

**DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBAS CON SISTEMA DE ELEVACIÓN PARA
PRACTICAS CON LOS MÓDULOS DE ENSAYO DE ALTERNADORES**

MARIO EUSEBIO SALDARRIAGA ORTIZ

mario.saldarriaga@pascualbravo.edu.co

Asesora:

MARIA CAMILA LÓPEZ JARAMILLO

m.lopezja@pascualbravo.edu.co

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA MECÁNICA

MEDELLÍN

2025

TABLA DE CONTENIDO

1.Introducción	1
2.Planteamiento del problema.....	3
2.1 Formulación.....	5
3.Justificación.....	6
4.Objetivos	8
4.1. Objetivo general.....	8
4.2. Objetivos específicos	8
5.Referentes teóricos	9
5.1. Primer tema de saber.....	9
Bancos de pruebas:	9
Tipologías de bancos de pruebas:	9
5.2. Segundo tema de saberes	13
Cálculo del torque en sistemas de transmisión.....	14
Esfuerzos en componentes estructurales	15
Fundamentos físicos en el diseño del sistema de elevación	16
Fuerza de elevación y equilibrio.....	16
Cálculo del torque en sistemas de transmisión.....	17
Análisis de esfuerzos en componentes estructurales	17
5.3. Tercer tema de saberes.....	18
6.Descripción técnica del proyecto	20
7.Resultados de la propuesta	21
8.Metodología	39
Tipo de proyecto	39
Método.....	39
Instrumentos de recolección de información.....	44

Fuentes primarias.....	44
Fuentes secundarias	45
9. Recursos	47
Humanos	47
Técnicos.....	48
10. Presupuesto	50
11. Cronograma de actividades.....	51
12. Referencias bibliográficas.....	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Comparación entre el estado actual y el estado deseado.....	4
Figura 2. Prototipo del banco de pruebas	11
Figura 3. Procedimiento de diseño mecánico	13
Figura 4. Módulo de ensayo de alternadores basado en conceptos físicos.....	14
Figura 5. Beneficios que presenta un motorreductor.....	16
Figura 6. Fundamentos e impactos del tornillo sinfín	19
Figura 7. Modelo ensamble conjunto móvil (Eje principal).....	25
Figura 8. Plano del eje principal.....	26
Figura 9. Modelo Rodamiento Autodesk inventor	27
Figura 10. Plano de rodamiento Autodesk Inventor.....	29
Figura 11. Modelo y plano del tornillo trapezoidal sinfín Autodesk Inventor	30
Figura 12. Plano del porta tuerca Autodesk Inventor.....	33
Figura 13. Plano de la tuerca con rosca trapezoidal Autodesk Inventor	36

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas y desventajas de bancos de prueba.	10
Tabla 2. Resumen de fórmulas claves	18
Tabla 3. Resultados del análisis del rodamiento (Autodesk Inventor)	27
Tabla 4. Resultados del análisis del tornillo trapezoidal sinfin (Autodesk Inventor).....	31
Tabla 5. Resultados del análisis del porta tuercas (Autodesk Inventor).....	33
Tabla 6 Resultados del análisis de la tuerca con rosca trapezoidal (Autodesk Inventor).	36
Tabla 7. Presupuesto del proyecto	50
Tabla 8. Cronograma de actividades	51

1. INTRODUCCIÓN

En el área de la formación técnica automotriz, el aprendizaje práctico es esencial para la comprensión de los sistemas eléctricos del vehículo, siendo el alternador uno de los componentes más importantes del sistema de carga. Sin embargo, nuestra institución educativa I.U Pascual Bravo carece de un banco didáctico adecuado que soporte el respectivo módulo para ergonomía del docente y que permita analizar su funcionamiento de manera clara, segura y controlada (ICONTEC, 2001). El presente proyecto tiene como objetivo el desarrollo de un banco de laboratorio específico para soportar el módulo del alternador, el cual se encuentra ya dispuesto en el laboratorio, para el cual se requiere, sea más fácil, su diagnóstico, prueba y enseñanza dentro de un entorno académico. Esta herramienta permitirá a los estudiantes interactuar directamente con el sistema, realizar mediciones, identificar fallas comunes y comprender su comportamiento en condiciones reales de operación, optimizando así los procesos de enseñanza y fortaleciendo las competencias prácticas en el área de electricidad automotriz.

Dado lo anterior y, teniendo en cuenta que la formación técnica en el área de mantenimiento automotriz exige un equilibrio entre el dominio teórico y la práctica aplicada sobre los sistemas del vehículo, en particular con uno de los elementos más críticos en el sistema eléctrico, el alternador, responsable de mantener la carga de la batería y suministrar energía a los componentes eléctricos durante el funcionamiento del motor. A pesar de su importancia, en nuestra institución Universitaria se evidencian limitaciones en el equipamiento destinado al aprendizaje práctico de este componente, lo cual dificulta la comprensión integral de su funcionamiento, diagnóstico y mantenimiento.

Actualmente, en nuestra IUPB, el acceso a equipos específicos para prácticas con alternadores es restringido, debido al alto costo de los bancos de prueba industriales, a la carencia de estaciones didácticas adaptadas a nuestro entorno académico, o a la improvisación en prácticas que no garantizan condiciones seguras ni controladas. Esta situación representa una brecha significativa entre la situación actual del Pascual, caracterizada por prácticas limitadas y poco contextualizadas, y la situación deseada, en la que los estudiantes puedan interactuar con un entorno realista, controlado y funcional para el análisis completo del alternador automotriz.

La necesidad de una solución pedagógica, técnica y económicamente viable ha motivado el desarrollo de este proyecto, el cual busca integrar conocimientos de electricidad, diseño

mecánico, seguridad eléctrica y didáctica aplicada. El propósito es crear una herramienta de laboratorio que simule condiciones reales de trabajo y que, a su vez, permita realizar prácticas de diagnóstico, medición de voltajes y corrientes, análisis de fallas y pruebas de funcionamiento.

Por tanto, este trabajo tiene como objetivo general desarrollar un banco de laboratorio para el módulo del alternador para práctica automotriz, que permita a nuestros estudiantes realizar actividades de diagnóstico y prueba bajo condiciones seguras, replicables y pedagógicamente estructuradas. Este banco será diseñado con criterios de accesibilidad, funcionalidad didáctica y adaptabilidad a diferentes modelos de alternador, resolviendo así la brecha entre los requerimientos del proceso de formación y las limitaciones técnicas actuales en los laboratorios de enseñanza automotriz.

En consecuencia, se espera que este proyecto no solo mejore la calidad del aprendizaje práctico, sino que también sirva como modelo de implementación para otras instituciones técnicas que enfrentan desafíos similares en su infraestructura de laboratorio. La solución propuesta aportará al fortalecimiento de las competencias técnicas del estudiante y a la mejora continua del entorno formativo.

