | 0,23 | 0,47 |
| L 25x 3 | 25 | 25 | 3 | 1,05 | 1,33 | 0,78 | 0,78 | 45,00 | 0,78 | 0,45 | 0,77 | 0,78 | 0,45 | 0,77 | 1,30 | 0,74 | 0,99 | 0,26 | 0,30 | 0,45 |
| L 30 x 2 | 30 | 30 | 2 | 0,88 | 1,13 | 0,85 | 0,85 | 45,00 | 1,00 | 0,46 | 0,94 | 1,00 | 0,46 | 0,94 | 1,63 | 0,77 | 1,20 | 0,37 | 0,35 | 0,57 |
| L 30x 3 | 30 | 30 | 3 | 1,28 | 1,63 | 0,90 | 0,90 | 45,00 | 1,40 | 0,67 | 0,93 | 1,40 | 0,67 | 0,93 | 2,32 | 1,09 | 1,19 | 0,49 | 0,46 | 0,55 |
| L 30x 4 | 30 | 30 | 4 | 1,65 | 2,10 | 0,95 | 0,95 | 45,00 | 1,76 | 0,86 | 0,91 | 1,76 | 0,86 | 0,91 | 2,93 | 1,38 | 1,18 | 0,58 | 0,55 | 0,52 |
| L 40x 2 | 40 | 40 | 2 | 1,20 | 1,33 | 1,10 | 1,10 | 45,00 | 2,44 | 0,84 | 1,26 | 2,44 | 0,84 | 1,26 | 3,96 | 1,40 | 1,61 | 0,92 | 0,65 | 0,78 |
| L 40x 3 | 40 | 40 | 3 | 1,75 | 2,23 | 1,15 | 1,15 | 45,00 | 3,49 | 1,22 | 1,25 | 3,49 | 1,22 | 1,25 | 5,71 | 2,02 | 1,60 | 1,27 | 0,90 | 0,75 |
| L 40x 4 | 40 | 40 | 4 | 2,28 | 2,90 | 1,20 | 1,20 | 45,00 | 4,44 | 1,59 | 1,24 | 4,44 | 1,59 | 1,24 | 7,23 | 2,59 | 1,59 | 1,55 | 1,10 | 0,73 |
| L 40x 5 | 40 | 40 | 5 | 2,77 | 3,54 | 1,25 | 1,25 | 45,00 | 5,29 | 1,92 | 1,22 | 5,29 | 1,92 | 1,22 | 8,80 | 3,11 | 1,58 | 1,77 | 1,25 | 0,71 |
| L 50x 2 | 50 | 50 | 2 | 1,51 | 1,93 | 1,35 | 1,35 | 45,00 | 4,85 | 1,33 | 1,59 | 4,85 | 1,33 | 1,59 | 7,85 | 2,22 | 2,02 | 1,85 | 1,05 | 0,98 |

Figura 12. Propiedades geométricas del perfil estructural tipo ángulo [13].

Este perfil fabricado bajo calidad ASTM A36, se adapta perfectamente por su forma para la fabricación del canal donde se moviliza el carro guía que proporciona soporte al alambre.

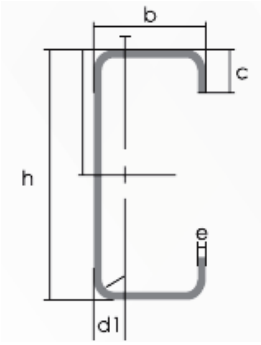



Figura 13. Cotas del perfil estructural tipo Canal G [13].

| Designación | Dimensiones | | | | Masa | A | d1 | Momento de inercia | | Módulo resistente | | Radio de giro | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | h | b | c | e | | | | Ix | Iy | Wx | Wy | ix | iy |
| | mm | mm | mm | mm | Kg/m | cm2 | cm | cm4 | cm4 | cm3 | cm3 | cm | cm |
| G 60x30x10x2 | 60 | 30 | 10 | 2 | 1,96 | 2,54 | 1,44 | 14,88 | 5,28 | 4,9 | 2,74 | 2,42 | 1,44 |
| G 80x40x15x2 | 80 | 40 | 15 | 2 | 2,75 | 3,54 | 1,46 | 35,25 | 8,07 | 8,81 | 3,18 | 3,16 | 1,51 |
| G 80x40x15x3 | 80 | 40 | 15 | 3 | 3,95 | 5,11 | 1,46 | 49,04 | 10,85 | 12,26 | 4,27 | 3,1 | 1,46 |
| G 80x50x15x2 | 80 | 50 | 15 | 2 | 3,06 | 3,88 | 1,46 | 41,11 | 13,55 | 10,28 | 4,34 | 3,23 | 1,88 |
| G100x50x15x2 | 100 | 50 | 15 | 2 | 3,38 | 4,34 | 1,73 | 69,24 | 14,98 | 13,85 | 4,57 | 4,00 | 1,86 |
| G100x50x15x3 | 100 | 50 | 15 | 3 | 4,89 | 6,31 | 1,72 | 97,78 | 20,51 | 19,56 | 6,25 | 3,94 | 1,8 |
| G100x50x15x4 | 100 | 50 | 15 | 4 | 6,29 | 8,15 | 1,71 | 122,5 | 24,85 | 24,49 | 7,55 | 3,88 | 1,75 |
| G100x50x20x4 | 100 | 50 | 20 | 4 | 6,60 | 8,55 | 1,85 | 126,7 | 28,5 | 25,34 | 9,05 | 3,85 | 1,83 |
| G100x50x25x5 | 100 | 50 | 25 | 5 | 8,35 | 10,86 | 1,98 | 152,51 | 36,52 | 30,5 | 12,09 | 3,75 | 1,83 |
| G125x50x15x2 | 125 | 50 | 15 | 2 | 3,77 | 4,84 | 1,56 | 116,4 | 16,16 | 18,63 | 4,69 | 4,91 | 1,83 |
| G125x50x15x3 | 125 | 50 | 15 | 3 | 5,48 | 7,06 | 1,55 | 165,5 | 22,16 | 26,48 | 6,43 | 4,84 | 1,77 |
| G125x50x15x4 | 125 | 50 | 15 | 4 | 7,07 | 9,15 | 1,54 | 208,7 | 26,88 | 33,39 | 7,78 | 4,78 | 1,71 |

Figura 14. Propiedades geométricas del perfil estructural tipo canal G [13].

Este perfil fabricado bajo calidad ASTM A36, cumple con los requerimientos de diseño para la fabricación de las guías del carro guía.

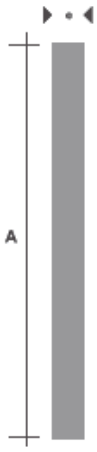



Figura 15. Cotas del perfil Tipo Platina [13].

| Denominación | Dimensiones mm | | Peso | | Área |
|---|---|---|---|---|---|
| | A | e | kg/m | kg/6m | cm2 |
| PLT 12X3 | 12 | 3 | 0.28 | 1.70 | 0.36 |
| PLT 12X4 | 12 | 4 | 0.38 | 2.45 | 0.48 |
| PLT 12X6 | 12 | 6 | 0.57 | 3.40 | 0.72 |
| PLT 19X3 | 19 | 3 | 0.45 | 2.68 | 0.57 |
| PLT 19X4 | 19 | 4 | 0.60 | 3.58 | 0.76 |
| PLT 19X6 | 19 | 6 | 0.89 | 5.37 | 1.15 |
| PLT 25X3 | 25 | 3 | 0.59 | 3.53 | 0.75 |
| PLT 25X4 | 25 | 4 | 0.79 | 4.71 | 1.00 |
| PLT 25X3 | 25 | 6 | 1.18 | 7.07 | 1.50 |

Figura 16. Propiedades geométricas del perfil estructural tipo platina [13].

## Catarinas

El planteamiento del desarrollo del proyecto se basa en que el operario tenga técnica para la elaboración de los resortes en la matriz, para esto se necesita que las revoluciones sean lo más bajas posibles para que el operador no sufra incidentes en este proceso. Las catarinas seleccionadas tienen 16 y 21 dientes, tanto el piñón de transmisión como el conducido respectivamente. Esta selección permite bajar aún más las revoluciones por minuto, el motorreductor ofrece una velocidad angular de 45 revoluciones por minuto, por lo tanto, se eligen catarinas con diferente número de dientes, pero con el mismo paso para reducir la velocidad de operación, esto con el fin de que el operador tenga más tiempo de reacción en el proceso de la elaboración de los resortes. La catarina motriz de 16 dientes está ensamblada en el eje de salida por lo tanto se reducirá la velocidad angular en la catarina conducida de 21 dientes, está velocidad angular se calculará a continuación.

$$N_1 Z_1 = N_2 Z_2 \tag{14}$$

Donde,

$N_1 =$ Velocidad angular de la catarina motriz

$Z_1 =$ Numero de deintes de la catarina motriz

$N_2 =$ Velocidad angular de la catarina conducida

$Z_2 =$ Numero de deintes de la catarina conducida

$$N_2 = \frac{N_1 Z_1}{Z_2}$$

$$N_2 = \frac{(45\ \text{rpm})(16)}{21}$$

$$N_2 = 34.28\ \text{rpm}$$



Figura 17. Sección transversal de una catarina con una maza [16].



Figura 18. Catarina con una maza de 21 dientes paso 3/4.

**Cadena de rodillos**

La fuerza de flexión ejercida por cadenas y engranes se suele tomar igual a la fuerza impulsora neta [14]. Esto quiere decir que a diferencia de la transmisión de movimiento por bandas la transmisión por cadena tiene mayor resistencia a la tracción, lo cual hace este sistema ideal para trasmitir altos niveles de torque y sin deslizamiento.

Dado esto la transmisión del movimiento de la máquina se ha seleccionado por cadena y catarina.

La cadena que hemos seleccionado para transmitir la potencia de 2HP a 34.28 rpm rpm ha sido bajo normas ANSI, la cadena número 60 se ha seleccionado debido a su alta capacidad de transmitir torque y considerando bajas revoluciones por minuto genera una alta demanda de tracción, además la relación la relación de transmisión precisa asegura que el operario pueda trabajar sin generar fallas en el producto.

Una ventaja adicional es que las cadenas están elaboradas en aceros de alto carbono con un correcto tratamiento térmico, esto garantiza mayor resistencia a la fatiga y durabilidad [15].

TABLA IX

TAMAÑOS DE PASOS DE CADENAS BAJO NORMA ANSI [15]

| N° de paso | Paso en pulgadas | N° de paso | Paso en pulgadas |
|---|---|---|---|
| 25 | ¼'' | 100 | 1 ¼'' |
| 35 | 3/8'' | 120 | 1 ½'' |
| 40 | ½'' | 140 | 1 ¾'' |
| 41 | ½'' | 160 | 2'' |
| 50 | 5/8'' | 180 | 2 ¼'' |
| 60 | ¾'' | 200 | 2 ½'' |
| 80 | 1'' | 240 | 3'' |

TABLA X

TAMAÑOS DE CABEZAS DE RODILLOS [14]

| N° de cadena | Paso (pulg) | Diámetro del rodillo | Ancho del rodillo | Espesor de placa lateral | Resistencia promedio a la tensión (lb) |
|---|---|---|---|---|---|
| 25 | ¼ | - | - | 0.030 | 925 |
| 35 | 3/8 | - | - | 0.050 | 2100 |
| 41 | ½ | 0.306 | 0.250 | 0.050 | 2000 |
| 40 | ½ | 0.312 | 0.312 | 0.060 | 3700 |
| 50 | 5/8 | 0.400 | 0.375 | 0.080 | 6100 |
| 60 | ¾ | 0.409 | 0.500 | 0.094 | 8500 |
| 80 | 1 | 0.626 | 0.625 | 0.125 | 14500 |
| 100 | 1 1/4 | 0.750 | 0.750 | 0.156 | 2400 |

En base a las TABLAS IX y TABLA X podemos concluir que la resistencia promedio a la tensión es de 8500 lbs, esto deberá ser comparado con el valor real y comprobar su resistencia por medio de cálculo del torque en la catarina y después obtener la fuerza neta en libras.

$$T_{Catarina} = 9.55 * \frac{P_C}{\omega} \tag{15}$$

$$T_{Catarina} = 9.55 * \frac{2\ HP}{34.28\ rpm}$$

$$T_{Catarina} = 9.55 * \frac{2\ HP * 745.7}{34.28\ rpm}$$

$$T_{Catarina} = 9.55 * \frac{1491.4\ Watts}{34.28\ rpm}$$

$$T_{Catarina} = 316.51\ Nm$$

$$F_{n_{Catarina}} = \frac{T_{Catarina}}{r_{Catarina}} \tag{16}$$

$$F_{n_{Catarina}} = \frac{316.51\ Nm}{0.0613\ m}$$

$$F_{n_{Catarina}} = 4869.38\ N = 1094.68\ lbs$$

Dado esto podemos evidenciar que la cadena es apta para transmitir la fuerza que se está generando en la catarina.

**Chumaceras**

- Para la selección de las chumaceras en este proyecto se toma en cuenta ciertos factores a discutir. Las velocidades de operación en el proceso de elaboración de resortes en esta máquina serán menores a 50 rpm.
- Las cargas que se están aplicando sobre el eje son radiales mas no axiales, la instalación de las chumaceras debe ser sencilla y de fácil mantenimiento.
- La alineación del eje principal es horizontal respecto a la base de la máquina.

En base a los criterios propuestos en los ítems anteriores, las cumaceras de piso son la mejor opción para complementar el diseño del sistema motriz de la máquina. Las chumaceras de piso aportan mucha facilidad de montaje y de mantenimiento, las

cumaceras de piso están diseñadas soportan de mejor manera las cargas de tipo radial y son más comunes en aplicaciones donde la velocidad de operación es moderada, además el costo de las chumaceras de piso es más económico con relación a chumaceras de tipos más complejos, por último, la ventaja de las chumaceras de piso es que permiten desalineación y se pueden compensar errores de montaje y alineación [17].

| No. De parte | Diámetro del eje d | | Dimensiones (mm) | | | | | | | | | | tornillo utilizado | | No. Rodamiento | No. Alojamiento | peso (kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (in.) | (mm) | h | a | e | b | $S_2$ | $S_1$ | g | w | Bi | n | (mm) | (in.) | | | |
| UCP201<br>201-8 | 1/2 | 12 | 30.2 | 127 | 96 | 38 | 19 | 13 | 15 | 62 | 31.0 | 12.7 | M10 | 3/8 | UCP201<br>201-8 | P201 | 0.61 |
| UCP202<br>202-10 | 5/8 | 15 | 30.2 | 127 | 96 | 38 | 19 | 13 | 15 | 62 | 31.0 | 12.7 | M10 | 3/8 | UCP202<br>202-10 | P202 | 0.59 |
| UCP203<br>203-11 | 11/16 | 17 | 30.2 | 127 | 96 | 38 | 19 | 13 | 15 | 62 | 31.0 | 12.7 | MI0 | 3/8 | UCP203<br>203-11 | P203 | 0.58 |
| UCP204<br>204-12 | 3/4 | 20 | 33.3 | 127 | 96 | 38 | 19 | 13 | 15 | 65 | 31.0 | 12.7 | M10 | 3/8 | UCP204<br>204-12 | P204 | 0.61 |
| UCP205-14<br>205-15<br>205<br>205-16 | 7/8<br>15/16<br><br>1 | 25 | 36.5 | 140 | 105 | 38 | 19 | 13 | 16 | 70 | 34.1 | 14.3 | M10 | 3/8 | UCP205-14<br>205-15<br>205<br>205-16 | P205 | 0.69 |
| UCP206-18<br>206<br>206-19<br>206-20 | 1 1/8<br><br>1 3/16<br>1 1/4 | 30 | 42.9 | 165 | 121 | 48 | 21 | 17 | 18 | 83 | 38.1 | 15.9 | M14 | 1/2 | UCP206-18<br>206<br>206-19<br>206-20 | P206 | 1.13 |
| UCP207-20<br>207-21<br>207-22<br>207 | 1 1/4<br>1 5/16<br>1 3/8 | 35 | 47.6 | 167 | 126 | 48 | 21 | 17 | 19 | 92 | 42.9 | 17.5 | M14 | 1/2 | UCP207-20<br>207-21<br>207-22<br>207 | P207 | 1.34 |
| UCP208-24<br>208-25<br>208 | 1 1/2<br>1 9/16 | 40 | 49.2 | 184 | 136 | 54 | 21 | 17 | 19 | 98 | 49.2 | 19.0 | M14 | 1/2 | UCP208-24<br>208-25<br>208 | P208 | 1.80 |

Figura 19. Dimensiones de chumaceras de piso para trabajo normal [18].

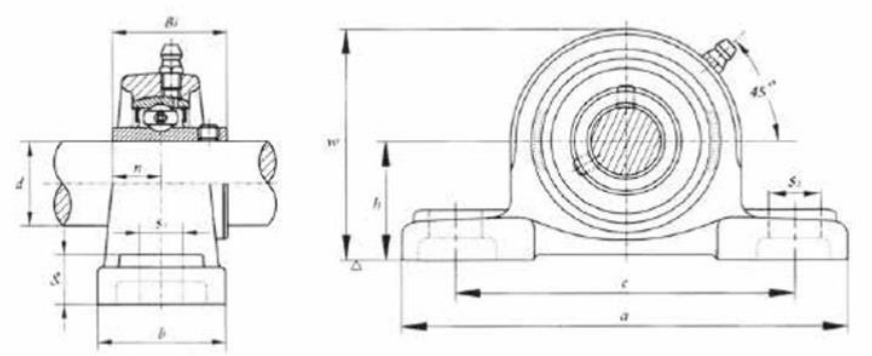



Figura 20. Propiedades geométricas de una chumacera de piso para trabajo normal [18].

Ya conocidas las condiciones de operación de las chumaceras se optó por chumaceras de piso, y para seleccionar las chumaceras adecuadas se eligen en base al diámetro del eje principal, el cual se plantea con un diámetro de diseño de 38 mm, este dato es de utilidad para seleccionar en base a las tablas del fabricante la chumacera correspondiente al eje.

**Motorreductor**



Figura 21. Motorreductor de tipo coaxial [19].

El motorreductor seleccionado para el sistema motriz de la máquina elaboradora de resortes es un motorreductor coaxial de 2HP de potencia, existen varias ventajas de seleccionar un motorreductor de mayor capacidad que la potencia requerida, estas ventajas son:

- Elegir un motorreductor con mayor capacidad asegura que el equipo no trabaje al límite de su potencia, esto evita desgaste temprano y fallos en los componentes, además de manejar picos de carga inesperados como atascos o cambios en el proceso de producción.
- Se prevé la producción futura de resortes de mayor capacidad, al elegir un motorreductor de gran potencia aseguramos la flexibilidad en futuros cambios de diseño.
- La carga sobre el sistema de reducción no llega al límite de su capacidad, la operación en un rango menor de potencia beneficia en su eficiencia y la temperatura de trabajo se mantiene baja.
- El diseño de los motorreductores coaxiales garantiza un bajo nivel de ruido, además la facilidad de alineación en los mecanismos es muy versátil debido a que el eje de salida es coaxial al motor, esto quiere decir que no se necesitarán más componentes de acoplamiento del reductor al motor.

**Descripción de equipos y herramientas**

La siguiente lista de equipos y herramientas que constan en la TABLA XI, serán usados como instrumentos para llegar tanto al diseño computacional como a la construcción y ensamble de la máquina propuesta.

TABLA XI

DESCRIPCCIÓN DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

| N° | Denominación | Cantidad | Descripción | Imagen |
|---|---|---|---|---|
| **1** | Laptop | 2 | - |  |
| **2** | Torno Paralelo | 1 | - |  |
| **3** | Limadora | 1 | - |  |
| **4** | Taladro de Pedestal | 1 | - |  |
| **5** | Soldadora tipo SMAW | 1 | - |  |
| **6** | Amoladora | 1 | - |  |
| **7** | Taladro de mano | 1 | - |  |

TABLA XI

DESCRIPCCIÓN DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS (CONTINUACIÓN)

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **8** | Caja de herramientas | 1 | - |  |
| **9** | Esmeril de banco | 1 | - |  |

## Métodos

Los métodos que se van a emplear para la planificación del proyecto se detallaran en la metodología, es decir las etapas que transcurrirán para llevar a cabo hasta el resultado final. Para esto se ha tomado en cuenta diferentes alternativas de diseño, criterios de diseño e información en la cual el proyecto se pueda sustentar [20].

## Descripción de la metodología

En la TABLA XII se mencionan las fases por las cuales transcurrirá el proyecto:

TABLA XII

DESCRIPCCIÓN DE LAS FASES DE LA METODOLOGÍA

| N° FASE | DETALLE |
|---|---|
| **Fase 1** | Investigación de características de máquinas elaboradoras de resortes y definir el diseño que servirá de referencia tomando en cuenta la conveniencia entre costos, diseño, construcción y montaje. |
| **Fase 2** | Diseñar los componentes de la máquina en consideración de factores de diseño, materiales y procesos de fabricación disponibles. |
| **Fase 3** | Elaboración planos de detalle de cada uno de los componentes de la máquina, a su vez también planos de montaje y despiece. |

TABLA XII

DESCRIPCCIÓN DE LAS FASES DE LA METODOLOGÍA (CONTINUACIÓN)

| | |
|---|---|
| **Fase 4** | Adquisición de componentes, maquinado y ensamble de todos los componentes que conforman el diseño. |
| **Fase 5** | Comprobación visual de los ensambles y análisis del comportamiento mecánico de los componentes para interpretar la funcionalidad del proyecto desarrollado. |
| **Fase 6** | Pruebas con carga y sin carga para la verificación del propósito para el cual la máquina fue diseñada. |
| **Fase 7** | Resultados finales y entrega del informe final. |

## Procedimientos de las fases de la metodología

### Fase 1

La etapa inicial del proyecto consta de la amplia investigación de modelos y procesos de producción similares a la propuesta, en bibliografía relacionada a los conceptos que se buscan fundamentar en este proyecto. Para lograr los objetivos propuestos se ha fortalecido la investigación con fuentes científicas de valor, recopilando numerosa información que se empleará para desarrollar cada fase del proyecto.

### Fase 2

Tras la investigación de materiales, procesos de manufactura y modelos de máquinas, se procederá a aplicar conceptos de diseño mecánico en el proyecto. El diseño en software es fundamental para ajustar los parámetros de construcción diseñando un proyecto como modelo funcional, versátil al mantenimiento y sin complejidad de ensamble.

Los cálculos realizados basados en diseño de máquinas son fundamentales para comprobar que los componentes diseñados soportarán las cargas a las cuales estarán sometidos cada uno de los componentes.

**Fase 3**

La elaboración de planos de detalle, montaje y despiece nos permite cumplir con esta fase, la correcta utilización de normas de dibujo técnico permitirá una correcta lectura, en consecuencia, los componentes cumplirán con las medidas establecidas después de su fabricación, los componentes serán maquinados y elaborados bajo parámetros geométricos y de ajuste. Esta fase es fundamental para un correcto funcionamiento del modelo, la correcta aplicación de los procesos de manufactura garantiza que el proyecto cumpla con su funcionalidad.

**Fase 4**

La elaboración de los diferentes componentes que conforman la máquina es un desafío ya que se deben practicar de manera correcta los procesos de fabricación, dentro de este proyecto se aplicaran principalmente procesos de manufactura como torneado, limado y soldadura. Se irá verificando que los diferentes componentes cumplan con las especificaciones geométricas y de ajuste detalladas en los planos. También en esta fase se adquirirá componentes seleccionados que están dentro de los sistemas mecánicos y eléctricos.

**Fase 5**

En esta fase se procede a ensamblar todos los componentes elaborados y adquiridos, con la finalidad de aplicar el ajuste correcto en todos los pernos de sujeción, la tensión adecuada para el sistema de transmisión por cadena y catarinas, además que todas las piezas con unión soldadas hayan sido elaboradas con una correcta técnica de soldadura. Esta fase permite verificar con la máquina en funcionamiento si existe desalineación, ruidos o vibraciones que tengan que ser corregidas para entrar a la siguiente fase.

**Fase 6**

La máquina tras ser inspeccionada es apta para la realización de pruebas de funcionamiento. Las pruebas sin carga son útiles para la verificación de que los desajustes de desalineación, las vibraciones y ruidos por lubricación fueron corregidos en la anterior fase, seguidamente se realizan pruebas con carga, generando así un manual de funcionamiento, esto con el fin de que el operario genere un protocolo de seguridad para la operación de la máquina ya que se debe tener un manejo adecuado

del sistema eléctrico de control y precaución en el proceso de la elaboración de los resortes, es así que con el segundo tipo de pruebas se verificará que el proyecto cumpla con los objetivos y parámetros propuesto.

**Fase 7**

Los resultados finales son esenciales dentro de la culminación del proyecto, los datos obtenidos como: diseño de la máquina, procesos de manufactura aplicados para la elaboración de diferentes componentes, selección y adquisición de diferentes componentes fabricados, el ensamble y calibración adecuada de todos los componentes que conforman la máquina y elaboración de pruebas de funcionamiento evidencian que el proyecto desarrollado ha pasado por un proceso de investigación y aplicación de conocimientos en Ingeniería Mecánica, dando como resultado el cumplimiento de los objetivos propuestos al inicio del proyecto.

**Análisis de la mejor alternativa**

De acuerdos con los parámetros que se busca cumplir con el proyecto, se consideran las ventajas y desventajas de los modelos similares disponibles en el mercado, tomando como referencia los modelos de máquinas similares adjuntados en el capítulo uno se procede a establecer las ponderaciones en base a los parámetros y necesidades que se desean cumplir con el proyecto final.

TABLA XIII

DESCRIPCCIÓN Y VALORES DE LAS PONDERACIONES

| Valor | Descripción |
|---|---|
| **0** | No cumple las condiciones de diseño requeridas. |
| **0.5** | Cumple las condiciones de diseño requeridas. |
| **1** | Supera las condiciones de diseño requeridas. |

**Planteamiento de la evaluación**

La evaluación de las alternativas se elaborará con una tabla en la cual se pueda identificar cada uno de los criterios que requieran evaluación, a continuación, se detalla

los criterios que van a ser evaluados en base al cumplimiento de las características del modelo de proyecto que se desea obtener como resultado final [20].

**1.- Tipo de resorte que puede elaborar:** Los tipos de resortes ideales que debe elaborar la máquina son de tipo helicoidal a compresión y extensión.

**2.- Diámetro máximo del alambre que puede bobinar:** La máquina debe tener una capacidad para bobinar un alambre de 4 mm de diámetro.

**3.- Diámetro máximo del resorte:** La máquina debe ser capaz de elaborar resortes con un diámetro mínimo de 12.7 mm y máximo de 25.4mm.

**4.- Longitud máxima del resorte:** La máquina debe tener la capacidad de bobinar resortes de hasta 25 cm de longitud.

**5.- Paso:** La máquina debe tener la capacidad de elaborar resortes helicoidales de compresión y tracción tanto de paso cero como de paso variable.

**6.- Velocidad angular:** Para que el proceso del bobinado de los resortes sea controlado, la velocidad angular de salida debe ser inferior al 50 rpm o la máquina debe poseer un sistema de regulación de velocidad angular.

