

REACTIVACIÓN Y MEJORAMIENTO DE EL BANCO EXPERIMENTAL PARA LA
COMPROBACIÓN DEL DISEÑO DETALLE EN RESORTES HELICOIDALES

UBICADO EN EL LABORATORIO DE DISEÑO EIM

LUIS MIGUEL PARRA CASTRO

YEFERSON DAVID AFANADOR TORRES

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO-MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

BUCARAMANGA

2024

REACTIVACIÓN Y MEJORAMIENTO DE EL BANCO EXPERIMENTAL PARA LA
COMPROBACIÓN DEL DISEÑO DETALLE EN RESORTES HELICOIDALES
UBICADO EN EL LABORATORIO DE DISEÑO EIM

LUIS MIGUEL PARRA CASTRO
YEFERSON DAVID AFANADOR TORRES

Proyecto de grado para optar al título de ingeniería mecánica

Director

RICARDO ALFONSO JAIMES ROLON

Ingeniero mecánico M.Sc.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO-MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2024

DEDICATORIA

A Dios, fuente de sabiduría y guía en cada paso que doy, agradezco por la inspiración y la fortaleza para emprender este camino.

A mi padre, Germán Afanador Ortiz, por su inquebrantable apoyo y por ser mi faro en la búsqueda de la excelencia cada día.

A mi madre, Nelly Torres Rivera, quien ha sido mi pilar durante toda mi carrera, agradezco por su incondicional ayuda y por acompañarme en cada jornada.

A mis compañeros y amigos que hicieron este camino inolvidable y constante.

Gracias por ser mi fuente de inspiración y mi red de apoyo constante.

Yeferson David Afanador Torres

DEDICATORIA

Agradezco a Dios por otorgarme la persistencia necesaria para alcanzar mis sueños.

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis padres, madre, hermano y abuela, quienes han sido las personas invaluableles que siempre me han acompañado en este viaje, brindándome un apoyo incondicional y amor constante.

Agradezco sinceramente a mis profesores, quienes me han enseñado que, con disciplina y esfuerzo, se puede comprender cualquier desafío.

Con gratitud.

Luis Miguel Parra Castro

AGRADECIMINETO

A Dios, nuestra fuente de fortaleza y guía, agradezco por su constante ayuda y motivación que ilumina cada día de mi camino, inspirándome a ser mejor.

A nuestro director de proyecto, **Ricardo Alfonso Jaimes**, expresamos nuestro profundo agradecimiento por su invaluable apoyo durante este año. Su orientación y disponibilidad en el laboratorio de diseño fueron fundamentales para llevar a cabo este proyecto con facilidad.

A nuestra alma mater la **Universidad Industrial de Santander**, agradezco por proporcionarnos su infraestructura e instalaciones, no solo para estudiar y realizar proyectos, sino también para crecer como persona. Su compromiso con la excelencia académica ha sido un motor para nuestro desarrollo.

Gracias a todos quienes han contribuido a este camino de aprendizaje y crecimiento.

Luis Miguel Parra Castro y Yeferson David Afanador Torres

CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCIÓN	16
1.CLASIFICACION Y RECONSTRUCCIÓN DE VARIABLES EN EL BANCO	17
1.1 VARIABLES FUNCIONALES.....	17
1.2 VARIABLES A MEJORAR	24
1.2.1. Desafíos con el variador de velocidad y soluciones implementadas	25
1.2.2. Mantenimiento correctivo del motor.....	27
1.2.3. Renovación integral del sistema eléctrico.....	28
1.3 LEVANTAMIENTO Y ENCENDIDO DEL BANCO	30
1.3.1 Renovación integral.....	31
1.3.2 Mantenimiento del motor	31
1.3.3 Resultado exitoso	31
1.4 ANÁLISIS DE COSTOS	32
1.4.1 Análisis comparativo de presupuestos, de la planificación a la realidad financiera.	32
1.4.2 Presupuesto inicial.....	32
1.4.3 Presupuesto final.	33
1.5 IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA TIPO INTERFAZ.....	35
1.5.1 Análisis a tiempo real.....	37
1.5.2 Gráficos analíticos	37
1.5.3 Integración de python y excel	37
1.5.4 Accesibilidad y personalización	37

1.5.5	Aplicación en la práctica.	37
1.6	HISTORIA DE RESORTES.....	38
1.7	TIPOS DE RESORTES.....	38
1.8	MATERIALES PARA FABRICACIÓN DE RESORTES.....	41
1.8.1	Materiales y su aplicación.....	43
1.9	RESORTES HELICOIDALES DE COMPRESIÓN.....	44
1.9.1	Configuración de los resortes helicoidales de compresión..	44
1.9.2	Extremos de los resortes helicoidales de compresión	47
2.	PRUEBAS ENSAYO DE RESORTE	50
2.1.	PRUEBA NÚMERO 1.....	52
2.1.1	Análisis de resultados.....	53
2.1.2	Observaciones.....	55
2.2.	PRUEBA NÚMERO 2.....	55
2.2.1	Análisis de resultados.....	56
2.2.2	Observaciones.....	60
2.3.	PRUEBA NÚMERO 3.	61
2.3.1	Análisis de resultados.....	61
2.3.2	Observaciones.	64
3.	AYUDA DIDÁCTICA Y MEJORAMIENTO DE PRÁCTICAS EN EL LABORATORIO DE DISEÑO.....	65
3.1	PROCESO DE ANÁLISIS.	66
3.1.1	Sesiones teóricas..	66

3.1.2	Manual y documentación detallada del banco de pruebas.....	66
3.1.3	Métodos de enseñanzas.....	67
3.2	IMPLEMENTACIÓN DE GUÍA DIDÁCTICA.....	68
3.2.1	Contenido.....	68
3.2.2	Objetivo.....	70
3.2.3	Procedimiento.....	70
3.2.4	Tablas.....	72
4.	CONCLUSIONES.....	72
5.	RECOMENDACIONES.....	74
	BIBLIOGRAFIA.....	76
	ANEXOS.....	77

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Bastidor de banco de análisis de resortes.....	18
Figura 2 Bastidor de banco de análisis de resortes modelado.....	18
Figura 3. Gato mecánico	20
Figura 4. Componentes feto mecánico modelado.....	20
Figura 5. Eje transmisor.....	21
Figura 6. Componentes eje trasmisor modelado.....	22
Figura 7. Componentes electrónicos.....	23
Figura 8. Variador de velocidad.....	26
Figura 9. Pantalla led nueva.....	26
Figura 10. Motor después de mantenimiento	28
Figura 11. Cambio cableado eléctrico.....	29
Figura 12. Banco de resortes a compresión funcional.....	31
Figura 13. Interfaz.....	36
Figura 14. Resorte helicoidal de compresión con alambre redondo, cuadrado y ovalado, enrollado a la derecha (a) y a la izquierda (b).....	39
Figura 15. Tipos de resortes a extensión.....	40
Figura 16. Criterios de pandeo.....	43
Figura 17. Configuración de resorte helicoidal a compresión,.....	44
Figura 18. Angulo de paso.....	46
Figura 19. Longitudes de resortes a compresión.....	46

Figura 20. Tipos de extremos.....	49
Figura 21. Medidas prueba 1.....	52
Figura 22. Grafica de resultados prueba 1	53
Figura 23. Comparación de resorte prueba 1.....	54
Figura 24. Medidas prueba 2.....	55
Figura 25. Grafica de resultados precarga vs RPM prueba 2	56
Figura 26. Grafica de resultados precarga vs tiempo prueba 2.....	58
Figura 27. Comparación de resorte prueba 2.....	59
Figura 28. Medidas prueba 3.....	61
Figura 29. Grafica de resultados prueba 3.	61
Figura 30. Comparación de resorte prueba 3.....	63
Figura 31. Código qr ficha.	65
Figura 32. Sub-ensamblajes del banco.	67
Figura 33. Portada de página web	69

LISTA DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Clasificación de resortes según su carga.....	40
Tabla 2. Diámetros estándares.....	44

LISTA DE CUADROS

	Pag.
Cuadro 1. Componentes de Bastidor	19
Cuadro 2. Componentes de gato mecánico.	21
Cuadro 3. Componentes eje transmisor	22
Cuadro 4. Presupuesto propuesto.....	32
Cuadro 5. Presupuesto Gastado	34
Cuadro 6. Tipos de materiales.	41
Cuadro 7. Cálculos de resortes a compresión.....	49
Cuadro 8. Requerimientos de diseño y propiedades.....	71

LISTA DE ANEXOS

	Pag.
ANEXOS	77
Anexo A. Prueba 1.	77
Anexo B. Prueba 2.	78
Anexo C. Prueba 3.	79
Anexo D. Diagrama de flujo.....	80
Anexo E. Ficha grafica.	80
Anexo F. Tabla de prueba	81
Anexo G. Planos máquina.....	79
Anexo H. Código en Arduino Uno.	103

RESUMEN

TITULO¹: REACTIVACIÓN Y MEJORAMIENTO DE EL BANCO EXPERIMENTAL PARA LA COMPROBACIÓN DEL DISEÑO DETALLE EN RESORTES HELICOIDALES UBICADO EN EL LABORATORIO DE DISEÑO EIM*

AUTORES: LUIS MIGUEL PARRA CASTRO, YEFERSON DAVID AFANADOR TORRES**

PALABRAS CLAVES: DISEÑO, ACTIVACION, MEJORAMIENTO, ANALISIS, RESORTES.

DESCRIPCION:

Este proyecto tiene como objetivo fundamental mejorar la enseñanza estudiantil mediante la reactivación y optimización del banco de pruebas para resortes helicoidales. El propósito es evaluar los resortes bajo tensiones estáticas y dinámicas, validando así su comportamiento en condiciones simuladas de uso real.

La reactivación del banco incluye mejoras significativas, como una interfaz de recopilación de datos en tiempo real para un rendimiento óptimo. Además, se ha creado un sitio web informativo sobre el laboratorio de resortes, detallando la teoría del resorte, información del banco y una guía para la realización de pruebas. Estas mejoras buscan equipar a los estudiantes con habilidades prácticas para abordar necesidades y problemas relacionados con el uso cotidiano de resortes.

El banco de pruebas cuenta con dos tipos de pruebas estática y dinámica. En la prueba estática, se aplica gradualmente carga al resorte hasta alcanzar su límite máximo, midiendo cuidadosamente la deformación y fuerza. Esto proporciona información crucial sobre la capacidad del resorte para soportar cargas estáticas y su resistencia. En la prueba dinámica, el resorte se somete a cargas cíclicas para simular condiciones de uso real. El objetivo es evaluar aspectos clave como durabilidad, fatiga y comportamiento dinámico bajo condiciones variables. La recopilación de datos durante estas pruebas permite comparar valores teóricos con resultados reales, estableciendo así la vida útil del resorte y su cumplimiento de especificaciones.

Es relevante destacar que, si la prueba estática no es satisfactoria, no se procede a la prueba dinámica. La coherencia entre los parámetros establecidos y los resultados es fundamental para garantizar que el resorte pueda someterse a pruebas hasta alcanzar su vida útil prevista.

Este banco de pruebas no solo mejora la calidad de la enseñanza al proporcionar una herramienta didáctica, sino que también contribuye a evaluar y mejorar factores cruciales en la fabricación de resortes.

* Trabajo de Grado.

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánica. Escuela de ingeniería mecánica. Director: Ricardo Alfonso Jaimes. Ingeniero Mecánico M.Sc.

ABSTRACT

TITLE: REACTIVATION AND IMPROVEMENT OF THE EXPERIMENTAL BENCH FOR VERIFYING THE DETAILED DESIGN IN HELICAL SPRINGS LOCATED IN THE DESIGN LABORATORY EIM*

AUTHORS: LUIS MIGUEL PARRA CASTRO, YEFERSON DAVID AFANADOR TORRES**

KEY WORDS: DESIGN, ACTIVATION, IMPROVEMENT, ANALYSIS, SPRINGS.

DESCRIPTION:

This project aims to fundamentally improve student education by reactivating and optimizing the testing bench for helical springs. The purpose is to assess the springs under static and dynamic stresses, thus validating their behavior under simulated real-world conditions.

The reactivation of the bench includes significant improvements, such as a real-time data collection interface for optimal performance. Additionally, an informative website about the spring laboratory has been created, detailing spring theory, bench information, and a guide for conducting tests. These enhancements aim to equip students with practical skills to address needs and issues related to the everyday use of springs.

The testing bench features two types of tests: static and dynamic. In the static test, a gradual load is applied to the spring until it reaches its maximum limit, carefully measuring deformation and force. This provides crucial information about the spring's capacity to withstand static loads and its resistance. In the dynamic test, the spring undergoes cyclic loads to simulate real-world conditions. The goal is to evaluate key aspects such as durability, fatigue, and dynamic behavior under variable conditions. Data collection during these tests allows for comparing theoretical values with actual results, establishing the spring's lifespan and compliance with specifications.

It is relevant to highlight that if the static test is not satisfactory, the dynamic test is not carried out. Consistency between the established parameters and results is essential to ensure that the spring can undergo tests until reaching its intended lifespan.

This testing bench not only improves the quality of education by providing a didactic tool but also contributes to evaluating and enhancing crucial factors in spring manufacturing.

* Degree Work

** Faculty of Physical Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering.
Director: Ricardo Alfonso Jaimes. Mechanical Engineer M.Sc.

INTRODUCCION

Un resorte mecánico (también llamado simplemente resorte) es un componente mecánico diseñado para almacenar energía potencial elástica cuando se aplica una fuerza de deformación y liberar esa energía cuando se elimina la fuerza de deformación. Los resortes mecánicos se utilizan en una amplia gama de aplicaciones y desempeñan un papel importante en la ingeniería y la fabricación. Los resortes son utilizados para un sin número de aplicaciones desde la antigüedad hasta el día de hoy, es un elemento de gran ayuda para el hombre y la humanidad como la conocemos.

Debido a las diversas formas de aplicaciones de este, se realizan resortes con diferentes tipos de propósitos, esto requiere utilizar una gran variedad de materiales para la fabricación según su uso, por esto surge la necesidad de encontrar diferentes tipos de datos que nos den con exactitud la durabilidad y la confiabilidad del material utilizado y los requerimientos demandados.

En la industria existen máquinas de gran valor que realizan test y nos dan estos datos, pero por su mismo valor las empresas deciden prescindir de estas, acudiendo a realizar pruebas en los resortes con patrones de pesajes para verificar la resistencia del material. En la universidad industrial de Santander es importante que el estudiante pueda realizar y culminar de manera satisfactoria y con todos los implementos necesarios que otorga la facultad de ingeniería mecánica el aprendizaje de forma dinámica y experimental dentro de nuestros laboratorios de diseño.

Por lo siguiente, realiza la reactivación y mejoramiento de un banco de pruebas de resortes, comprobando características fundamentales del mismo como lo es su longitud de elongación, capacidad de carga y número de ciclos que soporta. Se presenta dentro de este libro el proceso de arreglo, re y actualización de este banco, realizando mejoras propuestas, entregando una ficha guía para los estudiantes donde puedan comparar los cálculos dados por el banco, para identificar las características y propiedades del material y así poder culminar de manera satisfactoria el estudio de los resortes en la materia de diseño.

1. CLASIFICACION Y REECONSTRUCCION DE VARIABLES EN EL BANCO

Como punto de partida, “es importante mencionar que el concepto inicial del banco fue ideado por Pedro Navarro y Raúl Avellaneda. Ellos fueron responsables del diseño y montaje del banco experimental, el cual fue concebido para llevar a cabo pruebas de resortes, tanto estáticas como dinámicas. Estas pruebas permiten verificar si el resorte cumple con los requisitos de diseño establecidos y determinar su vida útil mediante la aplicación de ciclos de carga hasta que ocurra su fractura”³. El presente informe se enfoca en evaluar el estado actual del banco de laboratorio, con especial atención en la identificación de desgastes y deficiencias en componentes clave como el eje transmisor, el gato mecánico y elementos electrónicos, entre otros. La rehabilitación de estos elementos es crucial para mejorar la eficiencia operativa del banco. Con el fin de abordar estas deficiencias, se ha iniciado una nueva fase que implica la mejora e innovación de los componentes afectados. El objetivo primordial es garantizar que dichas modificaciones no comprometan el funcionamiento general del banco. Para ello, se ha llevado a cabo una inspección exhaustiva del prototipo inicial, abordando diversos aspectos con el propósito de clasificar variables en dos categorías: aquellas que se encuentran funcionales y no requieren modificaciones, y aquellas que demandan mejoras para optimizar el rendimiento del prototipo.

1.1 VARIABLES FUNCIONALES .

En este punto de nuestra investigación, es vital reconocer que no todos los componentes fueron sucumbido a los rigores del tiempo y la operación y existen muchas variables en este prototipo que aún se encuentran en buen estado y funcionamiento. En el núcleo de nuestra máquina de análisis de resortes a compresión, se destaca un bastidor que sirve como columna vertebral, soportando no solo el peso físico de sus componentes, sino

³ NAVARRO RINCÓN, Pedro y AVELLANADA VILLAMIZAR, Raúl. Diseño y construcción de un banco experimental para la comprobación del diseño de detalle en resorte helicoidales de tensión y compresión. Bucaramanga. 2016. p 16

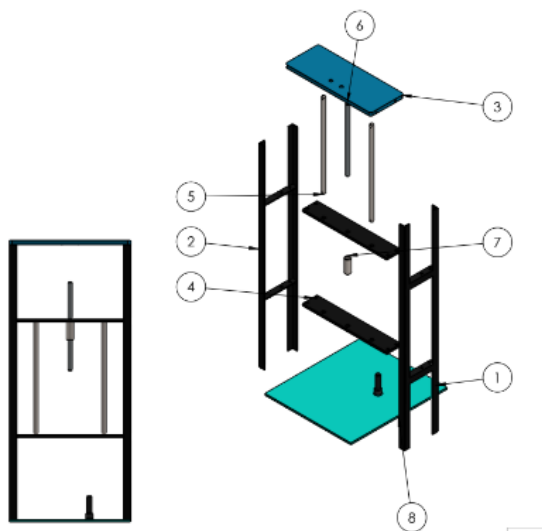
también la carga conceptual de nuestra búsqueda constante de precisión y excelencia se puede destacar que esta se mantiene firme, resistente y lista. En la figura 1 se puede evidenciar el buen estado de esta y se destaca que solo necesito realizar limpieza general y detallada.

Figura 1. Bastidor de banco de análisis de resortes.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2 Bastidor de banco de análisis de resortes modelado.



Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 1. Componentes de Bastidor

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	ESTRUCTURA-	1
2	ESTRUCTURA-1	1
3	PLACA-SUPERIOR	1
4	PLACA GUIA SUPERIOR	2
5	GUIA	2
6	GUIA-MEDIO	1
7	BUJE-GUIA	1
8	PLACA INFERIOR	1

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó análisis detallado de componentes de este bastidor, como se muestra en la en el Cuadro 1 cada uno de estos componentes necesito limpieza general, siendo de gran ayuda para la realización de este proyecto, La robustez de nuestra estructura es fundamental para garantizar la estabilidad durante las operaciones de análisis de resortes. Al mantener esta base sólida, no solo se asegura la integridad de la máquina, sino que también proporcionamos un entorno confiable para que los demás componentes desplieguen su funcionalidad de manera óptima.

cada componente desempeña un papel crucial, y entre ellos, el gato mecánico emerge como un testimonio de ingeniería eficiente y confiable. este elemento, diseñado para soportar y ajustar la carga de manera precisa, ha demostrado su valía al operar de manera excepcional, ofreciendo una plataforma sólida para nuestras investigaciones.

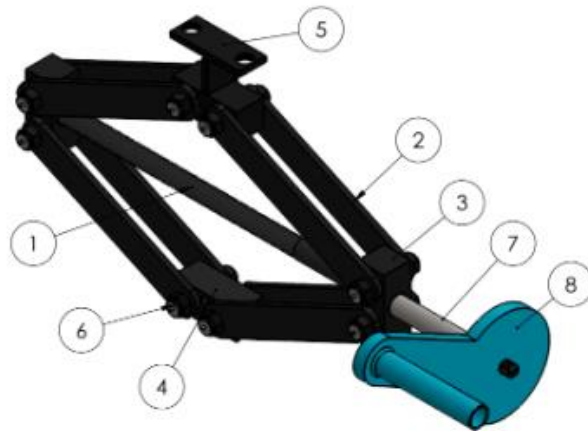
Figura 3. Gato mecánico



Fuente: Elaboración propia.

El gato mecánico, al proporcionar la capacidad de ajustar la carga aplicada a los resortes en estudio, desempeña un papel fundamental en la obtención de mediciones precisas y reproducibles. Su eficiencia operativa ha contribuido significativamente a la confiabilidad de los datos generados durante nuestras evaluaciones.

Figura 4. Componentes gato mecánico modelado.



Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 2. Componentes de gato mecánico.

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	EJE	1
2	GUIA-CONEXIÓN	8
3	BASE	2
4	CABEZAL	1
5	SOPORTE	1
6	BUJE-ROSCA	8
7	SUB-EJE	1
8	MANIVELA	1
9	TUERCA-BUJE	16

Fuente: Elaboración propia.

La operatividad del gato mecánico destaca la relevancia de la eficiencia mecánica en este proyecto. La confiabilidad de este componente no solo simplificó las operaciones diarias, sino que también subraya la dedicación en la selección y mantenimiento de los elementos esenciales en nuestra maquinaria.

Cada componente desempeña un papel esencial, y el eje transmisor ha demostrado durabilidad y eficiencia mecánica sobresalientes. Diseñado para transmitir el movimiento con precisión, este componente ha superado las expectativas al ofrecer un rendimiento óptimo, proporcionando una conexión robusta en el núcleo de nuestras investigaciones

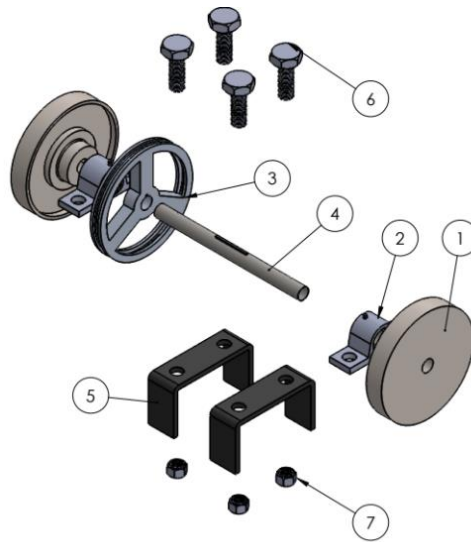
Figura 5. Eje transmisor.



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 1.5 podemos ver que el eje transmisor, como el vínculo mecánico entre componentes clave, desempeña un papel crítico en el proceso de análisis de resortes. Su funcionamiento confiable garantiza que la energía generada en las pruebas se transmita de manera precisa, permitiendo mediciones coherentes y confiables.

Figura 6. Componentes eje transmisor modelado.



Fuente: Elaboración propia.

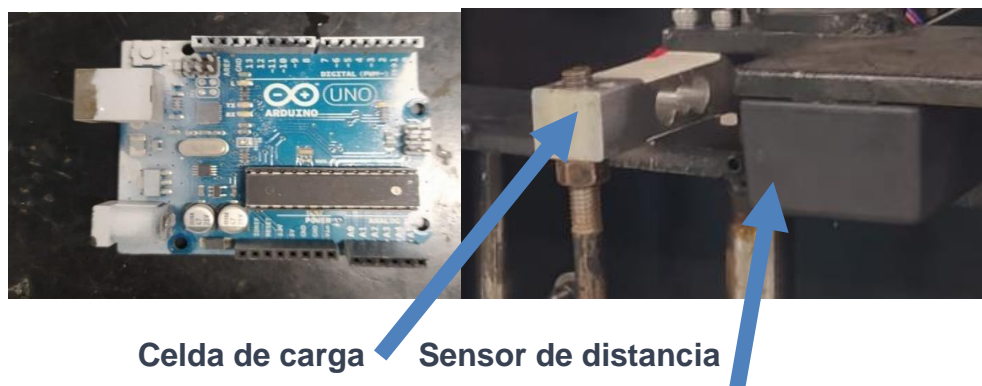
Cuadro 3. Componentes eje transmisor

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	VOLANTE	2
2	CHUMACERA	2
3	POLEA	1
4	EJE-PRINCIPAL	1
5	SOPORTE-CHUMACERA	2
6	TORNILLO-CHUMACERA	4
7	TUERCA-CHUMACERA	4

Fuente. Elaboración propia

En el tejido electrónico de nuestra máquina, la Placa Arduino, los sensores entre otros componentes eléctricos, se encuentran como un pilar de estabilidad y versatilidad esta ha demostrado su confiabilidad al mantenerse en un estado óptimo, desempeñando un papel fundamental en el control y la coordinación de nuestras operaciones.

Figura 7. Componentes electrónicos



Fuente: Elaboración propia.

La Placa Arduino, al fungir como el cerebro electrónico de nuestra máquina, desempeña un papel crítico en el control y monitoreo de todas las funciones. Su estabilidad garantiza una ejecución coherente de algoritmos y la generación de datos confiables durante el análisis de resortes a compresión.

1.2 VARIABLES A MEJORAR.

En el proceso de construcción de la máquina, nos enfrentamos a diversos desafíos relacionados con la programación de la máquina original que estábamos utilizando como punto de partida. La programación existente no cumplía con nuestras expectativas y, en muchos casos, no lograba proporcionar los resultados necesarios para llevar a cabo un análisis preciso de los resortes.

Las variables involucradas en la ejecución del programa no respondieron de manera anticipada, generando inconvenientes en el rendimiento general de la máquina. Este problema no solo afectaba la precisión de las mediciones, sino que también comprometía la confiabilidad y la eficiencia de todo el sistema.

Frente a esta situación, nos vimos en la necesidad imperante de emprender un proceso exhaustivo de rediseño de la programación. Esto implicó revisar a fondo cada línea de código, identificar posibles errores, y repensar la lógica subyacente para asegurar un funcionamiento óptimo de la máquina.

Durante este proceso de rediseño, no solo nos limitamos a solucionar los problemas identificados, sino que también implementamos mejoras significativas en la interfaz de usuario y en la capacidad de adaptación a diferentes tipos de resortes. Buscamos no solo corregir las deficiencias, sino también optimizar la usabilidad y la flexibilidad de la máquina para satisfacer las necesidades cambiantes de los usuarios.

Este capítulo detalla los desafíos específicos que enfrentamos en la programación original, las lecciones aprendidas durante el proceso de rediseño y las mejoras significativas que incorporamos para asegurar un rendimiento superior de nuestra máquina para el análisis de resortes a compresión.

“para realizar el diseño de esta programación, vale aclarar que usamos como texto guía la del proyecto anterior, teniendo que estudiar más detalladamente los diferentes

programas usados”⁴, ante esta deficiencia de programación vimos una necesidad del estudiante para mejorar el tipo de aprendizaje (esta mejora se especifica más detalladamente en el ítem 1.5).

1.2.1. Desafíos con el variador de velocidad y soluciones implementadas. Durante la fase de implementación de nuestra máquina para analizar resortes a compresión, nos encontramos con un desafío significativo relacionado con el variador de velocidad. Lamentablemente, la unidad existente no respondió como esperábamos y, en consecuencia, no cumplió con las funciones esenciales para ajustar la velocidad de la máquina de manera precisa.

La falta de funcionamiento del variador de velocidad no solo comprometió la capacidad de la máquina para aplicar fuerzas de compresión controladas, sino que también afectó la estabilidad general del sistema. Fue imperativo abordar este problema de manera proactiva para garantizar que la máquina pudiera operar de manera óptima y cumplir con los requisitos de análisis de resortes.

Ante esta circunstancia, nos embarcamos en un proceso de diagnóstico exhaustivo para identificar la causa subyacente del mal funcionamiento del variador de velocidad. Este análisis reveló diversos problemas, desde conexiones eléctricas defectuosas hasta ajustes incorrectos en la configuración del variador.

Con base en estos hallazgos, implementamos medidas correctivas que incluyeron la reparación de conexiones sueltas, la recalibración de parámetros en el variador y la instalación de componentes adicionales para mejorar la estabilidad y la capacidad de respuesta del sistema.

Este capítulo ofrece una exploración detallada de los desafíos específicos que enfrentamos con el variador de velocidad, así como las soluciones técnicas que aplicamos para superar estos obstáculos. Asimismo, proporciona información valiosa

⁴ NAVARRO RINCÓN, Pedro y AVELLANADA VILLAMIZAR, Raúl. Diseño y construcción de un banco experimental para la comprobación del diseño de detalle en resorte helicoidales de tensión y compresión. Bucaramanga. 2016. p 89

sobre las lecciones aprendidas durante este proceso, con la esperanza de beneficiar a aquellos que puedan encontrarse con desafíos similares en sus propios proyectos.

Figura 8. Variador de velocidad.



Fuente: Elaboración propia.

Se realizó el cambio de varios componentes eléctricos, entre ellos la pantalla led, como medida correctiva, ya que esta nos arrojaba errores en la medición de los parámetros, al realizar el cambio de esta nos vimos a la necesidad de cambiar todo el cableado y por ende soldadura de estos (ver figura 9).

Figura 9. Pantalla led nueva



Fuente: Elaboración propia.

1.2.2. Mantenimiento correctivo del motor. Durante el curso del desarrollo de nuestra máquina para el análisis de resortes a compresión, nos enfrentamos a la necesidad imperativa de llevar a cabo un mantenimiento correctivo en el motor principal. Este componente esencial, responsable de impulsar la máquina y aplicar fuerzas de compresión, requería atención especial para asegurar su funcionamiento continuo y eficiente a lo largo del tiempo.

El mantenimiento correctivo se centró en tres aspectos fundamentales: el cambio de rodamientos, la aplicación de nueva grasa lubricante y la revisión completa del cableado eléctrico.

- Cambio de Rodamientos. Identificamos desgaste en los rodamientos del motor, una señal de que era esencial proceder con su sustitución. El nuevo juego de rodamientos se seleccionó cuidadosamente para garantizar durabilidad y resistencia, y se llevó a cabo un proceso meticuloso para su instalación.
- Aplicación de Grasa Lubricante. Reconociendo la importancia de la lubricación adecuada para el rendimiento óptimo del motor, aplicamos una nueva capa de grasa lubricante de alta calidad. Esta medida no solo contribuyó a reducir la fricción y el desgaste, sino que también prolongó la vida útil de los componentes móviles del motor.
- Revisión del Cableado Eléctrico. La revisión exhaustiva del cableado eléctrico fue un componente crítico del mantenimiento preventivo. Identificamos y reemplazamos cualquier cable desgastado o conexiones sueltas que pudieran comprometer la eficiencia del sistema. La mejora de la integridad del cableado contribuyó a una mayor estabilidad y confiabilidad del motor.

Este capítulo explora detalladamente el proceso de mantenimiento correctivo llevado a cabo en el motor, destacando los motivos que llevaron a estas intervenciones y los beneficios resultantes en términos de rendimiento y durabilidad (ver figura 1.9).