Desde una perspectiva técnica, el banco de laboratorio propuesto busca favorecer el aprendizaje activo de nuestros estudiantes, permitiendo que asuman un rol protagónico en la manipulación, análisis y evaluación del sistema de carga automotriz. Su construcción integrará principios de ergonomía para garantizar la comodidad y seguridad del usuario durante las sesiones de práctica, así como la optimización del espacio, mediante una estructura compacta, móvil y modular. Adicionalmente, se prioriza la eficiencia en el uso de recursos a través de una selección adecuada de materiales, reutilización de componentes automotrices y adaptabilidad funcional, todo orientado a fortalecer las prácticas formativas en ambientes reales de aprendizaje. Con ello, se pretende elevar la calidad técnica del proceso educativo y consolidar un modelo de banco didáctico aplicable en contextos de formación profesional con restricciones presupuestarias.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Con el constante avance de la tecnología en el sector automotriz, se ha vuelto evidente la necesidad de contar con laboratorios bien equipados. No solo se requiere que estos espacios tengan herramientas y equipos modernos, sino que también deben adaptarse a las demandas del aprendizaje práctico. Sin embargo, esta situación trae consigo varios problemas que impactan la calidad de la educación técnica.

Primero: El rápido crecimiento de la tecnología automotriz ha creado un desajuste en la infraestructura de los laboratorios educativos. A medida que los programas de formación técnica intentan alinearse con las últimas innovaciones del sector, se enfrentan a varios desafíos:

Obsolescencia de Equipos: Muchos institutos educativos aún utilizan herramientas y equipos que no están actualizados, lo que limita la capacidad de los estudiantes para adquirir habilidades relevantes y competir en el mercado laboral.

Falta de Recursos Financieros: La actualización de infraestructuras y equipos conlleva un alto costo que muchas instituciones no pueden afrontar, resultando en una falta de recursos para un aprendizaje efectivo.

Capacitación del Personal Docente: La escasez de formación continua para los educadores en nuevas tecnologías puede llevar a una enseñanza desactualizada, afectando directamente la calidad de la educación que se ofrece.

Alineación Curricular: Los programas académicos a menudo no se adaptan rápidamente a los cambios en la industria, lo que dificulta que los estudiantes adquieran las competencias necesarias para su futuro profesional.

En conclusión, para abordar estos problemas, es crucial que las instituciones educativas implementen políticas de investigación en sus laboratorios, busquen alianzas con la industria automotriz y desarrollen programas de formación continua para el personal docente. Solo así se podrá asegurar un aprendizaje práctico de calidad que prepare a los estudiantes para el futuro. Así las cosas, en el entorno actual de formación de nuestra Institución Universitaria Pascual Bravo, se identificó que los módulos de ensayo para alternadores se encuentran almacenados de forma inadecuada, sin ningún tipo de organización técnica, etiquetado ni medidas de preservación. Esta situación no solo dificulta su uso pedagógico, sino que representa un riesgo para el deterioro progresivo del equipo. Por lo cual se admite constatar la necesidad urgente de

un sistema que garantice no solo su conservación, sino también su integración en una estructura que facilite su manipulación segura y su incorporación en las prácticas formativas, los módulos de ensayo de alternadores se encuentran en un estado de desatención, almacenados de forma desorganizada en armarios, sin protocolos de uso, ni condiciones adecuadas de conservación. Esta situación genera serias limitaciones para los procesos formativos, disminuye la calidad del aprendizaje práctico y pone en riesgo la integridad de los equipos y la seguridad de los estudiantes. A continuación, en la figura 1. Se presenta la comparación entre el estado actual y el estado deseado de los módulos.

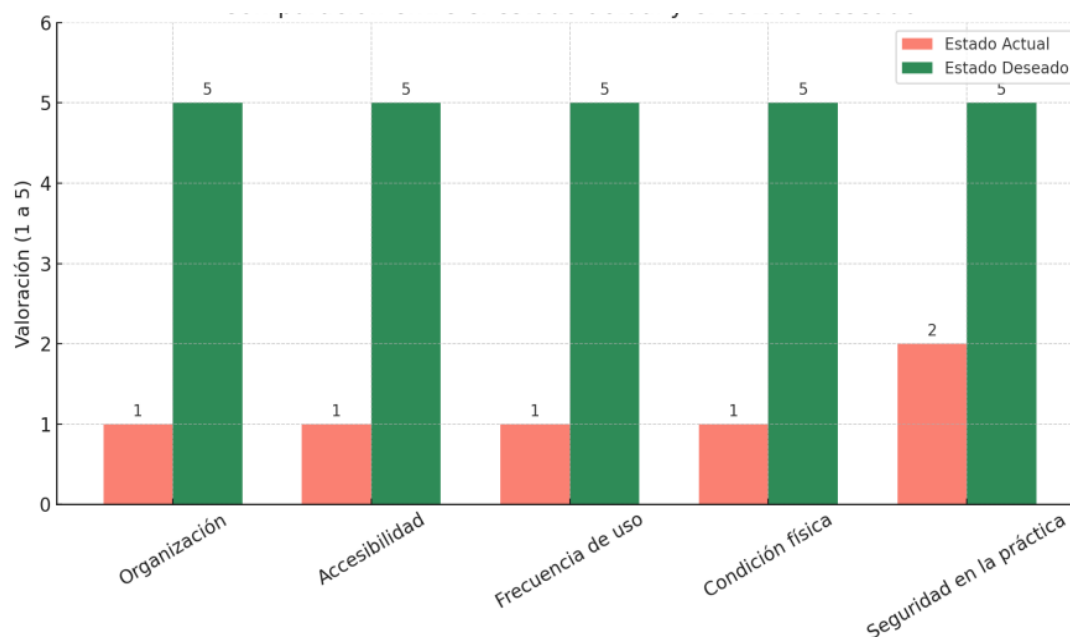


Figura 1. Comparación entre el estado actual y el estado deseado

Fuente: Elaboración propia

La figura anterior, se construyó teniendo en cuenta la valoración de aspectos como la organización, accesibilidad, frecuencia de uso, condición física de los equipos y las condiciones de seguridad durante las prácticas.

Esta brecha crítica evidencia la necesidad de una solución técnica y didáctica que no solo recupere y preserve estos módulos, sino que los integre en un sistema funcional, práctico, accesible y seguro. En este contexto, el desarrollo de un banco de pruebas con sistema de elevación se perfila como una propuesta innovadora que permitirá organizar los módulos de forma ergonómica, optimizar el espacio disponible y potenciar el uso eficiente de los recursos existentes.

2.1 Formulación

La implementación de un banco de pruebas con sistema de elevación optimizará el uso de los módulos de ensayo de alternadores, mejorando la accesibilidad, seguridad y funcionalidad de las prácticas formativas en el área automotriz. La implementación de este sistema permitirá dar respuesta, a su vez, a las siguientes preguntas de investigación.

¿Cuáles son las principales deficiencias actuales en el almacenamiento y uso de los módulos de alternadores en el laboratorio?

¿Qué criterios técnicos deben considerarse para el diseño de un banco de pruebas con sistema de elevación?

¿Cómo impactará el nuevo banco en la frecuencia, seguridad y calidad de las prácticas automotrices?