**7.- Costo:** El modelo debe tener un costo inferior a los 2500 dólares americanos.

Al final de la evaluación de cada uno de los criterios considerados, se realizará una suma de los valores obtenidos para seleccionar la alternativa modelo para el proyecto en desarrollo [20].

TABLA XIV

EVALUACIÓN CRITERIO 1

| **CRITERIO 1: Tipo de resorte que puede elaborar** | | | |
|---|---|---|---|
| **N° Opciones** | **No cumple las condiciones de diseño requeridas.** | **Cumple las condiciones de diseño requeridas.** | **Supera las condiciones de diseño requeridas.** |
| **1** (ITAYA) | 0 | | |
| **2** (BRISTOL) | 0 | | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **3** (BUILDWELL) | 0 | | |
| **4** (BOBBIO) | | 0.5 | |
| **5** (MTS) | | 0.5 | |
| **6** (CHIN YN CHANG) | 0 | | |

TABLA XV

EVALUACIÓN CRITERIO 2

| **CRITERIO 2: Diámetro máximo del alambre que puede bobinar** | | | |
|---|---|---|---|
| **N° Opciones** | **No cumple las condiciones de diseño requeridas.** | **Cumple las condiciones de diseño requeridas.** | **Supera las condiciones de diseño requeridas.** |
| **1** (ITAYA) | 0 | | |
| **2** (BRISTOL) | 0 | | |
| **3** (BUILDWELL) | 0 | | |
| **4** (BOBBIO) | | | 1 |
| **5** (MTS) | | 0.5 | |
| **6** (CHIN YN CHANG) | 0 | | |

TABLA XVI

EVALUACIÓN CRITERIO 3

| **CRITERIO 3: Diámetro máximo del resorte** | | | |
|---|---|---|---|
| **N° Opciones** | **No cumple las condiciones de diseño requeridas.** | **Cumple las condiciones de diseño requeridas.** | **Supera las condiciones de diseño requeridas.** |
| **1** (ITAYA) | | 0.5 | |
| **2** (BRISTOL) | | | 1 |

| | | |
|---|---|---|
| **3** (BUILDWELL) | 0.5 | |
| **4** (BOBBIO) | | 1 |
| **5** (MTS) | | 1 |
| **6** (CHIN YN CHANG) | 0.5 | |

TABLA XVII

EVALUACIÓN CRITERIO 4

| **CRITERIO 4: Longitud máxima del resorte** | | | |
|---|---|---|---|
| **N° Opciones** | **No cumple las condiciones de diseño requeridas.** | **Cumple las condiciones de diseño requeridas.** | **Supera las condiciones de diseño requeridas.** |
| **1** (ITAYA) | 0 | | |
| **2** (BRISTOL) | 0 | | |
| **3** (BUILDWELL) | 0 | | |
| **4** (BOBBIO) | | | 1 |
| **5** (MTS) | | | 1 |
| **6** (CHIN YN CHANG) | 0 | | |

TABLA XVIII

EVALUACIÓN CRITERIO 5

| **CRITERIO 5: Paso** | | | |
|---|---|---|---|
| **N° Opciones** | **No cumple las condiciones de diseño requeridas.** | **Cumple las condiciones de diseño requeridas.** | **Supera las condiciones de diseño requeridas.** |
| **1** (ITAYA) | | | 1 |
| **2** (BRISTOL) | | | 1 |

| | |
|---|---|
| **3** (BUILDWELL) | 1 |
| **4** (BOBBIO) | 1 |
| **5** (MTS) | 1 |
| **6** (CHIN YN CHANG) | 1 |

TABLA XIX

EVALUACIÓN CRITERIO 6

| **CRITERIO 6: Velocidad angular** | | | |
|---|---|---|---|
| **N° Opciones** | **No cumple las condiciones de diseño requeridas.** | **Cumple las condiciones de diseño requeridas.** | **Supera las condiciones de diseño requeridas.** |
| **1** (ITAYA) | | | 1 |
| **2** (BRISTOL) | | | 1 |
| **3** (BUILDWELL) | | | 1 |
| **4** (BOBBIO) | | | 1 |
| **5** (MTS) | | | 1 |
| **6** (CHIN YN CHANG) | | 0.5 | |

TABLA XX

EVALUACIÓN CRITERIO 7

| **CRITERIO 7: Costos** | | | |
|---|---|---|---|
| **N° Opciones** | **No cumple las condiciones de diseño requeridas.** | **Cumple las condiciones de diseño requeridas.** | **Supera las condiciones de diseño requeridas.** |
| **1** (ITAYA) | 0 | | |
| **2** (BRISTOL) | 0 | | |

| | |
|---|---|
| **3** (BUILDWELL) | 0 |
| **4** (BOBBIO) | 0 |
| **5** (MTS) | 0 |
| **6** (CHIN YN CHANG) | 0 |

TABLA XXI

SUMA DE LA EVALUACIÓN DE LOS CRITERIOS

| **EVALUCIÓN DE LOS CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DEL MODELO** | |
|---|---|
| **Opciones Evaluadas** | **Suma Total** |
| **1** (ITAYA) | 3.5 |
| **2** (BRISTOL) | 3 |
| **3** (BUILDWELL) | 2.5 |
| **4** (BOBBIO) | 5.5 |
| **5** (MTS) | 5 |
| **6** (CHIN YN CHANG) | 2 |

## Análisis de resultados

En base a la suma de la evaluación de cada uno de los criterios en la TABLA XVIII, se puede evidenciar que la máquina BOBBIO es la que más se ajusta a los parámetros de diseño propuestos, siendo esta máquina el modelo seleccionado, sin embargo hay que destacar que ninguno de los 6 modelos cumplen con el criterio número 7 (costos), esto debido a que los modelos de las máquinas de referencia son máquinas elaboradas bajo cadenas de producción y con una distribución de mercado a nivel mundial y tecnificadas para que la elaboración de resortes sea un proceso industrial. El proceso que estamos desarrollando no se acopla a un sistema de producción en masa, es un

proceso bajo estándares y normas, pero más sencillo ya que la producción de resortes es bajo pedido en base a necesidades del consumidor.

**Modelado**

El modelado en software de la máquina para hacer resortes es una fase fundamental dentro del desarrollo del proyecto, ya que nos permite plasmar el diseño conceptual por medio de herramientas digitales de manera precisa. A través de esta etapa buscamos la validación de la vialidad del modelo propuesto al evaluar su desempeño por medio de cálculos en software que garanticen que el diseño elaborado cumpla requisitos de diseño. A través de esta etapa se materializa el diseño conceptual en una herramienta visual que no solo ayuda a comprender el diseño si no también proporciona información que pueden servir para fases posteriores en la fabricación, ensamble y funcionamiento.

**Ergonomía para el modelado**

En esta sección nos enfocaremos que dentro del proceso de modelado no solo se tomen en cuenta la integración de los sistemas principales y de transmisión de potencia, sino que también se implemente en el diseño estándares ergonómicos esenciales, esto quiere decir que la máquina tendrá medidas claves para la operación, montaje y mantenimiento.

La ergonomía es una variable clave dentro de los diseños de máquinas que sean destinadas a la interacción humana, por esta razón la máquina incluye características destinadas a reducir la fatiga del operador, reducir lesiones y mejorar la experiencia de uso del trabajador.

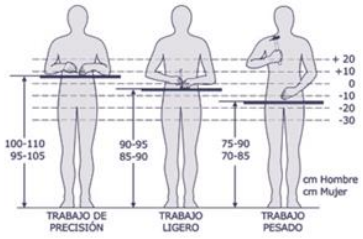



Figura 22. Alturas recomendadas para trabajar de pie [21].

La altura ideal para el centro del eje de la matriz de elaboración de resortes deberá estar en el rango de 100-110 cm de altura desde el suelo, el trabajo que realiza el operador en la máquina para hacer resortes es de precisión.

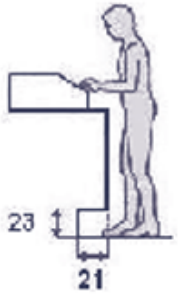



Figura 23. Espacios recomendados de espacio libre para los pies [21].

En la máquina que se está modelando, el diseño de este espacio juega un papel fundamental, ya que resulta ser crucial para garantizar la comodidad y el bienestar del operador durante la realización de las diferentes tareas asociadas al funcionamiento de la máquina. Este espacio no solo permite que el operador trabaje de manera eficiente y ergonómica, sino que también contribuye a reducir la fatiga y a prevenir posibles lesiones derivadas de una postura inadecuada o de movimientos repetitivos. Por esta razón, se han tomado en cuenta diversas consideraciones técnicas y prácticas a lo largo del proceso de diseño, evaluando minuciosamente cada detalle para asegurar que se cumplan los más altos estándares de confort y funcionalidad. Después de analizar y ajustar cada aspecto con cuidado, se presenta a continuación el modelo final, que integra todas estas características para ofrecer una solución óptima y efectiva.

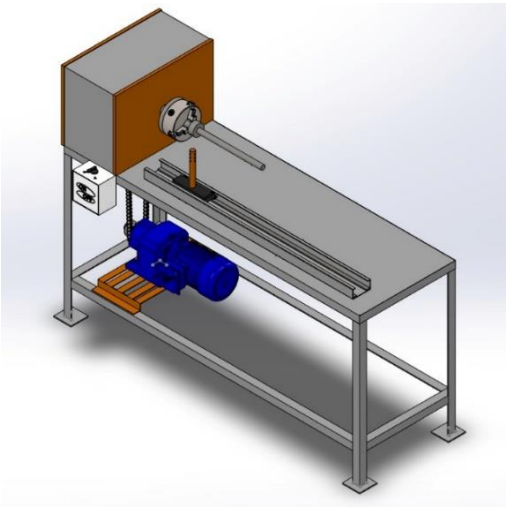


Figura 24. Modelo de la máquina elaboradora de resortes.

**Procesos de fabricación**

Los procesos de fabricación que se usaron para la construcción de los diferentes elementos de la máquina fueron los siguientes:

**Torneado**

El torneado es un proceso de mecanizado donde una pieza de fija y gira sobre su eje con la ayuda de un mandril, mientras una herramienta de corte estacionaria se mueve a lo largo de los ejes de la pieza para eliminar material de la pieza[22].

Para garantizar la correcta aplicación de este proceso, es fundamental tener en cuenta una serie de factores clave que aseguren un resultado óptimo y minimicen cualquier margen de error. En primer lugar, es esencial establecer un proceso bien definido, que contemple todos los pasos necesarios para llevar a cabo la tarea de manera eficiente y precisa. La alineación adecuada de la pieza que se va a trabajar constituye otro aspecto crucial, ya que una posición incorrecta podría comprometer la calidad del mecanizado. Además, es indispensable que el instrumento de corte se encuentre en perfectas condiciones, lo que incluye asegurarse de que esté correctamente afilado para facilitar el corte y posicionado exactamente en el centro de rotación, garantizando así un trabajo uniforme y preciso.



Figura 25. Proceso de torneado.

**Limado**

El proceso de limado es utilizado para desbastar superficies planas, el principio de la limadora es movimiento alternativo impulsado por un motor, la herramienta de corte de la limadora a su vez que desbasta de manera lineal se mueve en sentido vertical para dar profundidad al corte, para realizar un correcto proceso de mecanizado se debe tener en cuenta que la alineación de la pieza con respecto al centro de la herramienta de corte

sea exacta y también la regulación de la carrera del brazo de la maquina debe ser ajustada a la necesidad de la distancia de corte en la pieza [23].



Figura 26. Proceso de limado para elaboración de una chaveta.

**Medir, trazar y cortar**

Estos son sencillos procesos, pero esenciales durante la elaboración de la estructura de la máquina, la aplicación de una correcta técnica de medición garantiza que las tolerancias dimensionales se ajusten al modelo diseñado, los instrumentos de medición deben estar en excelente estado, el trazo correcto sobre cualquier material garantiza que el operador realice un corte preciso y las piezas se ajusten a las tolerancias dimensionales esperadas y por último el proceso de corte de las piezas del perfil angular, el corte con moladora con un disco abrasivo para corte logra un acabado de alta calidad siempre y cuando se use una correcta técnica y precisión en el corte.



Figura 27. Proceso de corte de perfil tipo ángulo con moladora.

**Soldadura SMAW**

La soldadura SMAW es un proceso con un principio de soldadura por arco metálico protegido, este proceso utiliza un electrodo revestido para fundir y unir dos piezas metálicas mediante un arco eléctrico. Los electrodos más comunes usados para soldaduras en aceros al carbono en diferentes posiciones son 6013 y 6011, para realizar una buena soldadura se debe ajustar la corriente del equipo o amperaje según el diámetro del electrodo, el material y el espesor del material que se desea unir, además una correcta técnica de avance para evitar fallas en la soldadura como porosidad o falta de fusión de las partes.



Figura 28. Proceso de soldadura tipo SMAW.

**Taladro pedestal y machuelado**

El taladro con pedestal es un proceso de mecanizado de materiales mediante una herramienta apoyada en el suelo que posee una columna larga y una mesa de trabajo para la perforación de agujeros, el correcto procedimiento consiste en seleccionar la broca adecuada, ajuste de la velocidad y ajuste de la mesa de trabajo, esto garantiza que e mecanizado de los agujeros tengan las tolerancias dimensionales esperadas, un subproceso usado después de la perforación es el machuelado.

El proceso de machuelado se puede hacer de forma manual o con una herramienta, este proceso sirve para elaborar roscas interiores en materiales por medio de piezas de metal fabricadas, los machuelos son herramientas fabricadas en aceros de alta resistencia. Para el proceso de machuelado el operario debe detener una técnica adecuada para que durante este proceso no romper la herramienta dentro del agujero.



Figura 29. Proceso elaboración de agujeros en una placa de acero con un taladro pedestal.



Figura 30. Proceso de machuelado para elaboración de prisionero.

### Acabado y pintura

El acabado de las piezas elaboradas y adquiridas depende de una correcta limpieza de virutas y grasa presentes debido a la manipulación en los procesos por los cuales transcurren las piezas, para el acabado con pintura es necesario tener en cuenta la correcta selección del tipo de pintura, con alta adherencia y con propiedades anticorrosivas para asegurar que las partes pintadas estén protegidas del ambiente para evitar problemas de oxidación o desgaste.



Figura 31. Máquina ensamblada y con acabado de pintura de todas sus partes.

# CAPÍTULO III

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Introducción a los cálculos

El diseño de la máquina se basa en proponer dimensiones de ciertos elementos fundamentales de la máquina y comprobar por medio de criterios de diseño mecánico si las dimensiones de los elementos propuestos son adecuadas, el perfil con el cual se diseña la maquina se someterá a un análisis de las cargas que está soportando y en base a este análisis se comprobará por medio de un factor de seguridad confiable que el perfil se ha seleccionado correctamente, así mismo el diámetro del eje principal donde se transmite el movimiento desde el motorreductor es propuesto, por medio de teoría de diseño de ejes se comprobará que el diámetro está correctamente seleccionado.

### Caso de estudio

Para el eje que transmite la potencia en la máquina elaboradora de resortes se selecciona un diámetro de 38 mm en acero AISI 1018 (acero de transmisión) y un factor de seguridad de 1.5, el motorreductor entrega una potencia de 2HP en la catarina C con una velocidad angular de 34.28 rpm. El mandril sujetando a la matriz de 1 plg de diámetro pesa 6.4 kg y se ancla en el punto A (plato de soporte), la máquina elabora resortes en un alambre de diámetro máximo de 4 mm para no exceder los límites de diseño del mandril de sujeción, el alambre se rige a la norma ASTM-227. Para comprobar si el diámetro del eje está seleccionado correctamente se deberá calcular el diámetro analíticamente.

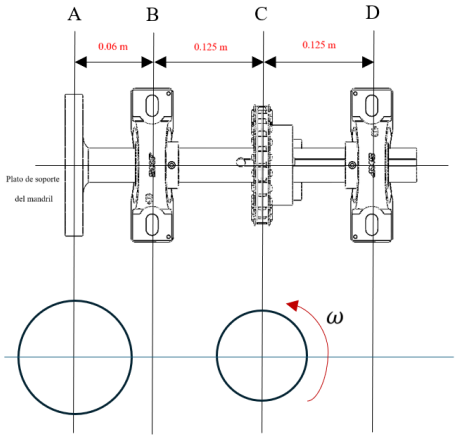



Figura 32. Esquema del sistema de transmisión de potencia.

**Cálculos**

**DATOS:**

- Potencia motorreductor: **2 HP**
- Velocidad angular del motorreductor: **34.28 rpm**
- Peso de la masa anclada al plato de sujeción: **6.8 kg = 66.7 N**

**Propiedades mecánicas del alambre ASTM A227**

- Diámetro: **4 mm**
- Esfuerzo máximo: **1580 MPa**

**Propiedades mecánicas de la flecha de acero AISI-1018**

- Diámetro: **38 mm**
- Resistencia última a la tracción: **440 MPa**
- Módulo de Elasticidad: **200 MPa**
- Factor de Seguridad: **1.5**

**Cálculo de comprobación de potencia del motorreductor**

**Torque para generar una espira**

$$\boldsymbol{Z = \frac{\pi}{32} * d^3} \tag{17}$$

$$Z = \frac{\pi}{32} * 0.004\ m^3$$

$$Z = 6.28 * 10^{-9}\ m^3$$

Antes de obtener el momento flector para deformar el alambre, se debe considerar aplicar un factor de seguridad de 2 en el esfuerzo máximo, para ponderar correctamente los límites de potencia del motorreductor.

$$\sigma_{max} = S_y * 2 \tag{18}$$

$$\sigma_{max} = 1580\ \text{MPa} * 2$$

$\sigma_{max} = 3160$ MPa, entonces

$$\sigma_{max} = \frac{M}{Z} \tag{19}$$

Donde,

$\sigma_{max} =$ Esfuerzo máximo

$M =$ Momento felctor

$Z =$ Módulo de resistencia

$$M = \sigma_{max} Z \tag{20}$$

$$M = 3160 \text{ MPa}(6.28 * 10^{-9} \text{ m}^3)$$

$$M = 19.84 \text{ Nm}$$

La máquina debe ejercer un torque permanente de 19.84 Nm para elaborar cada espira del resorte fabricado en alambre ASTM A227 de 4 mm de diámetro, es decir, el momento flector equivale al momento torsor para doblar la sección del alambre sobre la matriz.

A continuación, se calcula la potencia requerida del motorreductor para elaborar este trabajo.

$$P_m = T \omega \tag{21}$$

Donde,

$T =$ torque

$\omega =$ velocidad angular

$$P_m = 19.84 \text{ Nm}(34.28 \text{ rpm})$$

$$P_A = \frac{680.28 \text{ Watts}}{745.7}$$

$$P_A = 0.91 \text{ HP} < 2\text{HP}$$

La máquina requiere 0.91 HP para poder bobinar cada espira que conforman los resortes que se elaboran sobre la matriz, esto nos indica que la potencia del motorreductor seleccionado es adecuada para elaborar este trabajo.

**Cálculo de comprobación de diámetro del eje seleccionado**

Los torques que se generan en los puntos A y C producen fuerzas impulsoras netas resultantes.

La fuerza de flexión ejercida por cadenas y engranes se suele tomar igual a la fuerza impulsora neta F; es decir, la tracción en el ramal flojo o conducido $F_2$ en la transmisión por cadena se toma igual a cero [14].

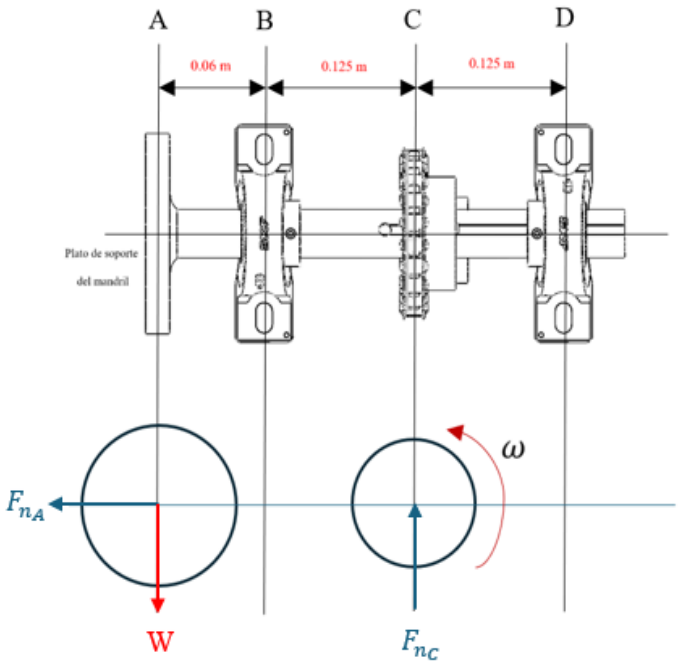



Figura 33. Fuerzas actuantes en el sistema de transmisión de potencia.

Cuando un resorte se está elaborando, el eje principal del sistema se somete a una torsión constante de 19.84 Nm a lo largo de toda su sección transversal.

**Fuerzas impulsoras netas en los puntos A, C**

$$F_n = \frac{T}{r} \tag{22}$$

Donde,

T = Torque

r = radio

Punto A

$$F_{n_A} = \frac{T_A}{r_A} \tag{23}$$

$$F_{n_A} = \frac{19.84\ \text{Nm}}{0.065\ \text{m}}$$

$$F_{n_A} = 305.23\ \text{N}$$

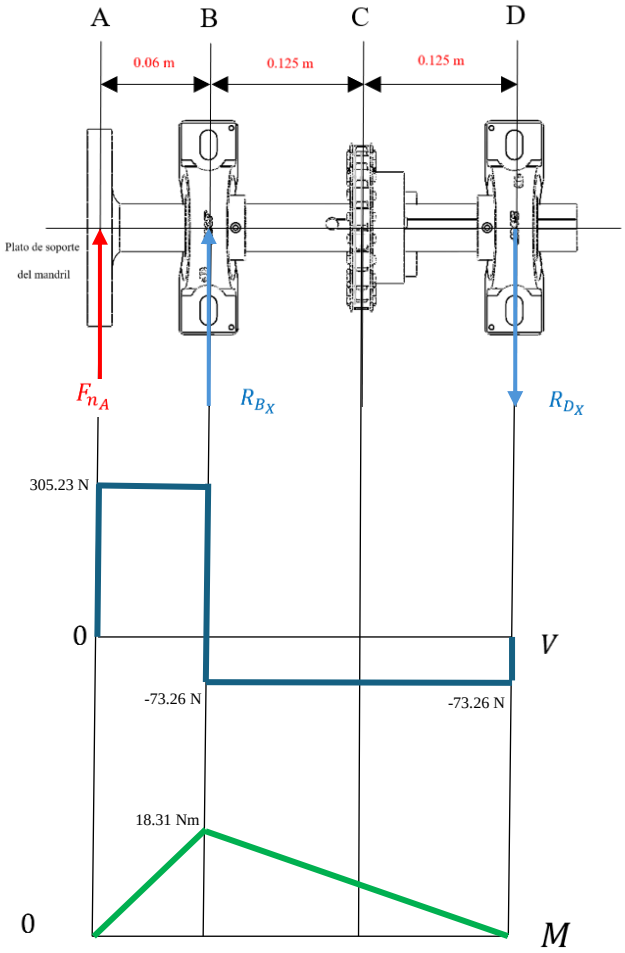
Punto C

$$F_{n_C} = \frac{T_C}{r_C} \tag{24}$$

$$F_{n_C} = \frac{19.84\ \text{Nm}}{0.0613\ \text{m}}$$

$$F_{n_C} = 323.65\ \text{N}$$

**DIAGRAMA X-Z**



$$\sum M_B = 0$$

$$-R_{D_X}(0.25) - F_{n_A}(0.06\ \text{m}) = 0 \qquad (25)$$

$$R_{D_X}(0.25) + 305.23\ \text{N}\ (0.06\ \text{m}) = 0$$

$$R_{D_X} = -73.26\ \text{N}$$

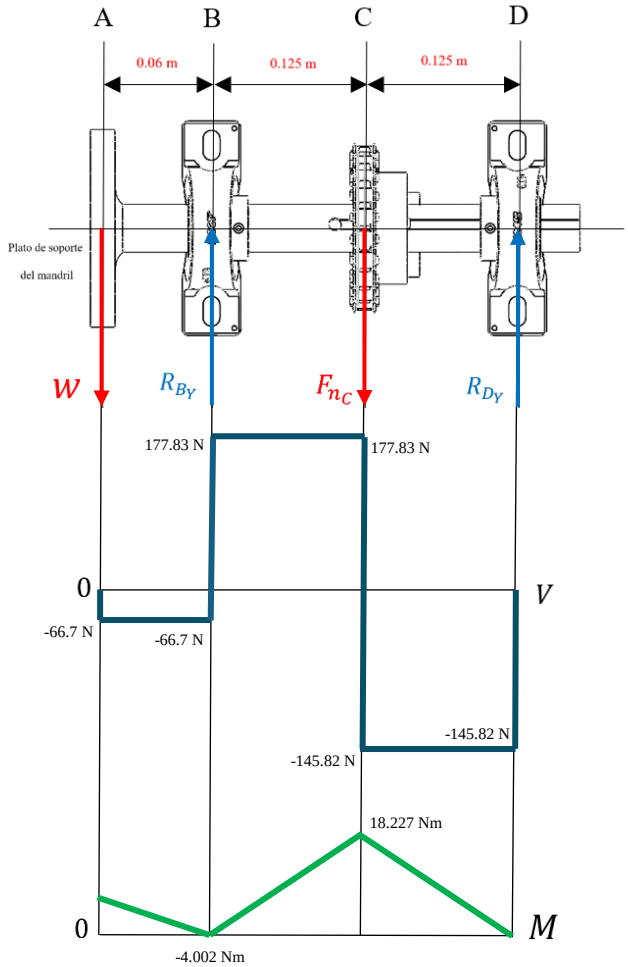
$$\sum F_X = 0$$

$$R_{B_X} - F_{n_A} - R_{D_X} = 0 \qquad (26)$$

$$R_{B_X} = 305.23\ \text{N} + 73.26\ \text{N}$$

$$R_{B_X} = 378.49\ \text{N}$$

**DIAGRAMA Y-Z**



$$\sum M_B = 0$$

$$R_{D_Y}(0.25\ m) - F_{n_C}(0.125\ m) + W(0.06\ m) = 0 \quad (27)$$

$$R_{D_Y}(0.25\ m) - 323.65\ N(0.125\ m) + 66.7\ N(0.06\ m) = 0$$

$$R_{D_Y} = 145.82\ N$$

$$\sum F_X = 0$$

$$R_{B_Y} - F_{n_C} + R_{D_Y} - W = 0 \quad (28)$$

$$R_{B_Y} = 323.65\ N - 145.82\ N + 66.7\ N$$

$$R_{B_Y} = 244.53\ N$$

**Momentos resultantes en los puntos B, C**

Punto B

$$\mathrm{M_B} = \sqrt{(18.31\ \mathrm{Nm})^2 + (-4.002\ \mathrm{Nm})^2} \quad (29)$$

$$\mathrm{M_B} = 18.74\ \mathrm{Nm}$$

Punto C

$$\mathrm{M_C} = \sqrt{18.227^2}$$

$$\mathrm{M_C} = 18.227\ \mathrm{Nm}$$

**Límite de resistencia a la fatiga**

$$\boldsymbol{S_e{}' = 0.5\ S_{ut}\ ;\quad S_{ut} \leq 1400\ MPa} \quad (30)$$

$$S_e{}' = 0.5(440MPa)$$

$$S_e{}' = 220\ MPa$$

**Factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga**

$$\boldsymbol{S_e = K_a K_b K_c K_d K_e S_e{}'} \quad (31)$$

**Factor de superficie**

$$K_a = a\, S_{ut}^{\ b} \tag{32}$$

TABLA XXII

PARÁMETROS EN EL FACTOR DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL [11]

| | Factor a | | |
|---|---|---|---|
| **Acabado superficial** | $S_{ut}, Kpsi$ | $S_{ut}, MPa$ | **Exponente b** |
| Esmerilado | 1.34 | 1.58 | -0.085 |
| Maquinado o laminado en frío | 2.70 | 4.51 | -0.265 |
| Laminado en caliente | 14.4 | 57.7 | -0.718 |
| Como sale de la forja | 39.9 | 272.01 | -0.095 |

$$K_a = 4.51\ (440\ MPa^{\ -0.265})$$

$$K_a = 0.89$$

**Factor de tamaño**

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \le d \le 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \le 10 \text{ pulg} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \le d \le 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \le 254 \text{ mm} \end{cases}$$

Figura 34. Parámetros en el factor de superficie [11].

$$K_b = 1.24(d^{-0.107}) \tag{33}$$

$$K_b = 1.24(38\ mm^{-0.107})$$

$$K_b = 0.85$$

**Factor de carga**

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión}^{17} \end{cases}$$

Figura 35. Valores medios del del factor de carga [11].

$$K_c = 1 \tag{34}$$

## Factor de temperatura

La condición de trabajo de la máquina es a temperatura ambiente.