Figura 10. Motor después de mantenimiento



Fuente: Elaboración propia.

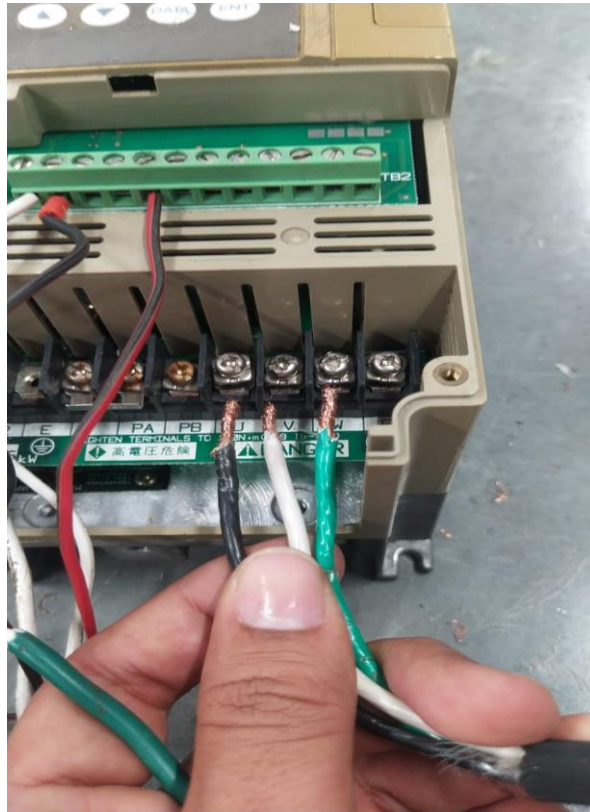
1.2.3. Renovación integral del sistema eléctrico. Mantenimiento correctivo, como parte de nuestras iniciativas de mantenimiento preventivo para garantizar la longevidad y eficiencia de la máquina, nos embarcamos en una tarea integral de renovación del sistema eléctrico. Esta medida proactiva abordó varios aspectos críticos para optimizar el rendimiento y la seguridad de la maquinaria.

- Cambio Completo de Cableado Eléctrico. Reconociendo la importancia de un sistema eléctrico robusto, decidimos llevar a cabo el cambio completo del cableado existente. Esta decisión no solo abordó el desgaste natural que ocurre con el tiempo, sino que también permitió la implementación de cables de mayor calibre para mejorar la conducción de la corriente eléctrica.
- Puntos de Soldadura Nuevos. Cada punto de soldadura en el nuevo cableado fue cuidadosamente revisado y renovado. La aplicación de soldaduras nuevas garantizó conexiones eléctricas sólidas y confiables, reduciendo la posibilidad de resistencia eléctrica no deseada y contribuyendo a un flujo de corriente más eficiente.

- Cambio de Clavija de 220V. La clavija de alimentación eléctrica, siendo un componente crítico en la interfaz con la fuente de energía, fue reemplazada por una nueva de 220V. Esta actualización no solo cumplió con los estándares de seguridad actuales, sino que también aseguró una conexión eléctrica estable y segura.

Este capítulo proporciona una visión detallada de las razones detrás de cada aspecto del mantenimiento correctivo realizado en el sistema eléctrico. Estas intervenciones no sólo abordaron posibles puntos de fallo, sino que también elevaron la confiabilidad general de la máquina, contribuyendo así a su rendimiento óptimo y prolongada vida útil.

Figura 11. Cambio cableado eléctrico.



Fuente: Elaboración propia.

1.3 LEVANTAMIENTO Y ENCENDIDO DEL BANCO

El punto culminante de nuestro proyecto se materializó con el exitoso levantamiento y encendido de la máquina destinada al análisis de resortes a compresión. Este logro marcó el resultado tangible de un esfuerzo sostenido y focalizado en la renovación integral de componentes clave, asegurando así un rendimiento óptimo y confiable.

1.3.1 Renovación integral. La revitalización de la máquina abordó aspectos fundamentales, desde el rediseño meticuloso de la programación hasta la implementación de mejoras significativas en el variador de velocidad. La atención detallada al sistema eléctrico demostró ser una decisión estratégica, con pasos críticos como el cambio completo del cableado eléctrico, la aplicación de puntos de soldadura nuevos y la actualización de la clavija a 220V. Estas acciones fundamentales contribuyeron de manera esencial al éxito del encendido.

1.3.2 Mantenimiento del motor. El mantenimiento correctivo del motor fue fundamental para asegurar un encendido eficaz. Este proceso incluyó el reemplazo de rodamientos, la aplicación de lubricante fresco y una exhaustiva revisión del motor. Estas acciones no solo garantizan un arranque eficiente, sino que también aseguran la potencia necesaria para operar la máquina con eficacia.

1.3.3 Resultado exitoso. La conjunción de todas estas variables, abordadas meticulosamente durante el levantamiento, culminó en un encendido exitoso de la máquina. La respuesta fluida y eficiente de la maquinaria validó la eficacia de nuestras intervenciones, subrayando la importancia de un enfoque proactivo hacia el mantenimiento y la mejora continua.

Figura 12. Banco de resortes a compresión funcional.



Fuente: Elaboración propia.

- Detalles del Proceso. Este capítulo desglosa de manera detallada el proceso integral de renovación, desde la identificación inicial de desafíos hasta la ejecución triunfante del encendido. Se destaca la interconexión de las variables mencionadas, subrayando su contribución colectiva al rendimiento sobresaliente de la máquina, en la figura 1.11 vemos el equipo terminado y puesto en marcha.

1.4 ANÁLISIS DE COSTOS

1.4.1 Análisis comparativo de presupuestos, de la planificación a la realidad financiera. Iniciar un proyecto siempre implica una fase crucial de planificación financiera, reflejada en el presupuesto inicial que establecimos al comienzo de nuestro proyecto, para el desarrollo de la máquina de análisis de resortes. Con el proyecto ahora completo, es esencial realizar un análisis comparativo entre el presupuesto inicial y el presupuesto final, evaluando cómo nuestras proyecciones iniciales se alinearon con la realidad financiera del proyecto.

1.4.2 Presupuesto inicial. El presupuesto inicial (ver Cuadro 4) sirvió como guía estratégica, delineando las estimaciones y asignaciones financieras previas al inicio del proyecto. Este documento proporcionó un marco esencial para la toma de decisiones y la asignación de recursos, sirviendo como punto de referencia para evaluar la gestión financiera y la efectividad de nuestras proyecciones.

Cuadro 4. Presupuesto propuesto

Concepto	Presupuesto
Servicios Generales asumidos por la universidad	
Asesorías por el Ingeniero Ricardo Alfonso Jaimes Rolón Servicio de Internet	\$----- Dado por la universidad y otros
Gastos Diversos	
Papelería Imprevistos	\$50.000 \$200.000
Gastos Constructivos asumidos por la universidad	
Recursos bibliográficos	\$----- Dados por la universidad.
Inversiones de Equipo	
Computadores (2)	\$----- Ya se encuentran disponibles por los encargados de este proyecto.
Software de soporte asumidos por la universidad	
Licencia de software SolidWorks y otros.	\$----- Aportado por la universidad.
Licencia Office	\$----- Aportado por la universidad.
Gastos asumidos por los estudiantes	
Viáticos y transporte Equipos y materiales Mano de obra	\$300.000 \$1'000.000 \$300.000
TOTAL	\$1'850.000

Fuente. Elaboración propia.

1.4.3 Presupuesto final. El presupuesto final, (ver Cuadro 5) en cambio representa la realidad financiera que emergió durante la ejecución del proyecto. Incluye todos los costos reales incurridos, desde la adquisición de materiales hasta los gastos asociados con el mantenimiento preventivo y las mejoras implementadas. Este documento refleja

las dinámicas económicas reales que experimentamos durante el desarrollo del proyecto, destacando cualquier desviación significativa respecto a nuestras proyecciones iniciales.

Cuadro 5. presupuesto Gastado

Concepto	Presupuesto
Servicios Generales asumidos por la universidad	
Asesorías por el Ingeniero Ricardo Alfonso Jaimes Rolón Servicio de Internet	\$----- Dado por la universidad y otros
Gastos Diversos	
Papelería Imprevistos.	\$85.000 \$200.000
Gastos Constructivos asumidos por la universidad	
Recursos bibliográficos	\$----- Dados por la universidad.
Inversiones de Equipo	
Computadores (2)	\$----- Ya se encuentran disponibles por los encargados de este proyecto.
Software de soporte asumidos por la universidad	
Licencia de software SolidWorks y otros.	\$----- Aportado por la universidad.
Licencia Office	\$----- Aportado por la universidad.
Gastos asumidos por los estudiantes	
Viáticos y transporte	\$200.000
Equipos y materiales	\$510.000
Mano de obra	\$180.000
TOTAL	\$1'155.000

Fuente. Elaboración propia.

En el Cuadro 5 podemos evidenciar el presupuesto gastado durante la realización y puesta en marcha del banco. Como variables a destacar tenemos que en el ítem de equipos y materiales vienen incluidos las variables mejoradas descritas en el ítem 1.2 del libro, otras variables a describir qué se gastaron en este ítem del presupuesto fueron los 3 resortes para las pruebas fabricados por la empresa Nacional de Resortes, una placa Arduino uno que se compró para realizar pruebas con la programación sin afectar la original del banco.

En el ítem: mano de obra, descrito en el cuadro 5 fue lo gastado en asesoramiento para realizar el arreglo del variador y el mantenimiento del motor descrito anteriormente en el ítem 1.2 del libro. Como imprevistos en el proyecto, se tuvo problemas con la programación y partes eléctricas de este, ante las dudas de esto conseguimos asesoramiento externo que nos proporcionaron estudiantes de ingeniería electrónica de la universidad, este asesoramiento fue gratificante y de mucha ayuda para el levantamiento del proyecto.

1.5 IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA TIPO INTERFAZ

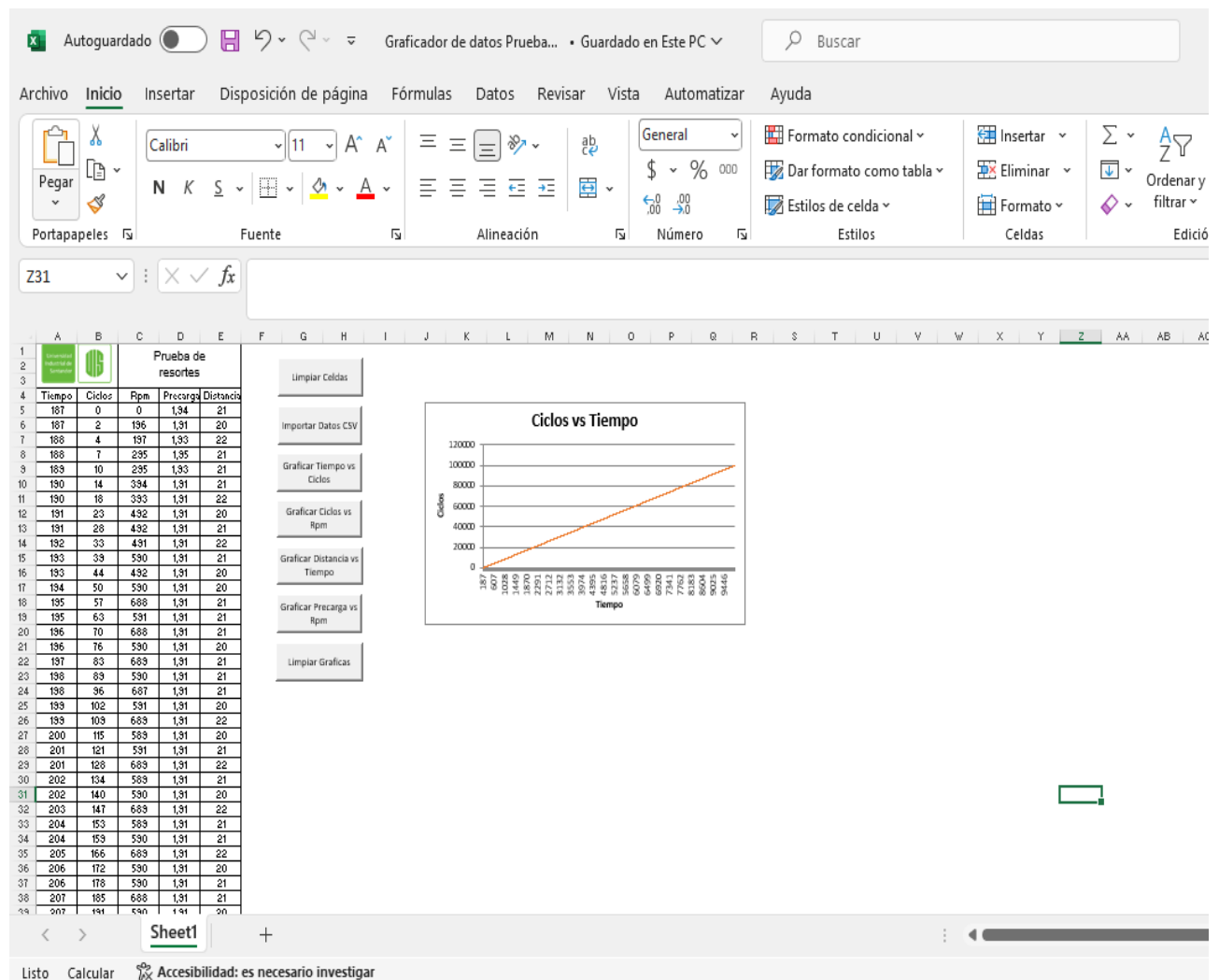
Una de las innovaciones destacadas en la implementación de nuestra máquina para el análisis de resortes a compresión es la introducción de una interfaz didáctica y analítica diseñada meticulosamente en Excel. Esta herramienta no solo mejora la experiencia de usuario, sino que también proporciona una ventana fascinante hacia los intrincados detalles de cada ciclo de análisis.

Esta interfaz ayudará de manera eficiente al estudiante a encontrar de manera clara y detallada los datos recopilados por la máquina, con esto se podrá dar un análisis más claro y efectivo, este enfoque proporciona un análisis en tiempo real de ciclos, rpm, distancia del resorte y tiempo nos presenta visualizaciones gráficas detalladas para comprender la complejidad de los datos recopilados (ver figura 13).

Se eligió excel para plasmar el sistema interfaz por su facilidad de y sencillez de uso, es un programa que desde muy jóvenes nos incentivan a aprender por ende los estudiantes ya tienen conocimiento de este, otra de las ventajas es que la potencia de Excel no se

limita a ser un visualizador de datos; va más allá al proporcionar un conjunto robusto de funciones analíticas. Los usuarios tienen la capacidad de realizar análisis adicionales en tiempo real, explorando datos en profundidad y descubriendo correlaciones que podrían haber pasado desapercibidas. Desde fórmulas avanzadas hasta funciones estadísticas, Excel se convierte en una herramienta analítica completa.

Figura 13. Interfaz.



Fuente: Elaboración propia.

1.5.1 Análisis a tiempo real. La interfaz en Excel ofrece una ventana dinámica que muestra instantáneamente los datos esenciales durante el ciclo de análisis. Desde el recuento de ciclos hasta las fluctuaciones en las revoluciones por minuto (rpm) del motor, la distancia del resorte y el tiempo transcurrido, cada detalle se despliega de manera clara y precisa.

1.5.2 Gráficos analíticos. La riqueza de información se expande con la inclusión de gráficos analíticos. Ciclos vs. tiempo, carga vs. tiempo, ciclos vs. rpm, distancia vs. tiempo; estos gráficos proporcionan una visión holística y visualmente impactante de la dinámica del resorte en diferentes condiciones. La capacidad de interpretar tendencias y patrones se vuelve instantánea gracias a esta representación gráfica.

1.5.3 Integración de python y excel. Python sirve como el motor detrás de esta interfaz, recopilando datos de la máquina que entrega la programación de la placa Arduino (Ver anexo H) y transmitiendo de manera eficiente a Excel. Esta integración perfecta permite una flexibilidad y capacidad de análisis avanzada, aprovechando las funciones y capacidades de ambas plataformas para ofrecer un enfoque completo y efectivo para el análisis de resortes.

1.5.4 Accesibilidad y personalización. La elección de utilizar Excel como plataforma principal no solo garantiza la accesibilidad general, sino que también brinda a los usuarios la capacidad de personalizar y ampliar el análisis según sus necesidades específicas. La familiaridad con Excel facilita la navegación y el entendimiento, permitiendo a los usuarios explorar datos de manera intuitiva.

1.5.5 Aplicación en la práctica. Este capítulo destaca la implementación de la interfaz en Excel como un componente esencial de nuestra maquinaria. Desde el proceso de recopilación de datos en Python hasta la presentación clara y detallada en Excel, cada paso es desglosado para revelar cómo esta interfaz ha mejorado significativamente nuestra capacidad para analizar y comprender el comportamiento del resorte en tiempo real.

1.6 HISTORIA DE RESORTES.

Un resorte es un componente elástico y flexible capaz de almacenar energía al momento de flexionarse o contraerse y liberarla fuerza al momento de expandirse de nuevo o liberar la fuerza que es ejercida en él y regresar a su estado original.

Los elementos elásticos se utilizan desde la antigüedad para realizar armamentos como arcos de madera los resortes han sido de gran utilidad para el mundo, desde un principio utilizado en elementos simples como lo son relojes de bolsillo.

Existen una extensa variedad de resortes y aplicaciones de estos, desde uno utilizado para sujeción de descensores, muchos utilizados para amortiguación de vehículos y más.

1.7 TIPOS DE RESORTES.

Existen resortes de todo tipo y con una gama extensa de utilidades, estos se pueden clasificar según su función, dirección, utilidad entre otras. En la industria los resortes se clasifican por:

- Según la forma del resorte.
- Según la forma del resorte.
- Según el tipo de carga que soportan.

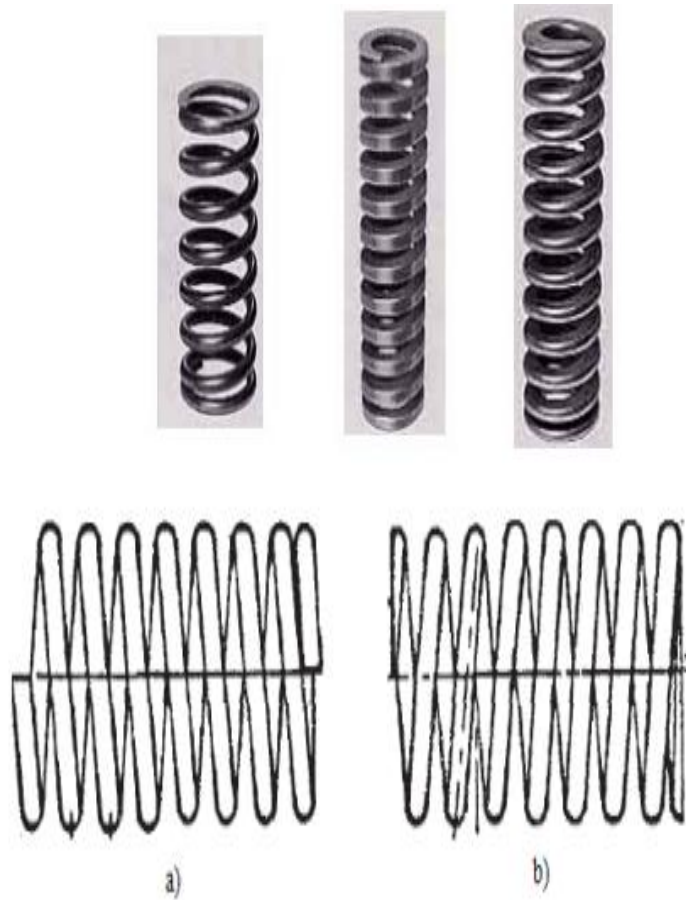
Según el tipo de carga que soportan se clasifican como:

Resortes a compresión.

Son resortes destinados a soportar esfuerzo de compresión y choques. Al aumentarse una presión ejercida sobre ellos disminuyen su volumen, al realizar esto, almacenan energía disponible y más eficiente. De estos resortes puede haber tipos como resortes helicoidales cilíndricos, helicoidal de estampación, helicoidal cónico, helicoidal biónico y arandelas elásticas.

El resorte helicoidal cilíndrico de compresión utilizándose en válvulas, engrasadores, amortiguadores, etc. Está formado por un hilo de acero de sección redonda, cuadrada u ovalada (ver Figura 1.1), enrollado en forma de hélice cilíndrica

Figura 14. Resorte helicoidal de compresión con alambre redondo, cuadrado y ovalado, enrollado a la derecha (a) y a la izquierda (b).



Fuente. Elaboración propia con base a Diseño y construcción de un banco experimental para la comprobación del diseño de detalle en resortes helicoidales de tensión y compresión, por NAVARRO P. y AVELLANEDA R, 2016.

Los resortes también son clasificados por el tipo de fuerza que ejercen como nos muestra la Tabla 1

Tabla 1. Clasificación de resortes según su carga.

Usos	Tipos de resorte
Empuje	Resorte helicoidal de compresión Resorte de Belleville Resorte de torsión: la fuerza actúa en el extremo del brazo de par torsional
Tracción	Plano, como muelle en cantilever o muelle de hojas Resorte helicoidal de extensión Resorte de torsión: la fuerza actúa en el extremo del brazo de par torsional Plano, como muelle en cantilever o muelle de hojas Resorte de barra de tracción (caso especial del resorte de compresión) Resorte de fuerza constante
Radial-Torque	Resorte toroidal, banda de elastómero, pinzas de resorte Resorte de torsión, resorte de potencia

Fuente. Tomada de Diseño y construcción de un banco experimental para la comprobación del diseño de detalle en resortes helicoidales de tensión y compresión, por NAVARRO P. y AVELLANEDA R, 2016, 19p.

El resorte helicoidal de extensión/tracción son de espiral cerrada. Los resortes de tensión soportan las cargas axiales al momento de su estiramiento, trabajan extendiendo el resorte al aplicar la fuerza en sus ganchos, su aplicación es utilizada en acero o acero inoxidable telares circulares, sistemas de frenos, electrodomésticos, en partes de vehículos, descensores de carga, etc. (ver figura 15)

Figura 15. Tipos de resortes a extensión.



Fuente: Construcción de una máquina para medir las características de los muelles por Montenegro A, 2017 10p.

1.8 MATERIALES PARA FABRICACIÓN DE RESORTES.

Existen diferentes tipos de resortes y cada uno de estos se fabrican para una función específica, por ende, hay diferentes tipos de materiales utilizados para la fabricación de estos según su función. se emplean diferentes aceros de gran elasticidad como: Acero al carbono, acero al silicio, acero al cromo vanadio, acero al cromo-silicio entre otros. Los requisitos para elegir el material son: elevada resistencia máxima de fluencia y de fatiga, bajo módulo de elasticidad. Según el cuadro 6 podemos evidenciar la diferencia de materiales y sus aplicaciones.

Cuadro 6. Tipos de materiales.

Material	Designaciones	Descripción
Alambre estirado en frío (estirado duro) (0.60 - 0.70 C)	UNS G10660 AISI/SAE 1066 ASTM A227-47	Es el acero de resorte de uso general de menor costo . Se usa cuando la exactitud, la deformación y la duración no son muy importantes (no adecuado para cargas variables o de impacto). Diámetros de 0.8 a 12 mm ^[3] (o 0.8 a 16 mm ^[1]). Rango de temperaturas 0 a 120 °C.
Alambre revenido en aceite (0.60 - 0.70 C)	UNS G10650 AISI/SAE 1065 ASTM A229-41	Mayor costo que el del SAE 1066 pero menor que el del SAE 1085. No es adecuado para cargas variables o de impacto. Diámetros de 3 a 12 mm ^[1] , aunque es posible obtener otros tamaños (0.5 a 16 mm ^[1]). Rango de temperaturas 0 a 180 °C.
Alambre para cuerda musical (0.80 - 0.95 C)	UNS G10850 AISI/SAE 1085 ASTM A228-51	Es el mejor, más resistente a la tracción, más resistente a la fatiga, más tenaz, y más utilizado para resortes pequeños. Diámetros de 0.12 a 3 mm ^[3] (o 0.10 a 6.5 mm ^[1]). Rango de temperaturas 0 a 120 °C.
Alambre revenido en aceite	AISI/SAE 1070 ASTM A230	Calidad de resorte de válvula. Adecuado para cargas variables.
Al cromo-vanadio	UNS G61500 AISI/SAE 6150 ASTM A231-41	Es el acero aleado más utilizado para aplicaciones con esfuerzos más elevados que los que soportan los aceros duros al carbono, y aquellas donde se necesiten altas resistencia a la fatiga y durabilidad. Soportan cargas de impacto. Ampliamente utilizado en valvulas de motores de avión. Diámetros de 0.8 a 12 mm. Temperaturas hasta 220 °C.
Al cromo-silicio	UNS G92540 AISI/SAE 9254 ASTM A401	Es excelente para aplicaciones con altos esfuerzos, en las que se requiera tenacidad y gran duración. El segundo más resistente después del alambre para cuerda musical. Dureza Rockwell aproximadamente entre C50 y C53. Diámetros de 0.8 a 12 mm. Temperaturas hasta 220/250 °C.
Acero inoxidable	SAE 30302 ASTM A313 (302)	Adecuado para carga variable.

Fuente. Tomada de Diseño y construcción de un banco experimental para la comprobación del diseño de detalle en resortes helicoidales de tensión y compresión, por NAVARRO P. y AVELLANEDA R, 2016, 30p.

Un resorte de compresión, también llamado muelle helicoidal de presión es un dispositivo mecánico con forma de hélice y hecho de alambre. Estos muelles están diseñados y son usados para resistir las fuerzas de compresión aplicadas por la energía del movimiento. Los resortes de compresión son los muelles más comunes y se pueden encontrar en multitud de aplicaciones, como en automoción, sector aeroespacial y bienes de consumo. El resorte de compresión más utilizado es el cilíndrico recto hecho de alambre redondo, aunque también se utiliza alambre cuadrado o rectangular para su fabricación. Entre las distintas formas podemos encontrar muelles de compresión con forma cónica, de barril (convexo), de reloj de arena (cóncavo), cilíndricos con o sin separación variable entre las espirales, Estos tipos de muelles son lineales y presentan la misma distancia a lo largo de toda la espiral.

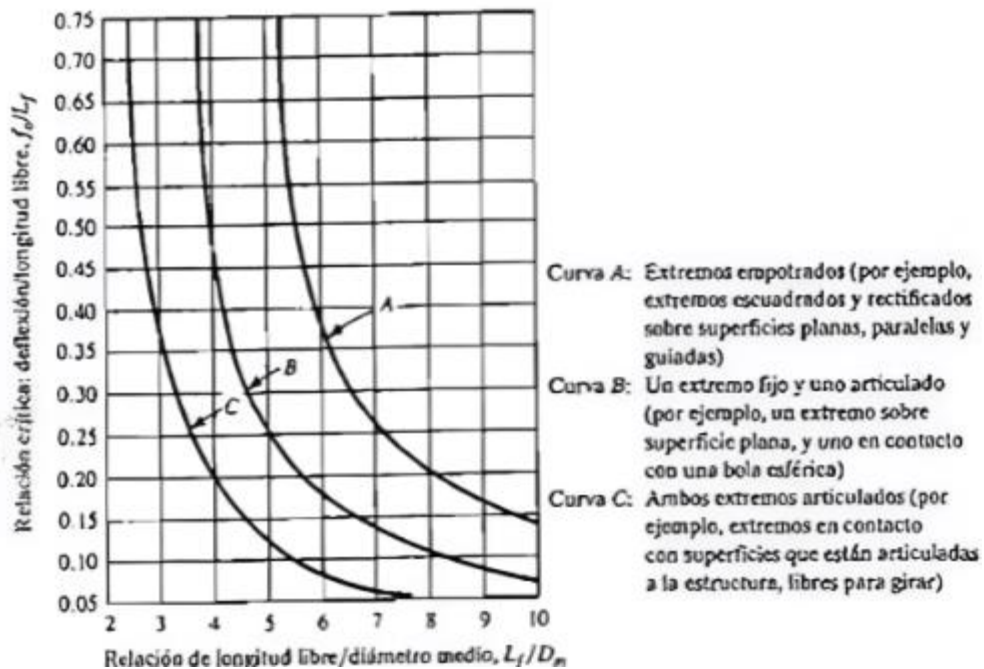
Estas distintas formas se utilizan para el asentamiento, reducir el pandeo o para producir características de deflexión de carga no lineales.

- El pandeo es el desplazamiento lateral de un resorte a la compresión, La aparición de deflexión por pandeo limita severamente la resistencia en compresión de un pilar o cualquier tipo de pieza esbelta, la relación de esbeltez se plantea como:

$$\frac{Lf}{D} > 4 \text{ Máximo de pandeo del resorte}$$

- Podemos observar en la Figura 16 relación crítica de deflexión a la longitud libre, en función de la relación de longitud libre a diámetro medio del resorte, se muestra que muestra que si la relación crítica de deflexión es mayor que la relación crítica el resorte este se tiende a pandear a la deflexión de operación.

Figura 16. Criterios de pandeo.



Fuente: Tomada de Diseño y construcción de un banco experimental para la comprobación del diseño de detalle en resortes helicoidales de tensión y compresión, por NAVARRO P. y AVELLANEDA R, 2016. 43p.

1.8.1 Materiales y su aplicación. Como se menciona anteriormente, existen diferentes tipos de aplicaciones y los materiales son empleados según su uso, dependiendo de ellos hay tipos como:

- Aceros refinados, DIN 17222.
- Acero inoxidable (de acuerdo con la norma DIN 17224).
- Aceros resistentes al calor, recogidos en la norma DIN 17240.
- Aleaciones de cobre, como por ejemplo CuSn 8 o CuBe 2.
- Aleaciones Inconel.

Los resortes a compresión son comúnmente utilizados en la industria cosas mínimas como lo son la sujeción de una placa metálica en una engrapadora hasta llegar a usarse en la industria automovilística, aeroespacial. Algunas aplicaciones específicas de estos

componentes son: accesorios para mangueras, interruptores eléctricos, válvulas, suspensiones, bolígrafos, etc.

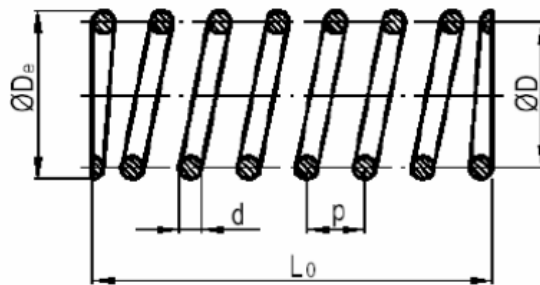
1.9 RESORTES HELICOIDALES.