¿Qué mejoras en el proceso de enseñanza-aprendizaje se generan con la implementación del banco?

Dado que los módulos de ensayo de alternadores están desorganizados, deteriorados y sin uso sistemático, ¿cómo presentar una solución que permita su recuperación y su uso efectivo dentro de las prácticas formativas automotrices, garantizando seguridad, comodidad y eficiencia operativa?

3. JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de competencias en el área de mantenimiento automotriz exige entornos de aprendizaje que integren teoría con práctica aplicada. En este sentido, la formación técnico-tecnológica debe proporcionar recursos didácticos que respondan a las necesidades reales del sector productivo y que promuevan el aprendizaje significativo. Sin embargo, en el contexto actual de nuestra institución educativa, los módulos de ensayo para alternadores se encuentran subutilizados, mal almacenados o incluso en estado de deterioro, lo cual impide su incorporación efectiva en las prácticas formativas.

Esta situación revela un vacío práctico y metodológico en la integración de estos equipos al currículo. La falta de una infraestructura adecuada que permita manipular de forma segura, accesible y funcional dichos módulos, genera una brecha entre la enseñanza teórica y la realidad operativa del sistema de carga automotriz. Además, se evidencia un vacío técnico en cuanto a soluciones que optimicen el espacio del laboratorio y garanticen prácticas ergonómicas, seguras y eficientes, que mientras no sea utilizado sirva como mesa de apoyo estudiantil.

La propuesta de un banco de pruebas con sistema de elevación responde a esta necesidad mediante el diseño y fabricación de una solución tecnológica que recupere, organice e integre los módulos de alternadores en un entorno controlado. La implementación de un sistema de elevación adecuado no solo optimiza la operatividad al facilitar ajustes y manipulaciones de carga, sino que también garantiza la seguridad del operador, lo cual es crucial en entornos laborales (Javier & López, 2019). Este banco permitirá elevar y posicionar los módulos de forma adaptable, facilitando su uso según el tipo de práctica, el nivel del estudiante o las condiciones del laboratorio. Además, reducirá los riesgos de manipulación indebida, mejorará la ergonomía y contribuirá a la optimización del espacio y los recursos disponibles.

Desde el punto de vista social y académico, esta investigación fomenta la democratización del acceso a herramientas didácticas de calidad, impulsa la mejora de los entornos formativos y promueve la autonomía institucional en la construcción de sus propios recursos tecnológicos. A nivel teórico y metodológico, el proyecto propone una integración entre diseño mecánico, seguridad eléctrica, ergonomía y didáctica aplicada, sentando precedentes replicables en otras áreas de formación técnica.

Según García (2020), un banco de pruebas bien diseñado puede servir como plataforma para experimentar y evaluar el rendimiento real de los módulos, permitiendo así la identificación de áreas de mejora y la implementación de soluciones efectivas.

Por qué se realiza esta investigación: porque existe una clara desconexión entre los recursos disponibles y su aprovechamiento pedagógico, lo que limita el desarrollo de competencias técnicas clave en los estudiantes.

Para qué se realiza: para transformar módulos inactivos en herramientas activas de aprendizaje, mediante una solución tecnológica que fortalezca el proceso educativo, optimice los recursos institucionales y eleve la calidad de la formación en sistemas eléctricos automotrices.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Diseñar un banco de pruebas con sistema de elevación que facilite el uso de los módulos de ensayo de alternadores utilizados en la practicas del laboratorio LIDA de la Institución Universitaria Pascual Bravo.

4.2. Objetivos específicos

- Evaluar especificaciones técnicas necesarias para el diseño del banco de prueba que permitan su viabilidad.
- Desarrollar el diseño conceptual y técnico del banco con el módulo de elevación utilizando herramientas de diseño asistido por computadora (CAD), aplicando criterios de modularidad, seguridad y eficiencia.
- Seleccionar los materiales y procesos de fabricación más adecuados para garantizar la resistencia estructural, facilidad de mantenimiento y viabilidad económica del prototipo.
- Realizar planos y manual de ensamble que permitan en una etapa futura realizar la fabricación del banco de pruebas.

5. REFERENTES TEÓRICOS

5.1. Primer tema de saber

El diseño de piezas y sistemas mecánicos está fundamentado en conceptos que desarrolla principalmente la física, soportando los cálculos y análisis requeridos en conceptos de estática y dinámica, que en la actualidad resultan ser más rigurosos gracias al acceso a herramientas y tecnologías de software que permite, mediante simulaciones, hacer las respectivas validaciones de diseños mecánicos. Es por esto, que en este capítulo se presenta los referentes, conceptos y fundamentos teóricos que soportan el desarrollo de este proyecto.

Bancos de pruebas:

Un banco de pruebas es un sistema integrado que reúne equipos y dispositivos para evaluar y validar cómo se comportan, rinden y duran los componentes, sistemas o productos antes de que se utilicen en el campo. Según García (2018), estos bancos permiten simular condiciones operativas reales, lo que facilita la medición de variables físicas y eléctricas, la detección de fallas y la verificación de especificaciones técnicas.

Tipologías de bancos de pruebas:

Bancos mecánicos: se utilizan para ensayos de resistencia, fatiga y comportamiento estructural (Martínez, 2017). - Bancos eléctricos: están diseñados para comprobar características eléctricas como voltaje, corriente y eficiencia (Fernández, 2019). Bancos híbridos: combinan aspectos mecánicos y eléctricos, siendo cruciales en pruebas de alternadores y generadores (Hernández, 2020).

Los bancos de pruebas son fundamentales para experimentar en condiciones controladas, lo que permite medir parámetros con precisión, analizar el rendimiento y evaluar la vida útil de los componentes (Pérez, 2019). Son esenciales en el desarrollo de nuevas tecnologías y en la validación de productos, ya que ayudan a reducir los riesgos de fallas y a prolongar la vida útil de los bienes.

Un banco de pruebas eficiente se caracteriza por su capacidad para reproducir escenarios operativos complejos, aplicando diversas cargas (físicas, térmicas o eléctricas) y monitoreando variables críticas como presión y temperatura en tiempo real. Para potenciar estas funciones, la integración de sistemas de elevación resulta crucial; estos mecanismos no solo facilitan la manipulación segura de objetos pesados durante los ensayos, sino que también mejoran la ergonomía y comodidad del usuario, aumentando significativamente la eficiencia operativa del sistema global. Existen varias tecnologías de elevación:

- **Hidráulicos:** ofrecen una gran capacidad de carga y un movimiento suave, ideales para cargas pesadas; sin embargo, requieren mantenimiento y una infraestructura más compleja (Rodríguez, 2018).
- **Neumáticos:** son más ligeros y fáciles de manejar, pero pueden no ser tan robustos como los hidráulicos, sin embargo, tienen una capacidad de carga menor en comparación con los sistemas hidráulicos.
- **Los sistemas eléctricos y de husillo** ofrecen una gran precisión en los movimientos y un control excepcional, lo que los hace perfectos para tareas que requieren ajustes finos (López, 2020).