TABLA XXIII

EFECTO DE TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA A LA TENSIÓN [11]

| **Temperatura, °C** | $\frac{S_T}{S_{RT}}$ | **Temperatura, °F** | $\frac{S_T}{S_{RT}}$ |
|---|---|---|---|
| 20 | 1.000 | 70 | 1.00 |
| 50 | 1.010 | 100 | 1.008 |
| 100 | 1.020 | 200 | 1.020 |
| 150 | 1.025 | 300 | 1.024 |
| 200 | 1.020 | 400 | 1.018 |
| 250 | 1.000 | 500 | 0.995 |
| 300 | 0.975 | 600 | 0.963 |
| 350 | 0.943 | 700 | 0.927 |
| 400 | 0.900 | 800 | 0.872 |

$$K_d = 1$$

## Factor de confiabilidad

TABLA XXIV

FACTOR DE CONFIABILIDAD EN BASE A RESISTENCIA A LA FATIGA [11]

| **Confiabilidad, %** | **Variación de transformación $z_a$** | **Factor de confiabilidad $k_e$** |
|---|---|---|
| 50 | 0 | 1.000 |
| 90 | 1.288 | 0.897 |
| 95 | 1.645 | 0.868 |
| 99 | 2.326 | 0.814 |
| 99.9 | 3.091 | 0.753 |
| 99.99 | 3.719 | 0.702 |
| 99.999 | 4.265 | 0.659 |
| 99.9999 | 4.753 | 0.620 |

$K_e = 0.753$, entonces

$$S_e = K_a K_b K_c K_d K_e S_e{}'$$

$$S_e = (0.89)(0.85)(1)(1)(0.753)(220)$$

$$S_e = 125.32\ Mpa$$

Con todos los datos necesarios obtenidos podemos aplicar la fórmula para obtener el diámetro ideal del eje analizado.

$$D = \left\{ \frac{16\ F.S}{\pi} \left( \frac{2(K_T M_B)}{S_e} + \frac{[3(K_T T_B)^2]^{\frac{1}{2}}}{S_{ut}} \right) \right\}^{\frac{1}{3}} \tag{35}$$

$$D = \left\{ \frac{16\ (1.5)}{\pi} \left( \frac{2((1)(18.74\ N))}{125.32\ MPa} + \frac{\left[3\left((1)(19.84\ Nm)\right)^2\right]^{1/2}}{200\ GPa} \right) \right\}^{1/3}$$

$$D = 0.02083\ m$$

$$D = 20.83\ mm < 38\ mm$$

**Comprobación de factores de seguridad**

**Factor de seguridad del eje principal**

El factor de diseño planteado para el diseño del eje principal fue de 1.5, un factor moderado y previendo que el eje no estará sometido a esfuerzos de alto impacto. Este factor de seguridad se tomó como referencia para comprobar que el diámetro propuesto está correctamente seleccionado para el modelo.

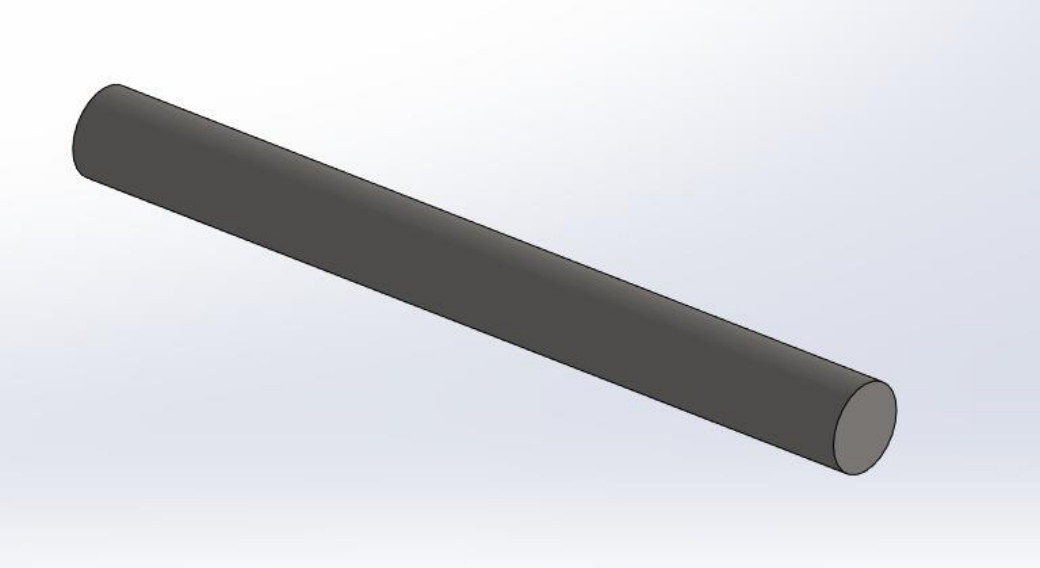


Figura 36. Modelo en software del eje principal.

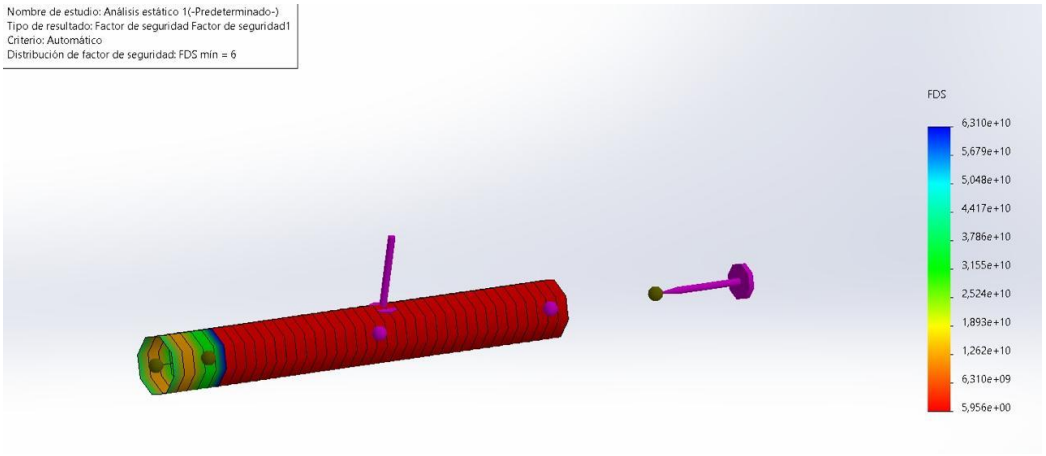



Figura 37. Análisis el factor de seguridad en el eje principal.

En el análisis para el factor de seguridad se tomaron en cuenta las cargas presentes en el eje, así se ha obtenido un factor de seguridad de 6, en comparación al factor de 1,5 del eje analizado analíticamente se puede determinar que la selección de un diámetro de 38 mm está sobredimensionada, las ventajas de superar las condiciones de diseño son que se prevé modificaciones futuras en el modelo o la optimización para elaborar resortes de mayor tamaño.

**Factor de seguridad de los ejes de las matrices**

Los esfuerzos que se generan en las matrices para la elaboración de los resortes son mínimos, no superan los límites de las propiedades mecánicas del material (AISI A36), además las condiciones de trabajo no son extremas.

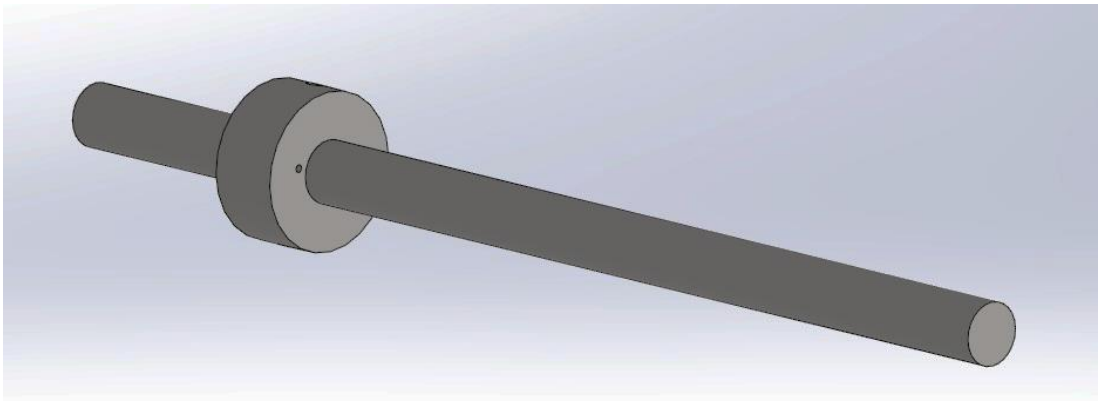


Figura 38. Modelo en software del eje matriz de 1 pulgada.

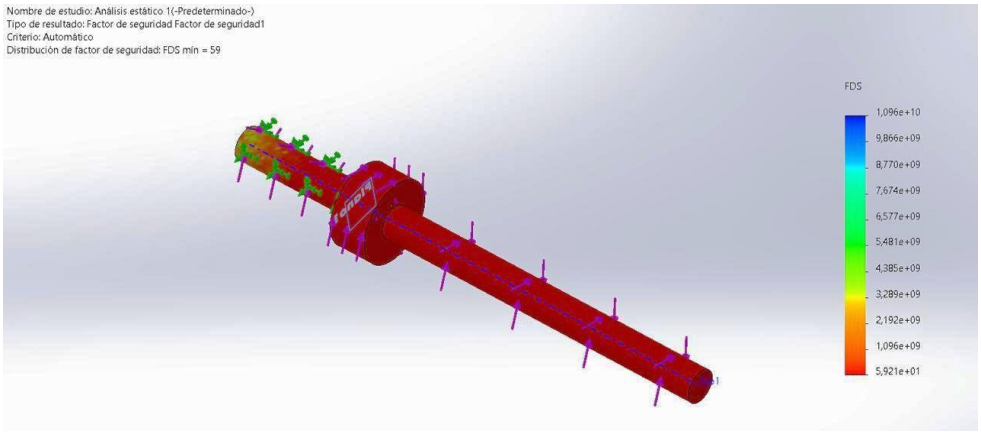



Figura 39. Análisis el factor de seguridad en el eje matriz de 1 pulgada.

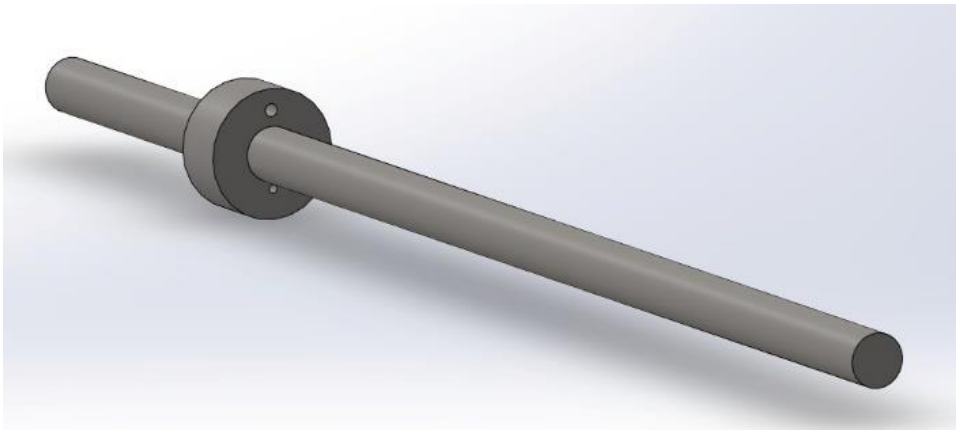


Figura 40.Modelo en software del eje matriz de 1/2 pulgada.

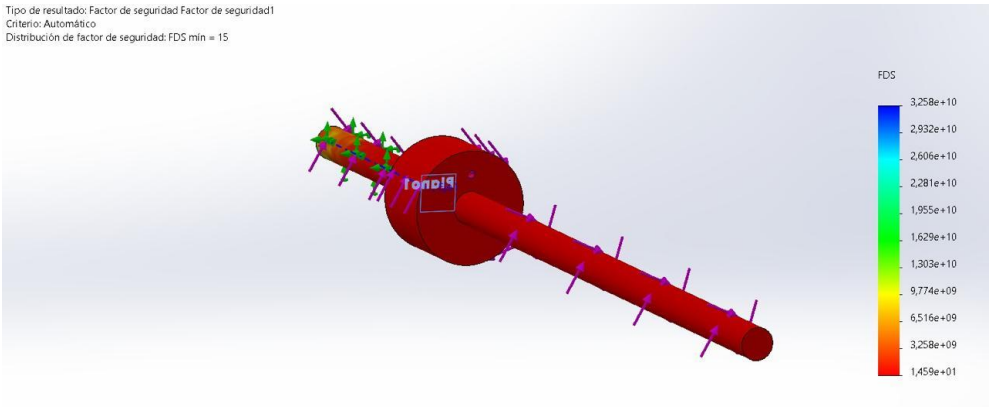



Figura 41. Análisis el factor de seguridad en el eje matriz de 1/2 pulgada.

Los factores de seguridad obtenidos son de 59 para la matriz de una pulgada y de 15 para la matriz de media pulgada, los valores altos de factor de seguridad son una señal positiva, ya que garantiza que la capacidad de las matrices diseñadas soporte cargas superiores esperadas en las condiciones en las cuales están operando. Un factor

elevado de seguridad reduce el riesgo de deformaciones plásticas, fallos tempranos o desgaste de las matrices, todo esto contribuye a la confiabilidad y vida útil de los productos fabricados.

Los valores altos de factor de seguridad reflejan un diseño robusto, esto garantiza que si hay cambios bruscos en la operación el material soporte condiciones repentinas de cambio en los esfuerzos. Para procesos de alta precisión como la fabricación de resortes, este nivel alto de confiabilidad es fundamental para garantizar una larga vida útil a los componentes, los cuales son sometidos a ciclos largos de trabajo.

**Factor de seguridad de la estructura de la máquina**

El factor de seguridad en las máquinas industriales es un concepto que ayuda a comprender la relación entre la capacidad máxima que puede soportar la estructura y la carga real de operación de la máquina. El factor de seguridad es fundamental para obtener un diseño que garantice su integridad y confiabilidad.

En el sector industrial, las máquinas están sometidas a diferentes tipos de esfuerzos y constantemente están operando en entornos que demandan exigencia, el adecuado factor de diseño no solo asegura la confiabilidad de funcionamiento, sino que también protege a los operadores y reduce costos de fabricación y producción.



Figura 42.Modelo en software de la estructura de la máquina.

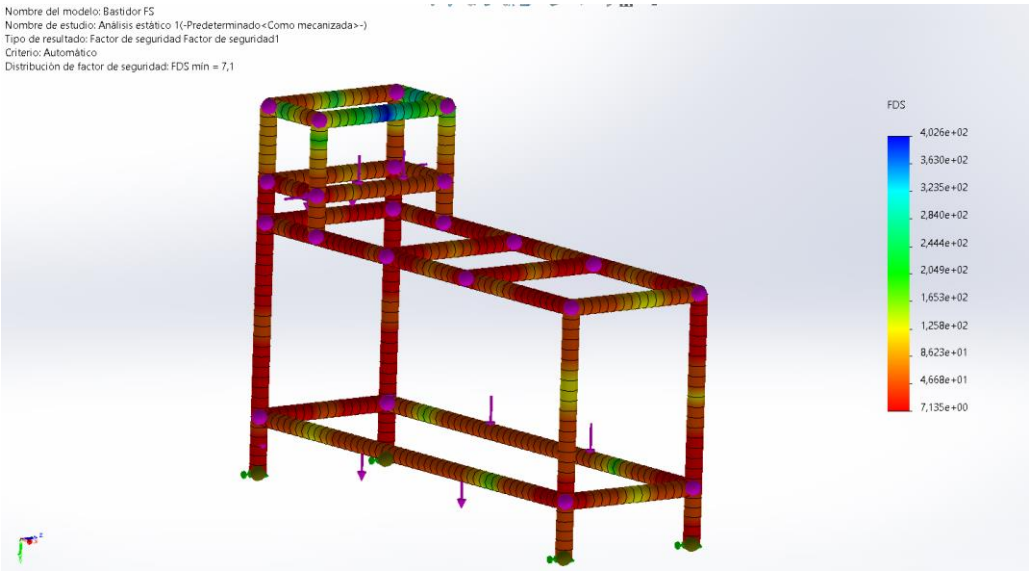



Figura 43. Análisis el factor de seguridad en la estructura de la máquina.

El valor de factor de seguridad obtenido es de 7.1, como primer análisis de este factor de seguridad se lo puede identificar como un valor de factor de seguridad optimizado, donde tanto los materiales como los recursos han sido utilizados de manera eficiente para soportar las cargas esperadas y sin exceder el diseño, esto nos indica también que el modelo está optimizado para reducir costos.

Otro aspecto positivo de este valor de factor de seguridad nos indica que el modelo está muy aproximado al equilibrio entre la funcionalidad y la capacidad estructural, este aspecto es útil ya que evidencia que el modelo está correctamente diseñado ya que no está sometido a variaciones de carga inesperadas.

**Resultados de diseño, construcción y pruebas de funcionamiento**

En este capítulo presentamos los resultados obtenidos durante el diseño, construcción y pruebas de la máquina para la fabricación de resortes helicoidales de 1” y ½” de diámetro interior. La máquina se caracteriza por su diseño sencillo y funcional, que integra las siguientes partes principales:

**Bastidor**

El bastidor fue construido por completo con perfiles angulares de acero de 40x40x5mm, excepto para el montaje de las chumaceras, se utilizó un perfil angular de 50x50x5mm debido a la dimensión de la base de estas. La unión de los perfiles se realizó mediante soldadura SMAW (Soldadura de arco metálico con electrodo),

asegurando con esta una estructura robusta y estable, teniendo como resultado un bastidor bastante sólido y bien alineado, capaz de soportar las vibraciones y cargas generadas durante el funcionamiento de la máquina, proporcionando una base confiable para los demás componentes.

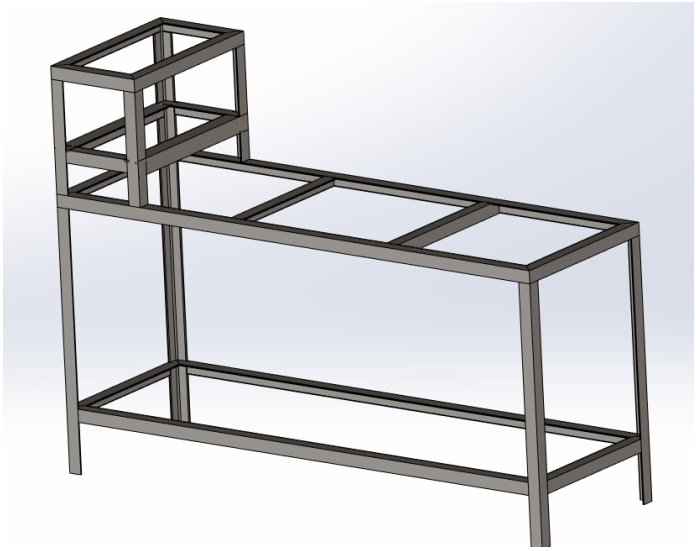


Figura 44. Modelo en software del bastidor.



Figura 45. Bastidor construido.

**Sistema de transmisión por cadena**

Este sistema fue diseñando para poder transferir la potencia del motorreductor de una manera eficiente al eje principal de la máquina, utilizando dos catalinas de acero previamente mecanizadas conectadas mediante la cadena seleccionada para la

transmisión, garantizando una velocidad y toque aptos para la fabricación de los resortes helicoidales propuestos. En las pruebas de funcionamiento, el sistema de transmisión logró demostrar un desempeño favorable asegurando una sincronización estable entre el eje principal y el motorreductor.

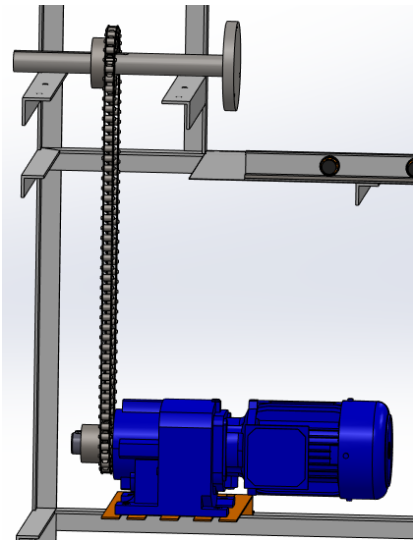


Figura 46. Ensamble del sistema por transmisión en software.

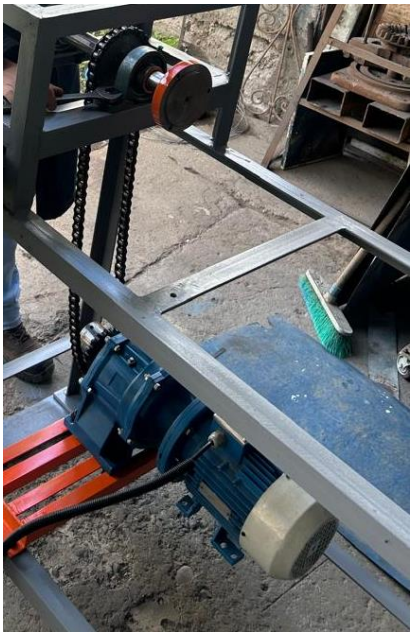


Figura 47. Ensamble del sistema por transmisión.

### Eje principal

El eje principal de la máquina fue mecanizado en el torno garantizando una fabricación precisa del mismo, soldado a un plato de acero permitiendo así el montaje del mandril, el cual va a sostener las matrices guías para la fabricación de los resortes helicoidales.

Se encuentra soportado por dos chumaceras, asegurando una buena estabilidad durante el funcionamiento de la máquina. Como resultado tenemos un sistema que nos permite un desempeño correcto y preciso al momento de la fabricación de los resortes.

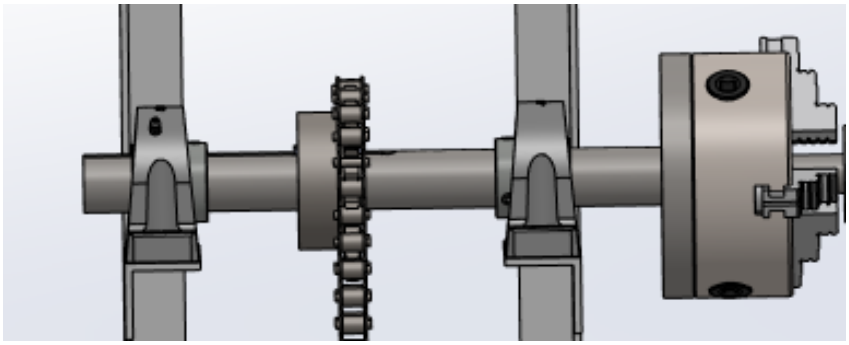


Figura 48. Diseño en software de eje principal y los componentes que lo conforman.



Figura 49. Eje principal con los componentes ensamblados.

**Carro guía alambre**

Este sistema fue idealizado para facilitar la fabricación del producto, puesto que necesitamos que el alambre permanezca recto al momento de iniciar el proceso de fabricación del resorte, garantizando con este un alto grado de eficacia en el resultado final. Para asegurar su movimiento, empleamos rodamientos como ruedas, lo cual nos permitió que el carro se desplace sin ninguna dificultad su trayecto. Como resultado obtuvimos una mayor precisión durante todo el proceso de fabricación de los resortes, contribuyendo en gran parte a la calidad del producto final.

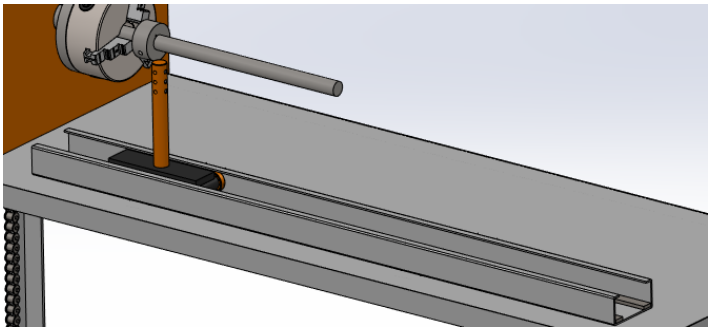


Figura 50. Diseño en software del sistema de guía para el alambre.



Figura 51. Ensamble del sistema del carro guía.

El objetivo de este capítulo es evaluar el desempeño de la máquina tanto en términos de funcionabilidad como en términos de precisión y cumplimiento de los objetivos planeados al inicio de este proyecto, analizando las características de diseño que contribuyeron a la obtención de los resultados deseados.

Se discutirán detalladamente los resultados obtenidos en las pruebas de funcionamiento y fabricación de los resortes, tomando en cuenta las fortalezas y las limitaciones de diseño que pueden existir en la máquina ya construida. A partir de esto, se analizarán los aspectos que han cumplido con los estándares establecidos y los aspectos que podrían optimizarse para una mejora futura, con el objetivo de perfeccionar la máquina y aumentar su eficiencia para la fabricación de los resortes helicoidales.