En la forma más común de un resorte helicoidal de compresión un alambre redondo se enrolla en una forma cilíndrica con paso uniforme entre las espiras adyacentes con diámetro constante de la espira, es un dispositivo mecánico fabricado con alambre, un fleje o una barra de un metal elástico, al que se le da la forma de hélice.

1.9.1 Configuración de los resortes helicoidales de compresión y extensión.

Existen diferente simbología que debemos tener en cuenta en los resortes, como podemos ver en la Figura 17.

Figura 17. Configuración de resorte helicoidal a compresión,



Fuente: Tomada de MecaPedia. (s.f.). Cálculo de la rigidez de resortes helicoidales de tracción-compresión.

Se utiliza un diámetro de alambre redondo, ya que en la industrial es económico y da buen resultado para su aplicación. Existen diferentes diámetros para el alambre, esto es inmensamente importante para su fabricación, el alambre se fabrica en un diámetro estándar con un rango amplio, como se ve en la figura 17.

Tabla 2. Diámetros estándares.

Metric sizes mm					
First preference	Second preference	Third preference	First preference	Second preference	Third preference
0.10			2.5		
	0.11				2.6
0.12				2.8	
	0.14		3.0		3.2
0.16				3.5	
	0.18				3.8
0.20			4.0		
	0.22				4.2
0.25				4.5	
	0.28				4.8
0.30			5.0		
	0.35			5.5	
0.40			6.0		
	0.45			6.5	
0.50				7.0	
	0.55				7.5
0.60			8.0		
	0.65				8.5
	0.70				
0.80				9.0	
	0.90				9.5
1.0			10.0		
	1.1			11.0	
1.20			12.0		
		1.3		13.0	
	1.4		14.0		
1.60				15.0	
	1.8				
2.0			16.0		
		2.1			

Fuente. Construcción de una máquina para medir las características de los muelles por Montenegro A, 2017, 15p.

Se recomienda dar una holgura diametral inicial de una décima del diámetro del alambre para resortes de 12 mm (0.5 pulgadas) de diámetro mayor. Si se requiere un cálculo más preciso del diámetro exterior del resorte, se puede emplear la formula siguiente, del DE en el estado de longitud comprimida:

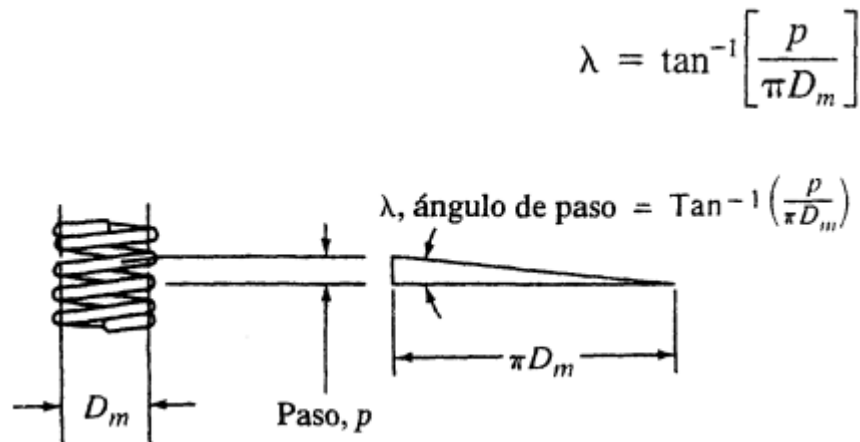
$$DE = \sqrt{D^2 + \frac{p^2 - d^2}{\pi^2}} + d$$

Siendo DE diámetro exterior, p el paso, D el diámetro medio.

El paso es la distancia medida paralela al eje desde el centro de una espira hasta el centro de la espira adyacente.

Podemos ver en la figura 18 el ángulo de paso λ . Mientras mayor sea este ángulo, las espiras son más inclinadas, en el diseño se utiliza un ángulo de paso menor a 12 grados.

Figura 18. Angulo de paso.



Mott, R. (2006). Diseño de elementos de máquinas. México: Pearson Educación, 50p.

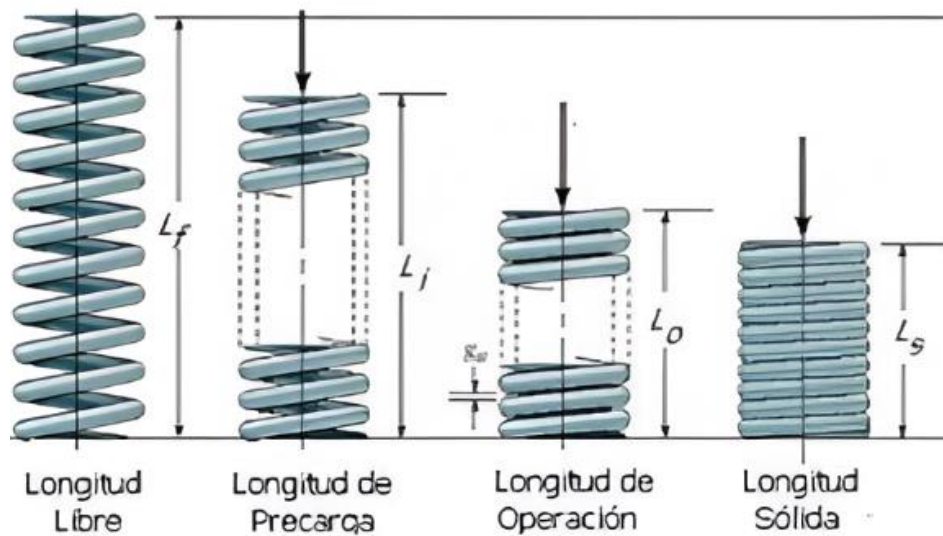
La deformación que provoca alcanzar la longitud sólida se puede calcular de la siguiente manera: La longitud libre (L_o), es la longitud total medida en paralelo al eje cuando el resorte está en estado libre o sin carga, la longitud sólida (L_s), es la longitud del resorte cuando este está cargado con la fuerza suficiente como para cerrar todas sus espiras.

Ver Figura 19.

Cálculo de la deformación que provoca alcanzar la longitud sólida.

$$S_{sol} = L_o - L_s$$

Figura 19. Longitudes de resortes a compresión.



Mott, R. (2006). Diseño de elementos de máquinas. México: Pearson Educación, 50p.

El número de espiras se define como el número de vueltas del alambre. Se distingue entre el número de espiras totales (N_t), y el número de espiras activas (N_a). La diferencia entre N_t y N_a es igual al número de espiras inactivas, que son las espiras de los extremos. El índice de resorte (C) es un parámetro importante a la hora de realizar el diseño y este índice del resorte C , es la relación entre el diámetro medio y el diámetro del alambre.

$$C = \frac{D}{d}$$

Según la ley de elasticidad del resorte de Hooke se obtiene K la constante de elasticidad del resorte.

Esta constante se define como la variación de la carga por unidad de deflexión se calcula de la siguiente forma:

$$K = \frac{\Delta f}{\Delta S}$$

- Los resortes helicoidales a extensión, piezas fundamentales en la ingeniería mecánica, desempeñan un papel esencial en una variedad de aplicaciones, desde maquinaria industrial hasta dispositivos de uso cotidiano. En este capítulo, exploraremos

los aspectos clave en el diseño, cálculo y fabricación de estos elementos mecánicos cruciales.

- Selección de Materiales y Diseño Geométrico: La elección del material es un factor crítico en el diseño de resortes helicoidales a extensión. La resistencia, durabilidad y vida útil del resorte dependen directamente de esta decisión. Además, la geometría de la espira, el diámetro del alambre y el número de espiras son consideraciones fundamentales que influyen en el comportamiento del resorte. Cálculo de Rigidez y Constante Elástica: El cálculo preciso de la rigidez y la constante elástica del resorte es esencial. Fórmulas específicas que relacionan la fuerza aplicada con la deformación resultante son utilizadas para garantizar el rendimiento deseado. La precisión en estos cálculos es crucial para asegurar que el resorte funcione según las especificaciones requeridas.

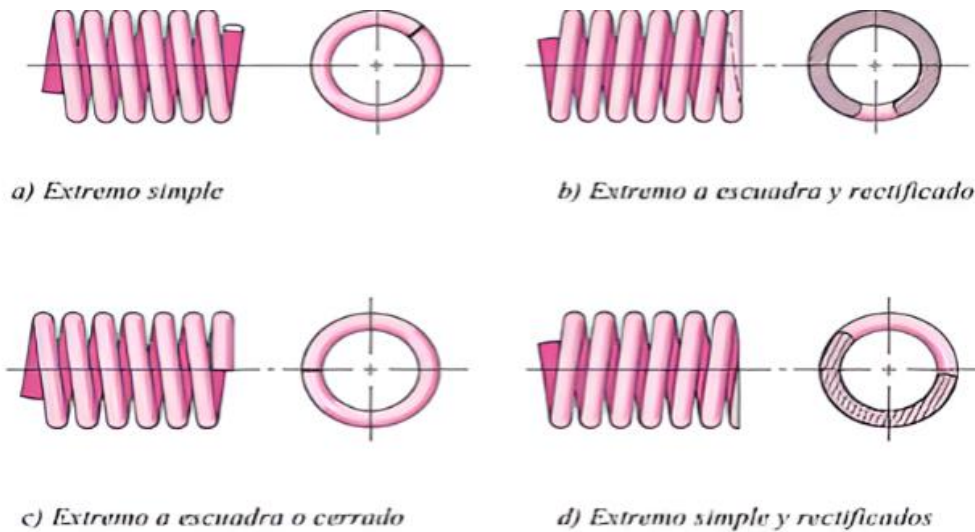
- Proceso de Fabricación: La manufactura de resortes helicoidales a extensión requiere una atención especial. La calidad del alambre, junto con detalles como el tratamiento térmico y el acabado superficial, son factores críticos que influyen en la capacidad del resorte para soportar cargas repetidas sin deformarse.

- Aplicaciones Prácticas: Los resortes helicoidales a extensión encuentran aplicación en una amplia gama de campos, desde sistemas de frenos en vehículos hasta componentes de suspensión en equipos diversos. Su capacidad para almacenar y liberar energía eficientemente los convierte en elementos insustituibles en la ingeniería mecánica moderna.

- Conclusión: En este capítulo, hemos explorado la importancia y la complejidad asociada con los resortes helicoidales a extensión. Su diseño y fabricación requieren una atención cuidadosa para garantizar un rendimiento óptimo y duradero, contribuyendo de manera significativa a la ingeniería mecánica contemporánea.

1.9.2 Extremos de los resortes helicoidales de compresión. Para los extremos de los resortes helicoidales de compresión de la Figura 20 se suelen utilizar cuatro tipos de extremos: simple (a), a escuadra y rectificadado (b), a escuadra o cerrado (c), y simple y rectificadado (d).

Figura 20. Tipos de extremos.



Fuente: Tomado de CyberChapin. (s.f.). Resortes helicoidales. Recuperado de <https://es.slideshare.net/cyberchapin/resortes-helicoidales>.

Podemos ver en el cuadro 7 proporciona una forma de calcular los valores más característicos de los resortes de compresión en función del diámetro del alambre, d , y el número de espiras activas N_a , que no es lo mismo que el número de espiras totales.

Cuadro 7. Cálculos de resortes a compresión.

	Simple	Simple y rectificadado	A escuadra o cerrado	A escuadra y rectificadado
Espiras en extremos	0	1	2	2
Espiras totales	N_a	$N_a + 1$	$N_a + 2$	$N_a + 2$
Longitud libre, L_f	$d + pN_a$	$p(N_a + 1)$	$3d + pN_a$	$2d + pN_a$
Longitud sólida, L_s	$d(N_t + 1)$	dN_t	$d(N_t + 1)$	dN_t
Paso, p	$(L_f - d) / N_a$	$L_f / (N_a + 1)$	$(L_f - 3d) / N_a$	$(L_f - 2d) / N_a$

Fuente. Cálculo de resortes helicoidales de compresión por Martínez E, 2013, 16p.

2. PRUEBAS ENSAYO DE RESORTE

Durante el proceso de diseño de los resortes, nos inspiramos en el proyecto anterior, siguiendo la metodología de los autores respaldados por el libro "Diseño de Elementos de Máquinas" de Robert Mott. Desde la etapa inicial, nos enfocamos en la estructura, donde la elección del material se basa en la norma ASTM A228, que busca estandarizar propiedades y características de resortes de alambre de acero al carbono. Al seguir estas especificaciones y limitaciones, aplicamos las recomendaciones del libro de Mott para llevar a cabo diseño de los resortes. Este enfoque integral nos permitió crear resortes que cumplen con estándares rigurosos y se ajustan a las necesidades específicas de las pruebas de ensayo planificadas.

En el análisis de las pruebas de un resorte sometido a extensión, es esencial revisar los datos recopilados y extraer información relevante sobre su comportamiento. Al iniciar las pruebas, consideramos variables clave para la construcción del resorte, con especial atención al tipo de material. En este caso, optamos por el acero nacional 1070, reconocido por su buena tenacidad y resistencia. La combinación adecuada de carbono y manganeso contribuye a estas propiedades, especialmente crucial en aplicaciones que requieren soportar cargas y tensiones, demostrando la resistencia del material y la efectividad del banco de resortes durante la prueba.

Con el material seleccionado, tomamos en cuenta diversas variables al construir el resorte, tales como el espesor del alambre, la longitud de oreja a oreja y el diámetro externo. Durante la fabricación de estos resortes, seguimos las especificaciones del fabricante, la Nacional de Resortes, Cauchos y Tornillos, que nos otorgó la libertad de elegir el diámetro y la longitud de oreja a oreja. En cuanto al espesor del resorte, nos

ajustamos a las opciones proporcionadas por el fabricante, ofreciendo espesores de 1 mm, 1.25 mm, 1.80 mm, 2 mm, 2.25 mm, 2.5 mm, 2.84 mm y 3 mm.

Teniendo estas especificaciones y limitaciones se fabricaron resortes idóneos para estas pruebas de ensayo.

- **Análisis del Resorte de Acero 1070 (Prueba 1,2 y 3).** En el anexo A,B y C se presenta un análisis detallado del comportamiento del resorte de acero 1070 sometido a las pruebas, utilizando el código EES (Engineering Equation Solver). Este código se ha diseñado meticulosamente para evaluar aspectos clave que impactan la integridad y el rendimiento del resorte bajo diversas condiciones.
- **Definición de Parámetros.** En primer lugar, se establecen parámetros esenciales, como el peso del resorte, la constante elástica del material (G), y los límites de resistencia del acero 1070. El código también considera el diámetro del alambre (d) y un índice de resorte (C) que juega un papel crucial en el análisis.
- **Fuerzas y Deformaciones.** El código evalúa la variación de fuerzas a lo largo de la prueba, destacando momentos clave como la carga máxima (Fmax) y la carga mínima (Fmin). Además, se calcula la deformación del resorte en respuesta a la carga aplicada, proporcionando una visión detallada de su capacidad para recuperarse tras ser sometido a distintos niveles de tensión.
- **Verificación de Parámetros Mecánicos.** La sección también incluye la verificación de parámetros mecánicos críticos, como el esfuerzo cortante y las tasas de deformación. Estos cálculos permiten evaluar la capacidad del resorte para resistir deformaciones sin comprometer sus propiedades elásticas.
- **Análisis de Ciclos y Durabilidad.** El código EES no solo se limita al análisis estático, sino que también incorpora una verificación de ciclos de carga. Se calcula la tensión cíclica que experimenta el resorte a lo largo de su vida útil, proporcionando información esencial sobre su durabilidad y comportamiento bajo condiciones de uso continuo.
- **Conclusiones y Recomendaciones.** El análisis detallado realizado mediante el código EES revela información valiosa sobre el resorte de acero 1070 en las pruebas.

Las conclusiones extraídas permiten comprender mejor cómo el resorte responde a diferentes cargas y condiciones. Además, se ofrecen recomendaciones para futuras pruebas y ajustes en el diseño, destacando la importancia de considerar los parámetros mecánicos y las limitaciones del equipo de prueba.

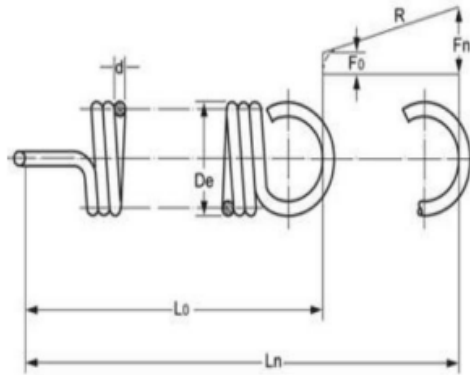
En resumen, el uso del código EES ha demostrado ser una herramienta valiosa para profundizar en el análisis del resorte de acero 1070, proporcionando resultados cuantitativos y detallados que enriquecen nuestra comprensión de su comportamiento mecánico. Este enfoque analítico contribuye significativamente al campo de estudio, proporcionando datos concretos para la mejora continua del diseño y rendimiento de los resortes de acero 1070.

2.1. PRUEBA NÚMERO 1.

Para la primera prueba se realizó con un resorte con las especificaciones mostradas en la Figura 21


Figura 21. Medidas prueba 1.

RESORTE HELICOIDAL DE TENSION



ACERO 1070	
Número total de espiras	23
Precarga	8 kg
Deformación	2 cm
Diámetro externo [De]	1.330709 in
Diámetro de alambre [d]	0.11811 in
Longitud libre [Lf]	4.42086 in
Factor NFS	0.6941
Factor NFB	0.8305
Número de ciclos	150.000
LB	1.994 in
LN	3.974 in

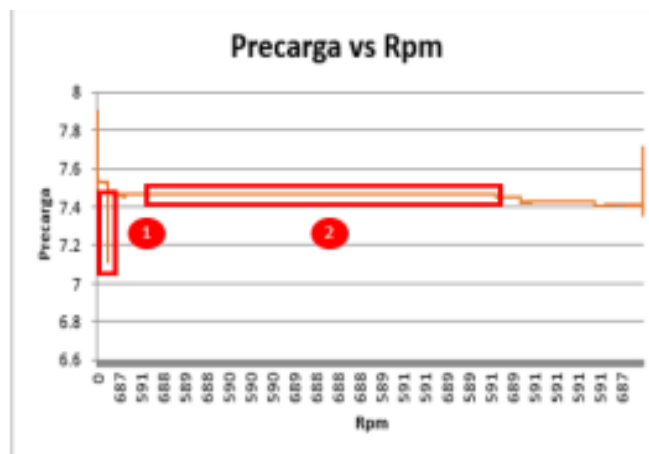
Propiedades del acero	Unidades [Psi]
Sus	125768
Sut	187714
Sys	84471
Sew	45000
Ses	27402

	ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA		Resorte helicoidal de tensión		Diseño de máquinas II	
	Escala 1:2	Medidas: In	Diseñador: Miguel Parra y Yeferson Afanador		Revisó: Ricardo Jalmes	Fecha: 10/11/2023

Fuente: Elaboración propia.

2.1.1 Análisis de resultados

Figura 22. Grafica de resultados prueba 1

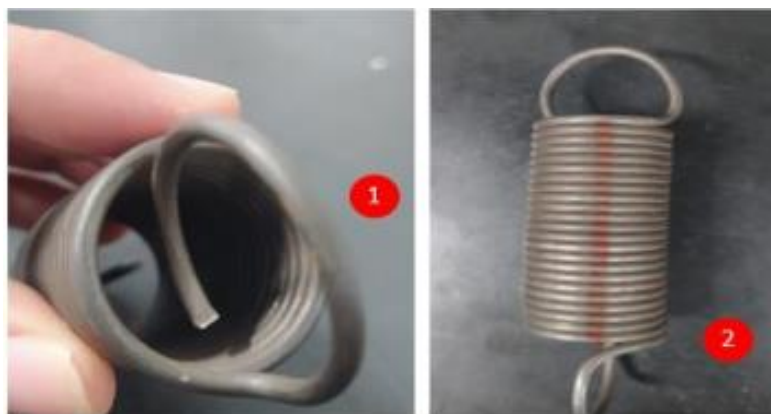


Fuente: Elaboración propia.

De la en la gráfica de la Figura 22 se evidencia una disminución en la precarga, pasando de 7.5 kg a 7.2 kg, mientras las revoluciones se mantienen en 588. Esta disminución en la fuerza de precarga puede estar relacionada con la elongación del resorte, lo que provoca una reducción en la tensión ejercida, manifestándose claramente en la representación gráfica de la relación entre precarga y revoluciones. En el punto 1 de la gráfica, la caída de precarga sugiere una disminución en la resistencia o rigidez del resorte a medida que las revoluciones alcanzan dicho punto. Este fenómeno podría tener implicaciones significativas en el rendimiento del sistema y debe ser considerado al analizar la respuesta del resorte a diferentes condiciones de operación.

Se evidencia en el punto 2 de manera consistente que la precarga se mantiene constante en 7.5 kg durante un extenso periodo de la prueba, a pesar de la aplicación de una precarga de 7.9 kg. Este fenómeno puede atribuirse al movimiento de la máquina, que al desplazarse hacia arriba y hacia abajo genera una leve disminución en la tensión del resorte. Es crucial destacar que estos hallazgos son particularmente notables al examinar la tabla de precarga en relación con las RPM (revoluciones por minuto). La constancia de la precarga a 7.5 kg, frente a la aplicación de 7.9 kg, revela la influencia del movimiento dinámico de la máquina en la tensión del resorte helicoidal sometido a la prueba de tensión.

Figura 23. Comparación de resorte prueba 1.



Fuente: Elaboración propia.

- En el punto 1 se ve un indicio de fatiga que el resorte está experimentando una degradación gradual de su estructura. A medida que se incrementen los ciclos de carga, se espera que estas deformaciones aumentan en magnitud, lo que eventualmente podría resultar en la ruptura del resorte. La relación directa entre la duración de la prueba y la magnitud de las deformaciones subraya la importancia de extender el periodo de prueba para evaluar de manera más completa la resistencia del resorte frente a la fatiga y prevenir posibles fallos a largo plazo.

- En el segundo punto, se destaca que la línea trazada no muestra ninguna deformación, atribuible a la notable rigidez del acero 1070, material del cual está fabricado el resorte. La ausencia de deformación se puede atribuir también al número significativo de espiras (23) presentes en el resorte y al periodo de prueba de 4 horas. Sin embargo, es crucial señalar que este periodo de prueba podría considerarse relativamente breve, sugiriendo la necesidad de someter el resorte a pruebas de mayor duración para evaluar completamente su comportamiento bajo carga.

2.1.2 Observaciones. El resorte fue sometido a un total de 150.000 ciclos, y en este punto, ya se pueden observar claras evidencias de fatiga. Considerando que el resorte presenta signos de degradación estructural, sería recomendable extender el número de ciclos de prueba. Se sugiere mantener la misma precarga utilizada en el caso actual para evaluar el comportamiento del resorte bajo un mayor.

2.2. PRUEBA NÚMERO 2.

La segunda prueba se realizó con un resorte con las especificaciones mostradas en la Figura 24.

Figura 24. Medidas prueba 2.

Fuente: Elaboración propia

El análisis estático del resorte a compresión reveló resultados que difieren de las expectativas iniciales, generando la necesidad de una evaluación más profunda. Durante En el experimento, se siguieron meticulosamente los procedimientos establecidos, utilizando el equipo designado y controlando las variables relevantes. Sin embargo, al comparar los resultados obtenidos con las predicciones iniciales, se evidenció una discrepancia significativa. La divergencia entre la teoría anticipada y los datos recopilados plantea interrogantes sobre la validez de la metodología empleada o la posible presencia de factores no considerados. En la sección siguiente, se examinan minuciosamente las posibles fuentes de error que podrían haber influido en la precisión de las mediciones, con el objetivo de entender mejor las razones subyacentes detrás de los resultados inesperados. Esta reflexión crítica pretende proporcionar una base sólida para interpretar los hallazgos y sugiere posibles direcciones para investigaciones futuras.

La prueba inicial no cumplió con los requisitos de la carga estática planeada de 5 kg en el resorte. Aunque no pudimos realizar la prueba según lo previsto, decidimos llevar a cabo un experimento adicional para explorar si el problema estaba relacionado con el diámetro del alambre, que mide 0.078 pulgadas. Este diámetro podría estar contribuyendo a una mayor elasticidad, acercándose al límite de la máquina establecido en 21 cm de estiramiento. En el análisis de la gráfica de precarga vs rpm, notamos varias caídas y fluctuaciones. Estas variaciones parecen estar relacionadas con cambios en las revoluciones por minuto (rpm), con un aumento registrado de 688 rpm. Este cambio afecta la precarga, disminuyendo de 1.9 kg a 1.86 kg en el punto 1 de la gráfica. Esta situación provoca que el resorte experimente un esfuerzo dinámico más fuerte al moverse más rápido, limitando su estiramiento y generando una lectura más pequeña en la celda de carga. La magnitud insignificante del esfuerzo hace que la lectura de la precarga sea menor en este escenario dinámico. En el punto 2 de la gráfica, observamos dos oscilaciones repetitivas. Este fenómeno podría deberse a una excitación que coincide con la frecuencia natural del sistema, amplificando las oscilaciones. También podría ser el resultado de interferencias externas, como vibraciones o ruido. Estas oscilaciones con el

mismo patrón se deben a las variaciones en los rpm, como mencionamos anteriormente. El pequeño diámetro del alambre contribuye a una mayor deformación con pequeños cambios en el sistema, explicando estas fluctuaciones.

Figura 26. Grafica de resultados precarga vs tiempo prueba 2.

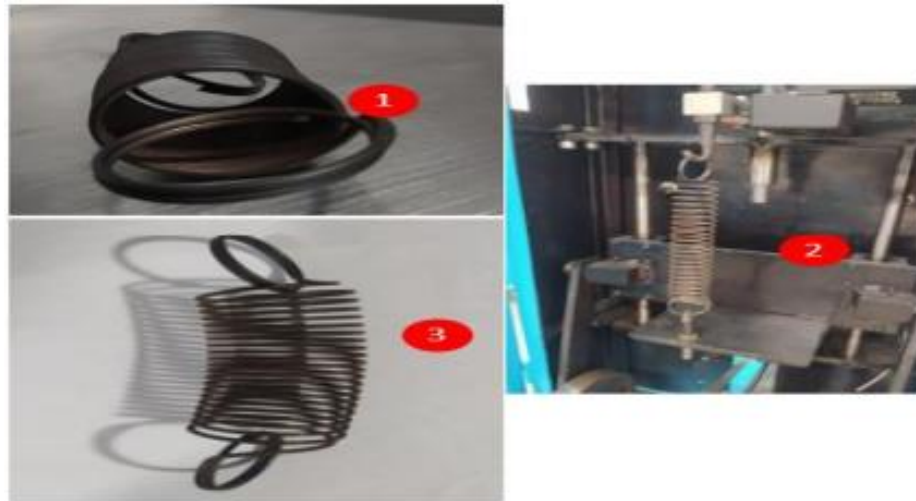


Fuente: Elaboración propia.

La Figura 26 presenta un análisis detallado de la relación entre la precarga y el tiempo en el contexto de una prueba de resorte. Durante los primeros 200 segundos, se observa una disminución significativa en la precarga, pasando de 1.95 kg a 1.91 kg, señalando un cambio sustancial en la tensión del sistema y la fuerza aplicada. La prueba, que se inicia con una precarga de 2 kg, se realiza a una velocidad promedio de 640 rpm, generando un movimiento armónico simple (MAS). La celda de medición registra la fuerza aplicada al resorte, evidenciando una oscilación clara en la variación de la precarga, que alcanza su mínimo de 1.91 kg en el punto 1 de la gráfica. Es esencial destacar que el MAS se ve directamente influenciado por la velocidad de rotación, lo que provoca fluctuaciones en la precarga y revela un comportamiento ascendente o descendente según la velocidad de rotación medida en rpm. Este dinamismo en la tensión del sistema proporciona información valiosa sobre el comportamiento del resorte bajo diferentes condiciones de carga y movimiento, visible a lo largo del tiempo de prueba, que se ha limitado a 2500 segundos (aproximadamente 41 minutos) para enfocarse en un intervalo específico. En el punto 2 de la gráfica, se aprecia un patrón de movimiento repetitivo, sugiriendo la posible existencia de oscilaciones persistentes causadas por la proximidad de la

frecuencia de excitación a la frecuencia natural del resorte, generando una respuesta resonante y dando lugar a movimientos cíclicos.

Figura 27. Comparación de resorte prueba 2.



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 27, se observa una deformación evidente en el resorte, la cual alcanzó una magnitud considerable de 3.9 cm. Esta deformación se atribuye al diseño específico del resorte, que incorpora un diámetro de alambre de 0.078 pulgadas. Es importante señalar que cada material presenta un límite elástico, que representa la máxima deformación reversible antes de ingresar a la región plástica, donde las deformaciones se vuelven permanentes. En este caso, la carga aplicada al resorte, con una precarga de 2 kg, posiblemente excedió el límite elástico del material, dando lugar a una deformación plástica. Este fenómeno impidió que el resorte recuperara completamente su forma original, comprometiendo su capacidad de retorno a la posición inicial. Además, el reducido diámetro del alambre (0.078 pulgadas) tuvo un impacto significativo en la rigidez del resorte. Teóricamente, un diámetro menor aumenta la flexibilidad del resorte al disminuir la resistencia del material a la deformación. En este contexto, el resorte pudo haber sido más susceptible a deformaciones permanentes bajo la carga aplicada. En resumen, la deformación pronunciada puede atribuirse a la combinación de una precarga significativa, un diseño con diámetro de alambre pequeño y la consecuente superación

del límite elástico del material, lo que resulta en una deformación plástica que afecta la capacidad del resorte para recuperarse completamente.

2.2.2 Observaciones. La ejecución de la prueba resultó inadecuada al no cumplir con los requisitos esenciales para la fase estática, un paso fundamental previo a la prueba dinámica de diseño a la que se pretendía someter el resorte. La limitación crítica reside en que el banco de pruebas solo permite la elongación del resorte hasta una distancia de 21 cm.