A continuación, se presenta el análisis de las ventajas y desventajas de cada tecnología de elevación.

Tabla 1. Ventajas y desventajas de bancos de prueba.

Tecnología	Ventajas	Desventajas
Hidráulico	Alta carga, movimiento suave	Mantenimiento, riesgo de fugas
Neumático	Rápido, limpio	Menor capacidad de carga
Eléctrico/Husillo	Preciso, controlable Poco Costoso	Menor fuerza

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta una figura versionada de CAD del prototipo de nuestro diseño del banco de pruebas con el respectivo plano del prototipo.

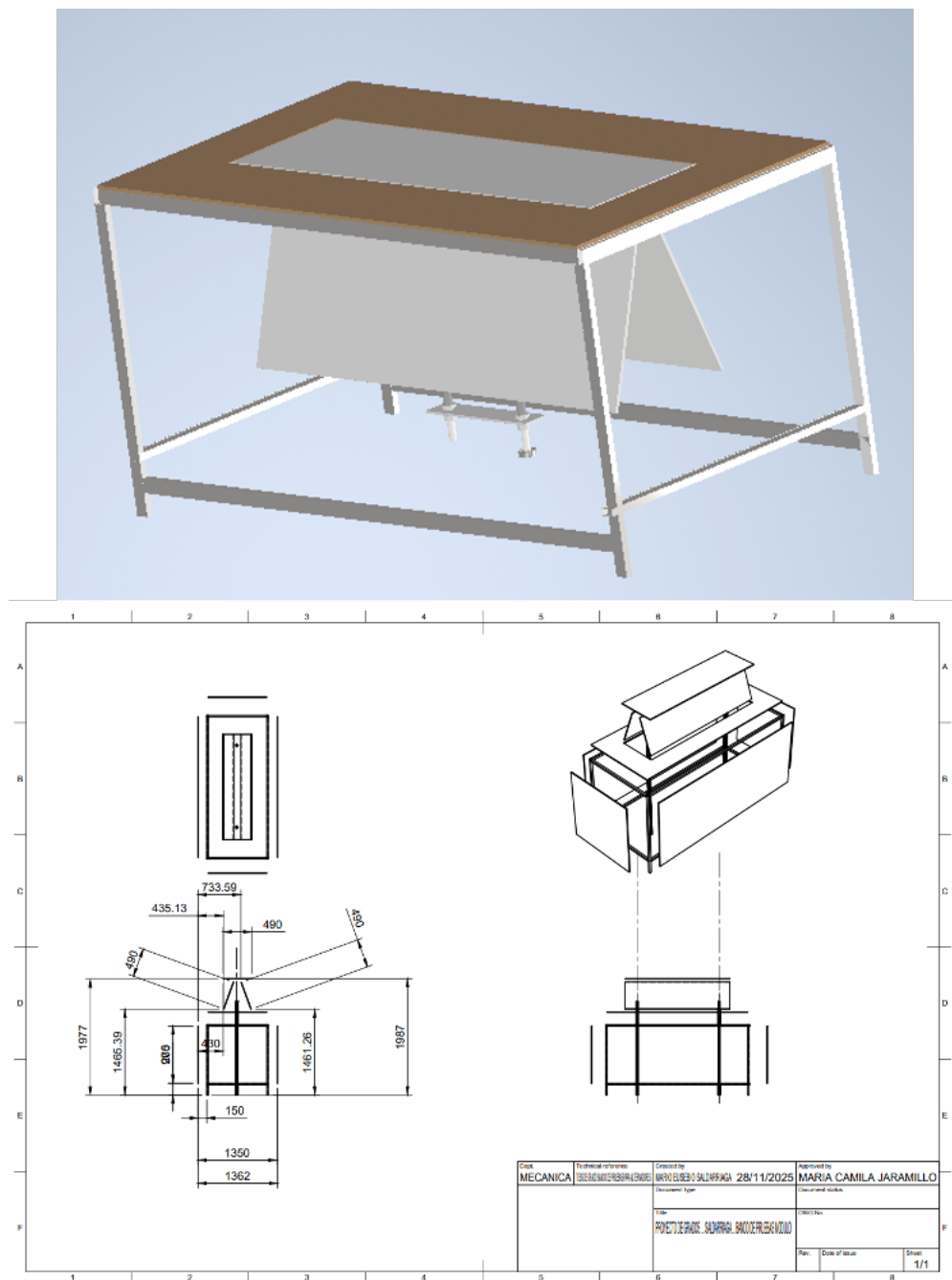


Figura 2. Prototipo del banco de pruebas

Fuente: Elaboración propia

Incluir un sistema de elevación en el banco de pruebas mejora la comodidad y la seguridad, permitiendo que el operador ajuste la posición del módulo de ensayo para optimizar la ejecución de pruebas, reducir el esfuerzo físico y aumentar la seguridad, todo en línea con las normativas de seguridad laboral (CEN, 2014).

Principios de factores humanos: Se centra en crear espacios que minimicen la fatiga, prevengan lesiones y aumenten la productividad. Chopra (2016) señala que los aspectos clave incluyen mantener los elementos al alcance, ajustar la altura del banco a la estatura del operador y facilitar el acceso a controles y herramientas, adicionalmente, se enfoca en adaptar la estación de trabajo a las características físicas y cognitivas del usuario, asegurando una operación segura y eficiente (Dul et al., 2012). Reduce errores, mejora la comodidad y promueve el bienestar laboral. Ya que un entorno funcional no solo fomenta la productividad y satisfacción del operario, sino que también disminuye la ocurrencia de problemas.

El diseño mecánico de este banco de pruebas se enfoca, pues, en evaluar módulos de ensayo de alternadores, utilizando software CAD considerando criterios de ingeniería mecánica, normativas y optimización estructural. El proceso comienza con la definición del concepto y las especificaciones técnicas del banco, considerando cargas, movimientos y condiciones operativas. Se lleva a cabo un análisis conceptual que identifica las piezas clave, el sistema de elevación y los soportes para los módulos. El modelado 3D se desarrolla en varias etapas, incluyendo el análisis de componentes, montaje, análisis estructural y de esfuerzos.

Para construir el banco de pruebas mecánico modular se requerirá definir los requisitos, tales como: seleccionar arquitectura, calcular cargas, calcular estructura y ejes, seleccionar acoplamientos, y tornillería, validar fórmulas de cálculos y llevar a cabo la fabricación.

El diseño de estructuras para sistemas de elevación en ingeniería mecánica implica la integración de principios de resistencia de materiales, análisis estructural y selección adecuada de componentes de transmisión de potencia. En este orden de ideas, se debe recomendar una estructura fabricada en tubería cuadrada de acero, destinada a soportar un mecanismo compuesto por poleas, un tornillo sin fin y un sistema de transmisión vertical accionado por un motorreductor.

La tubería cuadrada de acero como material base responde a su elevada relación rigidez- peso y a su facilidad para la construcción modular mediante uniones soldadas o atornilladas. Según Beer, Johnston y DeWolf (2015), el análisis de esfuerzos en elementos estructurales debe considerar tanto cargas estáticas como dinámicas, lo que hace indispensable aplicar factores de seguridad adecuados en función de la naturaleza de la carga y del entorno de trabajo.