### Características técnicas finales

Teniendo en cuenta que el diseño de la máquina, la selección de sus componentes, la fabricación de alguno de ellos y la construcción misma, fueron detalladas en el capítulo II, procedimos a realizar una serie de pruebas iniciales para verificar el correcto funcionamiento. En primera instancia, se realizó una calibración y ajuste final de cada

uno de los componentes, asegurándonos que todas las piezas estuvieran bien ensambladas según las especificaciones de diseño.

Posteriormente, se hizo una prueba de encendido y apagado verificando que el sistema eléctrico implementado funcione de manera correcto y sin ningún tipo de problema. Dado que para esto utilizamos con un conmutador trifásico, el cual nos permite aparte de encender y apagar la máquina, cambiar el sentido de giro del eje en caso de que se requiera en el proceso de fabricación de los resortes.

Seguido de una prueba de funcionamiento para verificar que todos los sistemas de la máquina operen de la manera más óptima posible, en especial el movimiento del eje principal y la transmisión, junto con la estabilidad de carro guía para el alambre, ya que con esto pudimos corroborar mediante la fabricación de un pequeño resorte de cuatro o cinco espiras de una pulgada de diámetro interior, que la máquina funciona correctamente y cumple con lo planteado en los objetivos anteriormente planteados.



Figura 52. Pruebas de funcionamiento.

Una vez realizados los procedimientos de verificación se procedió a pintar cada uno de los componentes de la máquina, con la finalidad de proteger la integridad de estos de la corrosión, mejorar la estética de diseño y por otro lado señalando las partes más importantes que componen la máquina. El resultado final fue una máquina totalmente funcional, calibrada y lista para la fabricación de resortes helicoidales de acuerdo con los diámetros propuestos en el objetivo general del presente proyecto de titulación.



Figura 53. Ensamble con acabados finales de la máquina.

**Pruebas de fabricación**

Una vez lista la máquina pudimos pasar a las pruebas de fabricación constante de los resortes, en las cuales notamos que el diámetro del alambre fue constante en todas las pruebas, cumpliendo las especificaciones de diseño como son el diámetro interior, el paso, el número de espiras, tamaño y forma. La calidad del resorte se vio reflejada también en el cumpliendo de parámetros tales como la resistencia mecánica, en donde podemos mencionar que la fuerza y elasticidad del resorte son óptimas para su aplicación en cualquier mecanismo que lo requiera.

Para la fabricación de un resorte con una longitud de 10 cm de largo y 1” de diámetro interior, tenemos un tiempo estimado de aproximadamente 40 segundos por resorte, tiempo que va a ser menor en el caso que se requiera fabricar un resorte con la misma longitud y ½” de diámetro interior. Cabe mencionar que para que un resorte cumpla con todo lo requerido necesita de práctica y familiarización con la máquina, ya que si el operario no tiene la experiencia necesaria para la fabricación de resortes pueden llegar a presentar fallos en el producto final.

El nivel de ruido generado por la máquina fue el esperado, debido a los componentes instalados en la misma, principalmente por el sistema de transmisión por cadena, asemejándose este al de un torno convencional. Una posible solución a esto, podría ser la implementación de recubrimientos en el bastidor para aislar o reducir la emisión sonora mejorando de esta manera la experiencia del operario.

Durante las pruebas realizadas no fue de vital importancia realizar ningún tipo de ajuste en los componentes de la máquina, esto se debe a que el correcto ensamblaje de la máquina y la calibración inicial de los sistemas nos permitió desde un principio garantizar el funcionamiento y el trabajo óptimo de cada uno de sus componentes, de esta manera evitando cualquier desajuste o fallo durante los procesos de fabricación de prueba. Sin mencionar que, se espera que la máquina requiera un mantenimiento periódico con el fin de mantener su durabilidad y desempeño continuo.



Figura 54. Resorte helicoidal a tracción.

En la Figura 54 se muestras un resorte helicoidal a tracción de 1’’ de diámetro interno, este resorte se elaboró en alambre bajo certificación ASTM A227 de 4 mm de diámetro, el resorte también fue sometido a un tratamiento térmico de templado.

**Posibles mejoras al diseño de la máquina**

Si bien la máquina cumple con los objetivos planteados y se ha demostrado su funcionabilidad en la fabricación de los resortes helicoidales propuestos en los objetivos, podrían existir varias mejoras que optimizarían su desempeño, su versatilidad y facilitar su operación. Estas propuestas abarcan tanto la automatización del proceso como el perfeccionamiento de ciertos componentes que son clave para el desarrollo de los resortes.

Una de las mejoras más significativas sería la implementación de un sistema automatizado para el guiado del alambre hacia la matriz del resorte, esto podría lograrse mediante un mecanismo de poleas controladas, que garantice una

alimentación constante y estable del alambre para la fabricación del resorte. Este sistema no solo reduciría la intervención manual del operador, sino que también aumentaría la producción de los resortes fabricados. Además, podría integrarse un motor eléctrico adicional que sincronice el movimiento del carro guía con el giro del eje principal, lo que permitiría ajustar de manera más precisa el paso del resorte.

El uso de matrices roscadas sería otra posible mejora en el diseño de la máquina, ya que este tipo de matrices permite fabricar resortes con una mayor precisión en términos de paso y geometría, permitiendo al alambre seguir la trayectoria de la rosca predefinida. Considerando que, esta solución tendría ciertas limitaciones, la matriz roscada solo permitiría la fabricación de resortes de un paso fijo, lo que reduciría la flexibilidad de la máquina para producir diferentes tipos de resortes.

Por otro lado, la implementación de un sistema de control eléctrico podría elevar la eficiencia de la máquina nos permitiría ajustar parámetros del resorte como el pasó, el número de vueltas, la velocidad de fabricación, este sistema podría incluir un microcontrolador que regule las velocidades de los motores y el avance del alambre.

La ergonomía y la seguridad son dos aspectos de suma importancia para el operador de la máquina, por lo cual sería importante mejorar el diseño de las cubiertas protectoras en las partes móviles, como la transmisión por cadena y el eje principal, para prevenir cualquier tipo de incidentes. Adicional a esto, de ser necesario y viable se podrían incluir asas o ruedas en el bastidor, lo cual facilitaría la movilidad de la máquina dentro del taller con la finalidad de aumentar su practicidad.

Aunque el sistema de transmisión actual cumple con todos los parámetros de diseño propuestos, una mejora para esto sería la implementación de un sistema de poleas y correas dentadas en lugar del sistema de transmisión por cadena, ya que las correas dentadas pueden ofrecer una transmisión más suave y eficiente, además de generar menos ruido y requerir un menor mantenimiento. Esto sería muy útil para reducir el desgaste de los componentes y prolongar la vida útil de la máquina.

Con el objetivo de incrementar la versatilidad y funcionalidad de la máquina, sería altamente recomendable desarrollar un sistema de matrices intercambiables. Este diseño permitiría la fabricación de resortes con distintos diámetros interiores y exteriores sin requerir modificaciones complejas o permanentes en la estructura

principal de la máquina. Al implementar matrices específicas para cada tipo de resorte, se podría cubrir una mayor variedad de aplicaciones industriales y personalizar la producción según las necesidades del usuario.

Para facilitar este proceso, dichas matrices podrían estar equipadas con mecanismos de ajuste rápido, como pernos de liberación rápida o sistemas de anclaje automático, que permitirían al operador realizar cambios de configuración de manera ágil y sencilla. Esto reduciría significativamente el tiempo necesario para adaptar la máquina a diferentes especificaciones, aumentando la eficiencia del proceso de fabricación y minimizando los periodos de inactividad.

Además, un sistema de almacenamiento organizado para las matrices intercambiables garantizaría un acceso rápido y un mantenimiento adecuado, prolongando su vida útil. Esta mejora no solo potenciaría la flexibilidad de la máquina, sino que también la haría más atractiva para usuarios que requieran una mayor diversidad de producción, ampliando su campo de aplicación y aumentando su valor como herramienta de fabricación versátil.

Estas propuestas de mejora tienen el potencial de transformar la máquina en un equipo más eficiente, versátil y seguro. La automatización del guiado del alambre, la implementación de matrices roscadas, así como la adición de un sistema de control eléctrico, son propuestas claramente relevantes para la optimización tanto del proceso de fabricación como la calidad de los resortes que se van a producir. Tomando en cuenta que estas mejoras requieren de una inversión adicional en tiempo y en recursos, lo cual limita a la extensión del presente proyecto, pero los beneficios a largo plazo en términos de productividad y precisión, justificaría altamente su implementación.

**Costos**

En el proceso de construcción de la máquina, se realizaron diversas inversiones en componentes, materiales y servicios necesarios para garantizar su operatividad y eficiencia. Estos costos abarcan tanto la compra de las partes principales de la máquina como los gastos asociados a su instalación y configuración.

A continuación, se detallarán los costos desglosados por cada componente y etapa del proyecto, presentados en tablas para facilitar su análisis y comprensión.

## Costos Materia Prima

TABLA XXV

COSTOS DE MATERIA PRIMA

| Artículo | Precio USD |
|---|---|
| Ejes para matrices de ½ y 1 pulgada | 23 $ |
| Eje de 1.5 pulgadas para eje principal | 35 $ |
| 4 perfiles tipo ángulo de 40x40x5 | 108 $ |
| Planchas de tol | 45 $ |
| Perfil G | 45 $ |
| Platina de 2 pulgadas | 15 $ |
| Alambre de 4 mm | 2 $ |
| **Total** | 273 $ |

## Costos Componentes Principales

TABLA XXVI

COSTOS COMPONENTES PRINCIPALES

| Artículo | Precio USD |
|---|---|
| Motorreductor | 550 $ |
| 2 chumaceras 1 ½” | 36 $ |
| Mandril 130 mm | 135 $ |
| Carro guía | 45 $ |
| Piñón diámetro 40 mm | 65 $ |
| Piñón diámetro 38 mm | 60 $ |
| Cadena de transmisión | 80 $ |
| Pernos | 40 $ |
| Electrodos 6011 2kg | 10 $ |
| Conmutador trifásico | 35 $ |
| Cables Sistema Eléctrico | 20 $ |
| **Total** | 1076 $ |

## Costos Procesos de Manufactura

TABLA XXVII

COSTOS DE LOS PROCESOS DE MANUFACTURA

| Artículo | Precio USD |
|---|---|
| Torneado | 250 $ |
| Limado | 60 $ |
| Soldadura | 120 $ |

| | |
|---|---|
| Pintura | 40 $ |
| **Total** | 470 $ |

## Costos adicionales

TABLA XXVIII

COSTOS ADICIONALES

| Artículo | Precio USD |
|---|---|
| Servicios básicos | 40 $ |
| Transporte | 70 $ |
| **Total** | 110 $ |

## Costo total de la máquina

TABLA XXIX

COSTOS TOTALES

| Costos | Precio USD |
|---|---|
| Costos Materia Prima | 273 $ |
| Costos Componentes Principales | 1076 $ |
| Costos Procesos de Manufactura | 470 $ |
| Costos Adicionales | 110 $ |
| **Total** | 1929 $ |

# CAPÍTULO IV

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

- A lo largo del desarrollo del proyecto, se logró cumplir plenamente el objetivo principal: diseñar y construir una máquina capaz de fabricar resortes helicoidales con diámetros interiores de 1" y 1/2". Este logro no solo se traduce en la culminación exitosa de la construcción del equipo, sino también en la validación detallada de cada etapa, desde la investigación inicial hasta su puesta en marcha. El diseño final demostró ser eficiente, funcional y adaptable a las necesidades específicas del mercado industrial, lo que refleja un trabajo bien planificado y ejecutado en todas las fases.

- Uno de los factores clave para el éxito del proyecto fue la utilización de herramientas computacionales avanzadas para el diseño y simulación. Estas tecnologías permitieron anticipar el comportamiento de la máquina bajo diferentes condiciones de operación, evitando problemas durante la construcción y maximizando el uso de los recursos disponibles. El resultado fue un diseño equilibrado, que combina robustez estructural, precisión en la fabricación de los resortes y eficiencia energética, confirmando la solidez del enfoque adoptado.

- La construcción de esta máquina representa un aporte significativo al desarrollo de la industria ecuatoriana, especialmente en sectores como el automotriz y el agrícola, donde los resortes helicoidales de alta calidad son indispensables. Producir estos componentes a nivel local no solo reduce la dependencia de la importación de maquinaria o productos terminados, sino que también genera ahorros en costos logísticos y abre oportunidades para que pequeñas y medianas empresas accedan a tecnología avanzada.

- Las pruebas realizadas validaron que la máquina cumple con los estándares de calidad y precisión establecidos desde el principio del proyecto. La capacidad de fabricar resortes con las dimensiones y características requeridas demuestra no solo la efectividad del diseño, sino también la calidad de los materiales utilizados y la eficiencia en el ensamblaje. Estos resultados confirman que la máquina no solo

es funcional, sino también confiable y capaz de operar de manera consistente a mediano y largo plazo.

- En cuanto al costo total del proyecto, los resultados muestran que es posible desarrollar tecnología eficiente y funcional a un precio accesible. Esto fue posible gracias a una gestión cuidadosa de los recursos, priorizando materiales de calidad y procesos de fabricación efectivos. Además, el costo competitivo de esta máquina la convierte en una alternativa económica frente a equipos importados, lo que la posiciona como una solución viable para pequeñas y medianas empresas en el mercado local.
- Durante el desarrollo del proyecto, se identificaron áreas con posibilidades de mejora, como la incorporación de sistemas automatizados, el uso de materiales más avanzados y la ampliación de las capacidades de la máquina. Estas observaciones no solo reflejan el éxito del proyecto actual, sino que también abren puertas a futuros desarrollos e innovaciones, lo que permitirá mejorar aún más la competitividad y el alcance de esta tecnología en la industria.

**Recomendaciones**

- Para asegurar que la máquina funcione de manera óptima a lo largo del tiempo, se recomienda implementar un programa de mantenimiento preventivo que incluya revisiones regulares de componentes clave como engranajes, ejes y sistemas de alimentación. Además, sería útil contar con un plan de mantenimiento correctivo para resolver cualquier falla inesperada rápidamente. Este programa debería estar bien documentado y complementarse con un registro histórico de todas las intervenciones realizadas, lo que facilitaría identificar patrones de desgaste o problemas recurrentes.
- Sería valioso realizar estudios adicionales para mejorar el diseño original de la máquina. Esto podría implicar explorar nuevos materiales que sean más ligeros pero igualmente resistentes, integrar sistemas de automatización que reduzcan la necesidad de intervención manual y diseñar mecanismos que consuman menos energía. Estas mejoras no solo aumentarían la eficiencia y el rendimiento de la máquina, sino que también podrían reducir costos en versiones futuras.

- Es fundamental capacitar al personal que operará y mantendrá la máquina, asegurándose de que comprendan tanto su funcionamiento como los pasos a seguir para resolver problemas técnicos. También sería muy útil contar con un manual técnico detallado que incluya planos, diagramas y una guía paso a paso para operar, mantener y solucionar problemas comunes. Este recurso no solo facilitará la transferencia de conocimientos, sino que también ayudará a garantizar que el equipo se utilice de manera adecuada y eficiente.
- Para aumentar la versatilidad de la máquina, se recomienda realizar pruebas adicionales utilizando materiales con diferentes propiedades mecánicas, como aleaciones de acero más resistentes a la fatiga o materiales compuestos. Estas pruebas ayudarán a determinar si el diseño actual necesita ajustes para adaptarse a nuevas aplicaciones industriales y ampliar su alcance en diferentes sectores.
- Dado el éxito del diseño actual, sería interesante explorar la posibilidad de crear versiones más grandes o pequeñas de la máquina, según las necesidades del mercado. También sería útil investigar cómo personalizar el diseño para industrias específicas, como la automotriz o la agrícola, que podrían requerir resortes con características muy particulares.
- El costo alcanzado en el diseño y construcción de la máquina demuestra que es posible desarrollar tecnología eficiente y accesible. Esto se logró gracias a una buena gestión de los recursos, priorizando materiales de calidad y procesos de fabricación efectivos. Además, el precio competitivo del equipo lo convierte en una alternativa económica frente a equipos importados, haciéndolo viable para pequeñas y medianas empresas en el mercado local.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS


[1] Katy Spring, “La historia de los resortes y su fabricación”. Consultado: el 12 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://katyspring.com/2008/08/14/the-history-of-springs-and-spring-manufacturing/

[2] Manjunatha T S y Abdul Budan D, “Manufacturating and experimentation of composite helical springs for automotive suspension”, vol. 1, jul. 2012, [En línea]. Disponible en: http://www.ijmerr.com/currentissue.php

[3] P. S. Valsange, “Design Of Helical Coil Compression Spring”, diciembre de 2012. [En línea]. Disponible en: www.ijera.com

[4] Chicaiza Yugcha Danny Ramiro y Quinga Suntaxi Diego Mauricio, “Construcción de una máquina para fabricar resortes helicoidales cilíndricos de alambre de acero ASTM A 227 grado B de 4.5 mm de diámetro”, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2008.

[5] Spotts M F, “Proyecto de elementos de máquinas”, 2021, *Reverté, Barcelona*.

[6] Almeida Dávalos Diego Joel, “Comportamiento mecánico de resortes de tracción fabricados en Ecuador”, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, 2023.

[7] Harrison Noah, “Diferentes tipos de resortes y su aplicación”. Consultado: el 12 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.rapiddirect.com/es/blog/types-of-springs-and-applications/

[8] Lesjofors, “What is a Coil Spring?Types, Functions, and Aplications”. Consultado: el 12 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://lesjoforssprings.com/insights/what-is-a-coil-spring/

[9] Lee Spring, “Resortes de Compresión”. Consultado: el 12 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.leespring.mx/es/conoce-mas-resortes-de-compresion

[10] ISO, “Springs-Measurement and test parameters”, marzo de 2021, *Blandonnet*. [En línea]. Disponible en: www.iso.org

[11] R. G. Budynas y J. Keith Nisbett, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. New York: McGraw-Hill, 2011.

[12] Matweb, “AISI 1018 Steel, cold drawn”. Consultado: el 12 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.matweb.com/search/datasheet_print.aspx?matguid=3a9cc570fbb24d119f08db22a53e2421

[13] DIPAC, “Catálogo general de productos”, julio de 2022.

[14] Mott Robert L, *Diseño de elementos de máquinas*, Cuarta. México: Pearson Education, 2006.

[15] Tsubaki, “Catálogo cadenas Tsubaki”.

[16] Trainmex, “Catarinas para cadena de rodillos”.

[17] Surtidora Nacional de Rodamientos, “¿Cómo elegir correctamente una chumacera o rodamiento montado para su industria?” Consultado: el 12 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.snr.com.mx/blog/como-elegir-correctamente-una-chumacera-o-rodamiento-montado-para-su-industria/

[18] CPR, “Catálogo de Chumaceras”.

[19] Sumitomo, “Motorreductor trifásico coaxial”. Consultado: el 12 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.directindustry.es/prod/sumitomo-shi-cyclo-drive-germany-gmbh/product-317-11444.html

[20] Betancourt D F, “Cómo hacer el análisis de alternativas de un proyecto + ejemplo práctico”. Consultado: el 12 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.ingenioempresa.com/analisis-de-alternativas/

[21] Castelló Purificación *et al., Manual de Ergonomía para Máquinas del Sector del Metal*. 2010.

[22] Guzmán Daniel, “¿Cómo funciona un torno? ”. Consultado: el 12 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.fabricacionmecanica.es/el-torneado-como-funciona-un-torno/

[23] Formación Mecanizado, “Limadora”. Consultado: el 12 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://formacionmecanizado.com/limadora-partes-y-funciones/

# ANEXOS

## Anexo 1

### Adquisición de los materiales y componentes

Los materiales necesarios para la construcción de la máquina fueron adquiridos de manera progresiva, conforme avanzaban las diferentes etapas del proyecto. Esta estrategia permitió gestionar los recursos económicos de manera eficiente, priorizando la compra de componentes en función de su necesidad en cada fase del desarrollo. En un primer momento, se decidió adquirir el motorreductor, dado que este representaba el gasto más significativo dentro del presupuesto asignado para el presente proyecto de titulación. La elección de iniciar con este componente clave no solo garantizó la disponibilidad de una pieza fundamental para el diseño y funcionamiento del sistema, sino que también permitió establecer los parámetros base para el resto de la construcción. Este enfoque ordenado y escalonado fue esencial para optimizar los tiempos y recursos durante todo el proceso.



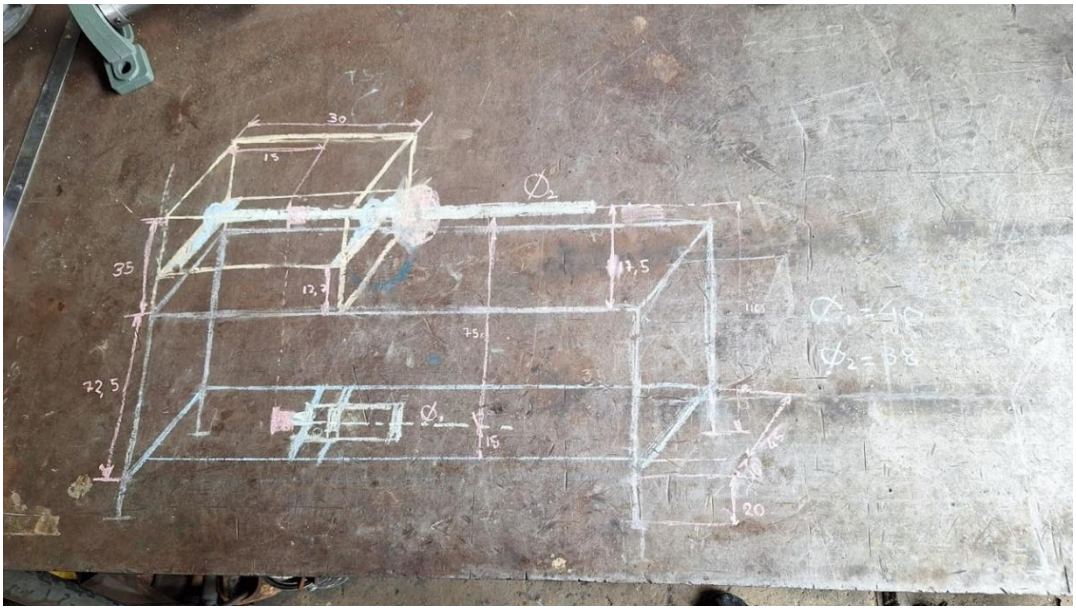


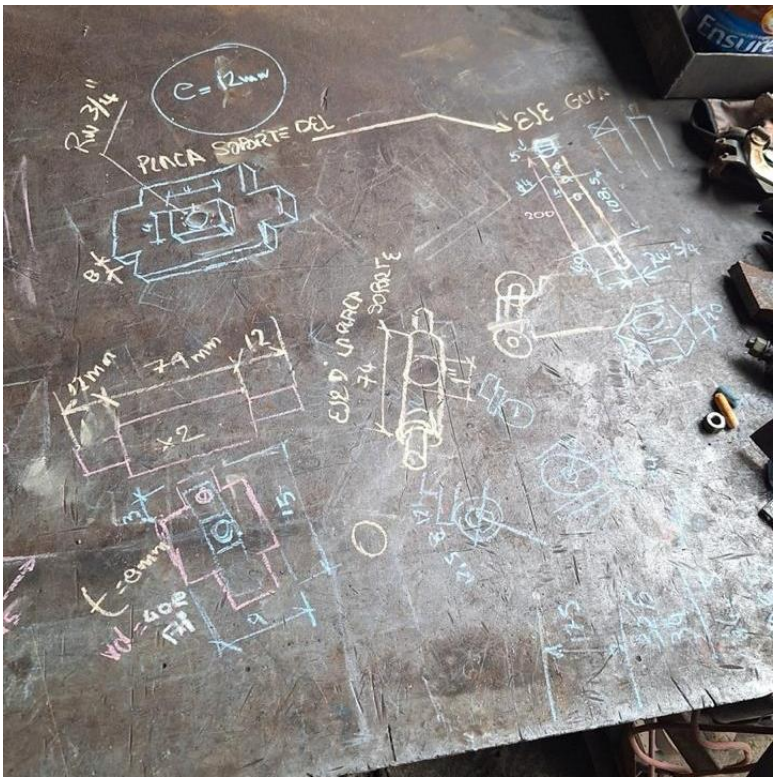




**Bosquejos iniciales**

Antes del diseño de la máquina realizamos unos bosquejos iniciales del bastidor junto con el sistema de transmisión y del carro guía, fueron especulaciones e idealizaciones sobre el diseño previo que teníamos en mente, cabe mencionar que recibimos ayuda del papá de Ricardo, el dueño del taller donde construimos la máquina, quien tiene conocimientos de diseño de máquinas.



**Anexo 2**

**Fabricación del eje principal**

El eje principal para la transmisión de potencia tiene un plato metálico de unos 20 mm de espesor, en la imagen se puede ver las marcas pintadas sobre la esquina de este, el objetivo es ir reduciendo gradualmente el diámetro en la punta del eje con la final de dejar una forma de bisel para posteriormente soldar el plato metálico, el cual va a soportar al mandril.








A continuación, lo que estamos haciendo es el agujero al plato además de un biselado y pulido, preparándolo para el posterior proceso de soldadura, teniendo en cuenta todas las precauciones de diseño en especial la alineación de ambos componentes.







Proceso de soldadura del eje principal con el plato de 20 mm, como se puede ver en las imágenes al momento de soldar se está usando todo el equipo de protección personal necesario garantizando la seguridad del operador que realiza dicho proceso.





Taladrado de los agujeros en el plato soldado al eje principal, los cuales sirven para el montaje del mandril de 130 mm que se implementó en el diseño, mediante pernos propios del mismo mandril. Los agujeros se realizaron de una manera muy meticulosa con el fin de tener la mayor precisión posible.






En las siguientes imágenes se muestra el procedimiento en la máquina Limadora donde se realizó la chaveta en el eje principal, permitiéndonos así garantizar la seguridad más que todo del motor, en caso de que algún componente llegue a fallar con la máquina en funcionamiento.







**Piñones sistema de transmisión**

Lo primero que se hizo fue darle una pasada en el torno para facilitar el proceso de los chaveteros. Para la elaboración de los chaveteros en los piñones del sistema de transmisión por cadena, se utilizó una máquina limadora debido a su capacidad de realizar cortes precisos y uniformes. Los piñones fueron fijados firmemente en la mesa de la limadora utilizando dispositivos de sujeción adecuados para garantizar su estabilidad durante el proceso. Se realizaron movimientos controlados de la herramienta a lo largo de la ranura previamente marcada, verificando periódicamente las dimensiones con instrumentos de medición como galgas y micrómetros para asegurar que el chavetero cumpliera con las tolerancias especificadas.