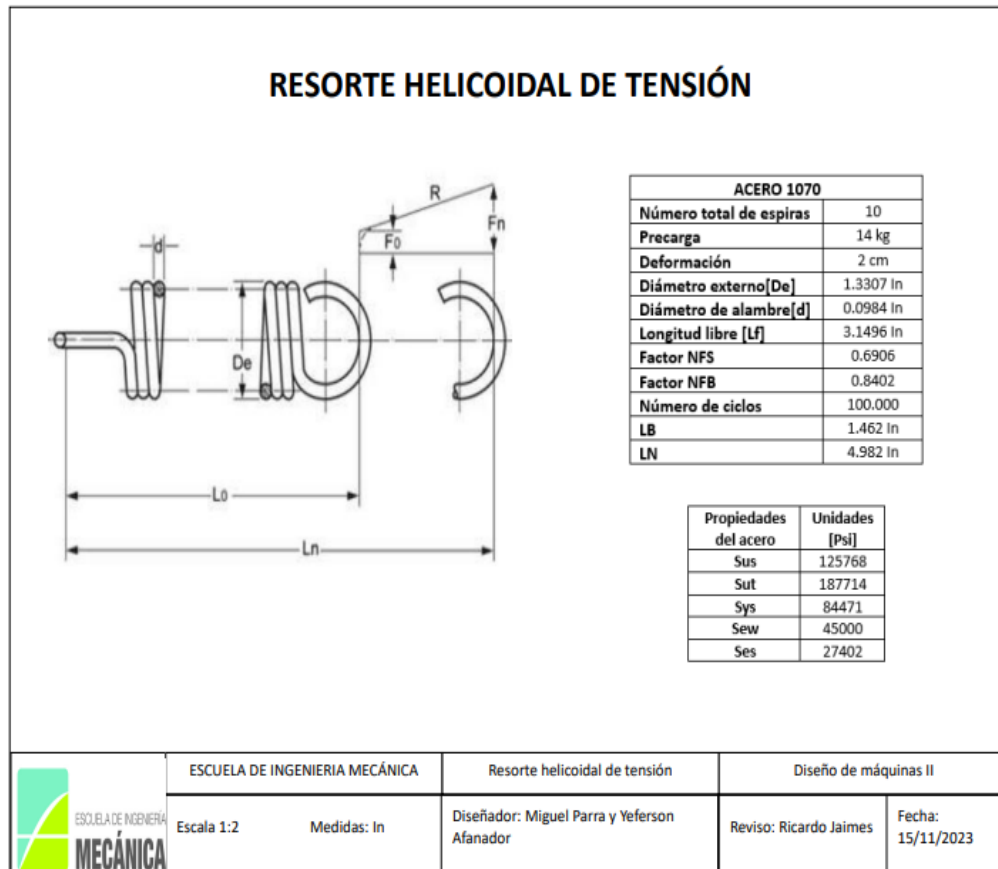
Es crucial resaltar que los requisitos de la fase estática son determinantes para asegurar la integridad y validez de la prueba dinámica. No cumplir con estos requisitos puede generar resultados incoherentes y no interpretables, tal como se reflejó en las gráficas. Un aspecto de gran relevancia es el diminuto diámetro del alambre, el cual incide directamente en la capacidad del resorte para resistir deformaciones sin perder sus propiedades elásticas. Las gráficas exhiben cambios abruptos y evidentes que dificultan su comprensión precisa, subrayando la importancia de cumplir con los parámetros establecidos.

Es imperativo que los estudiantes consideren estas observaciones para evitar errores similares en sus pruebas. La deformación significativa del resorte, evidenciada en las gráficas, sugiere que su delgadez y baja tenacidad fueron factores críticos que impidieron una recuperación completa. En futuras pruebas, se recomienda prestar una atención minuciosa a los requisitos estáticos, acompañada de una evaluación exhaustiva de las características del resorte, como el diámetro del alambre. Esto no solo garantizará resultados más confiables, sino que también proporcionará una comprensión más profunda del comportamiento del resorte bajo condiciones específicas de carga y movimiento.

2.3. PRUEBA NÚMERO 3.

La 3 prueba se realizó con un resorte con las especificaciones mostradas en la Figura 28.

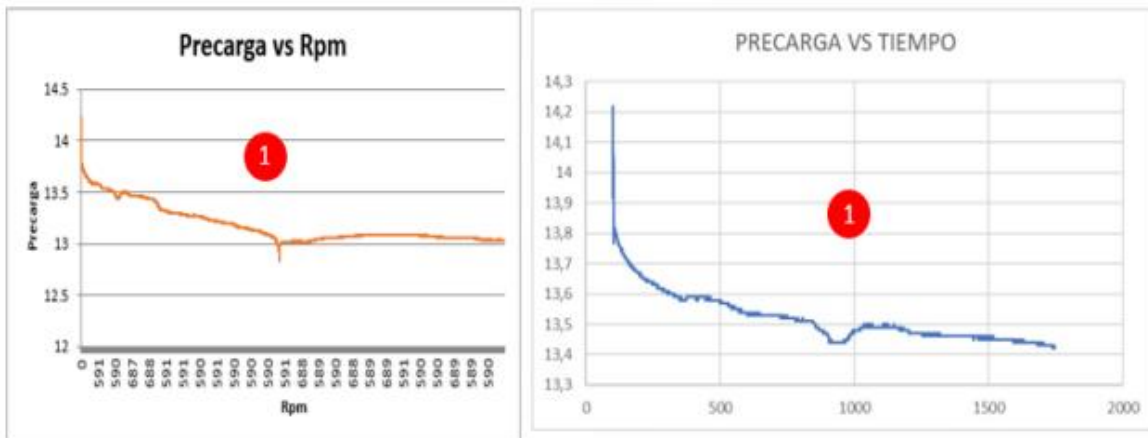
Figura 28. Medidas prueba 3.



Fuente: Elaboración propia

2.3.1 Análisis de resultados

Figura 29. Grafica de resultados prueba 3.



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico de precarga versus rpm, se observa una variación en la precarga en función de las revoluciones por minuto (rpm). Se evidencian puntos de inflexión que indican cambios abruptos en la precarga, sugiriendo que el resorte está alcanzando su límite de operación.

En la segunda gráfica, se representa la variación de la precarga en el tiempo. Aunque la gráfica captura un instante específico, se observa un comportamiento similar al de la primera gráfica, con una desviación de la precarga hasta alcanzar un valor de 13.42 kg. En el análisis de resortes helicoidales a tensión, es fundamental comprender que la precarga está directamente relacionada con la fuerza ejercida sobre el resorte cuando está en reposo. A medida que los rpm aumentan, la fuerza aplicada también lo hace, lo que lleva a cambios notables en la precarga.

Los puntos de inflexión indican momentos críticos en los que el resorte experimenta condiciones límite, donde la variación de la precarga es más pronunciada. Además, el fenómeno de la variación de la precarga en el tiempo se alinea con la teoría de fatiga de materiales. La repetición de cargas y descargas a cierta velocidad contribuye a la deformación gradual del resorte, afectando su capacidad para mantener la precarga original. La desviación observada en las gráficas sugiere que el resorte está perdiendo progresivamente su capacidad elástica, lo que podría tener implicaciones significativas en su desempeño a lo largo del tiempo.

Figura 30. Comparación de resorte prueba 3.



Fuente: Elaboración propia.

En la prueba dinámica, se aplicó una precarga de 14 kg al resorte, anticipando una posible deformación plástica debido a su baja cantidad de espiras (10), diámetro del alambre y propiedad del acero (1070), factores que se reflejaron en un preocupante factor de seguridad calculado de 0.60, significativamente por debajo del estándar establecido. El propósito de la prueba era inducir la fractura del resorte, considerando el bajo nivel de seguridad previamente calculado. A pesar de someterse únicamente a 100,000 ciclos, la fractura completa no se manifestó. Sin embargo, se observó una deformación plástica y se evidenciaron principios de fractura en las zonas de concentración de tensiones del resorte, específicamente en sus extremidades o "orejas".

La teoría de los resortes helicoidales a tensión sostiene que estos elementos mecánicos experimentan tensiones significativas, especialmente en las áreas donde la geometría cambia bruscamente. Las extremidades del resorte, al ser puntos de concentración de tensiones, son propensas a la formación de grietas y al inicio de la fractura, particularmente cuando el material del resorte se somete a ciclos repetitivos de carga. En este contexto, los resultados de la prueba respaldan la teoría, ya que se observa una deformación plástica y principios de fractura en las áreas de concentración de tensiones. Aunque la fractura completa no se alcanzó en el número limitado de ciclos, la presencia de daño estructural incipiente indica que el resorte está comprometido y podría presentar riesgos de fallo con ciclos adicionales.

La detección temprana de estas señales es crucial para garantizar la seguridad e integridad de los componentes mecánicos en aplicaciones prácticas. En el punto 3 de la gráfica se aprecia la deformación que presentó el resorte durante la prueba, subrayando visualmente los efectos del estrés cíclico sobre el material.

2.3.2 Observaciones. Se sugiere continuar sometiendo el resorte a cargas cíclicas adicionales, dado que aún no se ha manifestado la fractura completa, a pesar de que ya se evidencian principios de fractura y deformación en su estructura. Se recomienda mantener la misma precarga de 14 kg y realizar pruebas de 100.000 ciclos en cada iteración.

Esta metodología permitirá observar cómo evoluciona el comportamiento del resorte a medida que se acerca a su condición límite. La decisión de seguir con pruebas cíclicas adicionales se basa en la premisa de que el resorte ya presenta signos de daño estructural, y la repetición de las pruebas bajo condiciones constantes facilitará la recopilación de datos para un análisis más detallado. Se espera que, con cada ciclo, se obtengan datos cruciales que contribuyan a comprender el rendimiento y la durabilidad del resorte en el tiempo.

La deformación plástica observada en pruebas anteriores es un indicio de la vulnerabilidad del material y la posible formación de grietas microscópicas. Continuar con pruebas cíclicas proporcionará datos cruciales para evaluar la progresión de estas fisuras y determinar el comportamiento del resorte ante cargas repetitivas. En resumen, se recomienda proseguir con las pruebas cíclicas y mantener la misma precarga para obtener información valiosa sobre la capacidad del resorte para resistir esfuerzos repetitivos. La teoría de la fractura en resortes a tensión subraya la importancia de analizar detenidamente la acumulación de daño y la formación de grietas para comprender mejor la vida útil y los límites de estos elementos mecánico

3. AYUDA DIDÁCTICA Y MEJORAMIENTO DE PRÁCTICAS EN EL LABORATORIO DE DISEÑO.

Se han explorado diferentes metodologías para la implementación de pruebas didácticas, considerando las ayudas disponibles en estos tiempos tecnológicos. Este análisis se ha centrado en las perspectivas de profesores y auxiliares de laboratorio.

En esta situación, se han desarrollado fichas orientativas que proporcionan a los estudiantes un claro marco de acción para llevar a cabo prácticas efectivas. Se les facilitó un sitio web donde podrán obtener información detallada sobre la práctica de laboratorio asignada. El acceso a este portal se realiza de manera eficiente mediante el escaneo de un código QR, como se ilustra en la figura 31. Este código dirige a los estudiantes al sitio web correspondiente, donde encontrarán instrucciones detalladas para llevar a cabo la prueba de manera exitosa. Este sitio web no solo facilita a los estudiantes acceder a la información necesaria, sino que también hace más sencillo el trabajo de los profesores. Estos tienen acceso total al portal y pueden realizar actualizaciones y modificaciones según sea necesario. Además, la plataforma fomenta la autonomía de los estudiantes al proporcionarles herramientas para realizar las actividades prácticas de manera eficiente y autónoma.

Figura 31. Código QR ficha.



Fuente. Elaboración propia.

3.1 PROCESO DE ANÁLISIS.

En la selección de estrategias didácticas y enfoques pedagógicos para mejorar la elaboración de fichas didácticas, se llevaron a cabo diversas revisiones y comparaciones. Entre las opciones consideradas, se optó por la implementación de fichas didácticas, y a continuación, se explican algunas razones detrás de esta elección. Se lleva a cabo una demostración práctica del uso del banco de pruebas, detallando cada componente, su función y el procedimiento. Se invita a todos los estudiantes a observar y formular preguntas durante la ejecución de la prueba. Esta actividad busca brindar una comprensión práctica y visual del proceso, facilitando la asimilación de conceptos.

3.1.1 Sesiones teóricas. Se asigna un día para sesiones teóricas centradas en los principios físicos que rigen el comportamiento de los resortes helicoidales. Se explica el funcionamiento del banco de pruebas mediante presentaciones visuales, gráficos y ecuaciones, buscando clarificar conceptos clave. Esta aproximación teórica complementa la experiencia práctica, proporcionando una comprensión más profunda.

3.1.2 Manual y documentación detallada del banco de pruebas. Se ofrece a los estudiantes manuales detallados del banco de pruebas que incluyen diagramas, imágenes y explicaciones paso a paso. Estos manuales sirven como guía de referencia para realizar pruebas exitosas. La documentación proporciona una referencia visual y escrita que facilita la comprensión y aplicación de los conocimientos adquiridos.

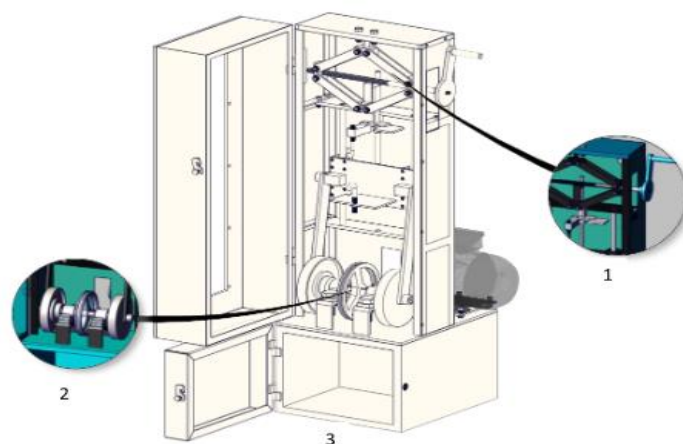
Esta combinación de estrategias didácticas, que abarcan desde la experiencia práctica hasta las sesiones teóricas y la documentación detallada, tiene como objetivo proporcionar un enfoque integral y comprensible para el aprendizaje efectivo del uso del banco de pruebas de resortes helicoidales.

3.1.3 Métodos de enseñanzas. Se ha implementado un método de enseñanza que incorpora un manual para el banco de pruebas. El propósito es que los estudiantes adquieran conocimientos de manera autodirigida, asumiendo responsabilidad al tomar decisiones, especialmente al abordar necesidades específicas. En este caso, la tarea implica verificar si el resorte cumple con los parámetros de diseño establecidos, como la carga requerida y su vida útil, teniendo en cuenta las propiedades del acero.

A través de este enfoque, los estudiantes tendrán la oportunidad de aplicar sus conocimientos a problemas del mundo real. Específicamente, se enfrentarán al desafío de determinar si el resorte puede resistir una tensión.

El manual y la documentación proporcionarán a los estudiantes una comprensión más precisa sobre cómo utilizar el banco de pruebas para resortes helicoidales a tensión. Podrán aprender a realizar ajustes previos a las pruebas estáticas y dinámicas, explorar los ensamblajes y subsistemas de la máquina según la figura 32, y comprender el funcionamiento del banco. Además, encontrarán una sección dedicada al preoperacional y las instrucciones para llevar a cabo las pruebas estáticas y dinámicas. Este enfoque tiene como objetivo fomentar el aprendizaje práctico y la toma de decisiones informadas por parte de los estudiantes.

Figura 32. Sub-ensamblajes del banco.



Fuente: Elaboración propia

3.2 IMPLEMENTACIÓN DE GUÍA DIDÁCTICA

Las guías estarán disponibles en la página web, donde encontrará una sección dedicada a todo lo relacionado con el banco. A través de estas guías, aprenderá a llevar a cabo el diseño de un resorte y a someterlo a pruebas en el banco. Podrá realizar análisis detallados y verificar si la vida útil del resorte cumple con los estándares establecidos tanto por el fabricante como por el diseñador.

Estas guías didácticas contarán con un manual detallado que proporcionará instrucciones paso a paso, una ficha gráfica para una comprensión visual clara, y una tabla de pruebas que facilitará el registro y la evaluación de los resultados obtenidos. Con esta información integral, los usuarios podrán realizar de manera efectiva el diseño, la implementación y la evaluación de resortes, asegurándose de que cumplan con los criterios de durabilidad establecidos.

3.2.1 Contenido. Los estudiantes iniciarán su experiencia accediendo a la página web, donde se encontrarán con un portal, similar al que se presenta en la figura 33. En este portal, se les guiará a través de una secuencia de pasos estructurados para llevar a cabo de manera ordenada el diseño de resortes y la preparación del banco para la prueba estática y dinámica.

Primero, se les insta a explorar el portal y seguir una serie de pasos que les permitirán comprender todo lo relacionado con resorte helicoidales a tensión, entre otros resortes. Estos pasos incluirán la selección de materiales, la determinación de especificaciones técnicas y la configuración de parámetros críticos.

Posteriormente, se les conducirá a una sección dedicada a la preparación operativa del banco de pruebas. Aquí, los estudiantes aprenderán a configurar y calibrar el equipo necesario para llevar a cabo pruebas estáticas y dinámicas de manera efectiva. Se les proporcionará información detallada sobre la correcta disposición de los componentes y la verificación de la funcionalidad del banco.

Es crucial destacar que esta metodología educativa fomenta el aprendizaje práctico, ya que los estudiantes no solo comprenden los conceptos teóricos, sino que también aplican

activamente esos conocimientos en el diseño y la prueba de resortes reales. Este enfoque no solo facilita la comprensión, sino que también promueve la adquisición de habilidades prácticas valiosas en el ámbito de la ingeniería mecánica.

Figura 33. Portada de página web



Fuente: Elaboración propia.

Se les invita a explorar el portal y seguir una serie de pasos que les permitirán comprender todo lo relacionado con el banco de resortes. Encontrarán un apartado con imágenes, documentos y videos que explican los componentes del banco de manera específica.

Posteriormente, se les conducirá a una sección dedicada a la teoría de resorte helicoidal. Aquí podrán acceder a todo el material de apoyo necesario para comprender cómo realizar el diseño de un resorte helicoidal. Estos pasos incluirán la selección de materiales, la determinación de especificaciones técnicas y la configuración de parámetros críticos.

Luego, se les conducirá a una sección dedicada a la preparación operativa del banco de pruebas. Aquí, los estudiantes deben seguir una serie de pasos para poder aprender a manipular y calibrar el banco para llevar a cabo pruebas de una manera efectiva. Se les

proporcionará información detallada sobre la correcta disposición de los componentes y la verificación de la funcionalidad del banco.

Es crucial destacar que esta metodología educativa fomenta el aprendizaje práctico, ya que los estudiantes no solo comprenden los conceptos teóricos, sino que también aplican activamente esos conocimientos en el diseño y la prueba de resortes reales. Este enfoque no solo facilita la comprensión, sino que también promueve la adquisición de habilidades prácticas valiosas en el ámbito de la ingeniería mecánica.

3.2.2 Objetivo. Este apartado tiene como objetivo principal que los estudiantes desarrollen criterio y adquieran conocimientos en el diseño de resortes, capacitándolos para ofrecer soluciones efectivas a diversas necesidades. Se espera que logren tanto el diseño adecuado de los resortes como la identificación y evaluación de los factores que pueden afectar su funcionamiento.

3.2.3 Procedimiento. Para llevar a cabo de manera efectiva la prueba estática, el estudiante debe comprender con claridad los factores cruciales que deben evaluarse en el resorte. Entre estos factores se encuentran la carga a la que estará sometido, su vida útil y la extensión máxima permitida por el banco de pruebas, que en este caso es de 21 cm. Es importante que el diseño del resorte se adapte a esta condición específica para prevenir posibles complicaciones durante la prueba estática. Los requisitos establecidos para el resorte deben reflejarse de manera precisa en la prueba estática; de lo contrario, será necesario llevar a cabo recálculos o incluso rediseñar el resorte.

Para asegurar el éxito en este proceso, resulta esencial examinar detalladamente los pasos proporcionados en la sección de formación del sitio web, en particular, el apartado que detalla el procedimiento para la realización de la prueba.

En el primer paso, los estudiantes deben calcular los requerimientos para la fabricación de un resorte que se ajuste a las necesidades planteadas por el profesor o aquellas que el estudiante requiera. Es crucial tener en cuenta que estas necesidades deben cumplir con los estándares de la máquina. Posteriormente, con los requerimientos de diseño en mano, se ingresan parámetros clave al código EES:

- Carga
- Diámetro del alambre
- Índice del resorte
- Constante elástica
- Esfuerzo cortante y flexión

Estos parámetros permiten calcular el factor de seguridad, el factor cortante, y otros elementos esenciales. El factor de seguridad es crucial ya que indica la capacidad del resorte para soportar la carga sin fallar. Además, se evalúan propiedades del acero para determinar el comportamiento esperado durante la prueba.

Estos valores, obtenidos a través de cálculos precisos, deben ser incorporados en una ficha gráfica de pruebas. Esta ficha, que lleva consigo información detallada sobre el diseño y los parámetros del resorte, es esencial para el seguimiento y análisis de los resultados obtenidos en la prueba estática. Estos deben anexarse en la tabla de requerimientos y propiedades físicas.

Cuadro 8. Requerimientos de diseño y propiedades

Tipo de acero		Propiedades del acero	Unidades [Psi]
Número total de espiras			
Precarga	[Kg]	Sut	
Deformación	[Cm]	Sys	
Diámetro externo[De]	[In]	Sew	
Diámetro de alambre[d]	[In]	Ses	
Longitud libre [Lf]	[In]		
Factor NFS	[In]		
Factor NFB	[In]		
Número de ciclos			
LB	[In]		
LN	[In]		

Fuente: Elaboración propia.

Las tablas proporcionarán a los estudiantes la capacidad de verificar si, al llevar a cabo la prueba estática, se cumple con la precarga establecida. En caso de no cumplir con este requisito, será necesario considerar un rediseño. Esto se debe a que, si la prueba estática no se cumple, no será posible avanzar a la prueba dinámica.

3.2.4 Tablas. En la sección de "Documentos para Descarga" en nuestra página web, proporcionamos recursos destinados a que los estudiantes generen evidencia y recopilen datos. Se han incluido dos tablas específicas: una para registrar los cálculos previos a la prueba (ver Anexo E) y otra para evaluar el diseño del resorte, donde los estudiantes pueden registrar observaciones y conclusiones (ver Anexo F).

Después de realizar las pruebas, se espera que los estudiantes elaboren un informe detallado que incluya los resultados obtenidos y las conclusiones derivadas. Además, hemos facilitado un espacio para que cualquier estudiante pueda agregar observaciones relevantes. Este proceso está diseñado para ofrecer una experiencia completa y estructurada en la recopilación y presentación de datos, así como en la expresión de observaciones individuales.

4. CONCLUSIONES

Al completar con éxito todos los objetivos establecidos para la reconstrucción y mejora del banco, hemos aplicado y perfeccionado las competencias adquiridas a lo largo de la carrera. La implementación de estas mejoras no solo ha fortalecido nuestro conocimiento teórico, también han brindado una experiencia práctica.

- El banco de pruebas permite gestionar un rango de fuerzas, que va desde 20 hasta 250 newtons, teniendo en cuenta la longitud máxima de carrera de 21 cm. Estos resultados, permiten evaluar de manera precisa y completa el desempeño del sistema en diversas condiciones y escenarios.
- El banco proporciona la capacidad de recopilar datos en tiempo real, mejorando así la eficiencia del proceso de prueba y asegurando la preservación efectiva de la información obtenida.
- El banco de pruebas ha demostrado un rendimiento óptimo durante un extenso periodo de pruebas, sin evidenciar desajustes en sus componentes ni experimentar problemas de calentamiento. Este resultado respalda la eficacia y la

robustez del sistema, confirmando su capacidad para mantener un funcionamiento estable y fiable a lo largo del tiempo.

- La máquina ahora puede operar en diversos rangos de rpm, ya que se realizaron ajustes específicos para solucionar el problema que presentaba inicialmente.
- Este banco de pruebas proporcionará la oportunidad de verificar si los cálculos obtenidos son consistentes con los valores establecidos, permitiendo así una revisión para determinar la precisión del diseño teórico.
- El banco cumple con su propósito al permitir el análisis del comportamiento de un resorte sometido a pruebas estáticas y dinámicas.
- La página ha cumplido con éxito su propósito al proporcionar una herramienta efectiva para que los estudiantes comprendan y se informen sobre cómo llevar a cabo los experimentos de laboratorio de manera adecuada.
- La etapa de búsqueda de materiales para el diseño presentó desafíos significativos, ya que las empresas en Bucaramanga y Barrancabermeja no proporcionaron información verificada sobre las propiedades del material requerido. Esta limitación nos llevó a optar por el acero 1070 y calcular minuciosamente todos sus factores, con el objetivo de llevar a cabo la prueba de manera rigurosa.
- El banco también permite generar otros tipos de estudios los cuales se tenga que ser sometidos a carga de fatiga y esfuerzos (tiene como finalidad el estudio de resortes).
- Este banco de pruebas proporcionará la oportunidad de verificar si los cálculos obtenidos son consistentes con los valores establecidos, permitiendo así una revisión para determinar la precisión del diseño teórico.

5. RECOMENDACIONES

- La operación de la máquina es automatizada, simplemente requiere programar la cantidad de ciclos a evaluar, encender el motor y la máquina se apaga automáticamente en caso de detectar un error en la lectura o experimentar fallas de energía o cumplir el número de ciclos establecidos. Sin embargo, aunque la máquina puede operar de forma autónoma, se recomienda realizar supervisión cada hora para asegurar un monitoreo continuo del proceso.
- Debe revisar detenidamente el sitio web designado como guía para la elaboración del laboratorio de resortes helicoidales, donde se utiliza el banco de pruebas. Es fundamental seguir cada uno de los pasos detallados en la página de referencia, la cual proporciona una serie de instrucciones claras. Además, se incluye un ejemplo práctico que sirve como guía adicional. Al seguir estos procedimientos, se optimiza la ejecución del laboratorio y se asegura la correcta realización de las pruebas.
- Es esencial revisar el manual del banco, disponible en el sitio web. Este documento proporciona instrucciones detalladas sobre cómo programar los ciclos en el código de Arduino y la cantidad de datos a obtener en Microsoft Visual. Es importante destacar que la ejecución correcta de estos pasos no solo permite realizar pruebas efectivas, sino que también asegura el funcionamiento adecuado de la máquina.
- Debe tener en cuenta que la computadora ya cuenta con códigos establecidos que no deben modificarse. En caso de que, por alguna razón, se eliminen los códigos, puede encontrar la programación correspondiente en el sitio web para descargarlos y volver a anexarlos al código. Se dispone de un manual que brinda orientación detallada sobre dónde incluir los ciclos de prueba. Le recomendamos seguir las instrucciones de este manual para garantizar un proceso sin inconvenientes y evitar posibles errores al realizar las pruebas.
- Es fundamental tener en cuenta que el banco de pruebas debe ser preparado antes de cada prueba para mantener su funcionamiento óptimo. Por este motivo,

se proporciona un manual del banco que detalla los procedimientos preoperacionales necesarios. Se recomienda seguir dicho manual para realizar tareas como la lubricación de componentes, el ajuste de piezas y el montaje adecuado del resorte. Estas acciones de preparación son esenciales para asegurar la precisión de las pruebas y prolongar la vida útil del banco, garantizando resultados fiables y consistentes en cada evaluación.

- Con el objetivo de garantizar la seguridad durante las pruebas, se recomienda cerrar la Puerta de Seguridad 1. Esto se hace para prevenir posibles riesgos en caso de fractura del resorte, asegurando así la integridad física del operador. Además, como medida adicional, se ha implementado la funcionalidad de apagado automático del motor en caso de que la celda no esté emitiendo señales, minimizando posibles riesgos y asegurando la protección tanto del personal como del equipo.

BIBLIOGRAFIA

- PARADA CORRALES, Alfredo. Fatiga 5ed: Editorial MIR Moscú 1990, 262p.
- AYZA ENERO, David. Vehículos inteligentes: impulsando la innovación. Tendencias tecnológicas, 2018-03-20, Apiumhub.
- HENAO LEÓN, Diego; BAEZ ALARCÓN, Andrés Camilo y PEDROZA ROJAS, Jesus Betsaid. Metodología para determinar la viabilidad de generación de energía eléctrica por medio de recursos: Investigación e innovación en ingenierías, 2018-07-01, Vol.6 (2), p.6.
- MAX KANAT, Alexander. (Code Simplicity: The Fundamentals of Software: The Science of Software Design)1ed. Editorial O'Reilly Media 2012, 84 p.
- MOOT, Robert L. Diseño de elementos de máquinas: Pearson educación, México, 2006. 944 p
- NAVARRO RINCON, Pedro cesar y AVELLANEDA VILLAMIZAR, Raúl Oswaldo. Universidad Industrial de Santander. Tesis (pregrado). Diseño y construcción de un banco experimental para la comprobación del diseño de detalle en resortes helicoidales de tensión y compresión.
- NAVARRO COSME, Tomas. Universidad Politécnica de Valencia. Tesis (pregrado). Desarrollo de un prototipo de vehículo autónomo semi-inteligente basado en Arduino. Bogotá Tesis (Ingeniería electrónica) :Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática, 2016.

ANEXOS

Anexo A. Prueba 1.