En la figura 3 se presenta el procedimiento de diseño mecánico.



Figura 3. Procedimiento de diseño mecánico

Fuente: Elaboración propia. Tomado de Beer, Johnston & DeWolf (2015)

5.2. Segundo tema de saberes

El diseño mecánico del sistema de elevación en un banco de pruebas para módulos de ensayo de alternadores se fundamenta en conceptos de física. En este sentido, la fuerza necesaria para levantar la carga máxima, que incluye el peso del módulo de ensayo y la estructura, se calcula usando la fórmula del peso, $F = m \cdot g$, donde:

- (m) es la masa total del sistema (kg),
- (g) es la aceleración gravitacional (9.81 m/s^2).
- La fuerza dada en Newtons.

Este diseño requiere una base física sólida para asegurar un funcionamiento eficiente bajo cargas medias. Se apoya en principios de física que se aplican a la transmisión de cargas,

esfuerzos de torsión y movimientos verticales y para garantizar tanto la seguridad como la eficiencia, se utilizan fórmulas que determinan la fuerza, la torsión y la resistencia estructural del sistema, teniendo en cuenta que la función principal es levantar y sostener los módulos de ensayo para su evaluación, utilizando principios mecánicos y de transmisión de esfuerzos.



Beer, F. P., & Johnson, E. R. (2014). *Mecánica de materiales* (4ª ed.). McGraw-Hill Education.
 Shigley, J. E., & Mischke, C. R. (2008). *Principios de ingeniería de diseño mecánico* (8ª ed.). McGraw-Hill.

Figura 4. Módulo de ensayo de alternadores basado en conceptos físicos

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo del torque en sistemas de transmisión

El sistema de elevación del banco de pruebas para módulos de ensayo de alternadores debe garantizar la seguridad, funcionalidad y durabilidad bajo cargas medias. Para ello, se fundamenta en principios de física mecánica que permiten dimensionar correctamente los elementos componentes del sistema, como motorreductor, tornillos sinfín y/o sistemas de transmisión.

En sistemas de transmisión mediante tornillos sinfín y piñón, el torque necesario (T) se relaciona con la fuerza de elevación y el radio del sistema:

$$T = \frac{F_{m\acute{a}x}}{r}$$

Este torque determina las especificaciones mínimas del motorreductor a seleccionar.

Esfuerzos en componentes estructurales

Los esfuerzos en los elementos estructurales, como perfiles de acero, deben verificarse con la fórmula del esfuerzo cortante $\tau = F/A$

Este esfuerzo debe estar por debajo del límite elástico del material seleccionado, en nuestro caso acero A36, que tiene un límite aproximadamente de 250 MPa.

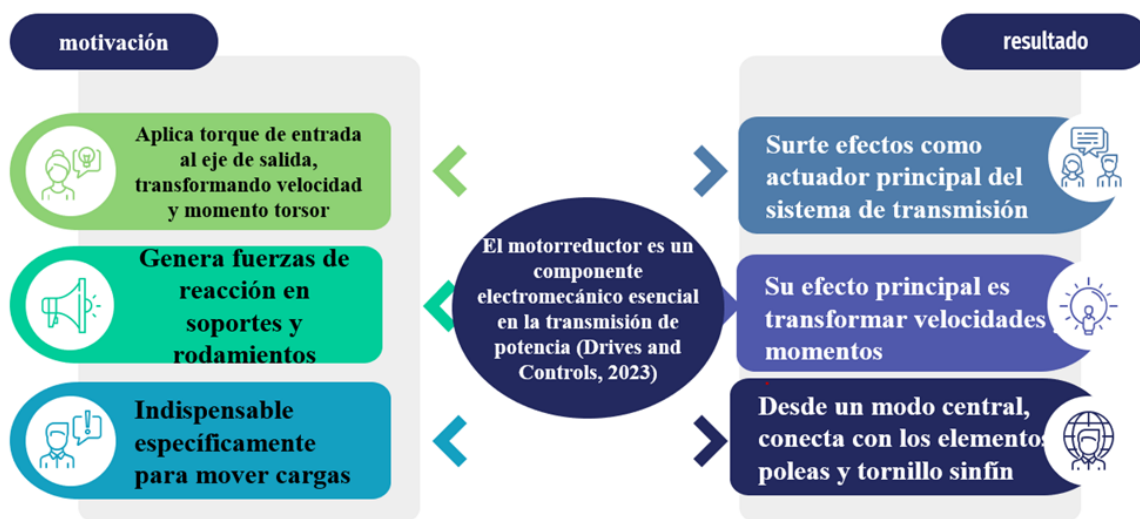
Motorreductor

Un motorreductor es un mecanismo que fusiona un motor eléctrico con un sistema reductor en un solo cuerpo. Su función principal es aminorar la velocidad de giro del motor, al mismo tiempo que amplifica la fuerza de torsión en su eje de salida. Básicamente, convierte la alta velocidad y el bajo par del motor en una velocidad más lenta y un par elevado, necesarios para llevar a cabo una tarea específica, mediante un sistema de engranajes conocido como tren de reducción. El motorreductor, pues, es la unidad que integra el motor eléctrico y reductor (engranajes o reductor de tornillos/cadena) para obtener la velocidad y la torsión deseada en la salida y facilitar control de par/velocidad. Es la solución típica para aplicaciones de tracción y elevación en bancos de pruebas.

Funcionamiento y Elementos

- Motor: Es la fuente de energía que pone en marcha el reductor.
- Reductor: Un conjunto de engranajes (piñones y ruedas dentadas) alojados dentro de una carcasa.
- Trenes de reducción: Se pueden agregar múltiples engranajes para lograr velocidades de salida aún menores y, a su vez, aumentar el par de torsión.
- Eje de salida: Es el eje del motorreductor que transmite la velocidad reducida y el par aumentado.

MOTORREDUCTOR



Beer, Johnston y DeWolf (2015)

Figura 5. Beneficios que presenta un motorreductor

Fuente: Elaboración propia

Beneficios

- **Compacto:** Une el motor y el reductor en una única estructura, utilizando poco espacio.
- **Incremento de Par:** Su principal ventaja es aumentar la fuerza de torsión en el eje de salida.
- **Mayor Durabilidad:** Al operar a velocidades más bajas, el desgaste disminuye y la vida útil del equipo se prolonga.
- **Menor Consumo Energético:** Son sistemas muy eficientes que contribuyen a reducir el consumo de energía.
- **Instalación Sencilla:** Son más fáciles de instalar y no requieren alineaciones complejas ni acoplamientos complicados, lo que disminuye los gastos de mantenimiento.

Fundamentos físicos en el diseño del sistema de elevación

Fuerza de elevación y equilibrio

El sistema debe generar una fuerza de elevación suficiente para soportar la carga máxima del módulo de ensayo y sus componentes, considerando el peso total (W):

$$W = m \cdot g$$

donde:

- (m) = masa total del sistema (kg),
- (g) = aceleración de la gravedad (9.81 m/s²).