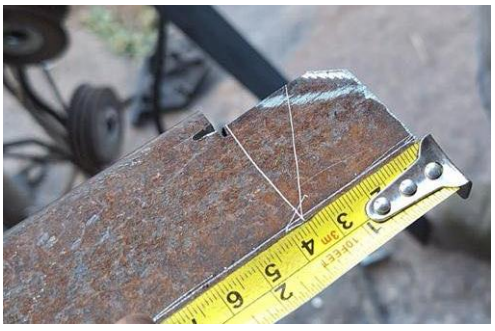


Para completar el mecanizado de los piñones, se fabricaron los chaveteros en la limadora, garantizando un ajuste preciso con los ejes. Posteriormente, se realizaron perforaciones en los piñones utilizando un taladro de columna, ubicando los orificios en posiciones estratégicas para instalar prisioneros. Las perforaciones fueron roscadas manualmente con machuelos, aplicando lubricante para facilitar el corte y proteger las roscas. Finalmente, se instalaron los prisioneros, verificando su ajuste para asegurar los piñones a los ejes.

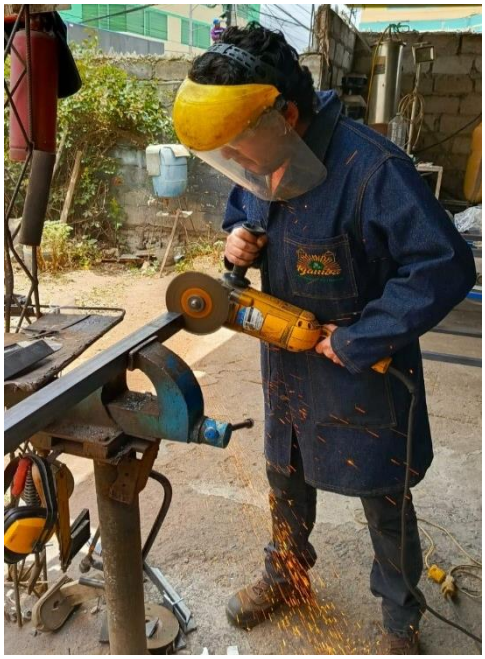


**Bastidor**

Para la construcción del bastidor, comenzamos midiendo y marcando las dimensiones necesarias en los perfiles angulares, siguiendo el diseño planificado. Luego, realizamos los cortes utilizando herramientas adecuadas, asegurando precisión en cada pieza. Todo el proceso se llevó a cabo utilizando el equipo de protección personal, como guantes y gafas de seguridad, para garantizar la protección de los operadores.





Una vez cortadas todas las piezas del bastidor, procedimos a ensamblarlas alineando cuidadosamente cada parte con herramientas de medición. Con la ayuda del ingeniero a cargo, se aplicaron puntos de soldadura en las uniones clave para fijar temporalmente las piezas y asegurar su correcta posición antes de realizar las soldaduras finales.






Una vez que todas las partes del bastidor fueron alineadas y verificadas para garantizar su correcta posición, se procedió a realizar las soldaduras finales en cada una de las uniones. Durante este proceso, se aplicaron técnicas de soldadura adecuadas para garantizar la calidad de las uniones, verificando continuamente que la estructura mantuviera su alineación y cumplimiento con las especificaciones del diseño.












**Parrilla soporte motorreductor**

Para crear la parrilla que soporta el motorreductor, se diseñaron y cortaron las piezas según las dimensiones del motor y el espacio disponible. Las piezas se ensamblaron y alinearon cuidadosamente, reforzando las uniones con soldaduras para garantizar estabilidad. Se realizaron orificios de montaje precisos para el motorreductor, asegurando que quedara bien fijado. Un punto clave aquí son pequeñas varillas soldadas a los pernos que sostiene al motorreductor en la parrilla, estas varillas nos permiten un ajuste o desajuste más fácil de los mismos.





**Carro guía del alambre**

Fabricamos un carro guía para el alambre utilizando un eje de acero de alta resistencia, una placa de 12 mm de grosor, y rodamientos de 35 mm de diámetro exterior para garantizar un desplazamiento suave y sin fricción. El diseño incluyó un perfil tipo G, que proporcionó la rigidez necesaria para soportar las cargas y mantener la estabilidad del carro durante su operación. Además, se incorporaron platinas de material resistente, las cuales permitieron un desplazamiento eficiente del carro guía sobre la estructura, asegurando su funcionalidad y durabilidad en el proceso de fabricación del alambre. Este componente fue clave para optimizar el funcionamiento del sistema y asegurar la precisión en el movimiento del alambre.







Con la incorporación de este último elemento, todos los componentes necesarios para la máquina están ahora disponibles y listos para ser ensamblados. Cada pieza ha sido cuidadosamente preparada y verificada para garantizar su compatibilidad y ajuste perfecto dentro del diseño general. Con todos los elementos en mano, se puede proceder al ensamblaje final, asegurando que la máquina funcione correctamente y cumpla con los requisitos establecidos en el proyecto. Este paso marca el cierre de la fase de fabricación y el comienzo de la integración de todos los sistemas que componen la máquina.

**Alineación de las chumaceras y eje principal**

La alineación de las chumaceras y el eje principal se realizó cuidadosamente para garantizar un funcionamiento fluido y sin vibraciones. Se utilizó equipo de medición preciso para verificar que las chumaceras estuvieran correctamente posicionadas y alineadas con el eje, asegurando que el eje principal quedara perfectamente horizontal y libre de tensiones. Esta alineación es crucial para evitar el desgaste prematuro de los componentes y asegurar un rendimiento estable y duradero del sistema.





**Alineación de la cadena**

Alineamos la cadena del sistema de transmisión con el objetivo de asegurar que no quede ni demasiado tensa ni demasiado floja, siguiendo las recomendaciones establecidas en la norma ecuatoriana INEN, que regula las características de las cadenas de transmisión. De acuerdo con esta normativa, la tensión de la cadena debe ser ajustada para que tenga un desplazamiento sin fricción excesiva, permitiendo un rendimiento óptimo sin generar un desgaste prematuro de los componentes. La correcta alineación y ajuste de la cadena son esenciales para garantizar la eficiencia del sistema de transmisión, evitando posibles fallas y asegurando la vida útil del conjunto.







**Ensamble inicial de la máquina**

El ensamble inicial de la máquina se realizó para llevar a cabo pruebas previas antes de proceder con la pintura final. Durante esta etapa, se ensamblaron los componentes principales, como el bastidor, el sistema de transmisión, el motorreductor, y las chumaceras, asegurando que todas las piezas encajaran correctamente y funcionaran de acuerdo con el diseño. Se verificaron las conexiones mecánicas y se realizaron ajustes necesarios para garantizar que los sistemas estuvieran alineados y operaran sin problemas. Las pruebas iniciales permitieron identificar posibles áreas de mejora o ajustes antes de continuar con el proceso de pintura, lo cual aseguraba que la máquina no sufriera daños durante el acabado final. Esta fase fue crucial para garantizar el correcto funcionamiento y la estabilidad de la máquina antes de su entrega o uso definitivo.



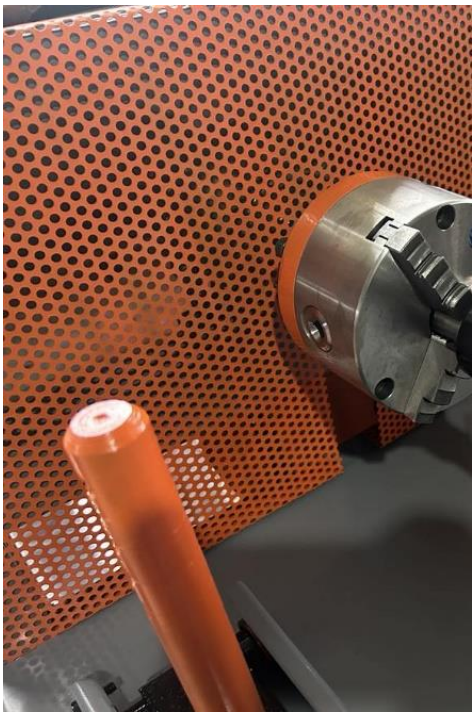


**Proceso de pintado**

El proceso de pintado de la máquina se llevó a cabo utilizando un compresor con pistola de pintura, lo que permitió una cobertura uniforme y un acabado de alta calidad. Primero, se prepararon las superficies de las piezas a pintar, asegurando que estuvieran limpias y libres de polvo o grasa, lo que garantizó una adherencia óptima de la pintura.

Se seleccionaron dos colores principales para diferenciar las partes de la máquina: gris para el bastidor, los perfiles en general y otras partes estructurales, y naranja para los componentes críticos que requerían ser claramente visibles como señal de advertencia. La parrilla, el eje, el plato del eje principal y el eje del carro guía fueron pintados de naranja, destacando estos puntos clave del sistema, lo cual ayuda a identificar rápidamente las áreas de mayor importancia y posibles riesgos. Además, las tapas del cabezal también fueron pintadas de naranja para mejorar la visibilidad y asegurar su identificación durante la operación. Cabe mencionar que los pernos los pintamos de color negro. Este proceso no solo mejoró la estética de la máquina, sino que también contribuyó a su seguridad y funcionalidad.







**Anexo 3**

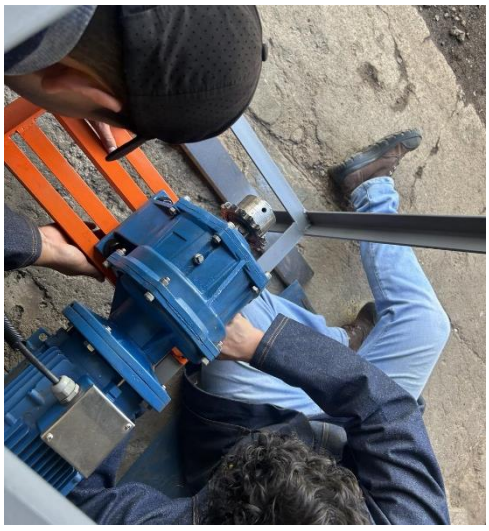
**Ensamble final**

El ensamble final de la máquina se llevó a cabo después de completar el proceso de pintado, asegurándonos de que todas las piezas estuvieran completamente secas y libres de cualquier defecto en el acabado. Durante esta fase, se instalaron los componentes pintados, como el bastidor, los perfiles, la parrilla, y las tapas del cabezal, verificando que cada parte encajara perfectamente según el diseño original. Se inició con el montaje de la parrilla, seguido del motorreductor.





Se montaron los elementos mecánicos, como los ejes, las chumaceras, y el sistema de transmisión, asegurando que las conexiones fueran firmes y estables. También se instalaron las piezas pintadas de naranja, como los ejes y el plato del eje principal, con especial atención para que los puntos críticos de la máquina fueran claramente visibles.













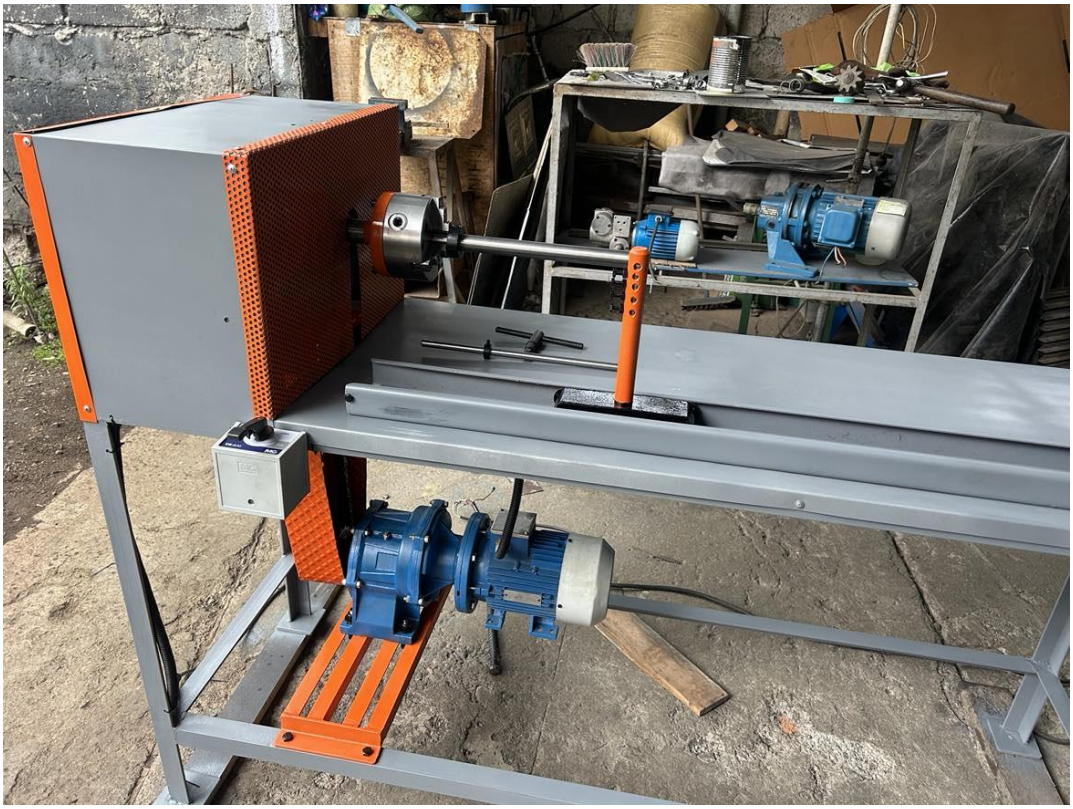
Una vez ensamblada completamente la máquina, se revisaron los ajustes de cada componente y se realizaron pruebas funcionales para verificar su correcto funcionamiento. Finalmente, se inspeccionó la máquina para asegurarse de que no hubiera daños en la pintura y que todo estuviera listo para su puesta en marcha o para su entrega final.





**Anexo 4**

La máquina elaboradora de resorte ensamblada en su totalidad y con los acabados finales.



## Anexo 5

| Symbols | Units | Designations |
|---|---|---|
| $D_e$ | mm | outside diameter of spring |
| $D_i$ | mm | inside diameter of spring |
| $d$ | mm | diameter of wire |
| $d_{max}$ | mm | maximum diameter of wire |
| $d_{wire}$ | mm | actual wire diameter |
| $F$ | N | spring load or force |
| $F_i = F_1 - s_1 R$ | N | initial tension force (preload) (see Annex B) |
| $F_1, F_2, \ldots$ | N | specified spring loads for the specified spring lengths, $L_1, L_2, \ldots$ |
| $F_n$ | N | maximum permissible spring force for the maximum permissible spring length $L_n$ |
| $F_{max}$ | N | maximum specified spring load |
| $F_{min}$ | N | minimum specified spring load |
| $L_0$ | mm | free length |
| $L_n$ | mm | maximum acceptable spring length measured spring hooks inner radii for $F_n$ |
| $L_1, L_2, \ldots$ | mm | specified spring lengths for the spring loads, $F_1, F_2, \ldots$ |
| $L_H$ | mm | distance from inner radius of loop to spring body |
| $L_B$ | mm | body length when unloaded but subject to initial tension force |
| $L_{max}$ | mm | maximum specified spring length |
| $L_{min}$ | mm | minimum specified spring length |
| $m$ | mm | hook opening |
| $n$ | – | number of active coils |
| $n_t$ | – | total number of coils |
| $p$ | mm | spring pitch |
| $R = \frac{\Delta F}{\Delta L} = \frac{\Delta F}{\Delta s}$ | N/mm | spring rate (see Annex A) |
| $r$ | mm | bending radius |
| $s$ | mm | deflection of spring |
| $s_n$ | mm | maximum test spring deflection for the spring loads, $F_n$ |
| $s_1, s_2, \ldots$ | mm | specified spring deflections for the specified spring loads, $F_1, F_2, \ldots$ |
| $s_h$ | mm | deflection of spring (stroke) between two loads |
| $u$ | mm | distance between the coils |

Figura 55. Características de un resorte helicoidal a tensión [10].

| Symbols | Units | Designations |
|---|---|---|
| $D_e$ | mm | outside diameter of spring |
| $D_{e,max}$ | mm | maximum outside diameter of spring |
| $D_{e,min}$ | mm | minimum outside diameter of spring |
| $D_i$ | mm | inside diameter of spring |
| $D_{i,max}$ | mm | maximum inside diameter of spring |
| $D_{i,min}$ | mm | minimum inside diameter of spring |
| $d$ | mm | diameter of wire |
| $d_{max}$ | mm | maximum diameter of wire |
| $d_{wire}$ | mm | actual wire diameter |
| $e_1$ | mm | perpendicularity |
| $e_2$ | mm | parallelism |
| $F$ | N | spring load or force |
| $F_c$ | N | spring load at solid length, $L_c$ |
| $F_{max}$ | N | maximum specified spring load |
| $F_{min}$ | N | minimum specified spring load |
| $F_n$ | N | spring load for the minimum test length, $L_n$ |
| $F_1, F_2, \ldots$ | N | specified spring loads for the specified spring lengths, $L_1, L_2, \ldots$ |
| $L_c$ | mm | solid length |
| $L_{max}$ | mm | maximum specified spring length |
| $L_{min}$ | mm | minimum specified spring length |
| $L_n$ | mm | minimum acceptable test length for $F_n$ |
| $L_0$ | mm | free length |
| $L_{0,max}$ | mm | maximum free length |
| $L_{0,min}$ | mm | minimum free length |
| $L_1, L_2, \ldots$ | mm | specified spring lengths for the spring loads, $F_1, F_2, \ldots$ |

(standards.iteh.ai)
https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/82acdda6-3efc-4ce6-857d-337b81e86c4d/iso-22703-1-2021

Figura 56. Características de un resorte helicoidal a compresión [10].

| Nombre del material | Especificaciones similares | Descripción |
|---|---|---|
| Alambre de piano, 0.80-0.95*C* | UNS G10850<br>AISI 1085<br>ASTM A228-51 | Este es el mejor, el más tenaz y el más empleado de todos los materiales para fabricar resortes pequeños. Presenta la mayor resistencia a la tensión y puede soportar mayores esfuerzos ante cargas repetidas que cualquier otro material para resorte. Disponible en diámetros de 0.12 a 3 mm (0.005 a 0.125 pulg). No se emplee a temperaturas mayores de 120°C (250°F), o a temperaturas bajo cero. |
| Alambre templado en aceite 0.60-0.70*C* | UNS G10650<br>AISI 1065<br>ASTM 229-41 | Este es un acero para resortes de uso general que se emplea para elaborar muchos tipos de resortes de espiras, cuando el costo del alambre de piano resulta prohibitivo y se necesitan tamaños mayores que el alambre de piano disponible. No adecuado para cargas de choque o impacto. Disponible en diámetros de 3 a 12 mm (0.125 a 0.5000 pulg), pero se consigue con tamaños mayores y menores. No se emplee a más de 180°C (350°F), o a temperaturas bajo cero. |
| Alambre estirado duro 0.60-0.70*C* | UNS G10660<br>AISI 1066<br>ASTM A227-47 | Este acero se usa para fabricar resortes de uso general más baratos y se debe utilizar solo donde la duración, la exactitud y la deflexión no sean muy importantes. Disponible en diámetros de 0.8 a 12 mm (0.031 a 0.500 pulg). No se emplee a más de 120°C (250°F), o a temperaturas bajo cero. |
| Cromo-vanadio | UNS G61500<br>AISI 6150<br>ASTM 231-41 | Esta es la aleación más popular de acero para construir resortes en condiciones que implican esfuerzos mayores que los que se pueden emplear con los aceros al alto carbono, y para usarla cuando son necesarias resistencia a la fatiga y alta durabilidad. También sirve para cargas de choque o impacto. Se utilizan ampliamente para fabricar resortes de válvulas de motores de aviones y para temperaturas hasta de 220°C (425°F). Disponible en recocido o prerrevenido con tamaños de 0.8 a 12 mm (0.031 a 0.500 pulg) de diámetro. |
| Cromo-silicio | UNS G92540<br>AISI 9254 | Esta aleación constituye un material excelente para fabricar resortes sometidos a esfuerzos elevados y cargas de impacto que requieren larga vida. Las durezas Rockwell de C50 a C53 son muy comunes y el material se utiliza hasta temperaturas de 250°C (475°F). Disponible en 0.8 a 12 mm (0.031 a 0.500 pulg) de diámetro. |

Figura 57. Descripción de materiales para resortes [11].

TABLA XXX

PROCESO DE MANTENIMIENTO PARA LA MÁQUINA

| ELEMENTO | PROCEDIMIENTO/MANTENIMIENTO | EQUIPOS NECESARIOS |
|---|---|---|
| **Bastidor de perfiles angulares (40x40x5 y 50x50x5)** | 1. Realizar una inspección visual completa para identificar posibles grietas en las soldaduras, deformaciones en los perfiles o corrosión. Prestar especial atención a las uniones soldadas y los puntos sometidos a mayor tensión. 2. Retirar el óxido acumulado utilizando cepillos de acero o herramientas abrasivas. Asegurarse de limpiar cualquier residuo antes de proceder con otras acciones. 3. Si se detectan grietas o soldaduras dañadas, utilizar una máquina de soldadura para repararlas, asegurándose de mantener la alineación de las piezas. 4. Aplicar pintura anticorrosiva o recubrimiento protector para prolongar la vida útil del bastidor. | Lámpara de inspección, cepillo de acero, esmeriladora, máquina de soldadura, brocha/pistola de pintura. |
| **Motorreductor (2HP)** | 1. Revisar regularmente el nivel y estado del lubricante dentro del motorreductor. Si el aceite está contaminado o se encuentra en niveles bajos, realizar el cambio siguiendo las especificaciones del fabricante. 2. Limpiar la carcasa externa del motor para evitar acumulación de polvo o grasa que pueda dificultar la disipación de calor. 3. Inspeccionar las conexiones eléctricas y terminales para garantizar que estén firmes y sin daños. 4. Escuchar ruidos inusuales o vibraciones excesivas mientras el motor está | Llaves, aceite lubricante, multímetro. |

| | | |
|---|---|---|
| | en funcionamiento, ya que estos pueden indicar un desgaste interno. | |
| **Sistema de transmisión (cadena y piñones)** | 1. Desmontar la cadena y los piñones para limpiarlos a fondo, eliminando residuos de polvo, grasa vieja o partículas metálicas. 2. Aplicar un lubricante especializado para cadenas de transmisión, asegurándose de cubrir completamente la cadena para evitar desgaste y oxidación. 3. Ajustar la tensión de la cadena utilizando un tensiómetro o ajustadores mecánicos; una cadena demasiado tensa puede generar estrés adicional en los piñones, mientras que una cadena floja puede generar deslizamientos. 4. Inspeccionar los dientes de los piñones para identificar signos de desgaste, deformación o grietas. | Cepillo de cerdas metálicas, lubricante para cadenas, tensiómetro. |
| **Eje principal (con plato de 20 mm de espesor)** | 1. Verificar el ajuste del plato al eje para asegurarse de que no haya movimientos o vibraciones inusuales durante el funcionamiento. Si se detectan problemas, reajustar o sustituir las fijaciones. 2. Comprobar la alineación del eje con respecto al resto del sistema, ya que una mala alineación puede causar desgaste prematuro. Utilizar herramientas de precisión para esta tarea. 3. Lubricar las zonas de soporte del eje (cojinetes o rodamientos) para evitar fricción excesiva y prolongar la vida útil. 4. Inspeccionar el plato de 20 mm para detectar fisuras, deformaciones o desgaste en los puntos de contacto. | Llaves, nivel de precisión, grasa o lubricante. |
| **Mandril (130 mm)** | 1. Limpiar la superficie del mandril con un paño seco o un solvente adecuado para | Paño limpio, aceite |

| | | |
|---|---|---|
| | eliminar residuos metálicos, polvo o grasa. 2. Inspeccionar las mordazas del mandril para verificar que estén libres de desgaste o daños. Si alguna está desgastada, sustituirla. 3. Verificar el centrado del mandril con un calibrador de precisión para garantizar un funcionamiento adecuado sin vibraciones. 4. Lubricar las partes móviles del mandril para facilitar su ajuste y operación. | lubricante, calibrador de centrado. |
| **Plancha de tol (mesa de trabajo)** | 1. Limpiar regularmente la superficie para retirar polvo, suciedad o residuos de trabajo. Evitar la acumulación de partículas metálicas, ya que estas pueden generar corrosión o afectar la precisión del trabajo. 2. Inspeccionar la plancha para detectar deformaciones, grietas o signos de corrosión, prestando especial atención a los bordes y esquinas. 3. Si la superficie presenta daños, lijarla y aplicar una capa de pintura protectora o un recubrimiento que evite la oxidación. | Cepillo, paño, pistola de pintura o brocha. |
| **Perfil G (100x50x3)** | 1. Inspeccionar visualmente para detectar deformaciones, grietas o acumulación de residuos en la estructura. Prestar atención a los puntos de mayor contacto o tensión. 2. Retirar cualquier residuo acumulado utilizando herramientas manuales o un paño limpio. 3. Verificar que las fijaciones del perfil estén firmes y ajustadas. Si se encuentran tornillos o pernos flojos, reapretarlos según las especificaciones. | Llaves, paño limpio, regla o calibre. |
| **Carro guía (rodamientos, eje y placa)** | 1. Limpiar a fondo los rodamientos y el eje utilizando un limpiador adecuado para retirar polvo, grasa acumulada o partículas que | Grasa específica para |

| | | |
|---|---|---|
| | puedan interferir con su movimiento. 2. Lubricar los rodamientos con grasa especializada para reducir la fricción y prolongar su vida útil. 3. Inspeccionar el estado del eje y la placa para detectar desgaste, fisuras o deformaciones. 4. Ajustar las fijaciones entre el eje y la placa para garantizar un movimiento preciso y sin holguras. | rodamientos, llaves de ajuste. |
| **Matrices de resortes y bocines para alambres** | 1. Limpiar las matrices y bocines con un cepillo o un paño limpio para eliminar residuos de material trabajado. 2. Inspeccionar los bocines y resortes para identificar desgaste, deformaciones o fisuras. Sustituir los componentes que presenten daños. 3. Aplicar lubricante en los bocines para facilitar el movimiento del alambre y reducir el desgaste. | Cepillo, grasa o aceite lubricante, herramientas manuales. |
| **Sistema eléctrico (con conmutador trifásico)** | 1. Realizar una inspección visual detallada de los cables para identificar daños en el aislamiento, conexiones sueltas o desgaste en los terminales. 2. Limpiar los contactos del conmutador trifásico con un limpiador de contactos eléctricos para evitar falsos contactos o acumulación de suciedad. 3. Verificar la continuidad y estado de las conexiones utilizando un multímetro. 4. Reapretar terminales y tornillos del sistema eléctrico para garantizar una conexión segura y confiable. | Multímetro, destornilladores, paño seco, limpiador de contactos eléctricos. |
| **Pernos y tornillos** | 1. Inspeccionar todos los pernos y tornillos utilizados en las diferentes partes de la máquina para verificar que no presenten corrosión, desgaste en las roscas o cabezas dañadas. 2. Aplicar lubricante en las roscas | Llaves de torque, lubricante multiusos, extractor de |

| | | |
|---|---|---|
| | para facilitar el ajuste y evitar que se atoren por la acumulación de óxido. 3. Reapretar pernos y tornillos utilizando llaves dinamométricas para aplicar el torque adecuado. 4. Sustituir los tornillos o pernos dañados por piezas nuevas, siguiendo las especificaciones originales. | tornillos dañados. |