"PRUEBA #1 - ACERO 1070"

W=12*2.2 "peso"
G=27.5e6 "Constante Elastica"
Sy_C=61671 "Ver figura 19-8"
Sy_F=125009 "Ver figura 19-24"
d=0.11 [in] "diametro del alambre"
C=10 "indice de resorte"
De= C*d
tau_min=-4.231*C^3+181.5*C^2-3387*C+28640
tau_max=-2.987*C^3+139.7*C^2-3427*C+38404
tau_medio=(tau_min+tau_max)/2
KS=1+(0.5/C) "FACTOR CORTANTE DIRECTO"
Fi=(Pi*(d^3)*tau_medio)/(8*KS*De) "fuerza de tension inicial"
Fa=(Fmax-Fmin)/(2)
Fm=(Fmax+Fmin)/(2)
Fmax=W
Fmin=0
tau_m=(KS*8*Fm*De)/(Pi*(d^3))
Kw=((4*C)-1)/((4*C)-4)
tau_a=(Kw*8*Fa*De)/(Pi*(d^3))
Sut= 187714 " TABLA 10.5 NORTON"
SYS=0.45*Sut
Sus=0.67*Sut
Sew=45000 "sin granallar"
Ses=(0.5*Sew*Sus)/(Sus-(0.5*Sew))
C1=(2*De)/(2*d)
Kb=(4*C1^2-C1-1)/(4*C1*(C1-1))
sigma_a=((Kb*16*De*Fa)/(Pi*d^3))+((4*Fa)/(Pi*d^2))
sigma_m=((Kb*16*De*Fm)/(Pi*d^3))+((4*Fm)/(Pi*d^2))
sigma_min=((Kb*16*De*Fmin)/(Pi*d^3))+((4*Fmin)/(Pi*d^2))
Se=Ses/0.67
Nfb=(Se*(Sut-sigma_min))/((Se*(sigma_m-sigma_min))+(Sut*sigma_a))
R2=(C2*d)/2
C2=5
KW2=((4*C2)-1)/((4*C2)-4)
tau_ba=(KW2*8*Fa*De)/(Pi*(d^3))
tau_bm=(KW2*8*Fm*De)/(Pi*(d^3))
tau_bmin=(KS*8*Fmin*De)/(Pi*(d^3))
Nfs=(Ses*(Sus-tau_bmin))/((Se*(tau_bm-tau_bmin))+(Sut*tau_ba))
k=(W-Fmin)/(0.787402) "la deflexion de los 2 cm"
Na=((d^4)*G)/(8*(De^3)*k)
Nt=Na+1
Lb=Nt*d
Lf=Lb+2*Lgancho
Lgancho=De-d
Ymas=(Fmax-Fi)/k
OD=De+d
"COMPROBACION CICLOS"
tau_ciclos=8*Kw*Fmax*OD/(Pi*d^3)

Anexo B. Prueba 2.

```

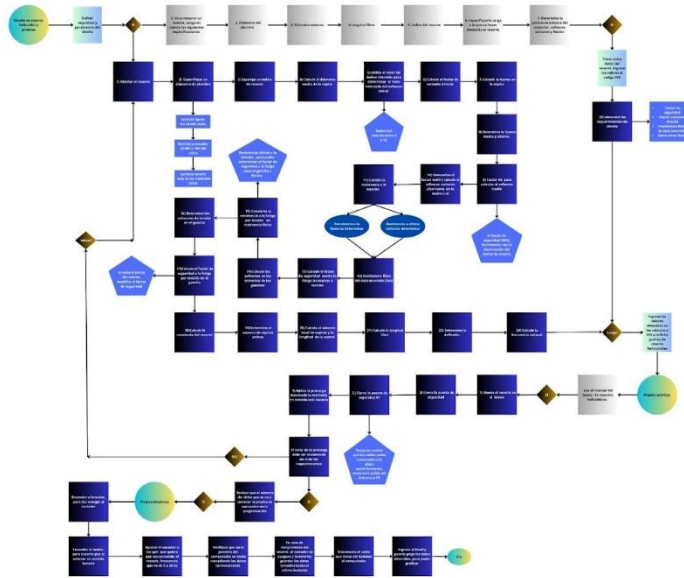
"PRUEBA #2 - ACERO 1070"
W=2*2.2 "peso"
G=27.5e6 "Constante Elastica"
By_C=61671 "Ver figura 19-8"
By_F=125009 "Ver figura 19-24"
d=0.078 [in] "diametro del alambre"
C= 17 "indice de resorte"
De= C*d
tau_min=-4.231*C^3+181.5*C^2-3387*C+28640
tau_max=-2.987*C^3+139.7*C^2-3427*C+38404
tau_medio=(tau_min+tau_max)/2
KS=1+(0.5/C) "FACTOR CORTANTE DIRECTO"
Fi=(Pi*(d^3)*tau_medio)/(8*KS*De) "fuerza de tension inicial"
Fa=(Fmax-Fmin)/(2)
Fm=(Fmax+Fmin)/(2)
Fmax=W
Fmin=0
tau_m=(KS*8*Fm*De)/(Pi*(d^3))
Kw=((4*C)-1)/((4*C)-4)
tau_a=(Kw*8*Fa*De)/(Pi*(d^3))
Sut= 187714 " TABLA 10.5 NORTON"
SYS=0.45*Sut
Sus=0.67*Sut
Sew=45000 "sin granallar"
Ses=(0.5*Sew*Sus)/(Sus-(0.5*Sew))
C1=(2*De)/(2*d)
Kb=(4*C1^2-C1-1)/(4*C1*(C1-1))
sigma_a=((Kb*16*De*Fa)/(Pi*d^3))+((4*Fa)/(Pi*d^2))
sigma_m=((Kb*16*De*Fm)/(Pi*d^3))+((4*Fm)/(Pi*d^2))
sigma_min=((Kb*16*De*Fmin)/(Pi*d^3))+ ((4*Fmin)/(Pi*d^2))
Se=Ses/0.67
Nfb=(Se*(Sut-sigma_min))/((Se*(sigma_m-sigma_min)))+(Sut*sigma_a)
R2=(C2*d)/2
C2=5
KW2=((4*C2)-1)/((4*C2)-4)
tau_ba=(KW2*8*Fa*De)/(Pi*(d^3))
tau_bm=(KW2*8*Fm*De)/(Pi*(d^3))
tau_bmin=(KS*8*Fmin*De)/(Pi*(d^3))
Nfs=(Ses*(Sus-tau_bmin))/((Se*(tau_bm-tau_bmin)))+(Sut*tau_ba)
k=(W-Fmin)/(0.787402) "la deflexion de los 2 cm"
Na=((d^4)*G)/(8*(De^3)*k)
Nt=Na+1
Lb=NI*d
Lf=Lb+2*Lgancho
Lgancho=De-d
Ymas=(Fmax-Fi)/k
OD=De+d
"COMPROBACION CICLOS"
tau_ciclos=8*Kw*Fmax*OD/(Pi*d^3)

```

Anexo C. Prueba 3.

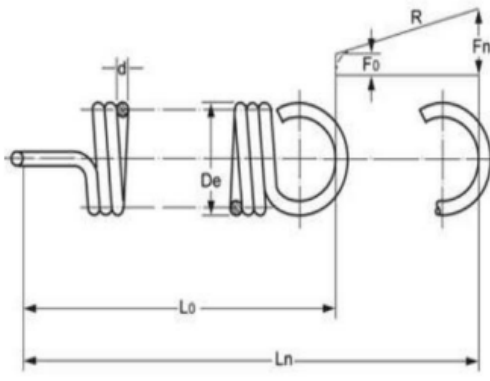
```
"PRUEBA #3 - ACERO 1070"
W=14*2.2 "peso"
G=27.5e6 "Constante Elastica"
Sy_C=61671 "Ver figura 19-8"
Sy_F=125009 "Ver figura 19-24"
d=0.16 [in] "diametro del alambre"
C= 12 "indice de resorte"
De= C*d
tau_min=-4.231*C^3+181.5*C^2-3387*C+28640
tau_max=-2.987*C^3+139.7*C^2-3427*C+38404
tau_medio=(tau_min+tau_max)/2
KS=1+(0.5/C) "FACTOR CORTANTE DIRECTO"
Fi=(Pi*(d^3)*tau_medio)/(8*KS*De) "fuerza de tension inicial"
Fa=(Fmax-Fmin)/(2)
Fm=(Fmax+Fmin)/(2)
Fmax=W
Fmin=0
tau_m=(KS*8*Fm*De)/(Pi*(d^3))
Kw=((4*C)-1)/((4*C)-4)
tau_a=(Kw*8*Fa*De)/(Pi*(d^3))
Sut= 187714 " TABLA 10.5 NORTON"
SYS=0.45*Sut
Sus=0.67*Sut
Sew=45000 "sin granallar"
Ses=(0.5*Sew*Sus)/(Sus-(0.5*Sew))
C1=(2*De)/(2*d)
Kb= (4*C1^2-C1-1)/(4*C1*(C1-1))
sigma_a=((Kb*16*De*Fa)/(Pi*d^3))+((4*Fa)/(Pi*d^2))
sigma_m=((Kb*16*De*Fm)/(Pi*d^3))+((4*Fm)/(Pi*d^2))
sigma_min=((Kb*16*De*Fmin)/(Pi*d^3))+ ((4*Fmin)/(Pi*d^2))
Se=Ses/0.67
Nfb=(Se*(Sut-sigma_min))/((Se*(sigma_m-sigma_min))+(Sut*sigma_a))
R2=(C2*d)/2
C2=5
KW2=((4*C2)-1)/((4*C2)-4)
tau_ba=(KW2*8*Fa*De)/(Pi*(d^3))
tau_bm=(KW2*8*Fm*De)/(Pi*(d^3))
tau_bmin=(KS*8*Fmin*De)/(Pi*(d^3))
Nfs=(Ses*(Sus-tau_bmin))/((Se*(tau_bm-tau_bmin))+(Sut*tau_ba))
k=(W-Fmin)/(0.787402) "la deflexion de los 2 cm"
Na=((d^4)*G)/(8*(De^3)*k)
Nt=Na+1
Lb=Nt*d
Lf=Lb+2*Lgancho
Lgancho=De-d
Ymas=(Fmax-Fi)/k
OD=De+d
"COMPROBACION CICLOS"
tau ciclos=8*Kw*Fmax*OD/(Pi*d^3)
```

Anexo D. Diagrama de flujo.




Anexo E. Ficha grafica.

RESORTE HELICOIDAL DE TENSION



Tipo de acero	
Número total de espiras	
Precarga	[Kg]
Deformación	[Cm]
Diámetro externo[De]	[In]
Diámetro de alambre[d]	[In]
Longitud libre [Lf]	[In]
Factor NFS	[In]
Factor NFB	[In]
Número de ciclos	
LB	[In]
LN	[In]

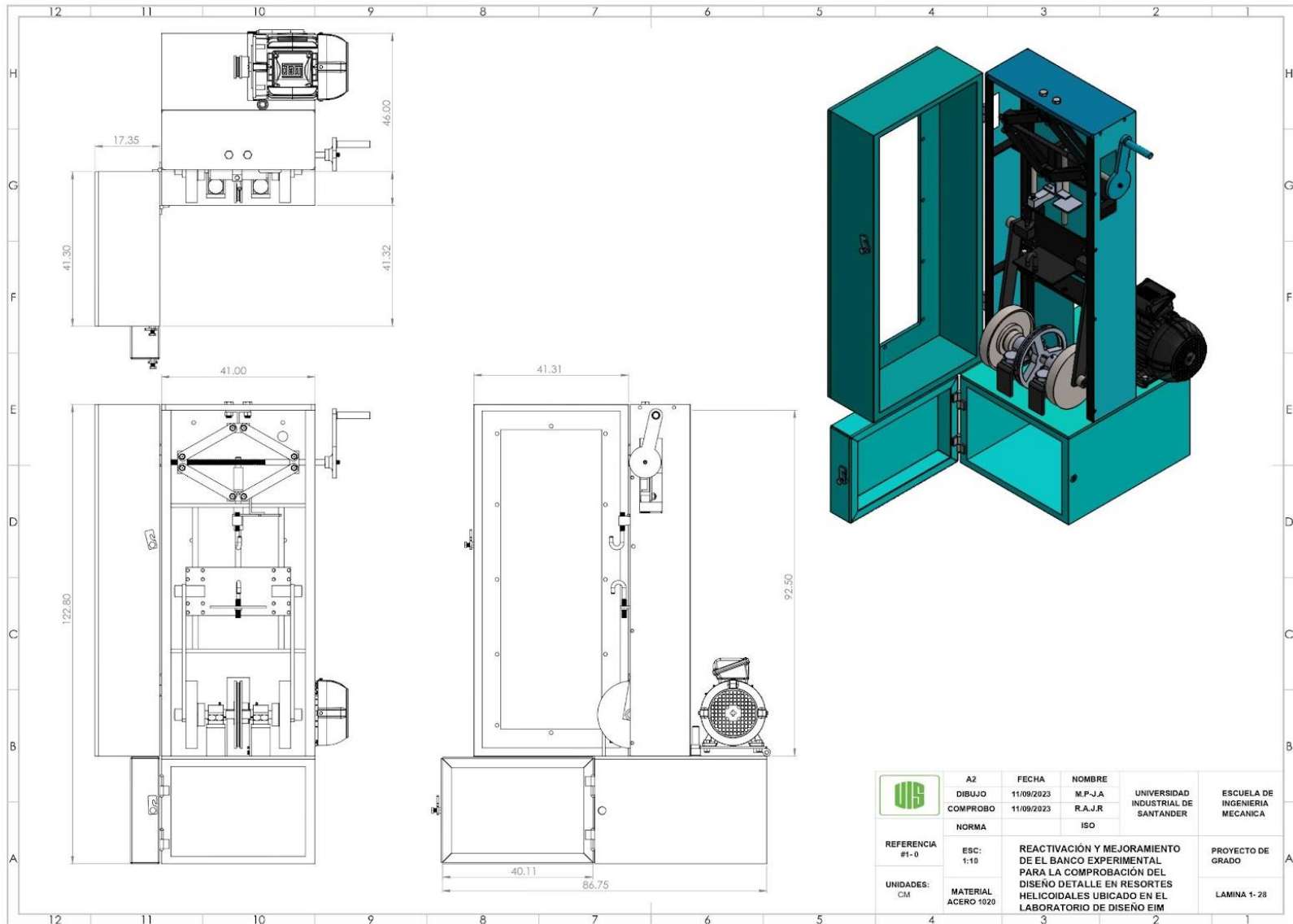
Propiedades del acero	Unidades [Psi]
Sus	
Sut	
Sys	
Sew	
Ses	

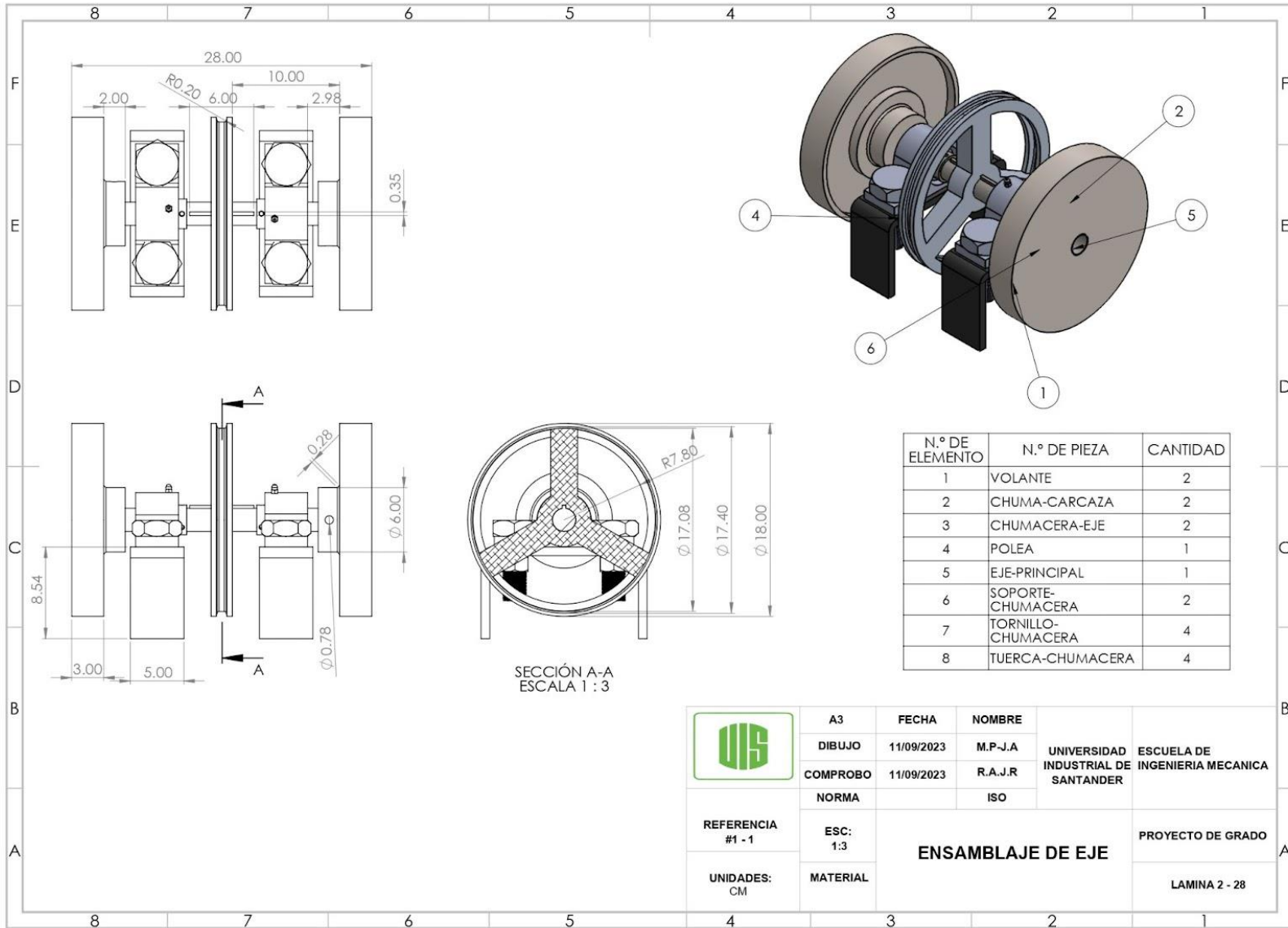
	ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA	Resorte helicoidal de tensión	Diseño de máquinas II	
	Escala 1:2 Medidas:	Diseñador:	Reviso:	Fecha:

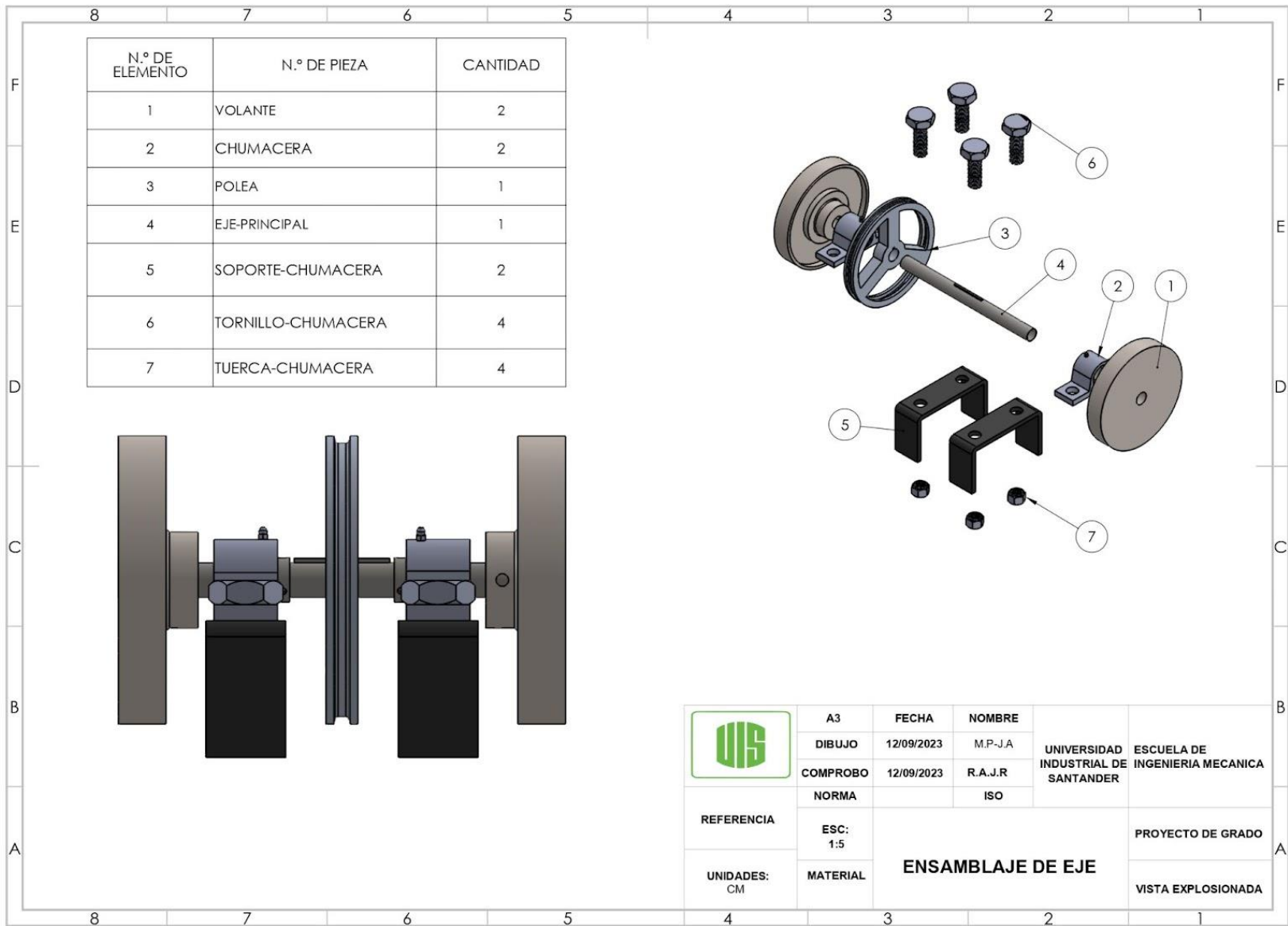
Anexo F. Tabla de prueba

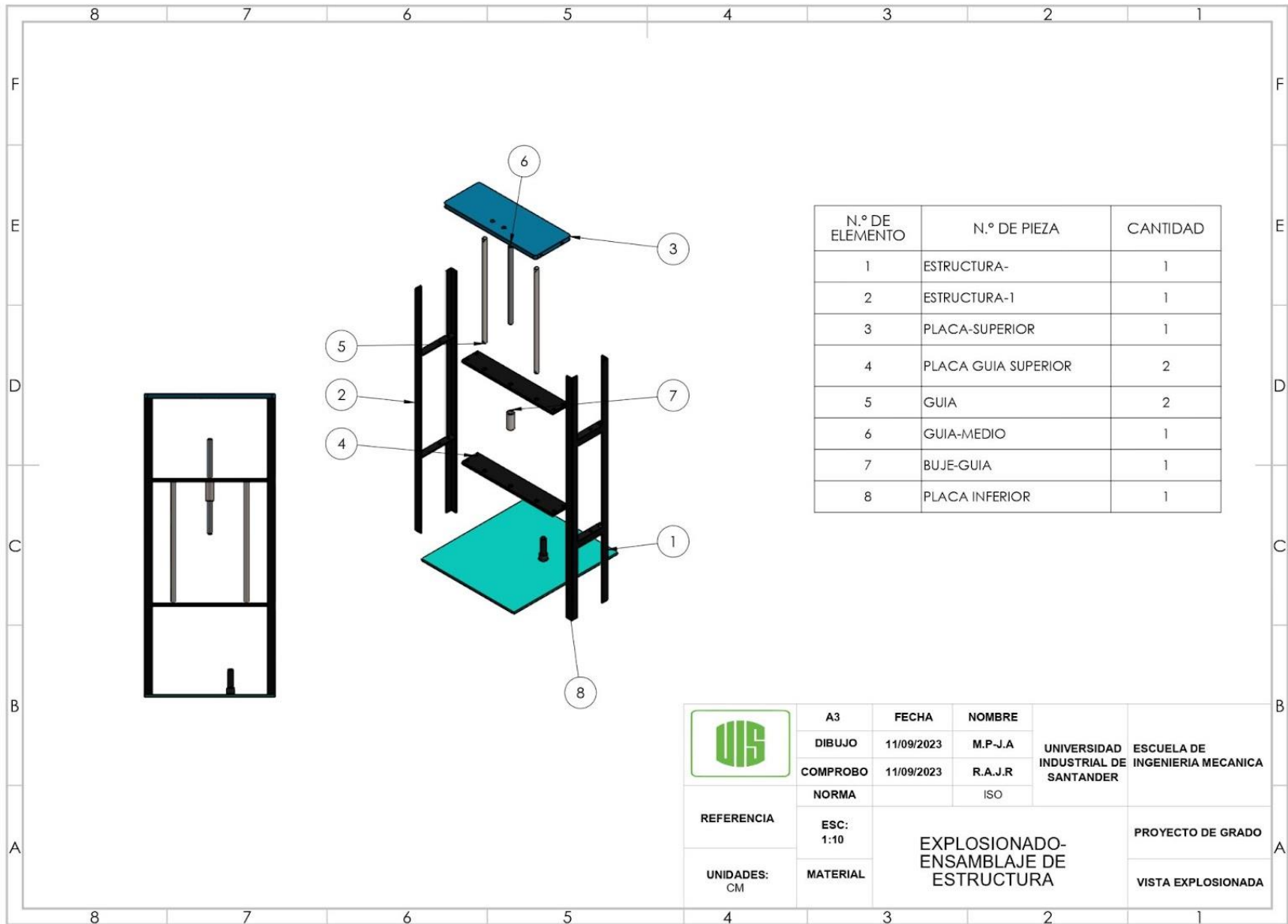
 		FICHA PRACTICA DE LABORATORIO			 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
COMPROBACIÓN DEL DISEÑO DETALLE EN RESORTES HELICOIDALES						
NOMBRE		CODIGO	GRUPO	FECHA	FIRMA	
OBJETIVO		Verificar minuciosamente el procedimiento de diseño de resortes helicoidales en tensión.				
DESARROLLO						
PRUEBA ESTÁTICA						
REQUERIMIENTOS DE DISEÑO			RESULTADOS DE PRUEBA ESTÁTICA			
PRECARGA	[Kg]		PRECARGA	[Kg]		
ELONGACIÓN	[Cm]		ELONGACIÓN	[Cm]		
MATERIAL			MATERIAL			
LONGITUD INICIAL	[Cm]		LONGITUD INICIAL	[Cm]		
LONGITUD FINAL	[Cm]		LONGITUD FINAL	[Cm]		
PRUEBA DINÁMICA						
REQUERIMIENTOS DE DISEÑO			RESULTADOS DE PRUEBA DINÁMICA			
TIEMPO APROXIMADO	[H]		VIDA UTIL (CICLOS)	#		
REVOLUCIONES POLEA	[Rpm]		TIEMPO DE LA PRUEBA	[H]		
FRECUENCIA	[Hz]		REVOLUCIONES POLEA	[Rpm]		
VIDA UTIL	[Ciclos]		REVOLUCIONES MOTOR	[Rpm]		
LONGITUD INICIAL DEL RESORTE	[Cm]		LONGITUD FINAL DEL RESORTE	[Cm]		
			DEFORMACIÓN DEL RESORTE (LF-LO)	[Cm]		
OBSERVACIONES						
CONCLUSIONES						

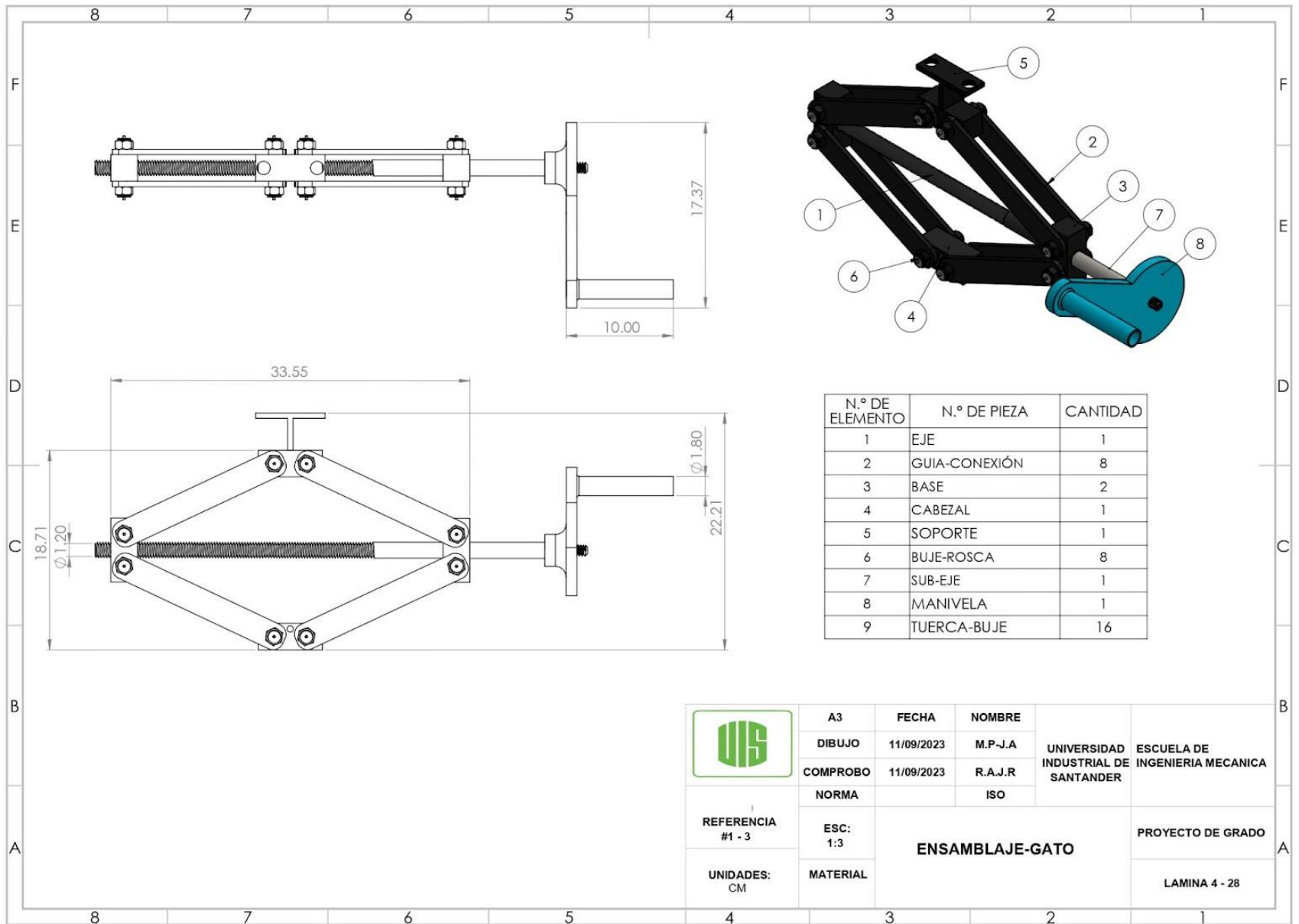
Anexo G. Planos máquina.