El sistema de elevación debe ejercer una fuerza (F_{elev}), que en equilibrio debe ser mayor o igual a (W)

Cálculo del torque en sistemas de transmisión

En sistemas accionados por tornillos sinfín y piñón, la relación entre la fuerza de elevación y el torque ((T)) aplicado se expresa como:

$$T = F \cdot r$$

donde:

- (r) = radio del sistema de transmisión (m).

Este torque es fundamental para seleccionar actuadores hidráulicos o motores eléctricos adecuados.

Análisis de esfuerzos en componentes estructurales

Para garantizar la seguridad y durabilidad de los elementos estructurales, se aplica la ley de esfuerzo cortante ((τ)) en las uniones o perfiles del sistema:

$$\tau = V/A$$

donde:

- (V) = fuerza cortante
- (N), en este caso igual a (W),
- (A) = área de la sección transversal del perfil (m²).

Es importante seleccionar materiales cuyo límite elástico sea mayor que estos esfuerzos para evitar fallas estructurales.

Tabla 2. Resumen de fórmulas claves

Fórmula	Descripción
$(W = m \cdot g)$	Peso en Newtons
$(T = F \cdot r)$	Torque en transmisión
$(\tau = V / A)$	Esfuerzo cortante

Fuente: Elaboración propia

Este enfoque, integrando análisis estático, cinemático y esfuerzo, permite diseñar un sistema de elevación que sea seguro, resistente y eficiente, garantizando el correcto funcionamiento del banco de pruebas para prácticas con módulos de ensayo de alternadores.

5.3. Tercer tema de saberes

Tornillo Sin Fin

El tornillo sin fin, acoplado a un motorreductor, constituye un elemento clave en la transmisión de potencia y el control de movimiento. De acuerdo con Shigley et al. (2020), este tipo de mecanismos permite la multiplicación de par y la reducción significativa de velocidad, lo cual es esencial para garantizar un ascenso controlado de la plataforma. La integración de poleas en el sistema favorece la redistribución de cargas, reduciendo esfuerzos puntuales y mejorando la eficiencia en el proceso de elevación (Budynas & Nisbett, 2019).

El uso del tornillo sin fin se remonta a los primeros desarrollos de mecanismos de reducción de velocidad y cambio de dirección de ejes, especialmente en relojes mecánicos y maquinaria hidráulica antigua. Algunas fuentes atribuyen su origen a ingenieros griegos (Arquímedes) o al desarrollo posterior en la India medieval,

Con el avance de la Revolución Industrial, los tornillos sin fin se convirtieron en piezas estándar de cajas de reducción, por su ventaja de lograr relaciones de transmisión elevadas en espacios compactos, y por su capacidad de autobloqueo (en algunos casos), lo que adicionaba seguridad y estabilidad al sistema.



Figura 6. Fundamentos e impactos del tornillo sin fin

Fuente: Elaboración propia.

6. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO

Se plantea una solución que involucra la creación de un banco de pruebas automático con elevación integrada, concebido para la formación académica y pruebas en alternadores de automóviles. Este modelo posibilita el ajuste de la altura de trabajo de manera precisa, simplificando la colocación, conexión y evaluación de distintos alternadores de forma segura y adaptada a las normas de laboratorio en ingeniería automotriz.

El prototipo funciona mediante la transmisión de fuerza mecánica a través de un sistema de motorreductor, tornillo sin fin y plataforma móvil. Un motorreductor eléctrico proporciona la fuerza necesaria, que se transforma y transmite mediante poleas y un mecanismo de tornillo sin fin unido a una tuerca móvil que sube o baja la plataforma sobre guías lineales. Esta operación aprovecha la característica irreversible del tornillo sin fin, asegurando una posición estable sin gasto continuo de energía (Shigley, Mischke y Budynas, 2011). La plataforma soporta los alternadores y permite colocarlos con exactitud según la altura que necesite el usuario.

En funcionamiento, el alternador en prueba se conecta mecánicamente a un eje motriz mediante correas y poleas, simulando el sistema de carga del vehículo. Un motor trifásico regulado por un variador de frecuencia impulsa el eje, permitiendo ajustar la velocidad para emular las condiciones habituales del vehículo (Chiang, 2015). A la vez, el sistema de medición registra parámetros eléctricos como tensión, corriente y potencia, y parámetros mecánicos como velocidad angular y par resistente, evaluando el rendimiento del alternador.

El diseño incluye seguridad, con altura ajustable, superficies de apoyo firmes, bloqueos mecánicos y paradas de emergencia, asegurando una operación segura para todos. Este enfoque se alinea con la tendencia actual en laboratorios universitarios de integrar equipos versátiles, seguros y educativos que imitan condiciones industriales reales, pero con el control y la precisión necesarios para el ámbito académico (García et al. , 2020; Taha et al. , 2019).

7. RESULTADOS DE LA PROPUESTA

Análisis de componentes Críticos Ensamblados

Los elementos que se examinaron por separado son aquellos que aparecen en este conjunto, el cual finalmente forma parte de los elementos más críticos en el sistema.

- Calcula geometría del sinfín y tuerca (módulo, paso, d_p , d_e , d_i , ángulo hélice).
- Calcula potencias, torques y relaciones por polea.
- Relaciona torque \leftrightarrow fuerza axial (rosca de potencia) con fórmula clásica.
- Calcula esfuerzos: axial, torsión, flexión si aplica, Von Mises.
- Verifica fatiga (Goodman/Soderberg/Gerber) y aplica factores de corrección K_a , K_b , K_c , K_f .
- Calcula vida L10 estimada de rodamientos según ISO 281 (criterio básico).
- Verifica pandeo de guías/columnas (Euler).
- Energía estimada a aplicar, y compara presión provista contra presión requerida.
- Produce tablas dimensionales para cada componente y exporta CSV/JSON.
- Cada bloque incluye comentarios con la fórmula y la referencia teórica.

Datos de entrada

A continuación se presentan los datos requeridos para aplicar las fórmulas que permitan validar el diseño que se presenta en este proyecto.

- Masa que levanta al actuar y al encender el modulo

$$masa_{QUELEVANTA} = 30 * kg$$

- Longitud placa de soporte de tuercas

$$placa_{Lm}m: 1200 * mm$$

- Ancho placa de soporte de tuercas

$$placa_{Bm}m: 1500 * mm$$

- Velocidad de avance de la placa (controla potencia)

$$vel: 8.0 * mm/s$$

- Régimen del motor

$$rpm_{motor}: 1500 * rpm$$

- Relación polea motor

$$rel - polea: 3.0$$

- Módulo de diseño para sinfín (puedes ajustar)

$$modulo_{mm}: 3.0 * mm$$

- Entradas del sinfín

$$n_{entradas}: 1$$

- Coeficiente de fricción rosca (estimado)

$$\mu_{thead}: 0.08$$

- Eficiencia transmisión por correa

$$ef_{banda}: 0.98$$

- Eficiencia sinfín-tuerca (estimada)

$$ef_{sin\ fin}: 0.66$$

- Factor de seguridad

$$FS_{global}: 2.0$$

- Potencia del motor

$$motor_{hp}: 3.0 * watt$$

Datos para conversiones (Prop. Mecánicas recomendadas-valores típicos)

Valores típicos estándar. Para diseño final usar certificados de material.