# Planos

| N° DE ELEMENTO | N.° DE PIEZA | DESCRIPCIÓN | CANTIDAD |
|---|---|---|---|
| 1 | Sop. vert. mesa trabajo | Fabricado | 4 |
| 2 | Sop. horiz. mesa trabajo 1 | Fabricado | 2 |
| 3 | Platina sop. carro guía | Fabricado | 2 |
| 4 | Perfil G carro guía | Fabricado | 1 |
| 5 | Carro guía alambre | Fabricado | 1 |
| 6 | Conmutador trifásico ON/OFF | Comprado | 1 |
| 7 | Motorreductor 2HP | Comprado | 1 |
| 8 | Parrilla sop. motorreductor | Fabricado | 1 |
| 9 | Piñón condutor | Comprado | 1 |
| 10 | Cadena de transmisión | Comprado | 1 |
| 11 | Piñón conducido | Comprado | 1 |
| 12 | Chaveta ejes motrices | Fabricado | 2 |
| 13 | Sop. vert. cabezal | Fabricado | 4 |
| 14 | Chumacera 1 1/2" | Comprado | 2 |
| 15 | Sop. horiz. cabezal 1 | Fabricado | 2 |
| 16 | Cabezal | Fabricado | 1 |
| 17 | Sop. horiz. cabezal 2 | Fabricado | 2 |
| 18 | Soporte chumaceras | Fabricado | 2 |
| 19 | Sop. horiz. plancha 1 | Fabricado | 2 |
| 20 | Sop. perfil G carro guía | Fabricado | 2 |
| 21 | Eje de transmisión | Fabricado | 1 |
| 22 | Plancha mesa trabajo | Fabricado | 1 |
| 23 | Mandril 3 mordazas | Comprado | 1 |
| 24 | Matriz de resorte | Fabricado | 2 |
| 25 | Sop. horiz. plancha 2 | Fabricado | 2 |
| 26 | Sop. horz. mesa trabajo 2 | Fabricado | 2 |
| 27 | Placa base sop. vert. | Fabricado | 4 |

| Edición | Modificación | Fecha | Nombre |
|---|---|---|---|
| | | | |

Tolerancia: ±0,1

(Peso): N/A

Materiales: Varios

| | Fecha | Nombre |
|---|---|---|
| Dibujó: | 10/12/24 | Hinojosa, Mayorga |
| Revisó: | 13/12/24 | Ing. López G. |
| Aprobó: | 13/12/24 | Ing. López G. |

UTA
Ingeniería Mecánica

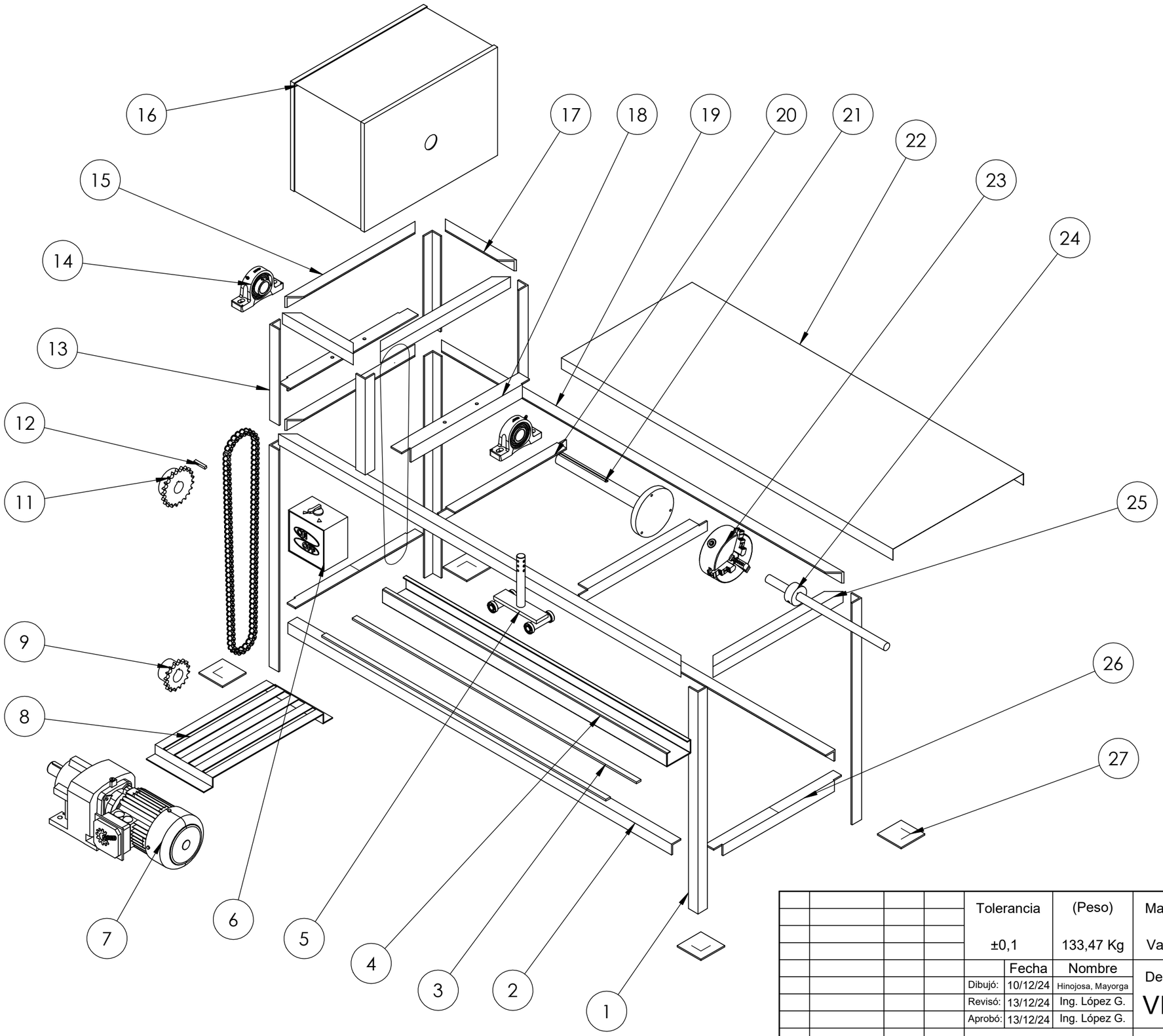
Denominación:

# LISTA DE MATERIALES

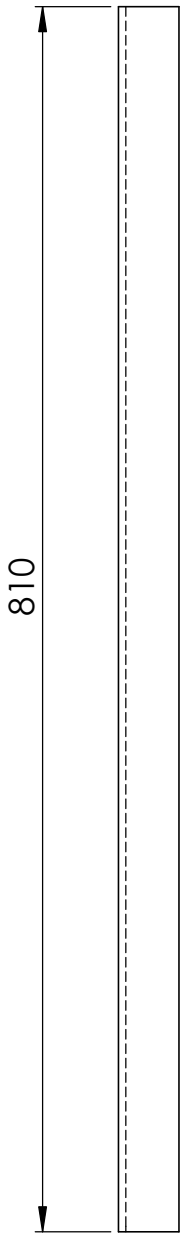
Escala: 1:1

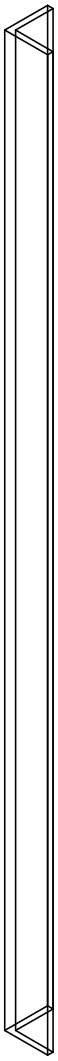
Número del dibujo: 01 de 28

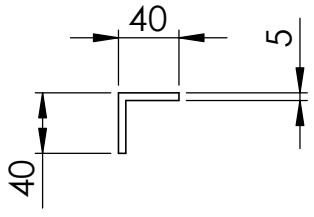
(Sustitución)



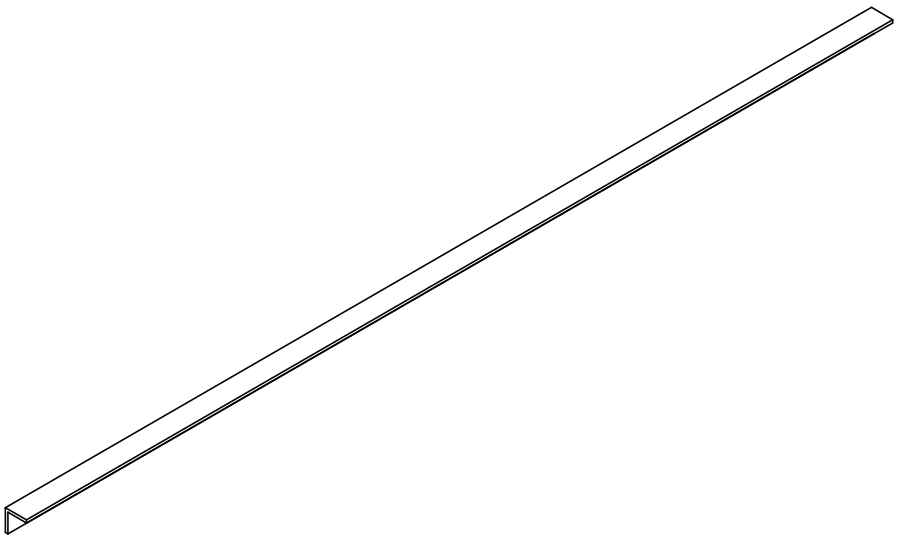

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Tolerancia | (Peso) | Materiales: |
| | | | | ±0,1 | 133,47 Kg | Varios |
| | | | | | Fecha | Nombre | Denominación: | Escala: |
| | | | | Dibujó: | 10/12/24 | Hinojosa, Mayorga | VISTA EXPLOSIONADA 1 | 1:12 |
| | | | | Revisó: | 13/12/24 | Ing. López G. | | |
| | | | | Aprobó: | 13/12/24 | Ing. López G. | | |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | UTA Ingeniería Mecánica | | | Número del dibujo: 02 de 28 | |
| | | | | | | | (Sustitución) | |

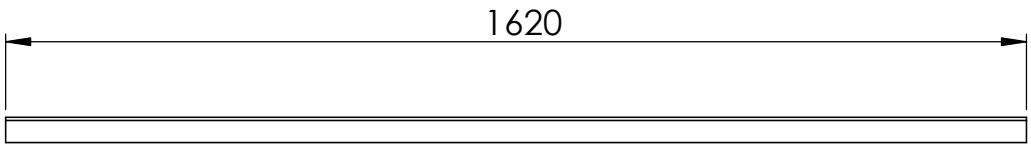


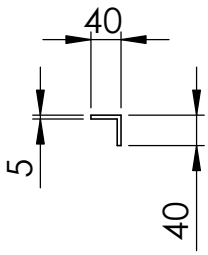





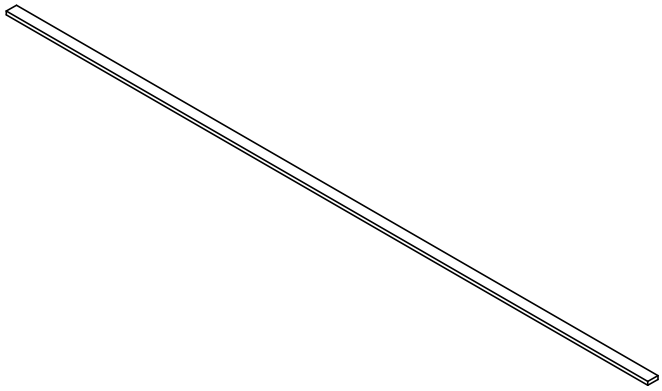

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Tolerancia | | (Peso) | Materiales: |
| | | | | ±0,1 | | 2,38 Kg | Acero ASTM A36 |
| | | | | | Fecha | Nombre | Denominación: / Escala: |
| | | | | Dibujó: | 10/12/24 | Hinojoas, Mayorga | |
| | | | | Revisó: | 13/12/24 | Ing. López G. | SOP. VERT. MESA TRABAJO / 1:5 |
| | | | | Aprobó: | 13/12/24 | Ing. López G. | |
| | | | | UTA<br>Ingeniería Mecánica | | | Número del dibujo: 03 de 28 |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | | | | (Sustitución) |

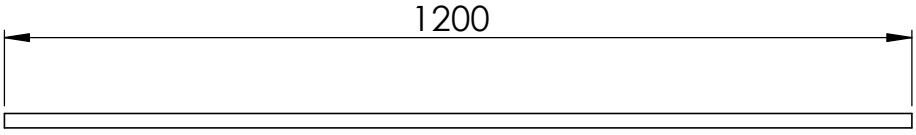


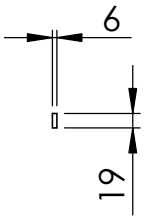



| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Tolerancia | | (Peso) | Materiales: |
| | | | | ±0,1 | | 4,76 Kg | Acero ASTM A36 |
| | | | | | Fecha | Nombre | Denominación: / Escala: |
| | | | | Dibujó: | 10/12/24 | Hinojosa, Santiago | |
| | | | | Revisó: | 13/12/24 | Ing. López G. | SOP. HORIZ. MESA TRABAJO 1 — 1:12 |
| | | | | Aprobó: | 13/12/24 | Ing. López G. | |
| | | | | UTA<br>Ingeniería Mecánica | | | Número del dibujo: 04 de 28 |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | | | | (Sustitución) |






| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Tolerancia | (Peso) | Materiales: |
| | | | | ±0,1 | 1,07 Kg | Acero ASTM A36 |
| | | | | | Fecha | Nombre |
| | | | | Dibujó: | 10/12/24 | Hinojosa, Mayorga |
| | | | | Revisó: | 13/12/24 | Ing. López G. |
| | | | | Aprobó: | 13/12/24 | Ing. López G. |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | UTA<br>Ingeniería Mecánica | | |

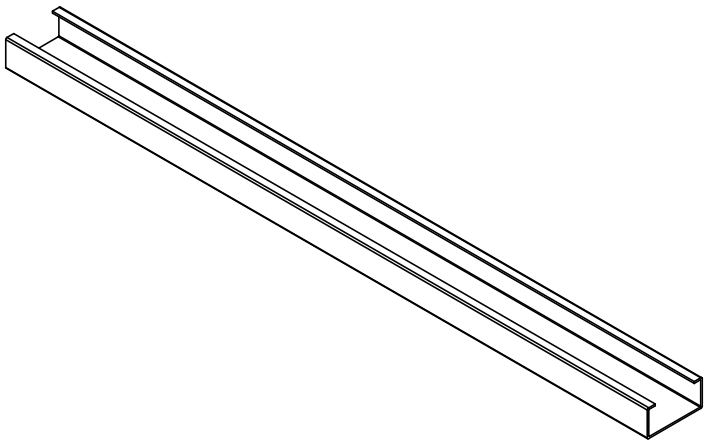
Denominación:

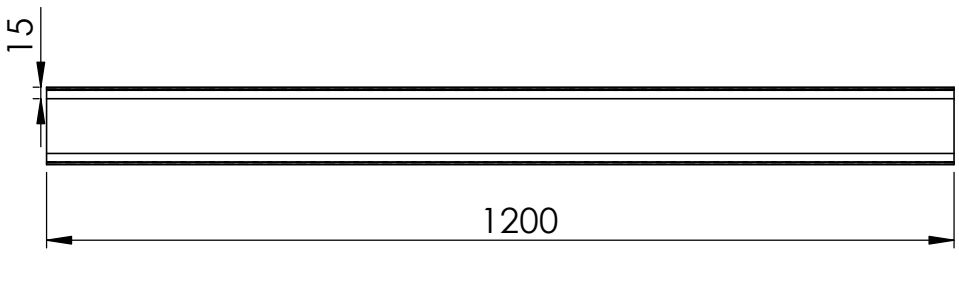
# PLATINA SOP. CARRO GUÍA

Escala: 1:10

Número del dibujo: 05 de 28

(Sustitución)






| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Tolerancia | (Peso) | Materiales: |
| | | | | ±0,1 | 6,18 Kg | Acero ASTM A36 |
| | | | | | Fecha | Nombre |
| | | | | Dibujó: | 10/12/24 | Hinojosa, Mayorga |
| | | | | Revisó: | 13/12/24 | Ing. López G. |
| | | | | Aprobó: | 13/12/24 | Ing. López G. |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | UTA<br>Ingeniería Mecánica | | |

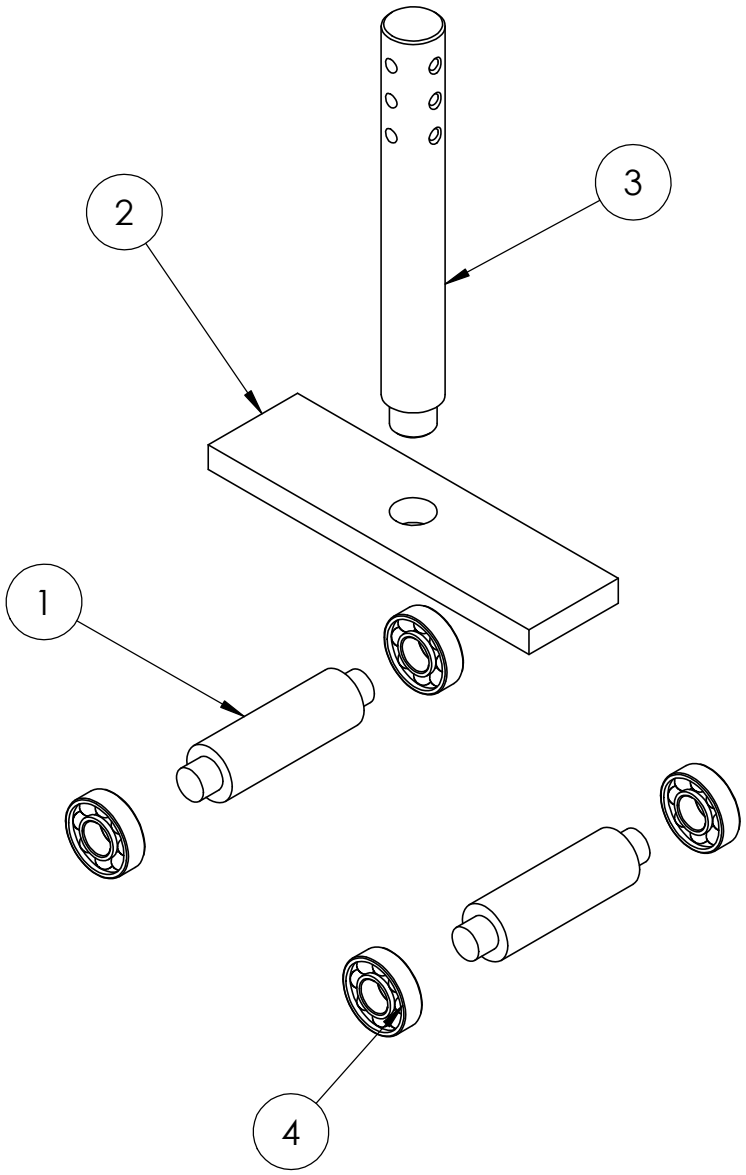
Denominación:

# PERFIL G CARRO GUÍA

Escala: 1:10

Número del dibujo: 06 de 28

(Sustitución)




| N° DE ELEMENTO | N. ° DE PIEZA | DESCRIPCIÓN | CANTIDAD |
|---|---|---|---|
| 1 | Pasador | Fabricado | 2 |
| 2 | Placa base carro | Fabricado | 1 |
| 3 | Eje guía | Fabricado | 1 |
| 4 | Rodamiento | Comprado | 4 |

| Edición | Modificación | Fecha | Nombre |
|---|---|---|---|
| | | | |

Tolerancia: ±0,1

(Peso): 2,34 Kg

Materiales: Acero AISI 304, Acero AISI 1045, Acero A36

| | Fecha | Nombre |
|---|---|---|
| Dibujó: | 10/12/24 | Hinojosa, Mayorga |
| Revisó: | 13/12/24 | Ing. López G. |
| Aprobó: | 13/12/24 | Ing. López G. |

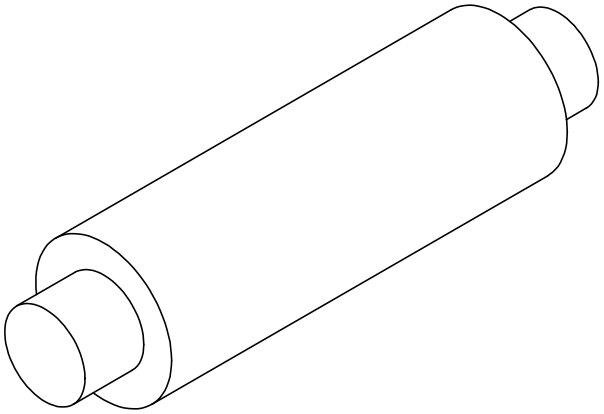
UTA
Ingeniería Mecánica

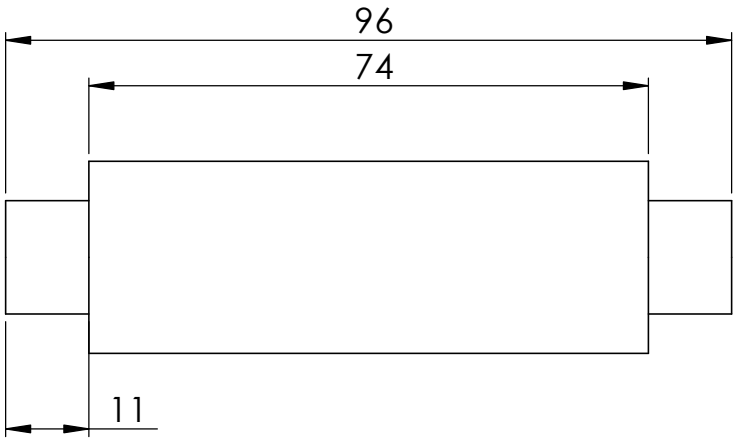
Denominación:
# CARRO GUÍA ALAMBRE

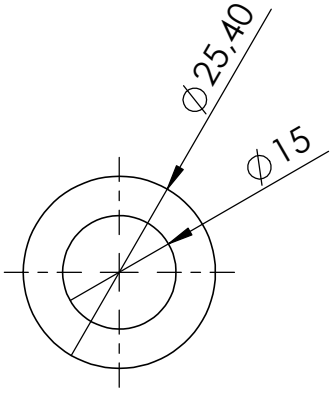
Escala: 1:3

Número del dibujo: 07 de 28

(Sustitución)






| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Tolerancia | (Peso) | Materiales: |
| | | | | ±0,1 | 324,86 Kg | Acero AISI 1045 |
| | | | | | Fecha | Nombre |
| | | | | Dibujó: | 10/12/24 | Hinojosa, Mayorga |
| | | | | Revisó: | 13/12/24 | Ing. López G. |
| | | | | Aprobó: | 13/12/24 | Ing. López G. |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | UTA<br>Ingeniería Mecánica | | |

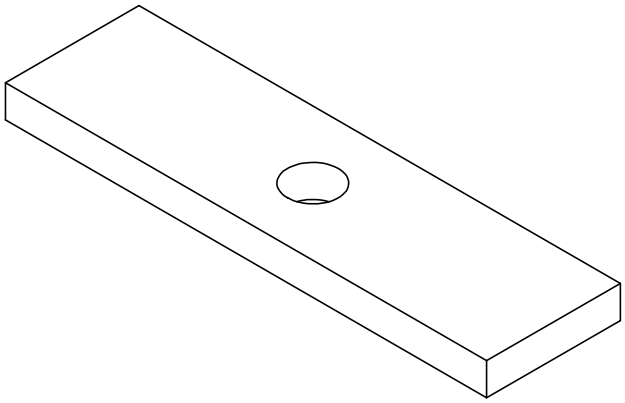
Denominación:

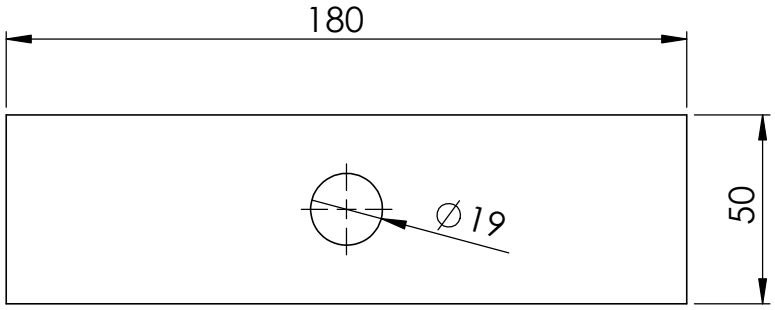
# PASADOR

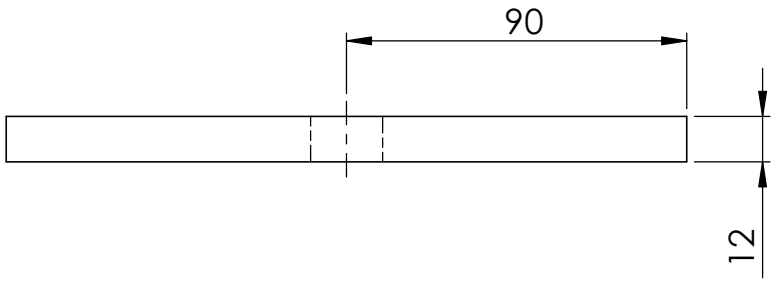
Escala: 1:1

Número del dibujo: 08 de 28

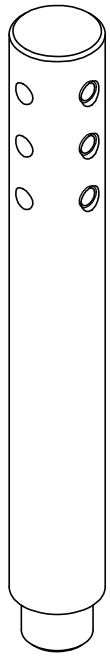
(Sustitución)