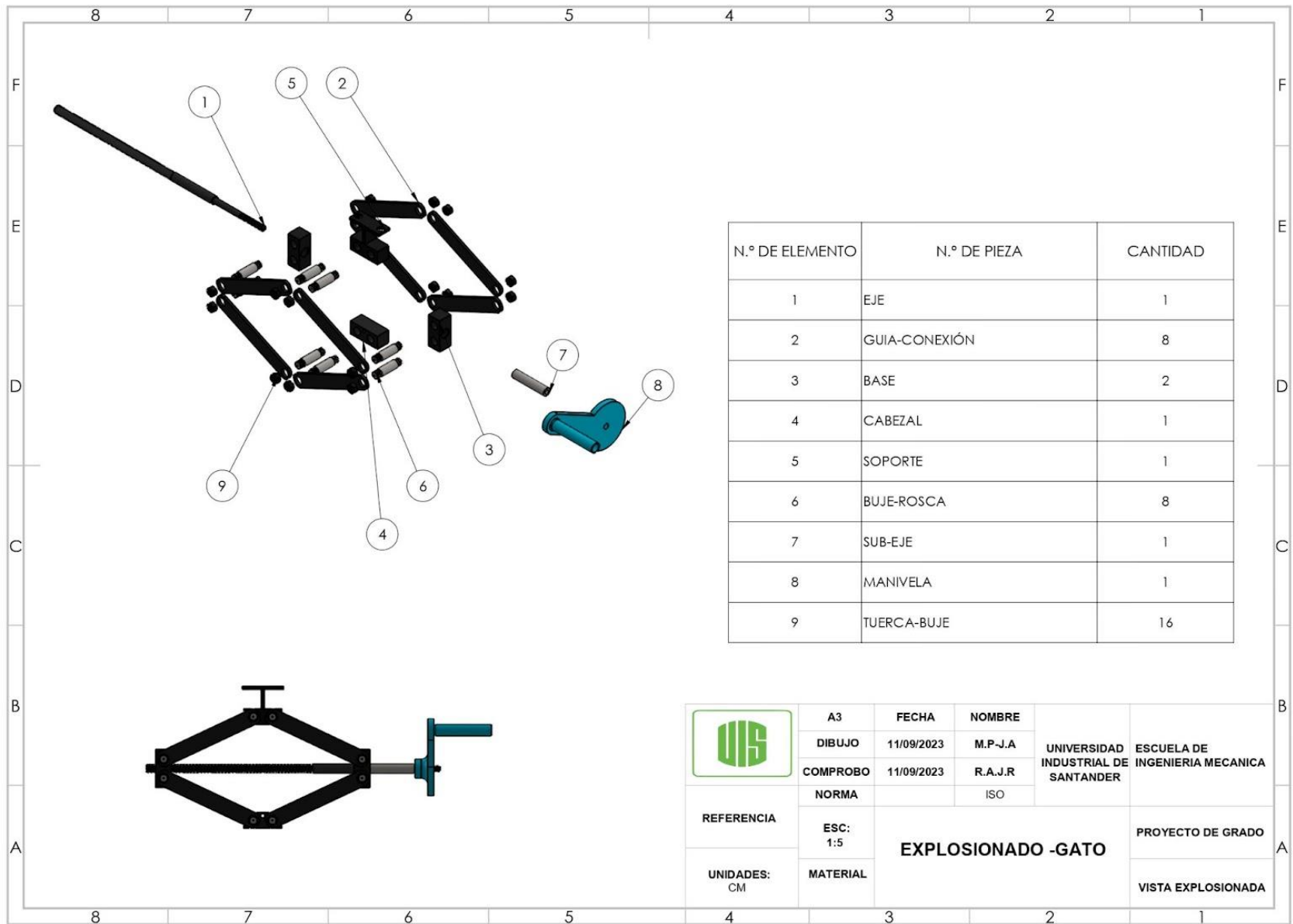




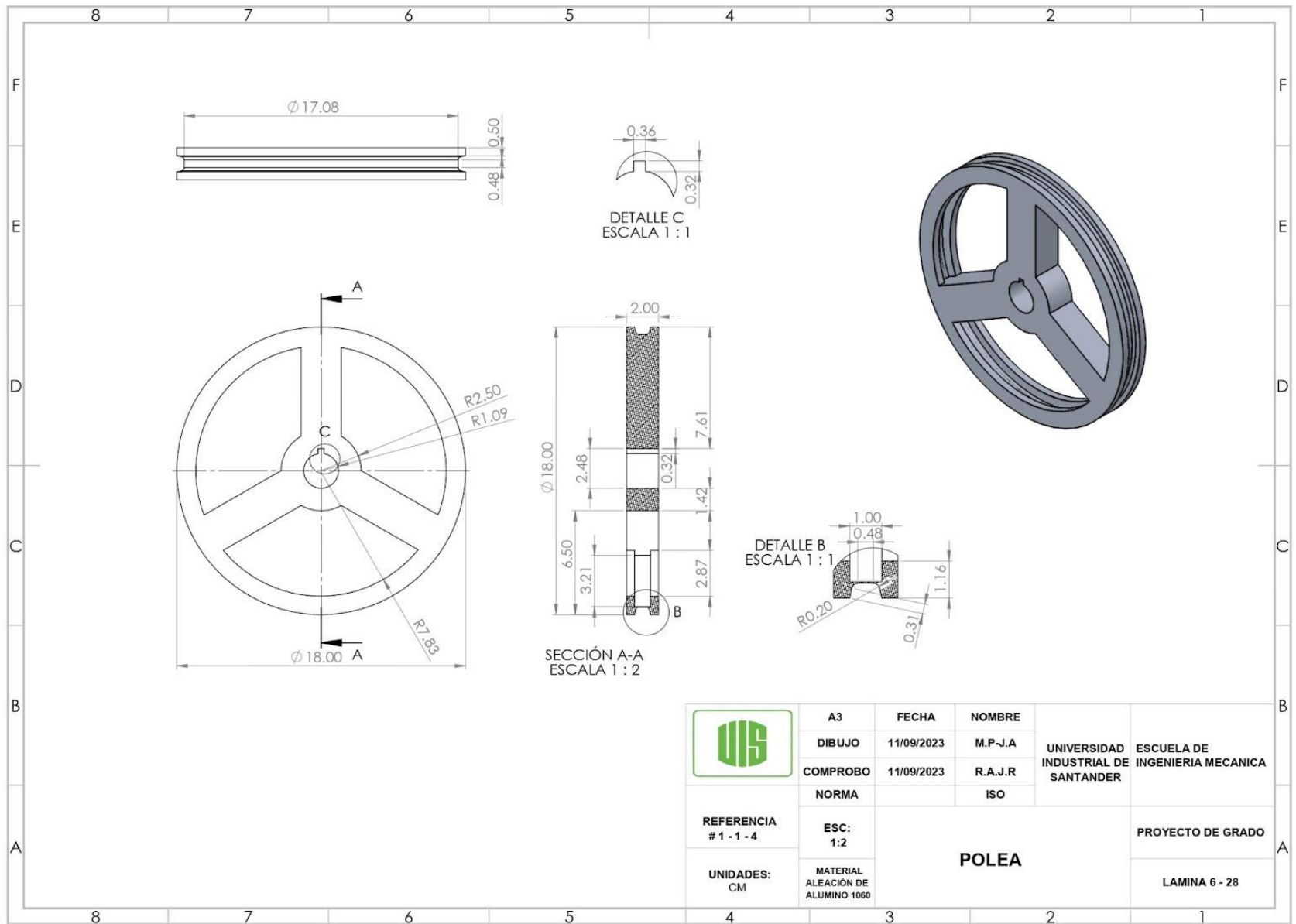


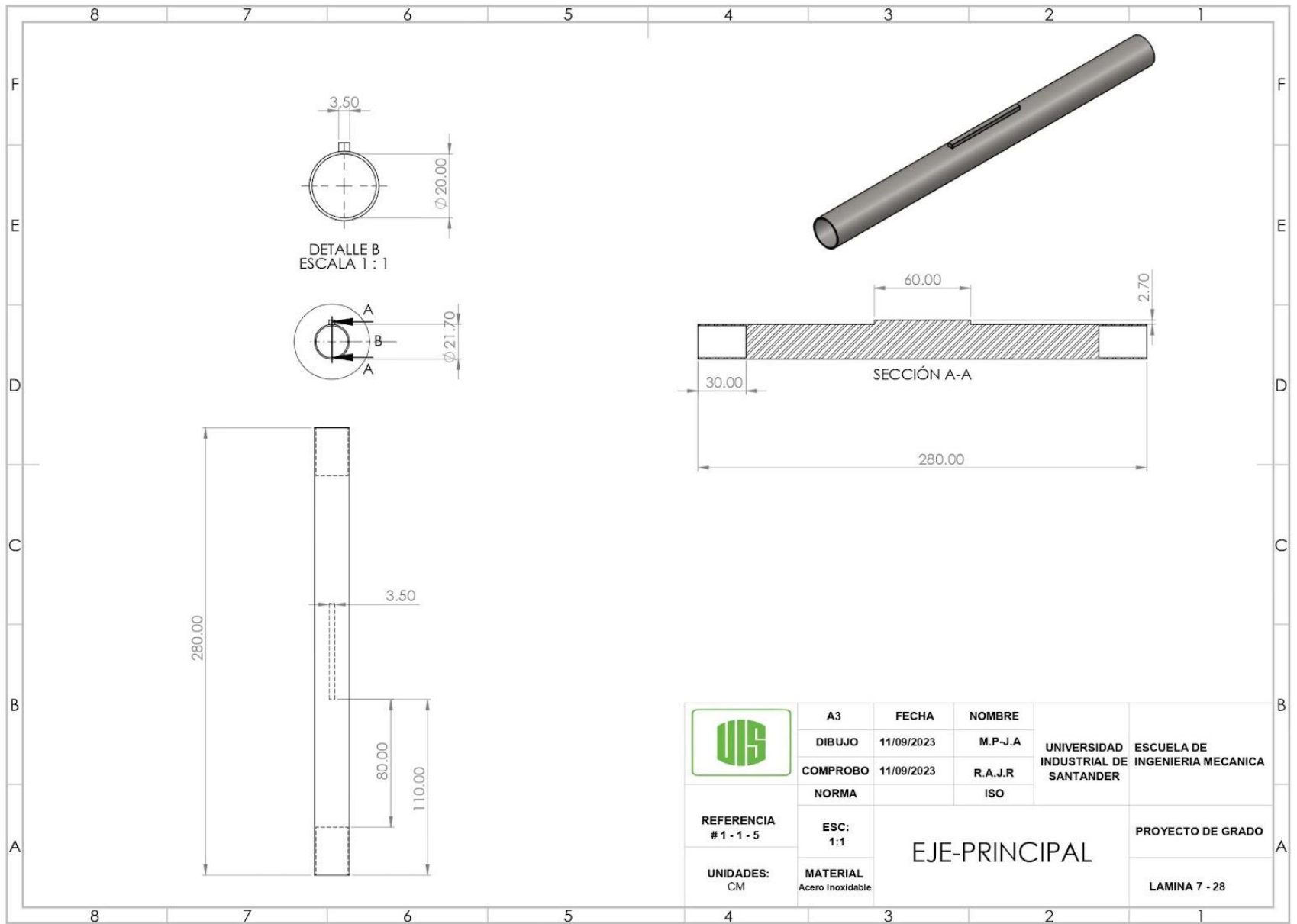


	A3	FECHA	NOMBRE	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
	DIBUJO	11/09/2023	M.P.-J.A		
	COMPROBO	11/09/2023	R.A.J.R		
	NORMA		ISO		
REFERENCIA #1 - 3	ESC: 1:3	ENSAMBLAJE-GATO			PROYECTO DE GRADO
UNIDADES: CM	MATERIAL				LAMINA 4 - 28

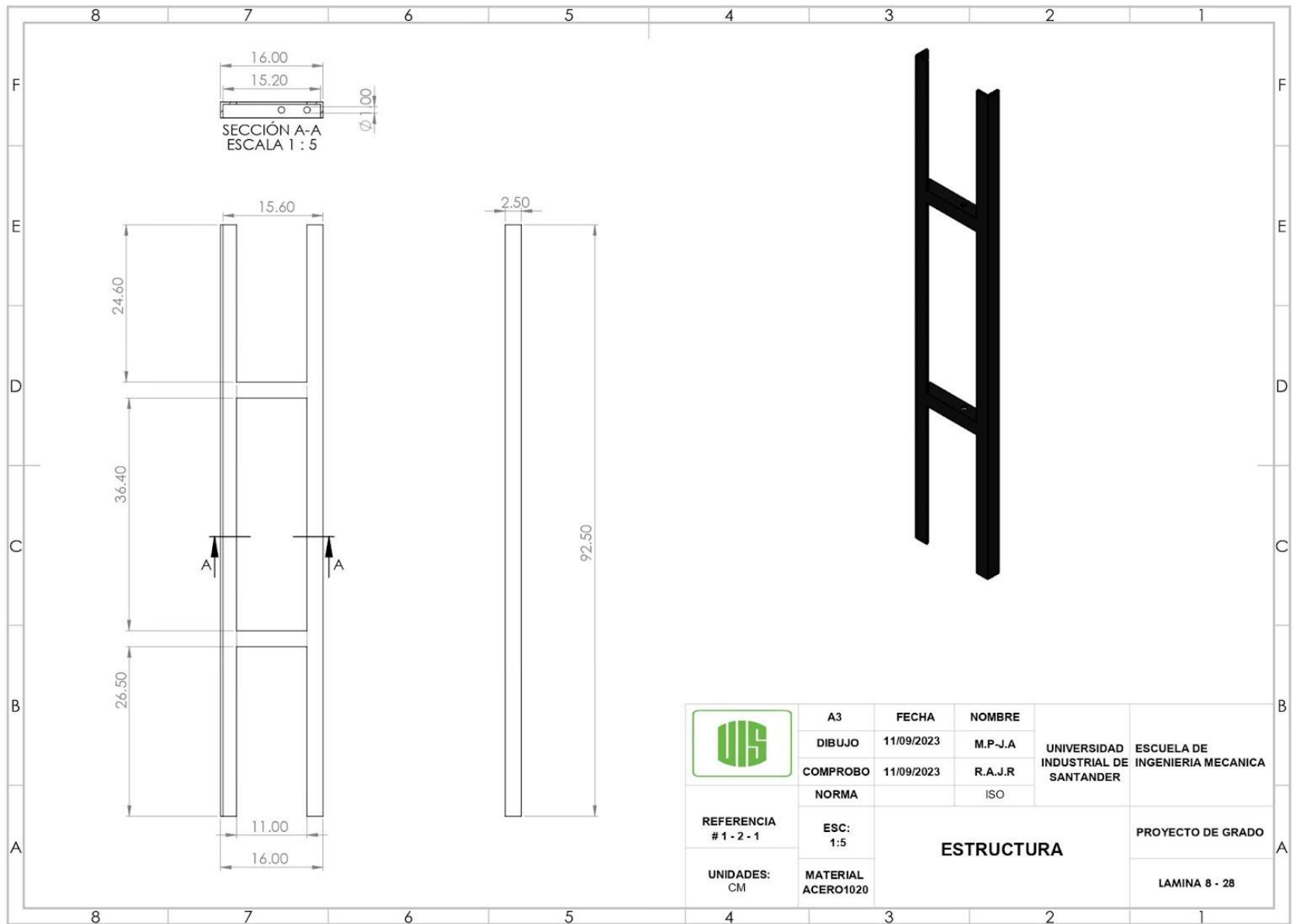


	A3	FECHA	NOMBRE	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
	DIBUJO	11/09/2023	M.P-J.A		
REFERENCIA	COMPROBO	11/09/2023	R.A.J.R	EXPLOSIONADO -GATO PROYECTO DE GRADO	
	NORMA		ISO		
UNIDADES: CM	ESC: 1:5	EXPLOSIONADO -GATO VISTA EXPLOSIONADA			
	MATERIAL				

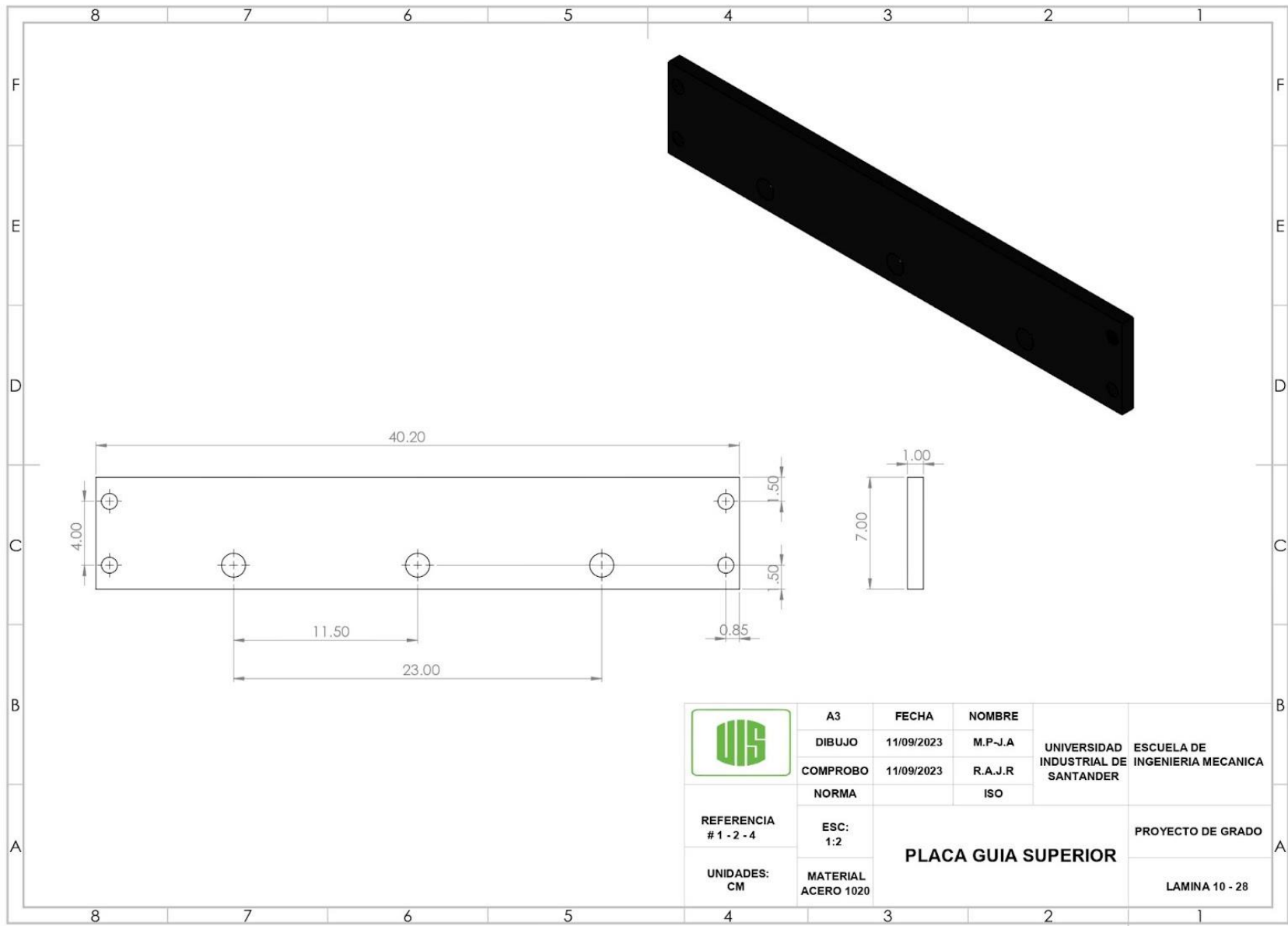




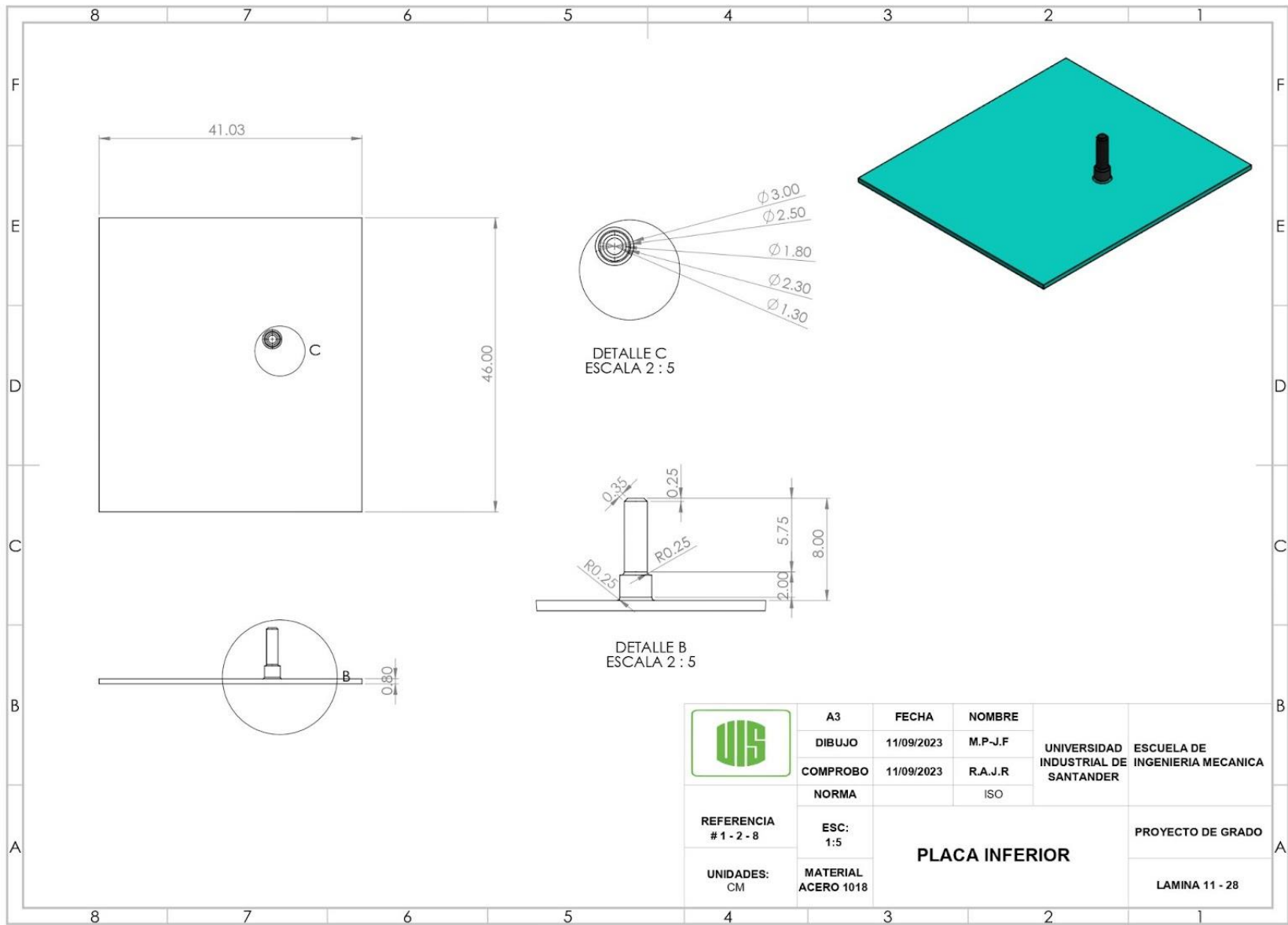
	A3	FECHA	NOMBRE	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
	DIBUJO	11/09/2023	M.P.-J.A		
	COMPROBO	11/09/2023	R.A.J.R		
	NORMA		ISO		
REFERENCIA # 1 - 1 - 5	ESC: 1:1	EJE-PRINCIPAL			PROYECTO DE GRADO
UNIDADES: CM	MATERIAL Acero Inoxidable				LAMINA 7 - 28



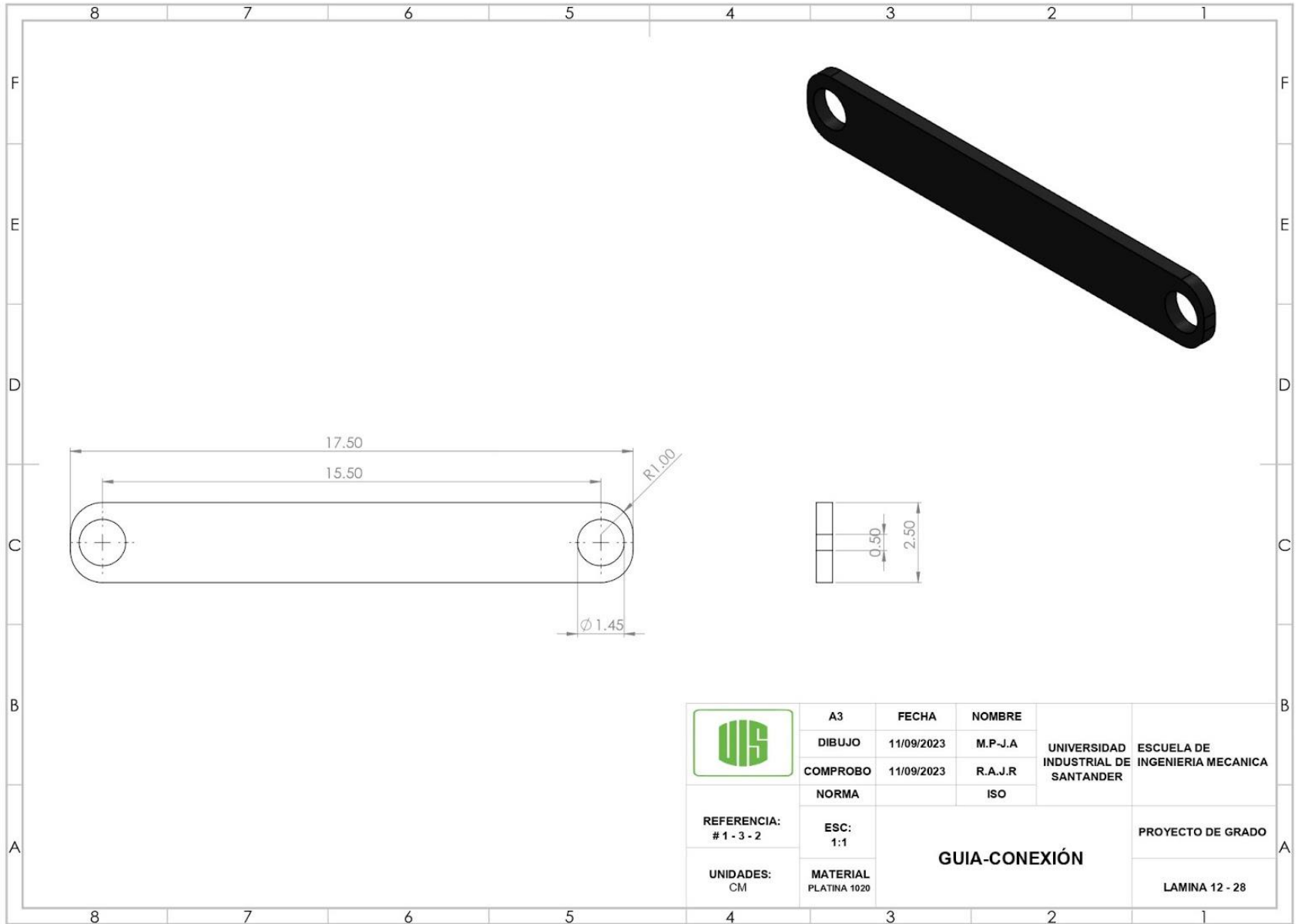
	A3	FECHA	NOMBRE	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
	DIBUJO	11/09/2023	M.P.J.A		
	COMPROBO	11/09/2023	R.A.J.R		
	NORMA		ISO		
REFERENCIA # 1 - 2 - 1	ESC: 1:5	ESTRUCTURA			PROYECTO DE GRADO
UNIDADES: CM	MATERIAL ACERO1020				LAMINA 8 - 28



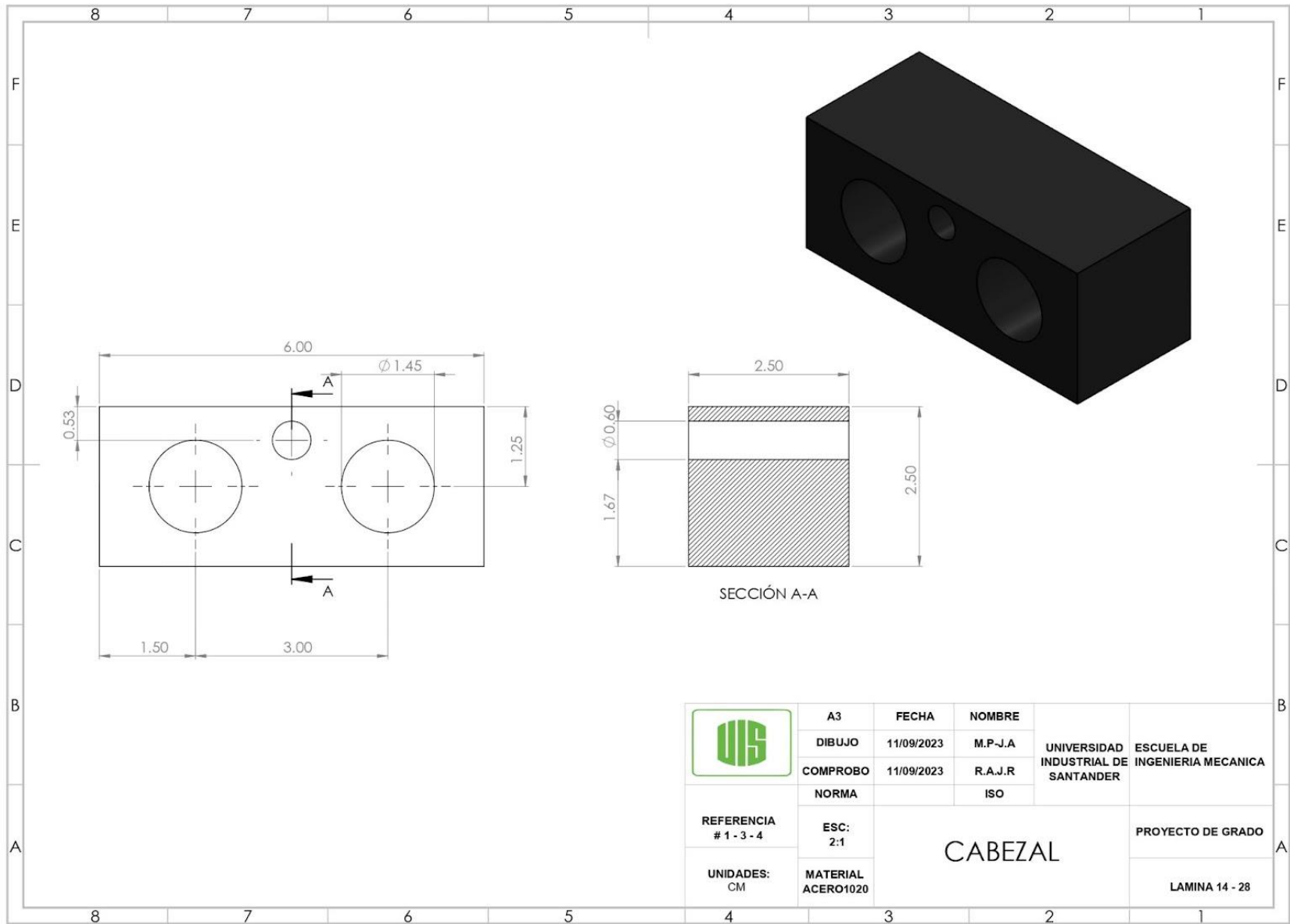
	A3	FECHA	NOMBRE	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
	DIBUJO	11/09/2023	M.P.-J.A		
	COMPROBO	11/09/2023	R.A.J.R		
	NORMA		ISO		
REFERENCIA # 1 - 2 - 4	ESC: 1:2	PLACA GUIA SUPERIOR			PROYECTO DE GRADO
UNIDADES: CM	MATERIAL ACERO 1020				LAMINA 10 - 28