Materiales:

- *AISI_4140': s_y : 415e6, 'UTS': 655e6, 'E': 210e9, 'nota': 'Templado-revenido 45 HRC sinfín*
- *AISI_1045': s_y : 345e6, 'UTS': 565e6, 'E': 200e9, 'nota': 'Eje, temple superficial*
- *CuSn12': s_y : 160e6, 'UTS': 275e6, 'E': 110e9, 'nota': 'Tuerca bronce, sin temple.*
- *A36': s_y : 250e6, 'UTS': 400e6, 'E': 200e9, 'nota': 'Estructura*
- *$g: 9.81 * m/s^2$*
- *$motor_{kW}: motor_{hp} * 0.4757 = 1.4271 * W$*

- $vel_{comp}: vel/1000 = 8 * 10^{-6} * m/s$
- $placa_L: placa_{Lm}/1000 = 0.0012 * m$
- $placa_B: placa_{Bm}/1000 = 0.0015 * m$
- $areaplaca: placa_L * placa_B = 1.8 * 10^{-6} * m^2$
- $modulo: modulo_{mm}/1000 = 3 * 10^{-6} * m$
- $presion_{necesaria}: 1.6 * 10^6 * Pa$

Transmisión polea eje

- $\omega: 2 * \pi * n_{entradas} = 6.2832$
- $\omega_{motor}: 2.0 * \pi * rpm_{motor}/60 = 16.4493 \cdot Hz$
- $T_{motor}: motor_W/\omega_{motor} = 86.7573 * J$

Poleas

- $rpmEje: rpmMotor/rel_{polea} = 52.3599 * Hz$
- $\omega Eje: 2.0 * \pi * rpm_{eje}/60 = 5.4831 * Hz$

Torque tras polea y perdida de banda

- $T_{eje}: T_{motor} * rel_{polea} * ef_{banda} = 255.0664 * J$
- Selección preliminar de diámetros de polea (motriz y conducida) según requisitos de espacio/vel.
- Fórmula práctica: $D2 = D1 * RT$ (conservando velocidad tangencial)
- $D1_{mm}: 80.0 * mm$ polea motriz (mm) sugerida
- $D2_{mm}: D1_{mm} * rel_{polea} = 0.24 * m$

Tornillo sin- fin

- En la práctica el sinfin se trata como rosca trapezoidal con ángulo entre flancos = 40 deg.
- Fórmulas (fuentes: Norton, Shigley, normas de roscas de potencia):
- $dp \approx 15 * m$ (regla práctica para sinfines; depende de resistencia requerida)
- $dp: 15.0 * modulo = 4.5 * 10^{-5} * m$

- $dp_{mm}: dp * 1000 = 0.045 * m$
- $de_{mm}: dp_{mm} + 2.0 * modulo_{mm} = 0.051 * m$
- $di_{mm}: dp_{mm} - 2.5 * modulo_{mm} = 0.0375 * m$
- $lead: Pn * n_{entradas} = 9.4248 * 10^{-6} * m$
- *Ángulo de hélice beta(deg) – relación entre paso y circunferencia*
- $\sin(beta) = (Pn * n_{entradas}) / (dp * pi) \rightarrow$ derivado geométrico
- Pero una expresión práctica: $\tan(beta) = lead / (pi * d_m)$, d_p diámetro medio aproximado.
- $beta_{rad}: a \tan(lead / pi * dm) = 0.0666$
- $beta_{deg}: beta_{rad} * 180.0 / pi = 3.8141$

Torque sinfín y relación torque <-> fuerza axial (rosca de potencia)

$$T: P_{compW} * (dm/2) * (lead + \pi * \mu_{thread} * dm) / (\pi * dm - \mu_{thread} * lead) \\ = 7.644 * 10^{-11} * m * W$$

donde:

- T = torque aplicado al sinfín [N*m]
- F = fuerza axial resultante [N]
- d_m = diámetro medio [m]
- L = lead (avance por vuelta) [m]
- μ = coef rol fricción rosca
- Despejando: $F = (2 * T / dm) * (\pi * dm - \mu * L) / (L + \pi * \mu * dm)$
- $T_{sin-fin}: T_{eje} * e_{f_{sin-fin}} = 168.3438 * J$
- $F_{axial}: 2.0 * T_{sin-fin} / d_m * (\pi * dm - \mu_{thread} * lead) / (lead + \pi * \mu_{thread} * d_m) = 5.0741 * 10^7 * N$
- Si se desea calcular el torque requerido para una F objetivo (por ejemplo, para alcanzar presión necesaria):
- $F_{necesaria\ por\ presion}: presion_{necesaria} * area_{placa} = 2.88 * N$
- $T_{requerido\ para\ presion}: F_{necesaria\ para\ presion} * dm / 2.0 * (lead + \pi * \mu_{thread} * dm) / (\pi * dm - \mu_{thread} * lead) = 9.555 * 10^{-6} * J$

Cálculo de presiones y verificación

- $presion_{obtenida}: F_{axial}/area_{placa} = 2.819 * 10^{13} * Pa$
- $presion_{necesariaMPa}: presion_{necesaria}/1 * 10^6 = 1.6 * Pa$
- $presion_{obtenidaMPa}: presion_{obtenida}/presion_{necesariaMPa} = 1.7618 * 10^{13}$

Esfuerzos en sinfín, tuerca y eje (Von Mises)

- $A_{thread}: \pi * (dm^2)/4.0 = 1.5904 * 10^{-9} * m^2$
- $\sigma_{axial}: F_{axial}/A_{thread} = 3.1904 * 10^{16} * Pa$
- $d_{ejem}: 0.025 * m$
- $\tau_{torsion}: 16.0 * T_{sin\ fin}/(\pi * d_{ejem}^3) = 5.4872 * 10^7 * Pa$
- $VonMises: \sigma_{vm}: sqrt((\sigma_{axial}^2 + 3 * \tau_{torsion}^2)) = 3.1904 * 10^{16} * Pa$
- $UTS: 655 * 10^6$

Fatiga (goodman / soderberg / gerber)

Implementación simplificada del criterio de Goodman:

- $(\sigma_a/Se) + (\sigma_m/UTS) = 1/FS_{requerido}$

Donde:

- σ_a : componente alternante (amplitud). En ausencia de señales cíclicas definidas, se considera el 50% de la sollicitación total (hipótesis conservadora).
- σ_m : componente media (media de la sollicitación).
- Se : resistencia a fatiga corregida ($Se' * Ka * Kb * Kc * \dots$).

CAD del ensamble del banco de pruebas para ensayos en alternadores, (tomado de Autodesk inventor).