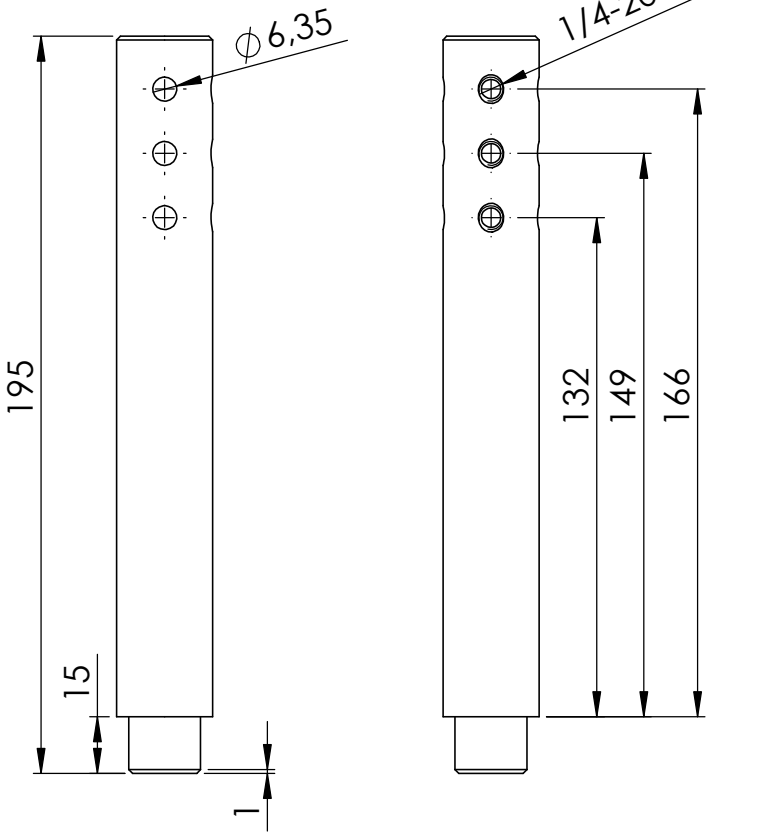


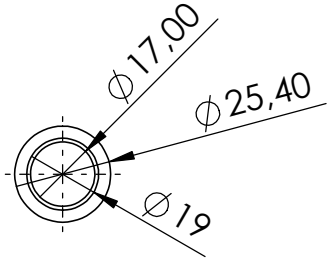


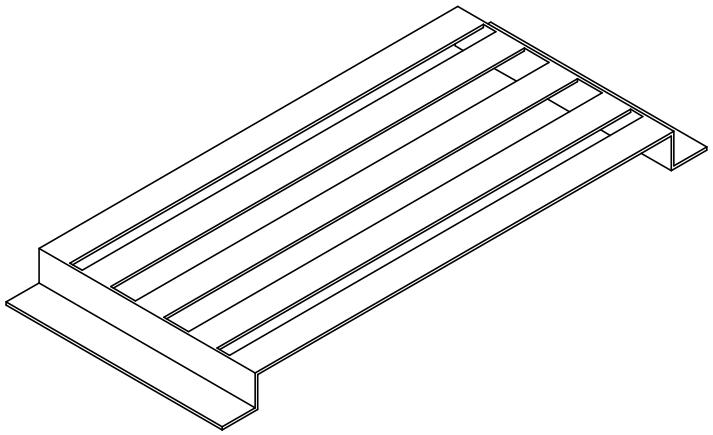

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Tolerancia | | (Peso) | Materiales: |
| | | | | ±0,1 | | 821,09 gr | Acero ASTM A36 |
| | | | | | Fecha | Nombre | Denominación: |
| | | | | Dibujó: | 10/12/24 | Hinojosa, Mayorga | PLACA BASE CARRO |
| | | | | Revisó: | 13/12/24 | Ing. López G. | Escala: 1:2 |
| | | | | Aprobó: | 13/12/24 | Ing. López G. | |
| | | | | UTA<br>Ingeniería Mecánica | | | Número del dibujo: 09 de 28 |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | | | | (Sustitución) |

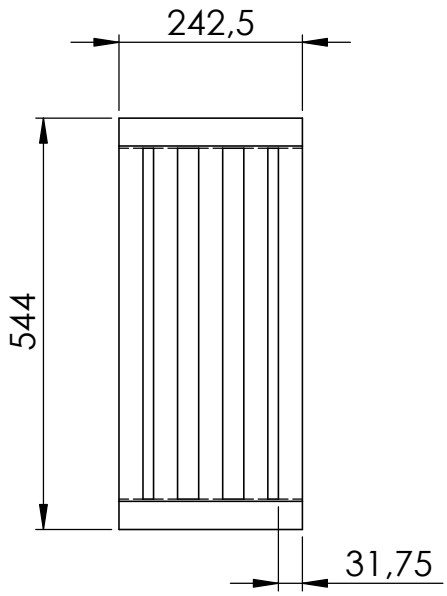


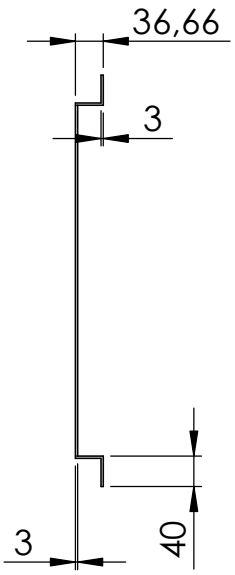


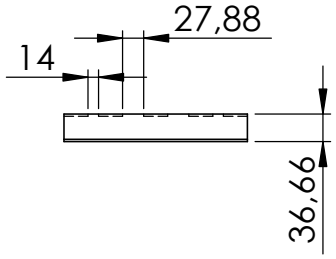




| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Tolerancia | | (Peso) | Materiales: |
| | | | | ±0,1 | | 725,09 gr | Acero AISI 1045 |
| | | | | | Fecha | Nombre | Denominación: |
| | | | | Dibujó: | 10/12/24 | Hinojosa, Mayorga | EJE GUÍA |
| | | | | Revisó: | 13/12/24 | Ing. López G. | Escala: 1:2 |
| | | | | Aprobó: | 13/12/24 | Ing. López G. | |
| | | | | UTA<br>Ingeniería Mecánica | | | Número del dibujo: 10 de 28 |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | | | | (Sustitución) |

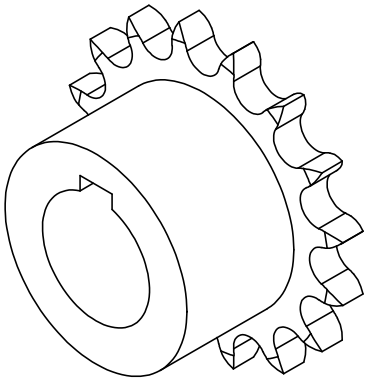


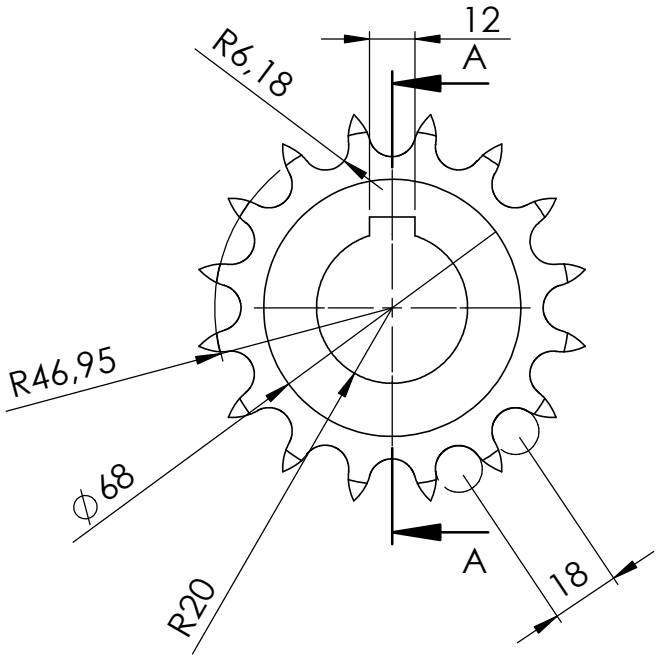


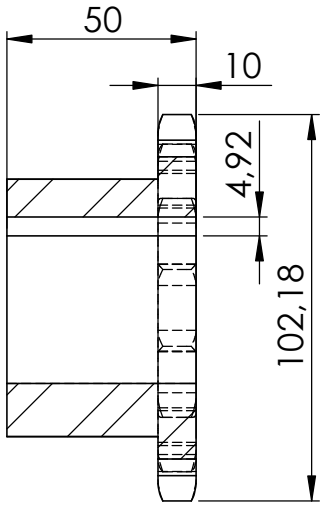




| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Tolerancia | | (Peso) | Materiales: |
| | | | | ±0,1 | | 2,57 Kg | Acero ASTM A36 |
| | | | | | Fecha | Nombre | Denominación: / Escala: |
| | | | | Dibujó: | 10/12/24 | Hinojosa, Mayorga | |
| | | | | Revisó: | 13/12/24 | Ing. López G. | PARRILLA SOP. MOTORREDUCTOR / 1:10 |
| | | | | Aprobó: | 13/12/24 | Ing. López G. | |
| | | | | UTA<br>Ingeniería Mecánica | | | Número del dibujo: 11 de 28 |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | | | | (Sustitución) |



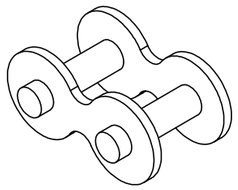


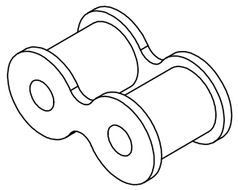



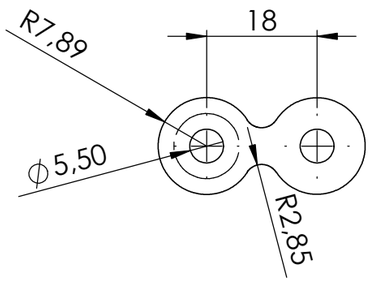

SECCIÓN A-A

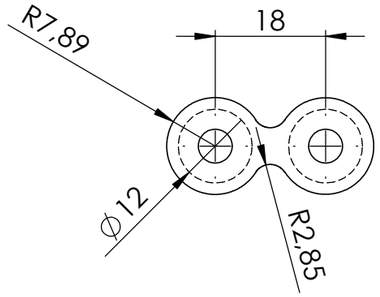
| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Tolerancia | | (Peso) | Materiales: |
| | | | | ±0,1 | | 1,10 Kg | Acero AISI 1045 |
| | | | | | Fecha | Nombre | Denominación: |
| | | | | Dibujó: | 10/12/24 | Hinojosa, Mayorga | PINÓN CONDUCTOR |
| | | | | Revisó: | 13/12/24 | Ing. López G. | |
| | | | | Aprobó: | 13/12/24 | Ing. López G. | |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | UTA<br>Ingeniería Mecánica | | | Número del dibujo: 12 de 28<br>(Sustitución) |

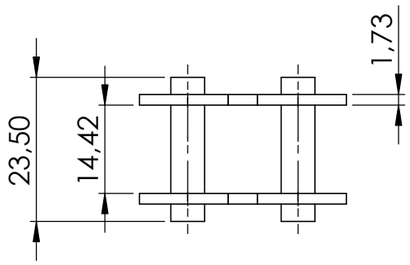
Escala: 1:2

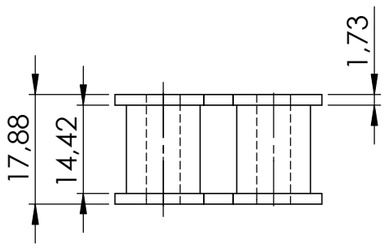


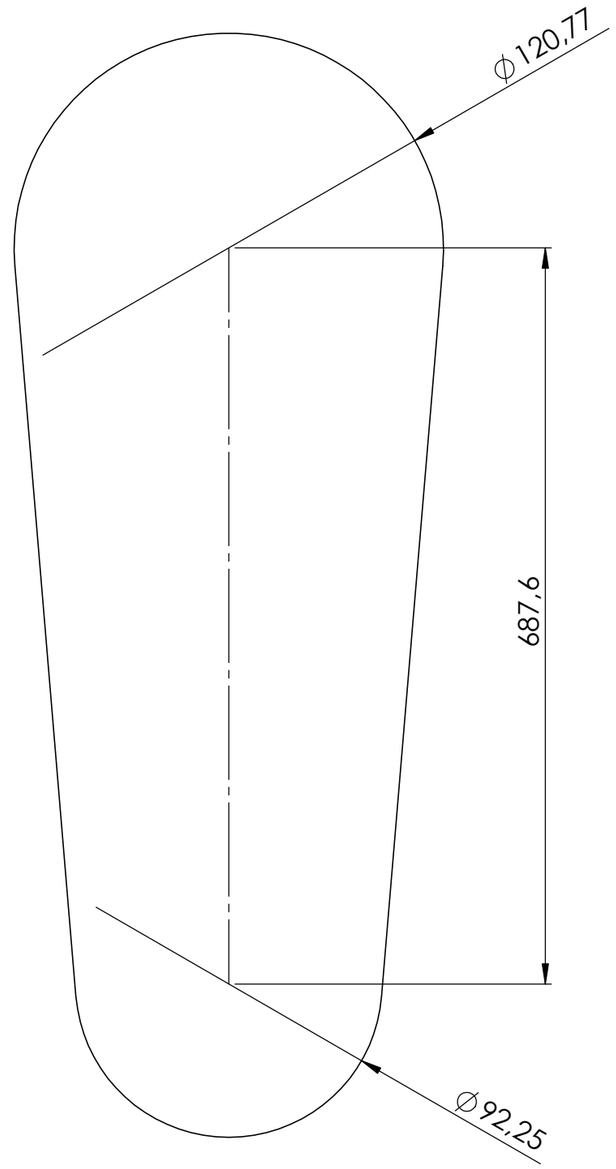




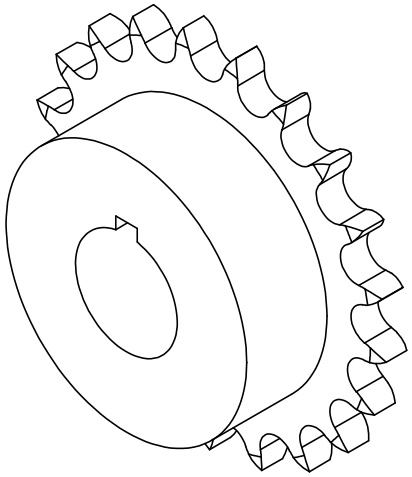



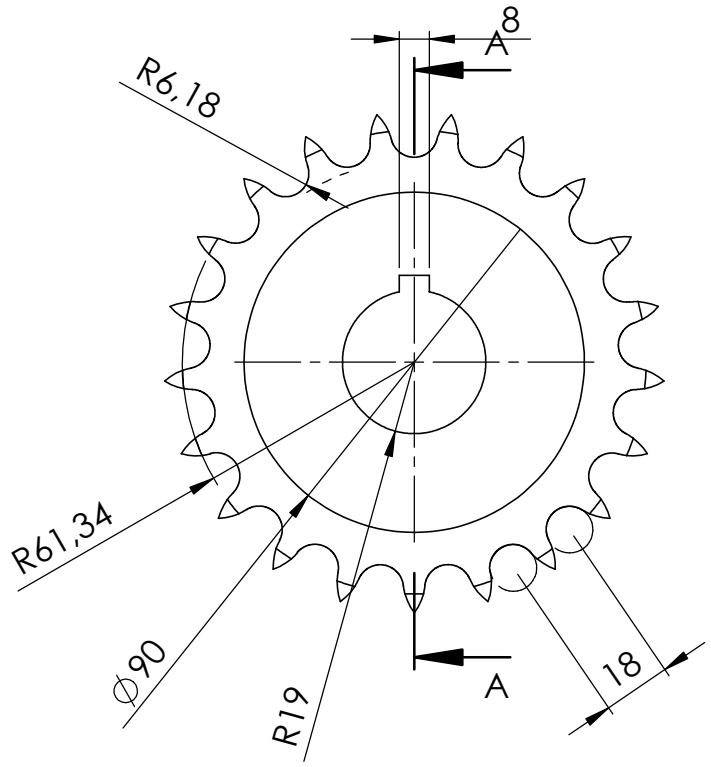



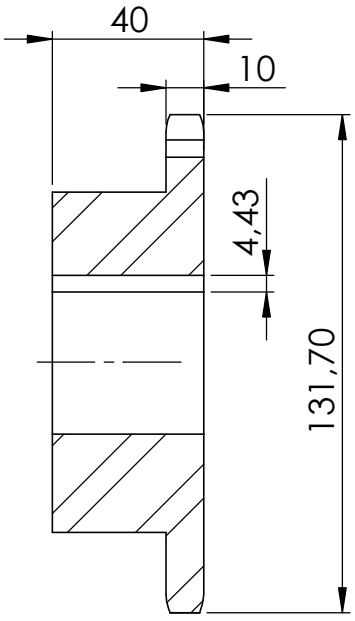




| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Tolerancia | (Peso) | Materiales: | |
| | | | | ±0,1 | 2,28 Kg | Acero AISI 1045 | |
| | | | | | Fecha | Nombre | Denominación: |
| | | | | Dibujó: | 10/12/24 | Hinojosa, Mayorga | CADENA DE TRANSMISIÓN |
| | | | | Revisó: | 13/12/24 | Ing. López G. | |
| | | | | Aprobó: | 13/12/24 | Ing. López G. | |
| | | | | UTA<br>Ingeniería Mecánica | | Número del dibujo: 13 de 28 | Escala: 1:1 |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | | | (Sustitución) | |



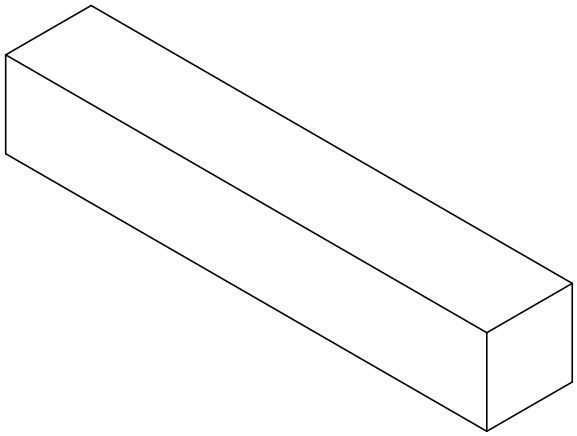


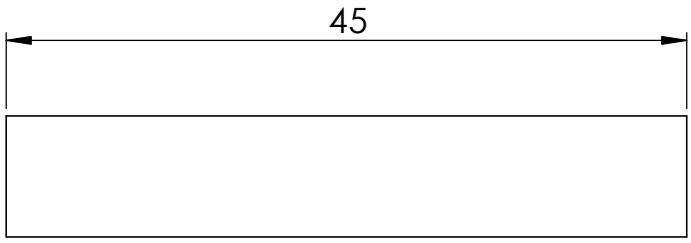



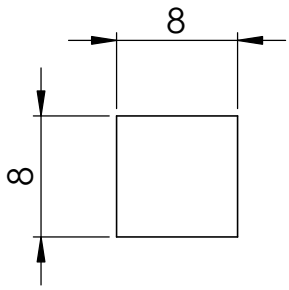

SECCIÓN A-A

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Tolerancia | | (Peso) | Materiales: |
| | | | | ±0,1 | | 1,96 Kg | Acero AISI 1045 |
| | | | | | Fecha | Nombre | Denominación: |
| | | | | Dibujó: | 10/12/24 | Hinojosa, Mayorga | PIÑÓN CONDUCIDO |
| | | | | Revisó: | 13/12/24 | Ing. López G. | |
| | | | | Aprobó: | 13/12/24 | Ing. López G. | |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | UTA<br>Ingeniería Mecánica | | | Número del dibujo: 14 de 28<br>(Sustitución) |

Escala: 1:2

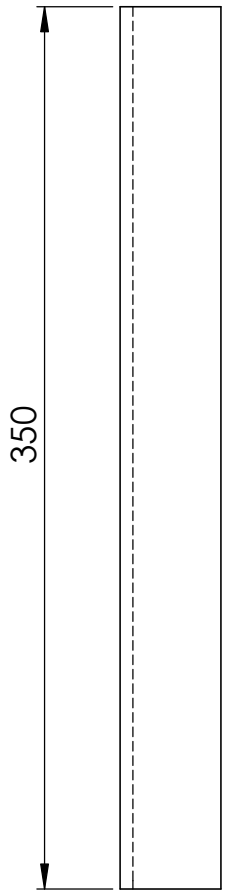


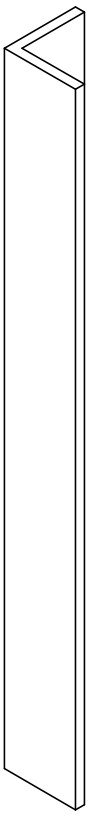


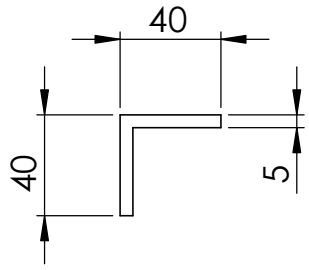




| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Tolerancia | | (Peso) | Materiales: |
| | | | | ±0,1 | | 2,88 gr | Acero ASTM A36 |
| | | | | | Fecha | Nombre | Denominación: |
| | | | | Dibujó: | 10/12/24 | Hinojosa, Mayorga | CHAVETA EJES MOTRICES |
| | | | | Revisó: | 13/12/24 | Ing. López G. | |
| | | | | Aprobó: | 13/12/24 | Ing. López G. | |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | UTA<br>Ingeniería Mecánica | | | Número del dibujo: 15 de 28<br>(Sustitución) |

Escala: 2:1

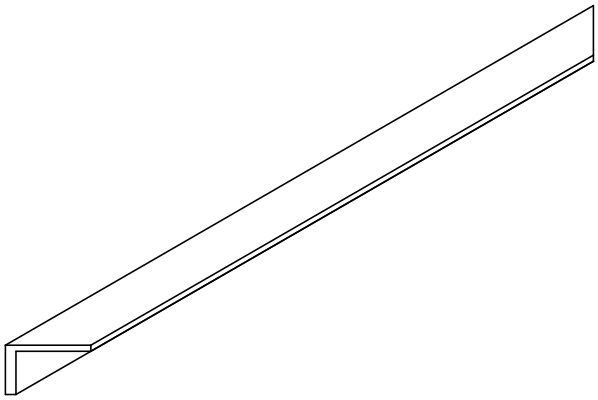


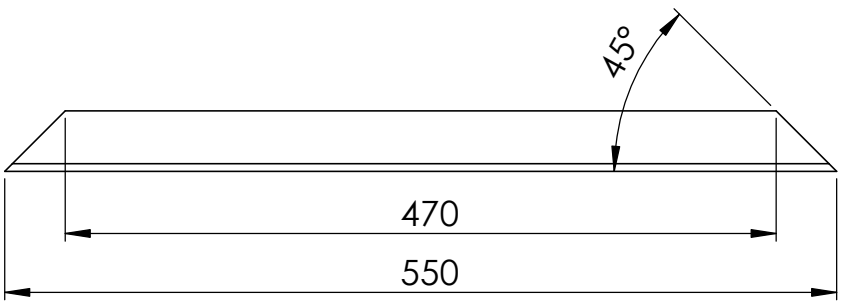



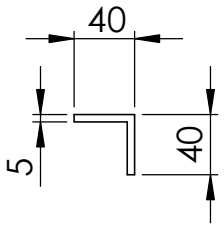



| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Tolerancia | | (Peso) | Materiales: |
| | | | | ±0,1 | | 1,03 Kg | Acero ASTM A36 |
| | | | | | Fecha | Nombre | Denominación: |
| | | | | Dibujó: | 10/12/24 | Hinojosa, Mayorga | SOP. VERT. CABEZAL |
| | | | | Revisó: | 13/12/24 | Ing. López G. | |
| | | | | Aprobó: | 13/12/24 | Ing. López G. | |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | UTA<br>Ingeniería Mecánica | | | Número del dibujo: 16 de 28<br>(Sustitución) |

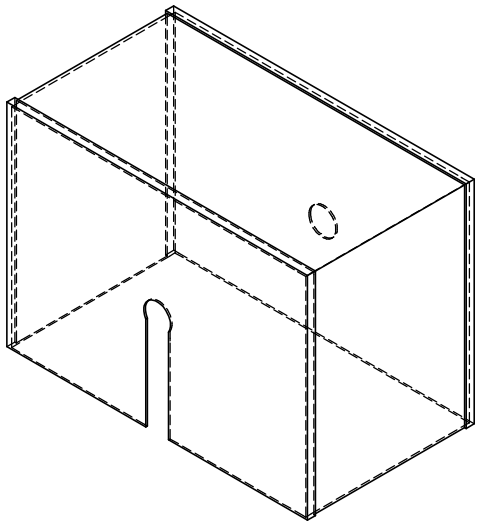
Escala: 1:3

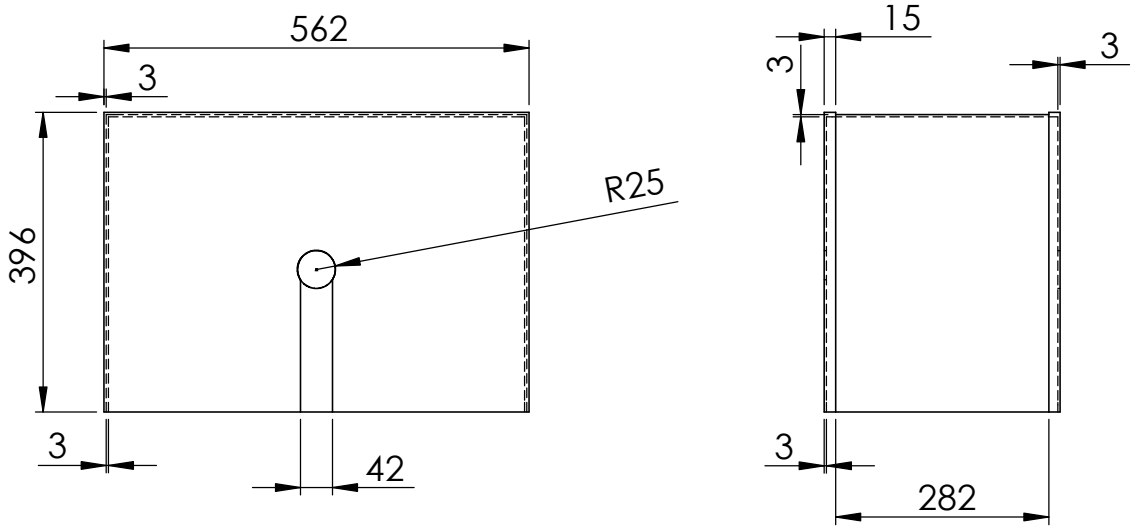





| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Tolerancia | | (Peso) | Materiales: |
| | | | | ±0,1 | | 1,54 Kg | Acero ASTM A36 |
| | | | | | Fecha | Nombre | Denominación: |
| | | | | Dibujó: | 10/12/24 | Hinojosa, Mayorga | SOP. HORIZ. CABEZAL 1 |
| | | | | Revisó: | 13/12/24 | Ing. López G. | Escala: 1:5 |
| | | | | Aprobó: | 13/12/24 | Ing. López G. | |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | UTA<br>Ingeniería Mecánica | | | Número del dibujo: 17 de 28<br>(Sustitución) |






| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Tolerancia | (Peso) | Materiales: |
| | | | | ±0,1 | 2,46 Kg | Acero galvanizado |
| | | | | | Fecha | Nombre |
| | | | | Dibujó: | 10/12/24 | Hinojosa, Mayorga |
| | | | | Revisó: | 13/12/24 | Ing. López G. |
| | | | | Aprobó: | 13/12/24 | Ing. López G. |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | UTA<br>Ingeniería Mecánica | | |