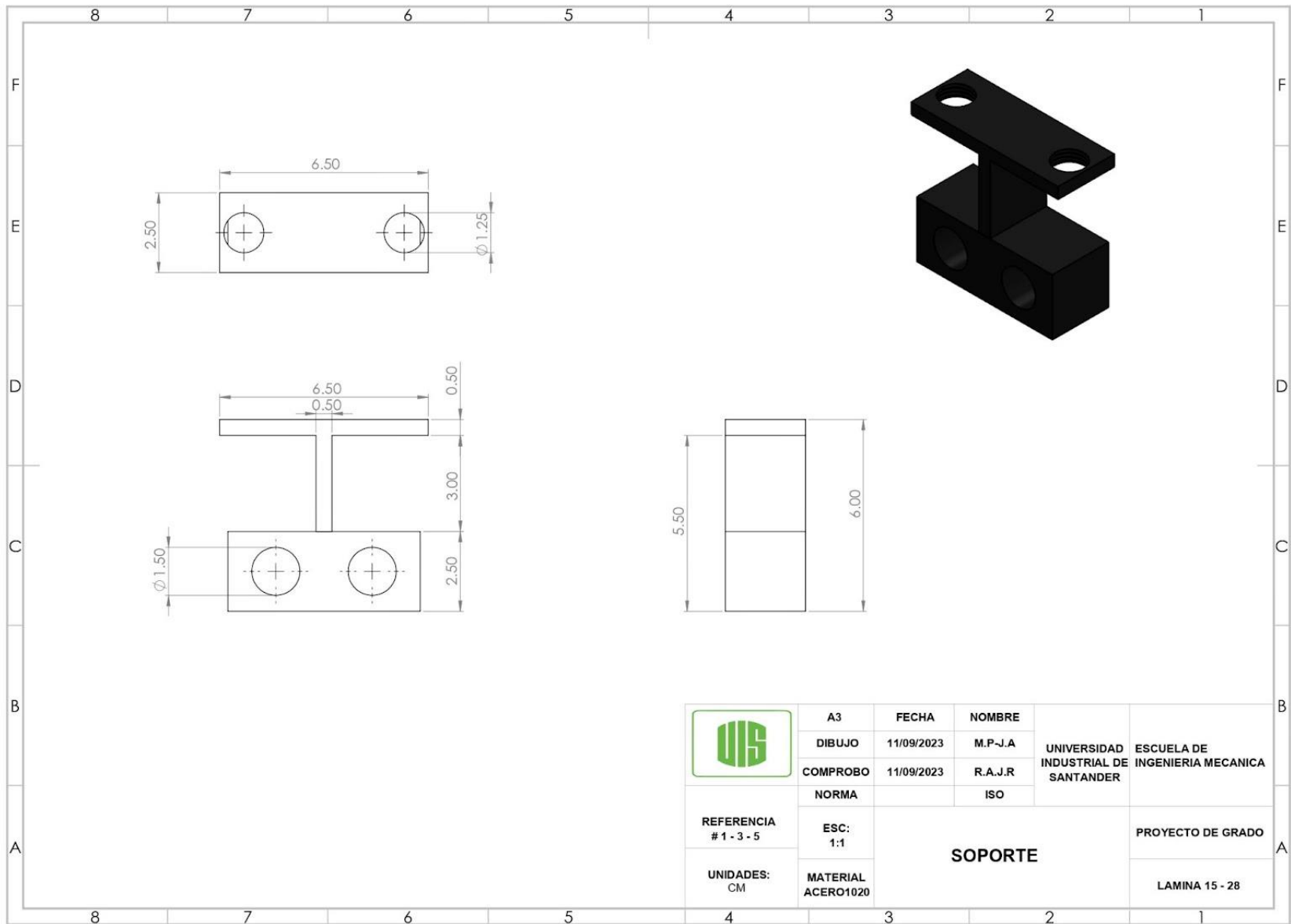


	A3	FECHA	NOMBRE	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
	DIBUJO	11/09/2023	M.P.-J.F		
	COMPROBO	11/09/2023	R.A.J.R		
	NORMA		ISO		
REFERENCIA # 1 - 2 - 8	ESC: 1:5	PLACA INFERIOR			PROYECTO DE GRADO
UNIDADES: CM	MATERIAL ACERO 1018				LAMINA 11 - 28

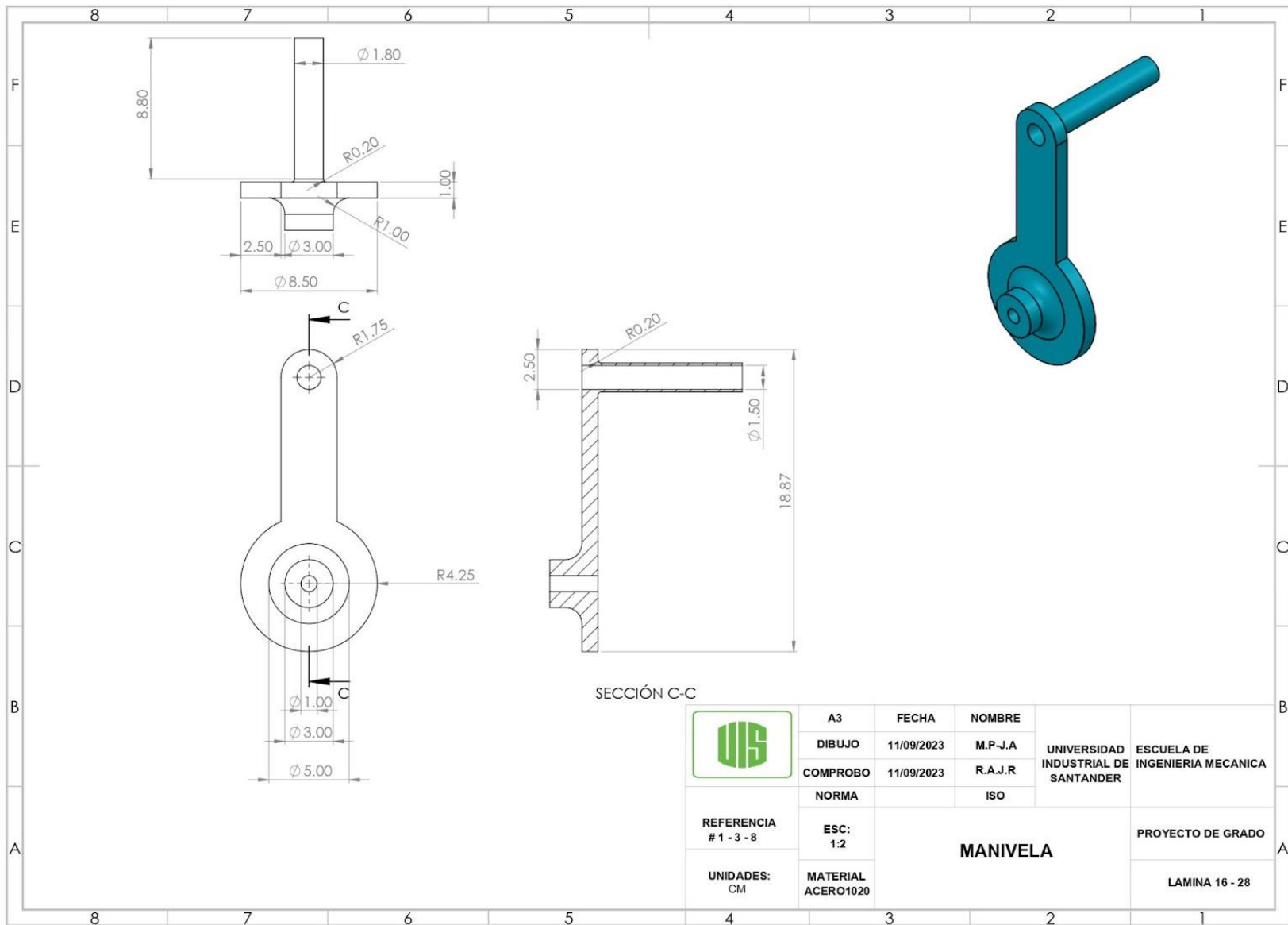


	A3	FECHA	NOMBRE	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
	DIBUJO	11/09/2023	M.P-J.A		
	COMPROBO	11/09/2023	R.A.J.R		
	NORMA		ISO		
REFERENCIA: # 1 - 3 - 2	ESC: 1:1	GUIA-CONEXIÓN			PROYECTO DE GRADO
UNIDADES: CM	MATERIAL PLATINA 1020				LAMINA 12 - 28

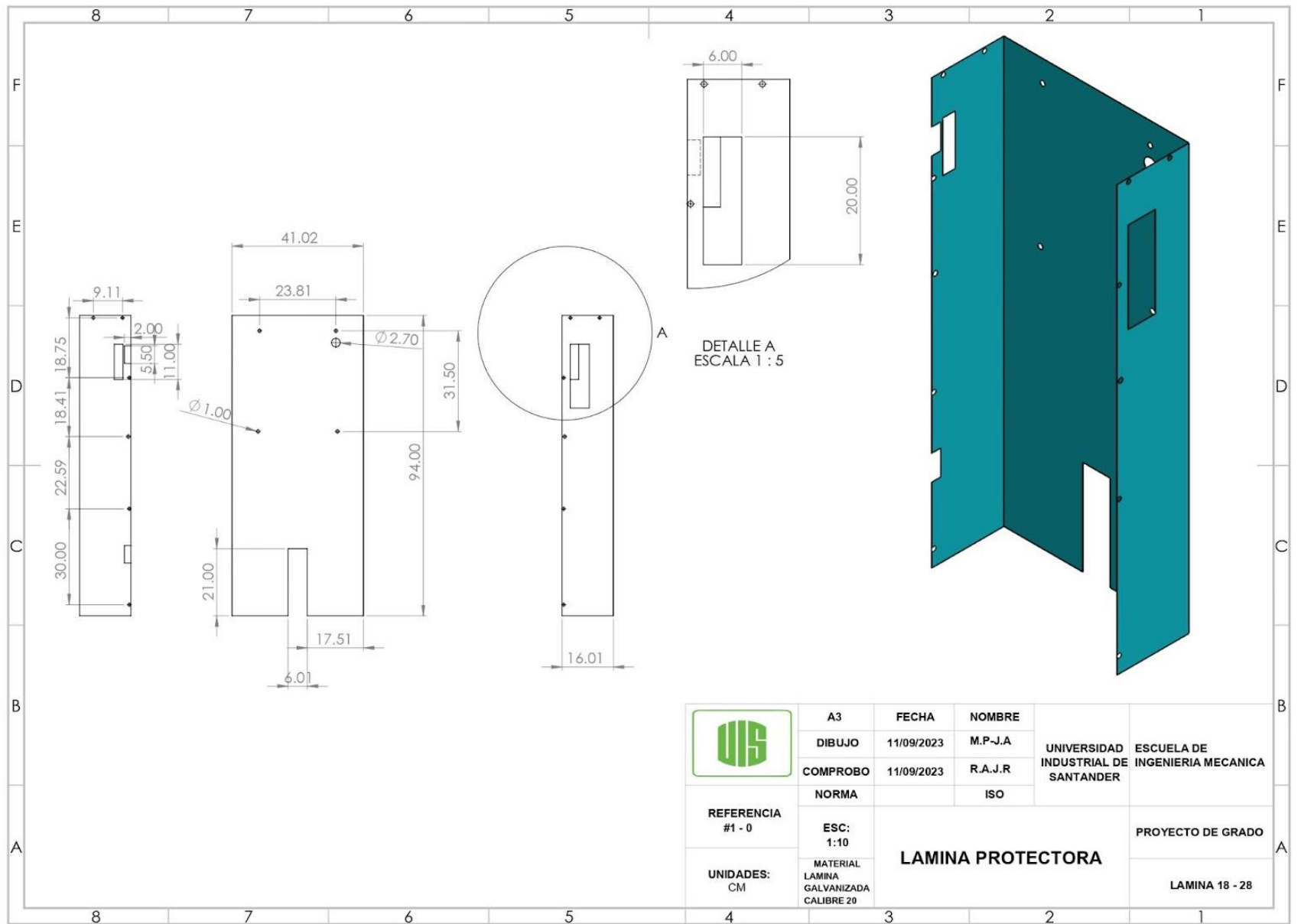




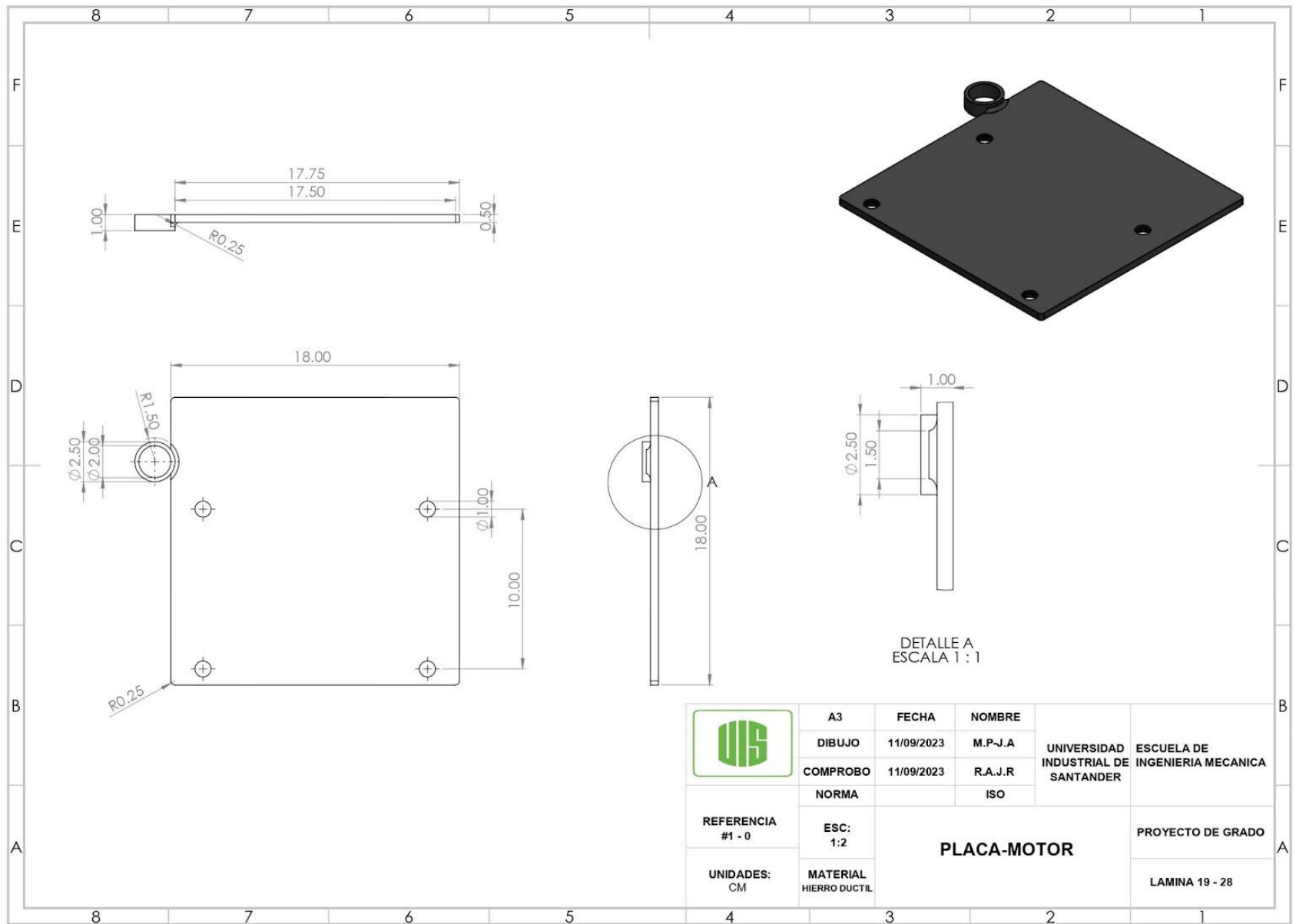
	A3	FECHA	NOMBRE	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
	DIBUJO	11/09/2023	M.P.-J.A		
	COMPROBO	11/09/2023	R.A.J.R		
	NORMA		ISO		
REFERENCIA # 1 - 3 - 5	ESC: 1:1	SOPORTE			PROYECTO DE GRADO
UNIDADES: CM	MATERIAL ACERO1020				LAMINA 15 - 28



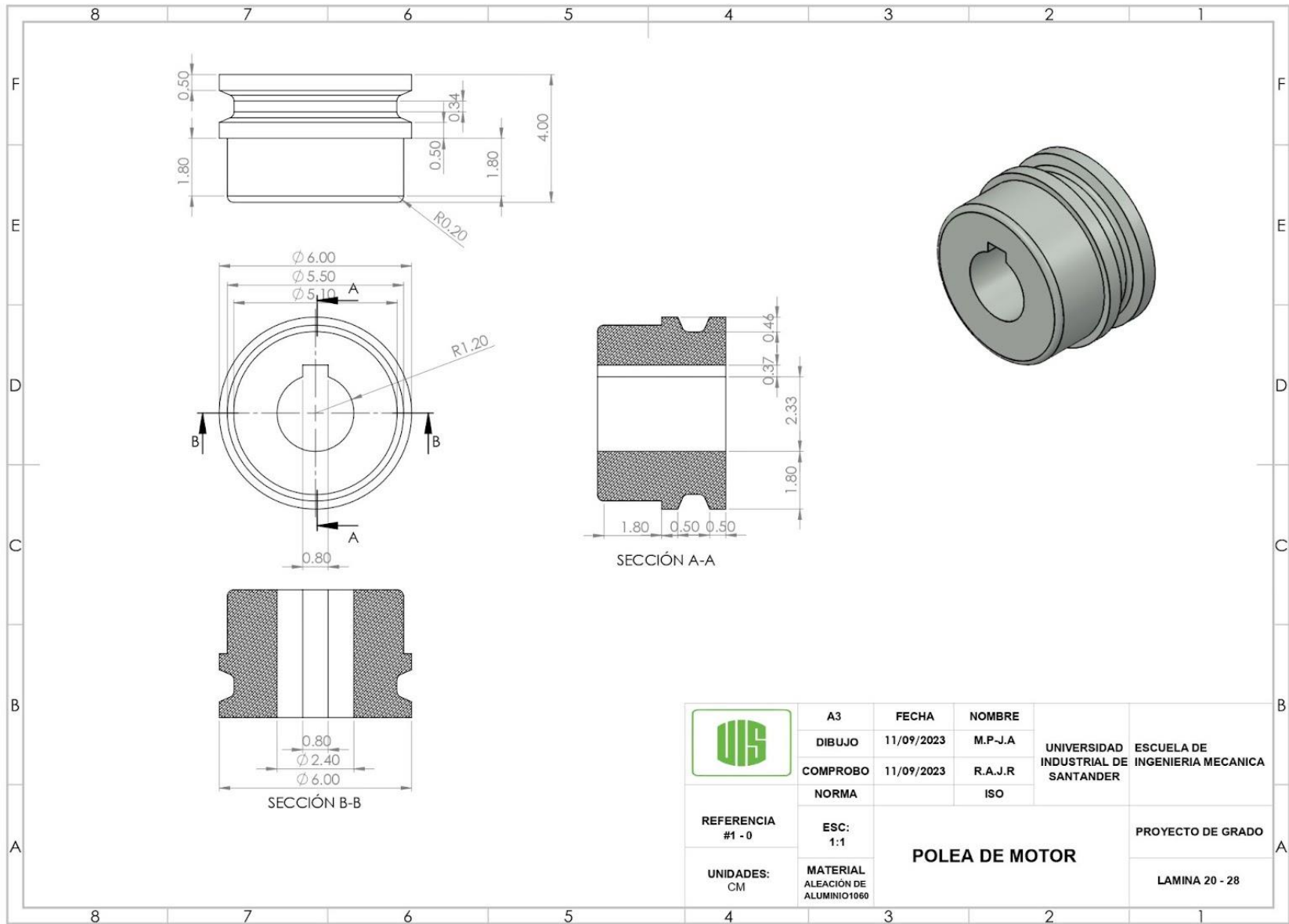
	A3	FECHA	NOMBRE	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
	DIBUJO	11/09/2023	M.P.-J.A		
	COMPROBO	11/09/2023	R.A.J.R		
	NORMA		ISO		
REFERENCIA # 1 - 3 - 8	ESC: 1:2	MANIVELA		PROYECTO DE GRADO	
UNIDADES: CM	MATERIAL ACERO1020			LAMINA 16 - 28	



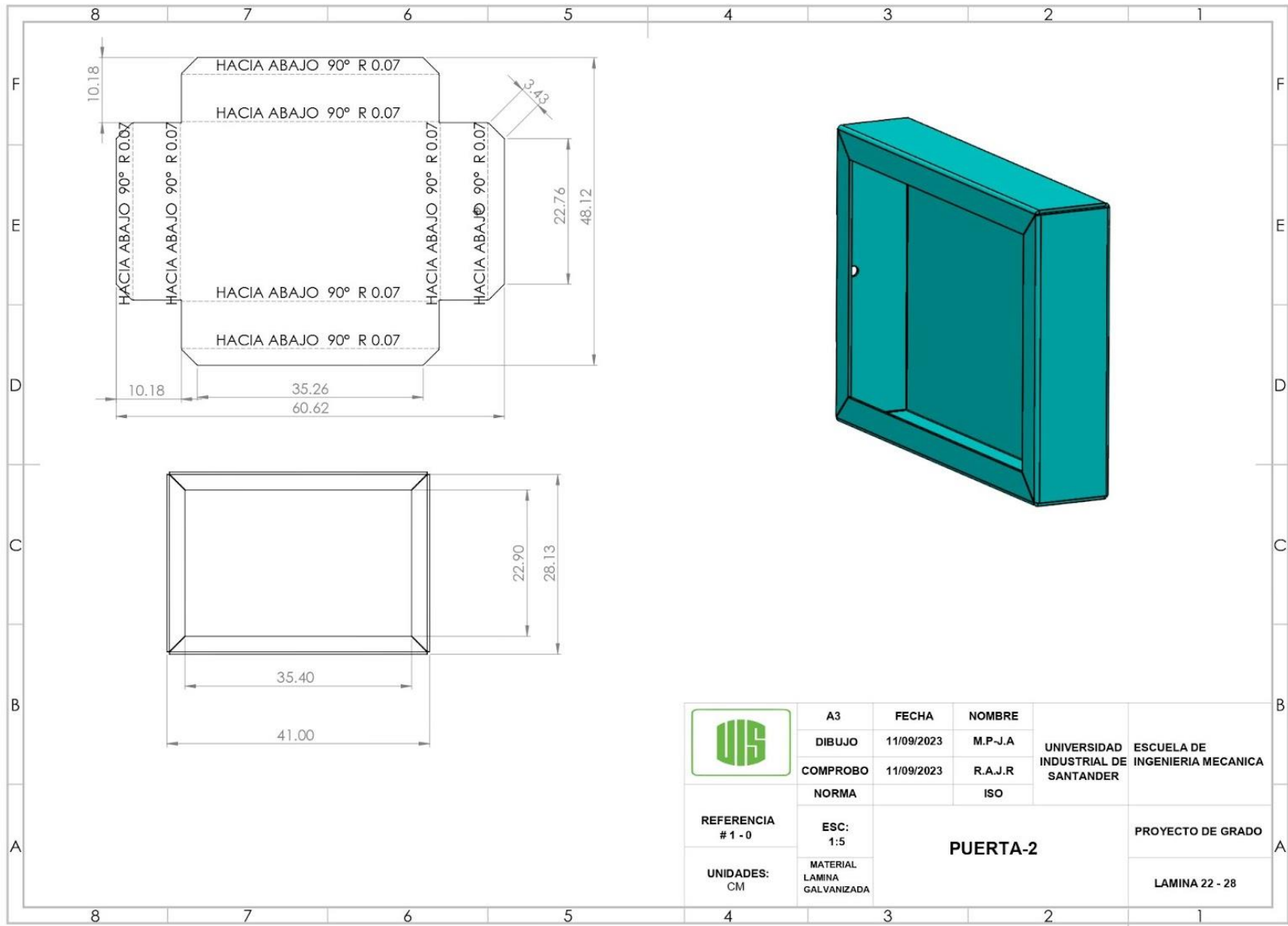
	A3	FECHA	NOMBRE	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
	DIBUJO	11/09/2023	M.P.-J.A		
	COMPROBO	11/09/2023	R.A.J.R	ISO	PROYECTO DE GRADO
	NORMA				
REFERENCIA #1 - 0	ESC: 1:10	LAMINA PROTECTORA			LAMINA 18 - 28
UNIDADES: CM	MATERIAL LAMINA GALVANIZADA CALIBRE 20				

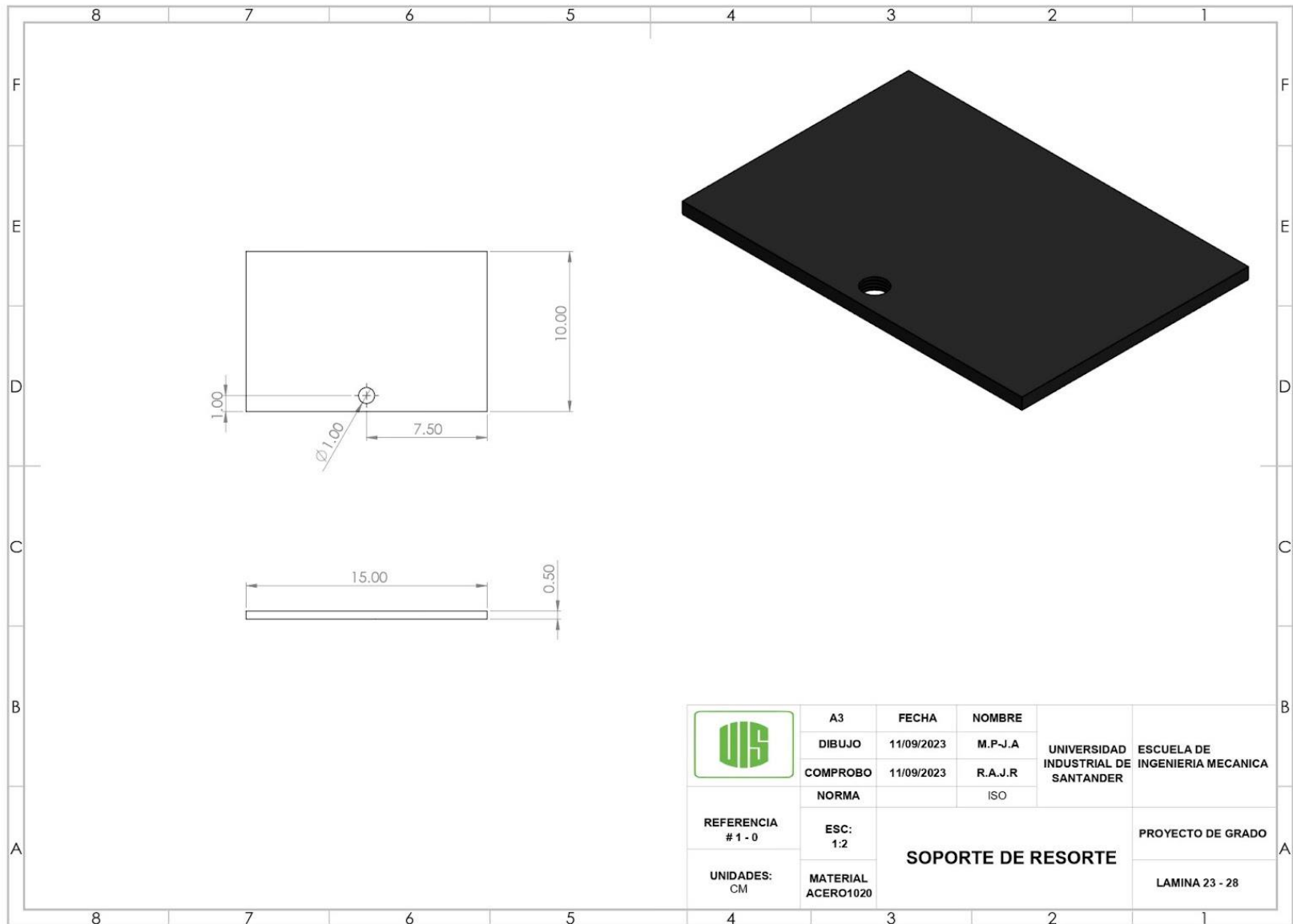


	A3	FECHA	NOMBRE	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
	DIBUJO	11/09/2023	M.P-J.A		
	COMPROBO	11/09/2023	R.A.J.R		
	NORMA		ISO		
REFERENCIA #1 - 0	ESC: 1:2	PLACA-MOTOR		PROYECTO DE GRADO	
UNIDADES: CM	MATERIAL HIERRO DUCTIL			LAMINA 19 - 28	

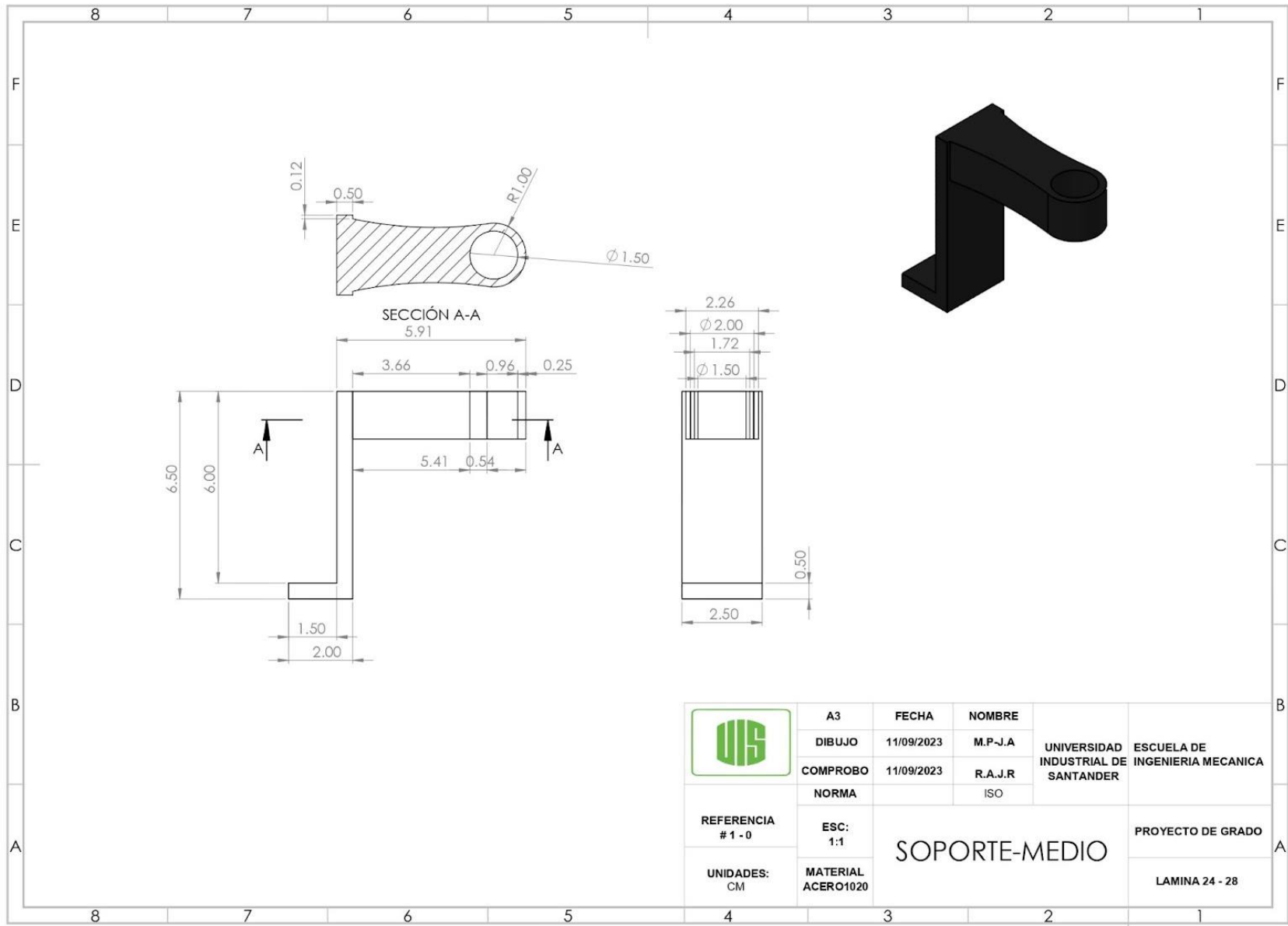


	A3	FECHA	NOMBRE	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
	DIBUJO	11/09/2023	M.P-J.A		
	COMPROBO	11/09/2023	R.A.J.R		
	NORMA		ISO		
REFERENCIA #1 - 0	ESC: 1:1	POLEA DE MOTOR			PROYECTO DE GRADO
UNIDADES: CM	MATERIAL ALEACION DE ALUMINIO1060				LAMINA 20 - 28