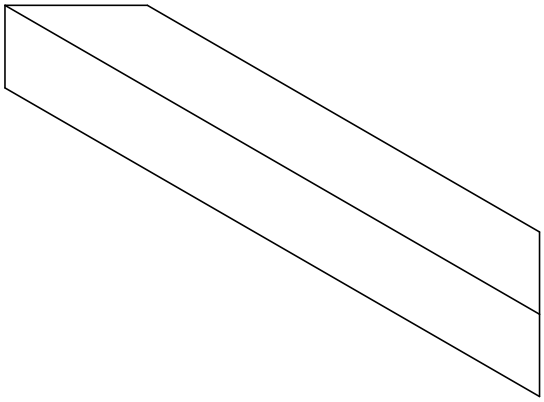
Denominación:

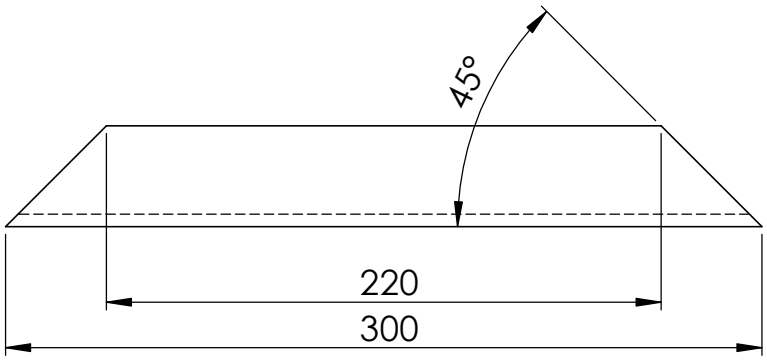
# CABEZAL

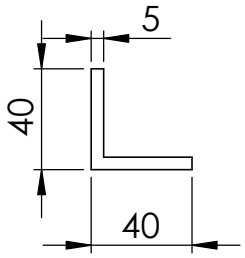
Escala: 1:10

Número del dibujo: 18 de 28

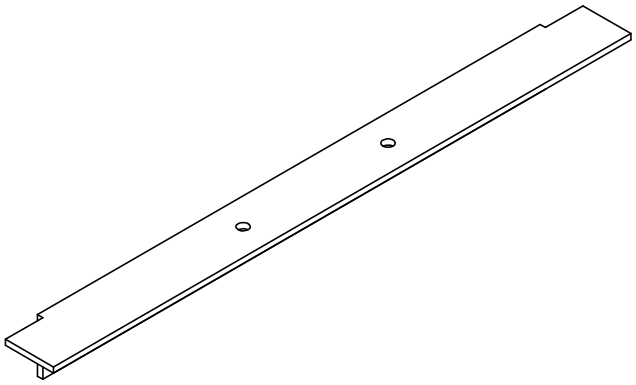
(Sustitución)

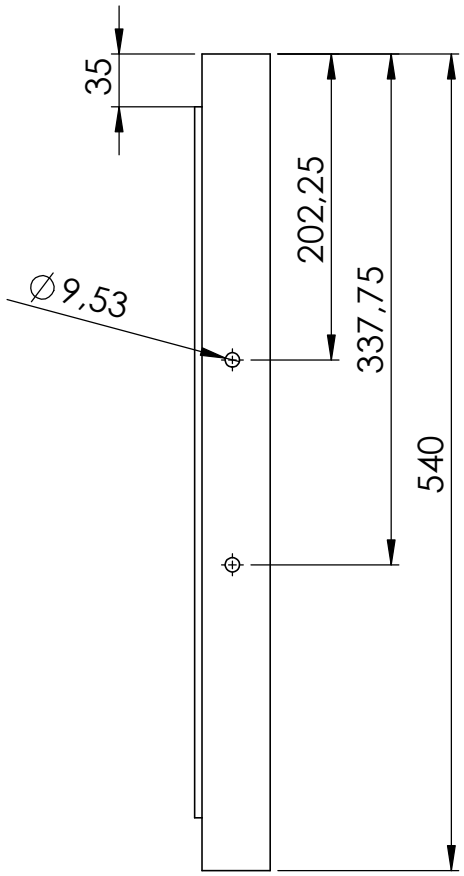


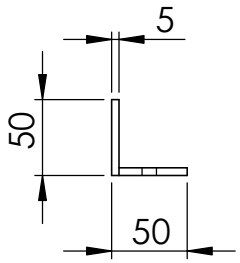


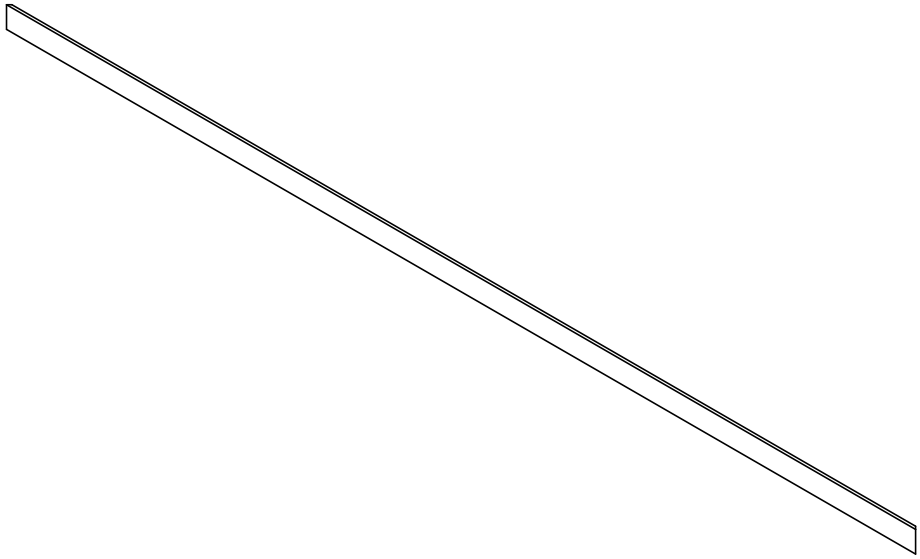

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Tolerancia | | (Peso) | Materiales: |
| | | | | ±0,1 | | 813,46 Kg | Acero ASTM A36 |
| | | | | | Fecha | Nombre | Denominación: / Escala: |
| | | | | Dibujó: | 10/12/24 | Hinojosa, Mayorga | |
| | | | | Revisó: | 13/12/24 | Ing. López G. | SOP. HORIZ. CABEZAL 2 / 1:3 |
| | | | | Aprobó: | 13/12/24 | Ing. López G. | |
| | | | | UTA<br>Ingeniería Mecánica | | | Número del dibujo: 19 de 28 |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | | | | (Sustitución) |

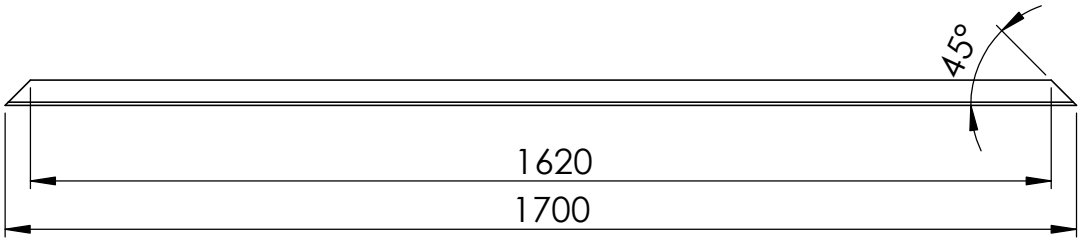


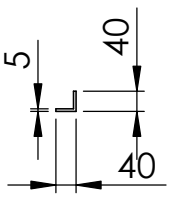



| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Tolerancia | | (Peso) | Materiales: |
| | | | | ±0,1 | | 1,87 Kg | Acero ASTM A36 |
| | | | | | Fecha | Nombre | Denominación: |
| | | | | Dibujó: | 10/12/24 | Hinojosa, Mayorga | SOPORTE CHUMACERAS |
| | | | | Revisó: | 13/12/24 | Ing. López G. | Escala: 1:5 |
| | | | | Aprobó: | 13/12/24 | Ing. López G. | |
| | | | | UTA<br>Ingeniería Mecánica | | | Número del dibujo: 20 de 28 |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | | | | (Sustitución) |






| Edición | Modificación | Fecha | Nombre |
|---|---|---|---|
| | | | |

| | | |
|---|---|---|
| Tolerancia | (Peso) | Materiales: |
| ±0,1 | 4,93 Kg | Acero ASTM A36 |

| | Fecha | Nombre |
|---|---|---|
| Dibujó: | 10/12/24 | Hinojosa, Mayorga |
| Revisó: | 13/12/24 | Ing. López G. |
| Aprobó: | 13/12/24 | Ing. López G. |

UTA
Ingeniería Mecánica

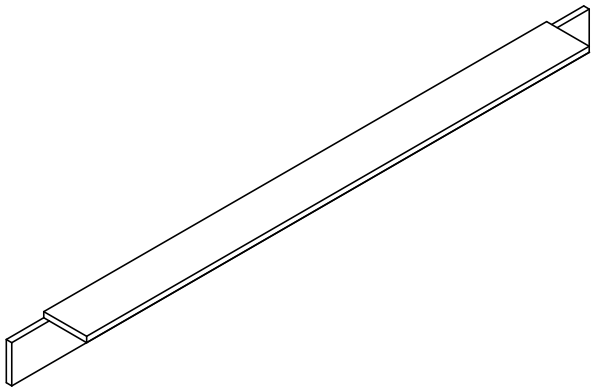
Denominación:

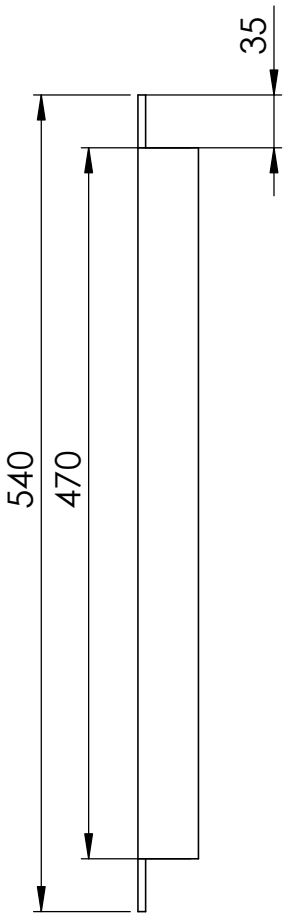
# SOP. HORIZ. PLANCHA 1

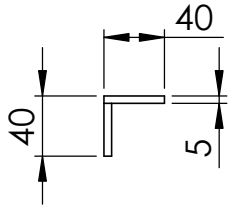
Escala: 1:12

Número del dibujo: 21 de 28

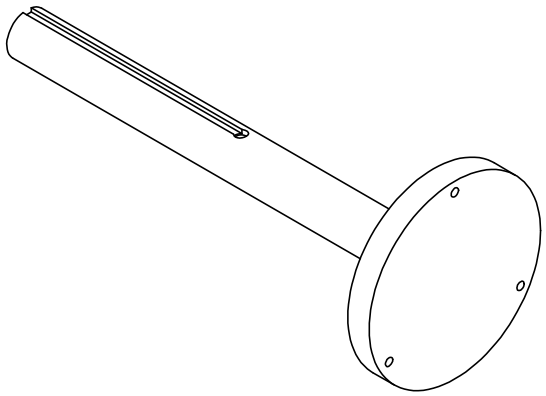
(Sustitución)

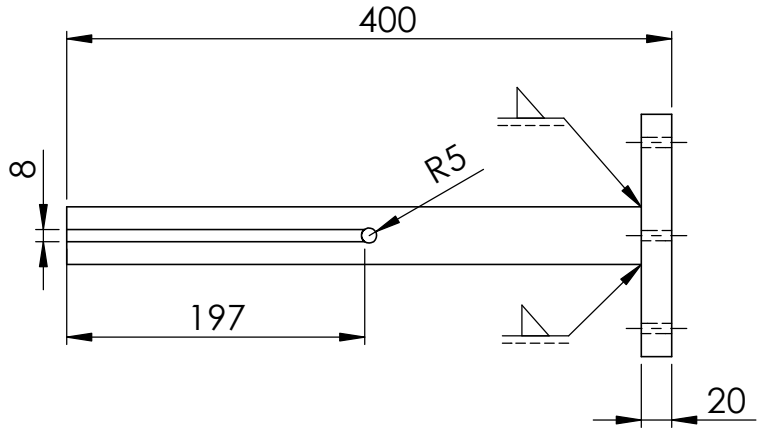


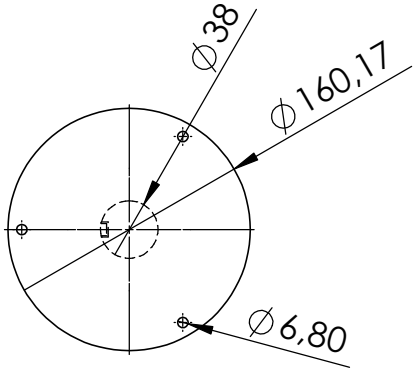


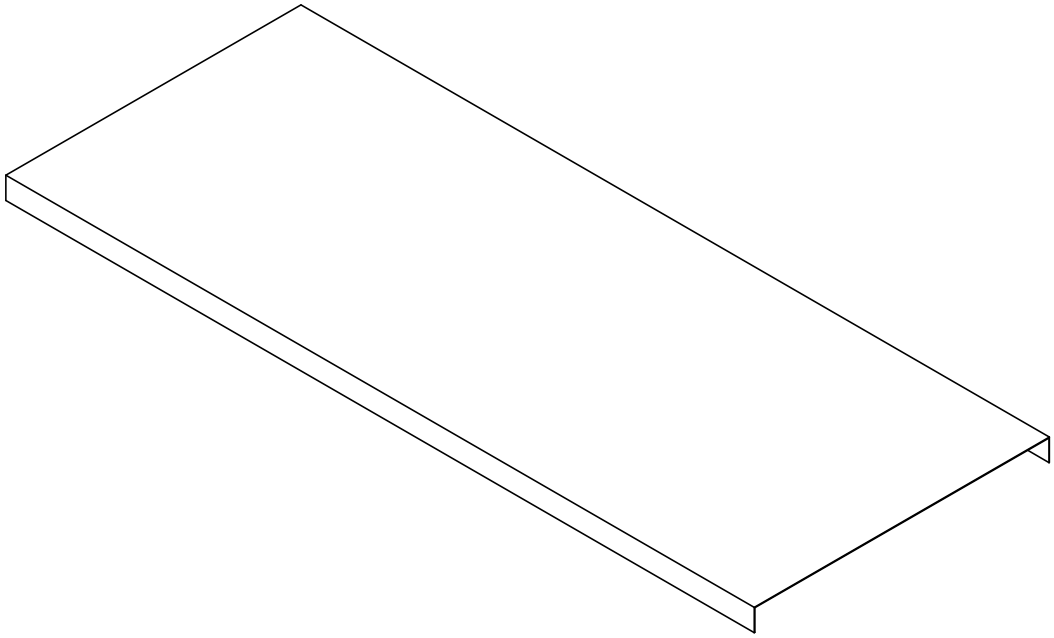

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Tolerancia | | (Peso) | Materiales: |
| | | | | ±0,1 | | 1,47 Kg | Acero ASTM A36 |
| | | | | | Fecha | Nombre | Denominación: |
| | | | | Dibujó: | 10/12/24 | Hinojosa, Mayorga | SOP. PERFIL G CARRO GUÍA |
| | | | | Revisó: | 13/12/24 | Ing. López G. | Escala: 1:5 |
| | | | | Aprobó: | 13/12/24 | Ing. López G. | |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | UTA<br>Ingeniería Mecánica | | | Número del dibujo: 22 de 28<br>(Sustitución) |

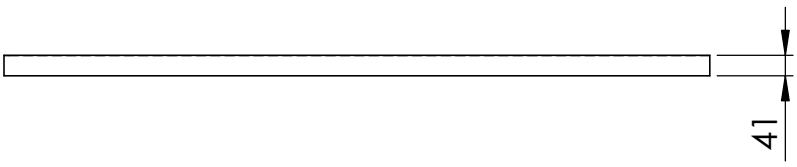


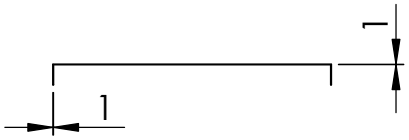



| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Tolerancia | | (Peso) | Materiales: |
| | | | | ±0,1 | | 6,52 Kg | Acero AISI 1018 |
| | | | | | Fecha | Nombre | Denominación: |
| | | | | Dibujó: | 10/12/24 | Hinojosa, Mayorga | EJE DE TRANSMISIÓN |
| | | | | Revisó: | 13/12/24 | Ing. López G. | Escala: 1:5 |
| | | | | Aprobó: | 13/12/24 | Ing. López G. | |
| | | | | UTA<br>Ingeniería Mecánica | | | Número del dibujo: 23 de 28 |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | | | | (Sustitución) |



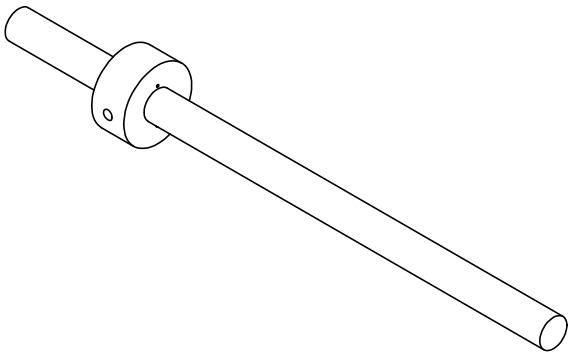


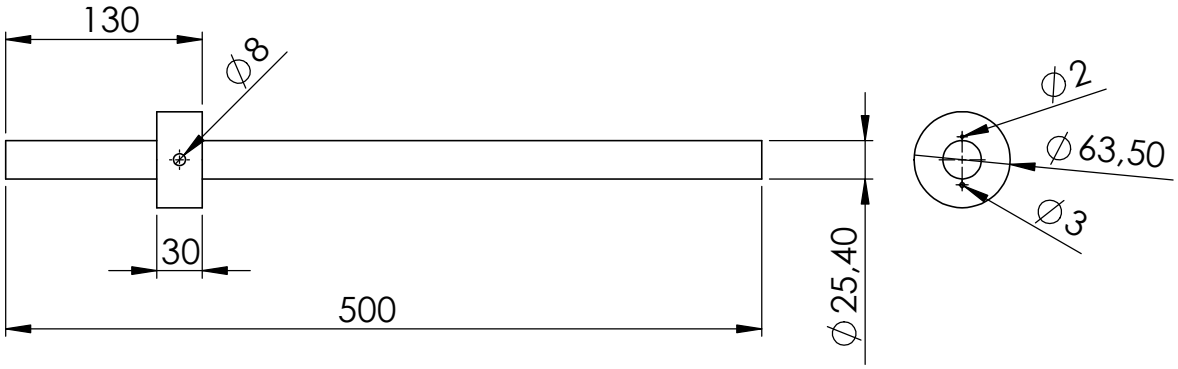







| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Tolerancia | | (Peso) | Materiales: |
| | | | | ±0,1 | | 6,96 Kg | Acero galvanizado |
| | | | | | Fecha | Nombre | Denominación: / Escala: |
| | | | | Dibujó: | 10/12/24 | Hinojosa, Mayorga | |
| | | | | Revisó: | 13/12/24 | Ing. López G. | PLANCHA MESA TRABAJO / 1:15 |
| | | | | Aprobó: | 13/12/24 | Ing. López G. | |
| | | | | UTA<br>Ingeniería Mecánica | | | Número del dibujo: 24 de 28 |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | | | | (Sustitución) |






| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Tolerancia | (Peso) | Materiales: |
| | | | | ±0,1 | 2,62 Kg | Acero AISI 1018 |
| | | | | | Fecha | Nombre |
| | | | | Dibujó: | 10/12/24 | Hinojosa, Mayorga |
| | | | | Revisó: | 13/12/24 | Ing. López G. |
| | | | | Aprobó: | 13/12/24 | Ing. López G. |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | UTA<br>Ingeniería Mecánica | | |

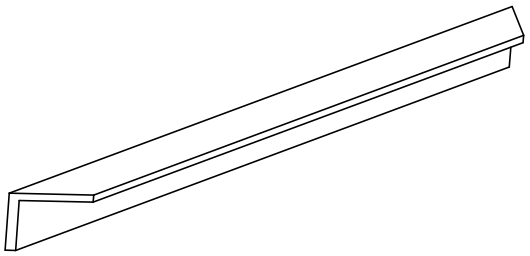
Denominación:

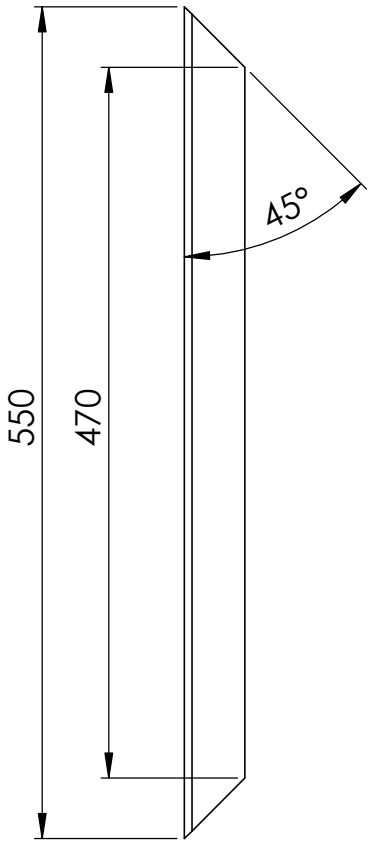
# MATRIZ DE RESORTE

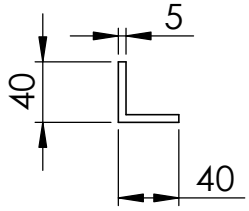
Escala: 1:5

Número del dibujo: 25 de 28

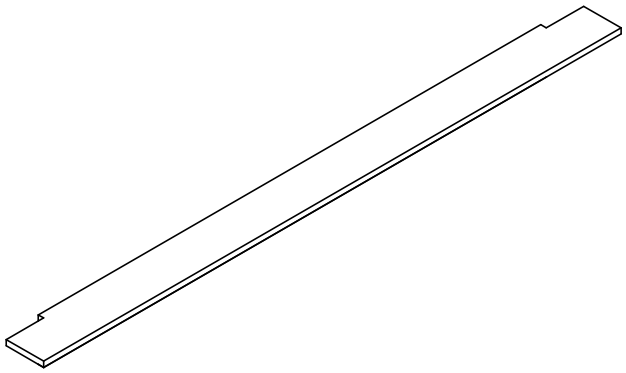
(Sustitución)

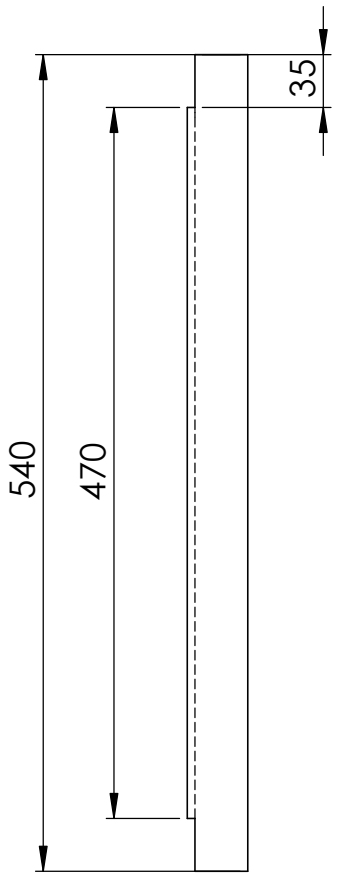


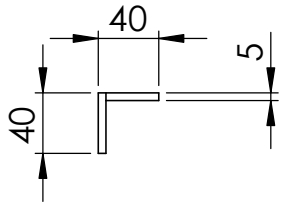


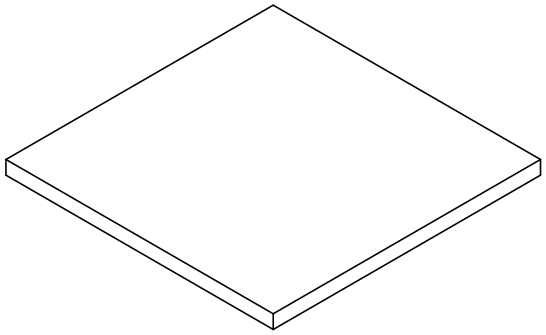

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Tolerancia | | (Peso) | Materiales: |
| | | | | ±0,1 | | 1,54 Kg | Acero ASTM A36 |
| | | | | | Fecha | Nombre | Denominación: / Escala: |
| | | | | Dibujó: | 10/12/24 | Hinojosa, Mayorga | |
| | | | | Revisó: | 13/12/24 | Ing. López G. | SOP. HORIZ. PLANCHA 2 / 1:5 |
| | | | | Aprobó: | 13/12/24 | Ing. López G. | |
| | | | | UTA<br>Ingeniería Mecánica | | | Número del dibujo: 26 de 28 |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | | | | (Sustitución) |

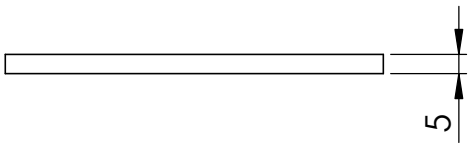


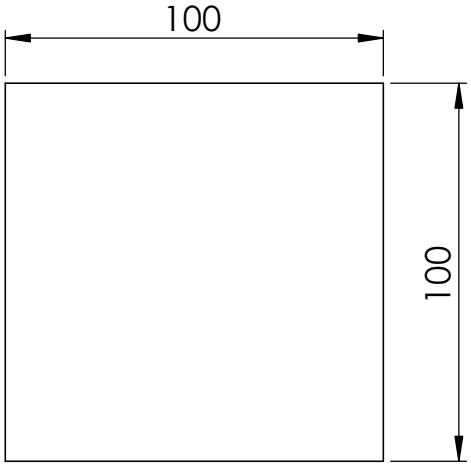



| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Tolerancia | | (Peso) | Materiales: |
| | | | | ±0,1 | | 1,47 Kg | Acero ASTM A36 |
| | | | | | Fecha | Nombre | Denominación: / Escala: |
| | | | | Dibujó: | 10/12/24 | Hinojosa, Mayorga | |
| | | | | Revisó: | 13/12/24 | Ing. López G. | SOP. HORIZ. MESA TRABAJO 2 — 1:5 |
| | | | | Aprobó: | 13/12/24 | Ing. López G. | |
| | | | | UTA<br>Ingeniería Mecánica | | | Número del dibujo: 27 de 28 |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | | | | (Sustitución) |






| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Tolerancia | | (Peso) | Materiales: |
| | | | | ±0,1 | | 392,5 gr | Acero ASTM A36 |
| | | | | | Fecha | Nombre | Denominación: |
| | | | | Dibujó: | 10/12/24 | Hinojosa, Mayorga | PLACA BASE SOP. VERT. |
| | | | | Revisó: | 13/12/24 | Ing. López G. | |
| | | | | Aprobó: | 13/12/24 | Ing. López G. | |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | UTA<br>Ingeniería Mecánica | | | Número del dibujo: 28 de 28<br>(Sustitución) |

Escala: 1:2