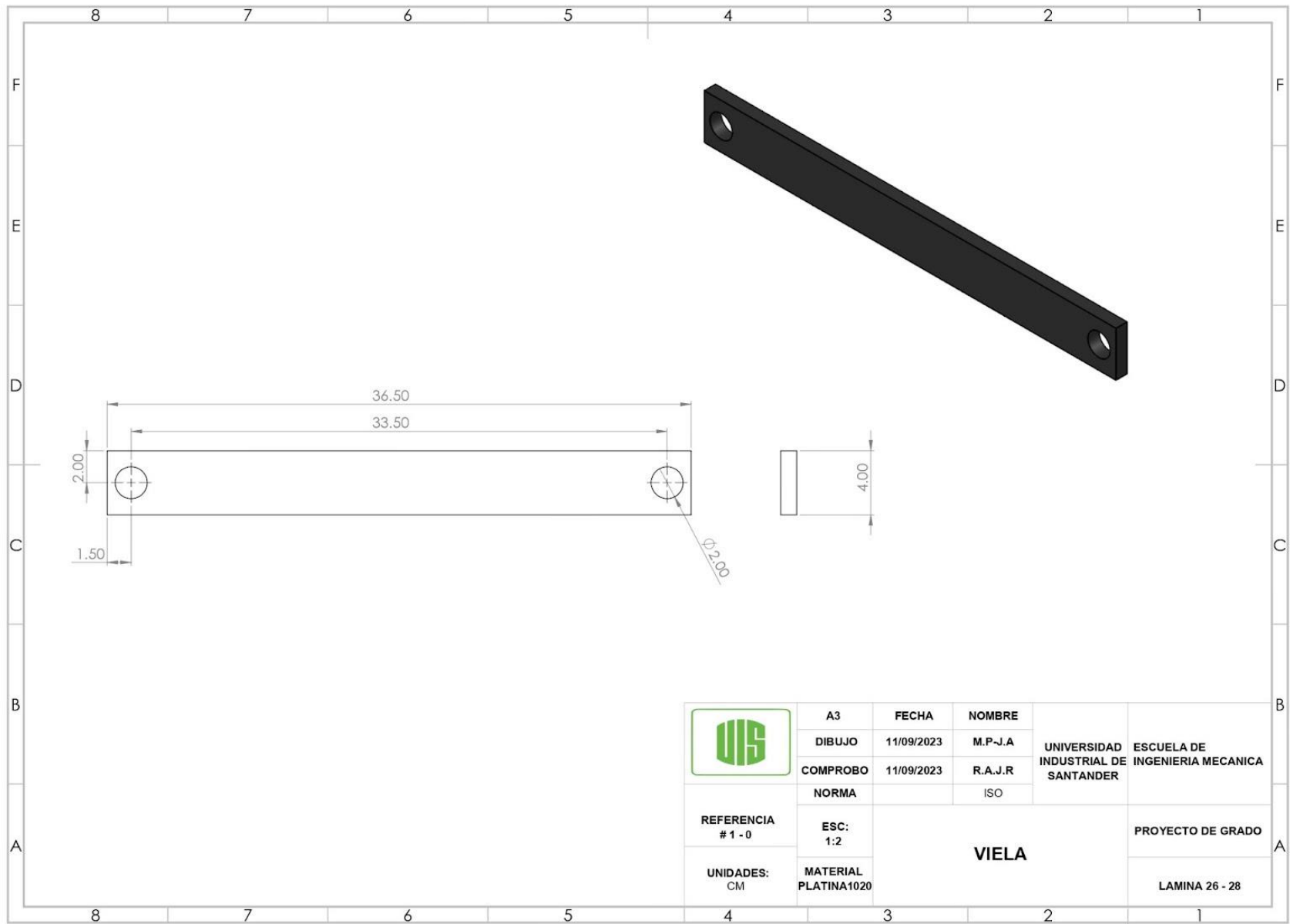




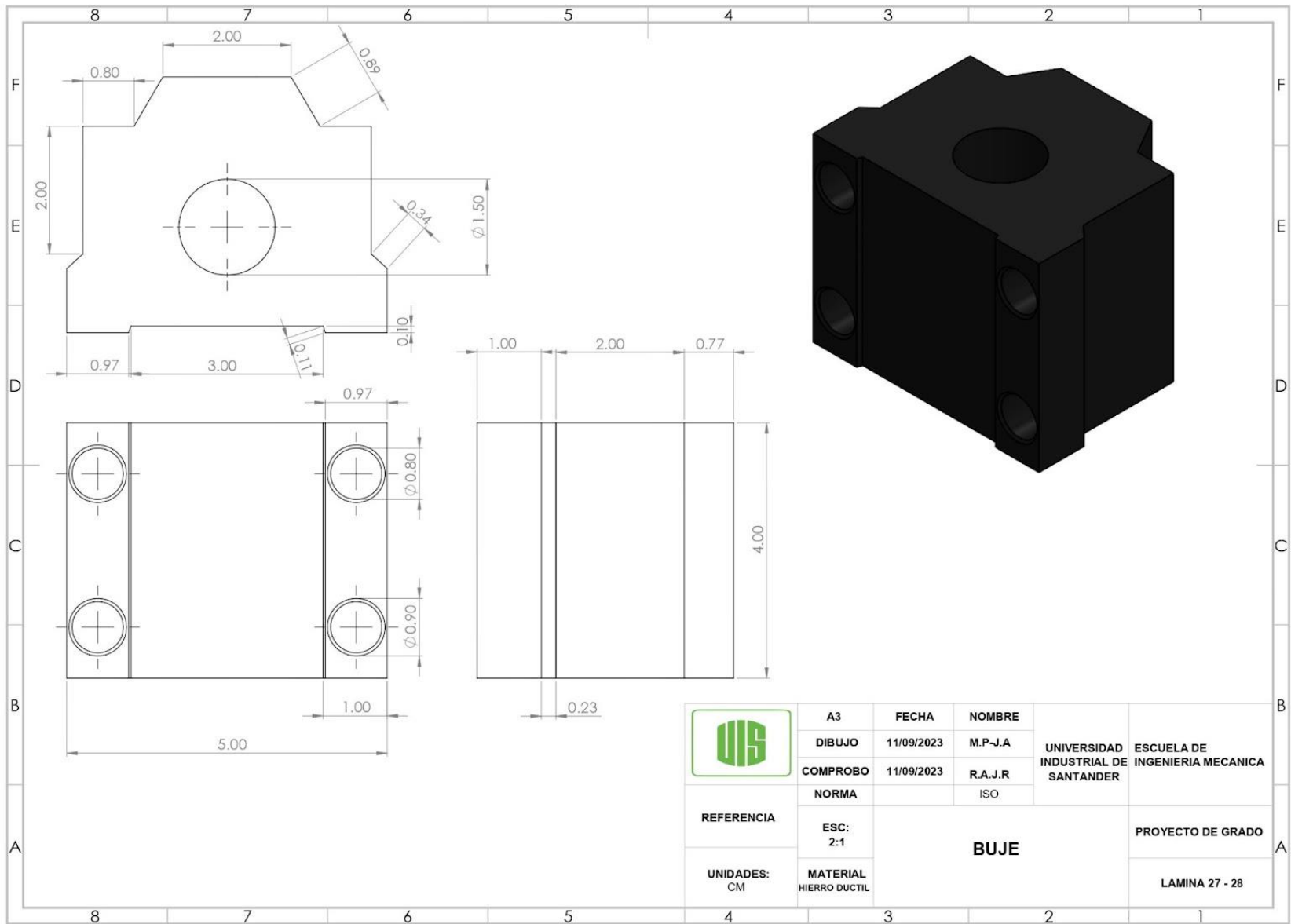
	A3	FECHA	NOMBRE	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
	DIBUJO	11/09/2023	M.P.-J.A		
	COMPROBO	11/09/2023	R.A.J.R		
	NORMA		ISO		
REFERENCIA # 1 - 0	ESC: 1:2	SOPORTE DE RESORTE			PROYECTO DE GRADO
UNIDADES: CM	MATERIAL ACERO1020				LAMINA 23 - 28



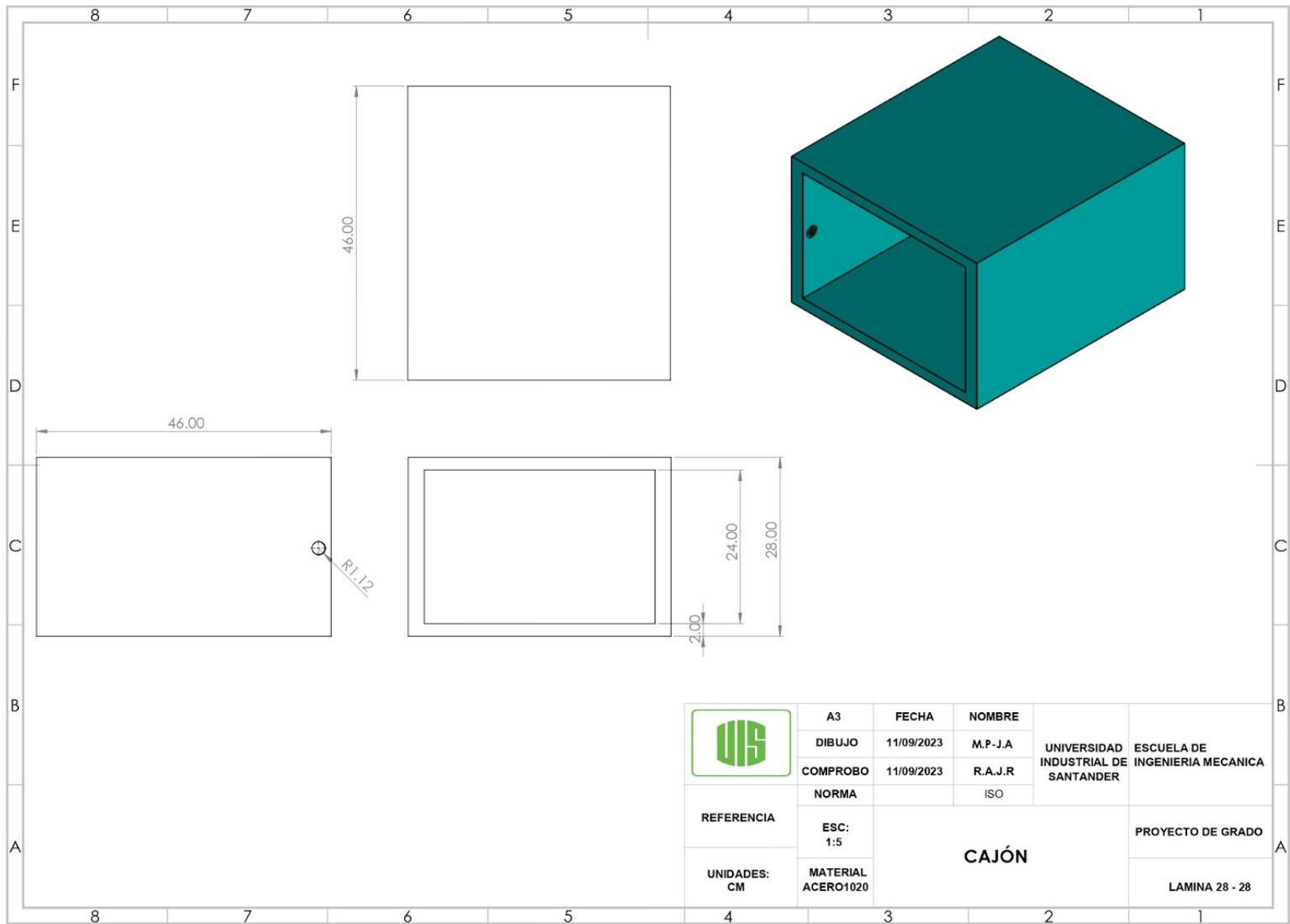
	A3	FECHA	NOMBRE	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
	DIBUJO	11/09/2023	M.P-J.A		
	COMPROBO	11/09/2023	R.A.J.R		
	NORMA		ISO		
REFERENCIA # 1 - 0	ESC: 1:1	SOPORTE-MEDIO			PROYECTO DE GRADO
UNIDADES: CM	MATERIAL ACERO1020				LAMINA 24 - 28



	A3	FECHA	NOMBRE	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
	DIBUJO	11/09/2023	M.P-JA		
	COMPROBO	11/09/2023	R.A.J.R		
	NORMA		ISO		
REFERENCIA # 1 - 0	ESC: 1:2	VIELA			PROYECTO DE GRADO
UNIDADES: CM	MATERIAL PLATINA1020				LAMINA 26 - 28



	A3	FECHA	NOMBRE	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
	DIBUJO	11/09/2023	M.P.-J.A		
	COMPROBO	11/09/2023	R.A.J.R		
	NORMA		ISO		
REFERENCIA	ESC: 2:1	BUJE		PROYECTO DE GRADO	
UNIDADES: CM	MATERIAL HIERRO DUCTIL			LAMINA 27 - 28	



Anexo H. Código en Arduino Uno.

CODIGO.ino

```
1  #include <LiquidCrystal.h>
2
3
4  //librerias//
5  #include "HX711.h" // CELDA DE CARGA
6  #include "LiquidCrystal.h" // PANTALLA LCD
7  #include "NewPing.h" // ULTRASONIDO
8
9
10
11 //pines//
12 #define motor 12 //PIN RELE DE APAGADO DE MOTOR
13 #define led 13 //PIN DE LED VERDE INDICADOR
14 bool imprimirDatos = true; // Variable de control
15
16 // #define DOUT 6 //PIN DATOS DE COMUNICACIÓN CELDA DE CARGA
17 // #define CLK 7 //PIN RELOJ DE COMUNICACIÓN CELDA DE CARGA
18 const int DOUT = 6; // Reemplaza con el número de pin correcto
19 const int CLK = 7; // Reemplaza con el número de pin correcto
20
21
22 #define SRPM 0 //pin 2
23
24 #define TRIGGER_PIN 5 // Arduino pin tied to trigger pin on the ultrasonic sensor.
25 #define ECHO_PIN 4 // Arduino pin tied to echo pin on the ultrasonic sensor.
26 #define MAX_DISTANCE 50 // Maximum distance we want to ping for (in centimeters). Maximum sensor distance is rated at 400-500cm.
27
28
```

```

30 HX711 presion;
31 LiquidCrystal lcd(A0, A1, A2, A3, A4, A5);
32 NewPing sonar(TRIGGER_PIN, ECHO_PIN, MAX_DISTANCE); // NewPing setup of pins and maximum distance.
33
34 //VARIABLES//
35 char vled=0;
36
37 int for1;
38 int Vdistancia=0;
39
40 float Vpresion=0.0,Vpresion2=0.0;
41 float promedioPresion=0;
42 float CICLOS1=0.0;
43 unsigned long CICLOS2=0;
44 unsigned long rpm1;
45 unsigned long oldtime=0,oldtime1=0,oldtime2=0, oldtime3=0, oldtimepresion=0, tiempo2=0;
46 char contPresion=0;
47 int Seriallectura = 0;
48 int time;
49 int sensorValue, muestras;
50
51 ///////////////////////////////////////////////////
52
53
54 //funcion de interrupcion externa//
55 void SENSOR_RPM() { CICLOS1++; }
56
57

```

```

56
57
58 //CONFIGURACION DE INICIO//
59 void setup()
60 {
61
62   presion.begin(DOUT, CLK);
63   Serial.begin(9600); //NELOCIDAD DE COMUNICACIÓN USB SERIAL
64   lcd.begin(16,2); //DEFINICIÓN DE TIPO DE PANTALLA
65
66   Serial.print("Tiempo, ");
67   Serial.print("Ciclos, ");
68   Serial.print("Rpm, ");
69   Serial.print("Precarga, ");
70   Serial.print("Distancia");
71   Serial.println();
72
73   attachInterrupt(SRPM, SENSOR_RPM, FALLING); //HABILITAR INTERRUECIÓN EXTERNA
74
75   pinMode(led, OUTPUT); // DEFINICIÓN DE PIN DE LED COMO SALIDA DIGITAL
76
77   pinMode(motor, OUTPUT); // DEFINICIÓN DE PIN DE ACTIVACIÓN DE RELE COMO SALIDA DIGITAL
78   digitalWrite(led, HIGH); // ENCENDER LED
79
80   lcd.print(" Inicialice el "); // MENSAJE EN LCD
81   lcd.setCursor(0, 1); // POSICIONAMIENTO DEL CURSOR DE LCD
82   lcd.print(" sistema "); // MENSAJE EN LCD
83   lcd.setCursor(10, 1); // EOSICIONAMIENTO DEL CURSOR DE LCD

```

```

85  for(for1=10;for1>=0;for1--) //BUCLE DE RETARDO DE 10 SEG + PARPADEO DE LED
86  {
87
88  lcd.print(for1); // MOSTRAR CONTEO
89  digitalWrite(led, HIGH); // ENCENDER LED
90  delay(500); //RETARDO DE 100mseg
91  digitalWrite(led, LOW); // APAGAR LED
92  delay(500); //RETARDO DE 100mseg
93
94  lcd.setCursor(10, 1); // EOSICIONAMIENTO DEL CURSOR DE LCD
95  lcd.print(" "); //LIMEIAR DATO PARA EVITAR TRASLAPAMIENTO
96  lcd.setCursor(11, 1); // POSICIONAMIENTO DEL CURSOR DE LCD
97
98  }
99  //// FIN DE CUENTA REGRESIVA
100
101  lcd.clear(); // LIMPIAR DATOS DE PANTALLA LCD
102  lcd.setCursor(0, 0); // POSICIONAMIENTO DEL CURSOR DE LCD
103  lcd.print(" CALIBRANDO...");// MENSAJE EN LCD
104
105  presion.set_scale(182960.0); // AJUSTE DE ESCALA DE MEDICIÓN DE PESO
106  presion.tare(20); //CALIBRACIÓN DE CELDA PARA RESTAR EL PESO DE TARA CON 20 MUESTRAS
107
108  delay(1000); //RETARDO DE 1000mseg
109  lcd.clear(); // LIMPIAR DATOS DE PANTALLA LCD
110
111  //////////// BUCLE DE ESPERA DE ARRAQUE DE MOTOR MIETRAS NO SE DETECTEN 2 CICLOS DE POLEA
112

```

```

113 while(CICLOS1<2) {
114   if(millis()-oldtime>=50) // RUTINA POR RETARDO DESATENDIDO DE 50mseg
115   {
116     // PARA LA LECTURA DE PRESIÓN Y DISTANCIA
117
118     Vpresion=presion.get_units(1); //LECTURA DE PRESIÓN CON ÚNICO MUESTREO
119     unsigned int uS = sonar.ping(); // EMISIÓN DE PULSO Y LECTURA DE TIEMPO DE RECEPCIÓN DE PULSO ULTRASONICO
120     Vdistancia=(uS / US_ROUNDTRIP_CM)-9; //CONVERSIÓN A DISTANCIA EN CENTIMETROS - SCM DE OBJETOS INDESEABLES
121
122
123     oldtime=millis(); // REGISTRO DE TIEMPO
124   }
125
126   lcd.setCursor(0, 0); // POSICIONAMIENTO DEL CURSOR DE LCD
127   lcd.print("P="); // MENSAJE EN LCD
128   lcd.setCursor(2, 0); // POSICIONAMIENTO DEL CURSOR DE LCD
129   lcd.print(-Vpresion, 2); //VISUALIZAR EL VALOR DE PRESIÓN
130   lcd.setCursor(7, 0); // POSICIONAMIENTO DEL CURSOR DE LCD
131   lcd.print( "Kg "); // MENSAJE EN LCD
132   lcd.print("D="); // MENSAJE EN LCD
133
134   if(-1<Vdistancia && Vdistancia<10)
135   {lcd.setCursor(12, 0); // POSICIONAMIENTO DEL CURSOR DE LCD
136     lcd.print(" "); // VISUALIZAR EL VALOR DE LA DISTANCIA
137     lcd.setCursor(13, 0); // POSICIONAMIENTO DEL CURSOR DE LCD
138     lcd.print(Vdistancia); // VISUALIZAR EL VALOR DE LA DISTANCIA

```

```

138   lcd.print(Vdistancia); // VISUALIZAR EL VALOR DE LA DISTANCIA
139   } else
140   {
141   lcd.print(Vdistancia); // VISUALIZAR EL VALOR DE LA DISTANCIA
142   }
143   lcd.setCursor(14, 0); // POSICIONAMIENTO DEL CURSOR DE LCD
144
145   lcd.print("cm"); // MENSAJE EN LCD
146   lcd.setCursor(0, 1); // POSICIONAMIENTO DEL CURSOR DE LCD
147   lcd.print("ENCENDER MOTOR !"); // MENSAJE EN LCD
148
149
150   if(Serial.available ()>0)
151   {
152
153   Serial.print(-Vpresion, 2);
154   Serial.print("pre");
155
156   Serial.print(Vdistancia);
157   Serial.print("Dis");
158
159   Serial.print(0, DEC);
160   Serial.print("Cic");
161
162   Serial.print(0);
163   Serial.println("Rpm");
164   delay(1);
165

```

```

164 delay(1);
165
166 }
167
168
169 }
170
171 lcd.setCursor(0, 1);
172 lcd.print("                ");
173 CICLOS1 = 0;
174
175 }
176
177 void loop()
178 {
179
180 if(Serial.available() > 0) { //CONPROBACIÓN DE BUFFER DE DATOS DE LABVIEW
181
182 Seriallectura = Serial.read(); //LECTURA DE DATOS ENVIADOS DSDE LABVIEW
183 if(Seriallectura=='M') //VERIFICACIÓN DE ORDEN DE APAGAR MOTOR AL DETENER APLICATIVO EN LABVIEW
184 {
185
186 digitalWrite (motor, HIGH); //AEAGAR MOTOR HASTA REINICIAR
187 digitalWrite(led, LOW); // APAGAR LED HASTA REINICIAR
188 while(1) { }
189
190 }
191

```

```

193 // SI NO SE ENVIA LA ORDEN DE APAGAR MOTOR PERO EXISTE CONEXIÓN CON LABVIEW
194 // SE ENVIAN LOS DATOS A LABVIEW
195 Serial.print(-Vpresion, 2); //ENVIO DEL VALOR DE PRESIÓN CON 2 DEECTMALES
196 Serial.print("pre"); //ETIQUETA PARA EL VALOR DE PRESIÓN
197
198 Serial.print(Vdistancia); //ENVIO DEL VALOR DE LA DISTANCIA
199 Serial.print ("Dis"); //ETIQUETA PARA EL VALOR DE LA DISTANCIA
200
201 Serial.print(CICLOS2, DEC); //ENVIO DEL VALOR DEL $ DE CICLOS
202 Serial.print("Cic"); //ETIQUETA PARA EL NÚMERO DE CICLOS
203
204 Serial.print(rpm1); //ENVIO DEL VALOR DE REM EN LA POLEA
205 Serial.println("Rpm"); //ETIQUETA PARA EL VALOR DE RPM DE LA POEA
206
207 }
208
209 // RUTINA POR RETARDO DESATENDIDO DE 50mseg
210 //2ARA ENVIO DE DATOS A LA PANTALLA LCD
211
212 if(millis()-oldtime>=50)
213 {
214
215 lcd.setCursor(0, 1); // POSICIONAMIENTO DEL CURSOR DE LCD
216 lcd.print("C="); // MENSAJE EN LCD
217 lcd.print(CICLOS2); // VISUALIZAR EL $ DE CICLOS
218 lcd.setCursor(8, 1); // EOSICIONAMIENTO DEL CURSOR DE LCD
219 lcd.print("RPM="); // MENSAJE EN LCD
220 lcd.print(rpm1); // VISUALIZAR EL VALOR DE REM DE LA POLEA

```

```

222 | oldtime=millis(); // REGISTRO DE TIEMPO
223 | }
224
225
226 // RUTINA POR RETARDO DESATENDIDO DE 50mseg
227 //PARA DETECCIÓN DE RUPTURA DE RESORTE POR PRESIÓN + DETENCIÓN DE APLICATIVO LASVIEW
228 if(millis()-oldtimepresion>=50)
229
230 {
231
232 Vpresion2=presion.get_units(1); //LECTURA DE PRESIÓN
233 promedioPresion=promedioPresion+Vpresion2; //SUMATORIA DE LECTURA DE PRESIÓN
234 contPresion++; // CONTADOR PARA EL NÚMERO DE MUESTRAS
235 if(contPresion>=5)
236
237 {
238
239 promedioPresion=promedioPresion/5; //PROMEDIO Y DEFINICIÓN DEL VALOR DE PRESIÓN
240
241 if((promedioPresion<0.2)&&(promedioPresion>-0.2)) // DETERMINACIÓN DE RANGO DE DETENCIÓN DE RUPTURA DEL RESORTE
242 {
243
244 digitalWrite(motor, HIGH); //AERGAR MOTOR
245
246 Serial.print (404);
247 Serial.println("R");
248
249 while(1) //BUCLE DE PARPADEO DE LED HASTA REINICIAR

```

```

249 while(1) //BUCLE DE PARPADEO DE LED HASTA REINICIAR
250 {
251
252 vled= !vled; //CAMBIAR EL ESTADO DEL LED
253 digitalWrite(led, vled); //ESTABLECER EL ESTADO DEL LED
254 delay(100); //RETARDO DE 100mseg
255 }
256
257 }// SI NO SE HA PRODUCIDO LA RUPTURA DEL RESORTE SE REINICIA EL MUESTREO
258
259 else
260 { contPresion=0; promedioPresion=0.0;} //REINICI DE VARIALES PARA EL MUESTREO DE PRESIÓN
261 }
262
263 oldtimepresion=millis(); // REGISTRO DE TIEMPO
264
265 }
266
267 // RUTINA POR RETARDO DESATENDIDO DE 500mseg
268 //ERRR EL CÁLCUL DE REM EN LA POLEA
269 if(millis()-oldtime3>=500)
270
271 {
272
273 tiempo2 = millis()/1000;
274
275

```

```

277 detachInterrupt(0); //DESHABILITAR INTERRUPCION
278
279 vled= !vled; //CAMBIAR EL ESTADO DEL LED
280 digitalWrite(led, vled); //DEFINIR EL ESTADO DEL LED
281
282 Vpresion=presion.get_units(1); //LECTURA DE PRESIÓN CON ÚNICO MUESTREO
283 unsigned int uS = sonar.ping(); // EMISIÓN DE PULSO Y LECTURA DE TIEMPO DE RECEPCIÓN DE PULSO ULTRASONICO
284 Vdistancia=(uS / US_ROUNDTRIP_CM)-9; //CONVERSIÓN A DISTANCIA EN CENTIMETROS - SCM DE OBJETOS INDESEABLES
285
286
287 oldtime=millis(); // REGISTRO DE TIEMPO
288
289 time=millis()-oldtime; //REGISTRO DE TIEMPO PARA EL CÁLCULO DE RPM
290
291 rpm1=0; //REINICIO DE VARIABLE DE CICLOS PARA UN NUEVO CÁLCULO
292
293 rpm1=(CICLOS1/time)*60000; //CÁLCULO DE RPM
294 CICLOS2=CICLOS2+CICLOS1; //COPIA DEL NÚMERO DE CICLOS DE LA VARIABLE DE CICLOS PARA EL CÁLCULO REM
295
296 if (imprimirDatos) {
297   Serial.print(tiempo2);
298   Serial.print(" ");
299   Serial.print(CICLOS2);
300   Serial.print(" ");
301   Serial.print(rpm1);
302   Serial.print(" ");
303   Serial.print(-Vpresion);
304   Serial.print(" ");

```

```

303 Serial.print(-vpresion);
304 Serial.print(" ");
305 Serial.println(Vdistancia);
306 }
307
308
309
310
311 CICLOS1=0; //REINICIO DE VARIABLE DE CICLOS PARA UN NUEVO CÁLCULO
312 lcd.setCursor(12, 1); // POSICIONAMIENTO DEL CURSOR DE LCD
313 lcd.print(" "); // LIMPIAR DATOS PARA EVITAR TRASLAPAMIENTO DEL VALOR DE REM EN LA PANTALLA LCD
314 oldtime3=millis(); // REGISTRO DE TIEMPO
315 oldtime1=millis(); // REGISTRO DE TIEMPO
316
317 if(CICLOS2>=20){
318 imprimirDatos = false;
319 lcd.setCursor(0, 0); // POSICIONAMIENTO DEL CURSOR DE LCD
320 lcd.print(" "); // LIMPIAR DATOS PARA EVITAR TRASLAPAMIENTO DEL VALOR DE REM EN LA PANTALLA LCD
321 lcd.setCursor(0, 1);
322 lcd.print(" "); // LIMPIAR DATOS PARA EVITAR TRASLAPAMIENTO DEL VALOR DE REM EN LA PANTALLA LCD
323 lcd.setCursor(0, 0); // POSICIONAMIENTO DEL CURSOR DE LCD
324 lcd.print("FIN DE PRUEBA");
325 digitalWrite (motor, HIGH); //APAGAR MOTOR
326 }
327
328 attachInterrupt(SRPM,SENSOR_RPM,FALLING); // HABILITAR INTERRUPCIÓN PAR UN NUEVO CÁLCULO
329 }
330 }

```