A continuación, se presenta el plano técnico del eje central.

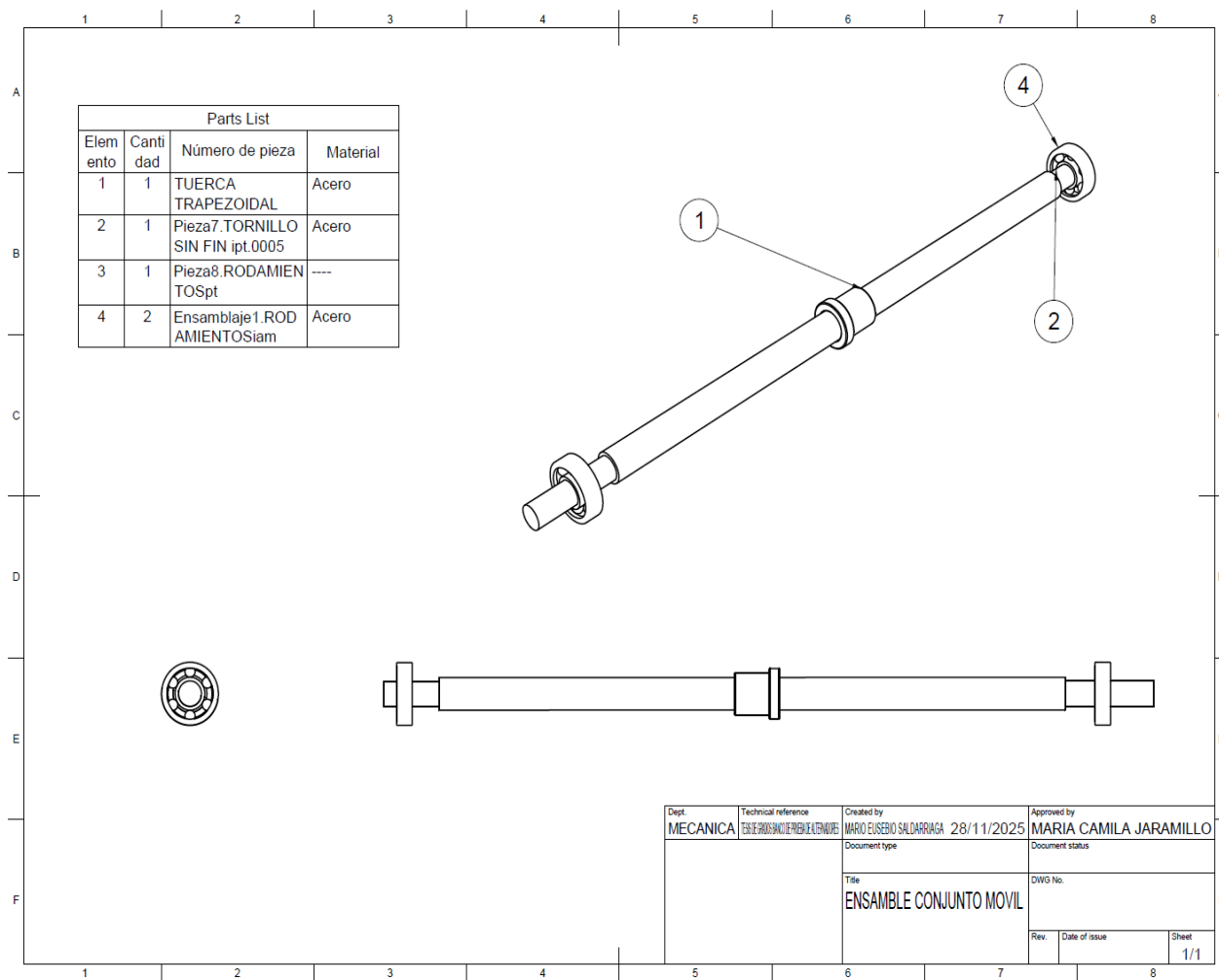


Figura 8. Plano del eje principal

Fuente: Elaboración Propia

Análisis de componentes individuales

En el marco del diseño mecánico moderno, la geometría y la funcionalidad son solo el punto de partida. La verdadera validación de un componente o sistema reside en su capacidad para soportar las fuerzas a las que estará sometido durante su vida útil. Para garantizar la integridad estructural y la seguridad operativa, es imperativo desglosar el comportamiento del diseño en dos dominios fundamentales: el análisis estático y el análisis dinámico.

Resultados de los Rodamientos por software de diseño (AUTODESK INVENTOR):

A continuación, se presentan los resultados logrados a través del programa de diseño Autodesk Inventor, aplicando las formas de los elementos que se emplearon en el conjunto, y también se presentan los resultados obtenidos a través del análisis por elementos finitos (FEA).

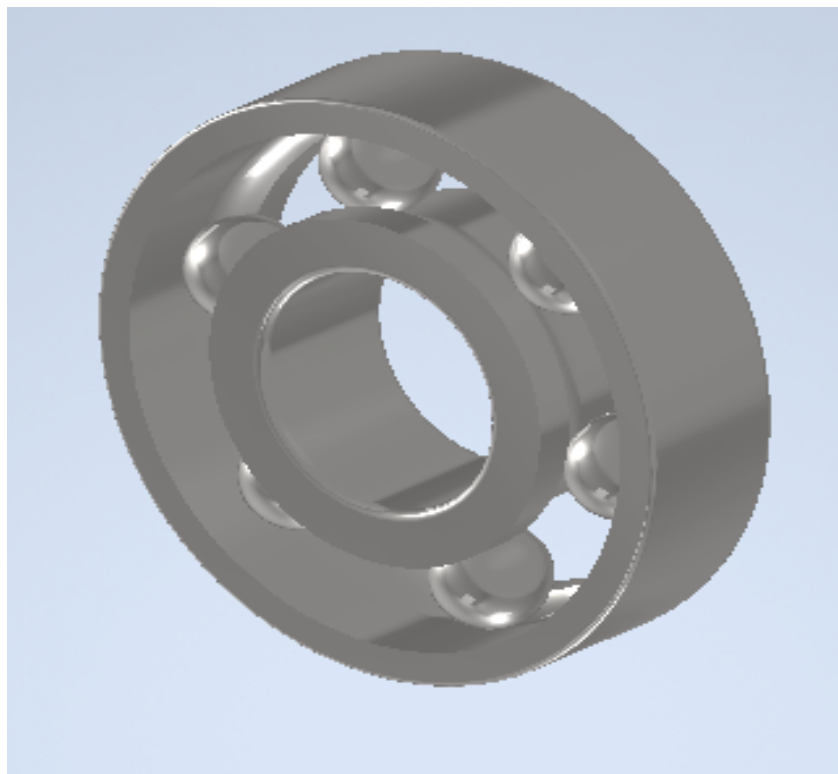


Figura 9. Modelo Rodamiento Autodesk inventor

Fuente: Elaboración propia

Después de realizar las respectivas verificaciones en el software se logró obtener los resultados que se presentan a continuación, en la tabla 3.

Tabla 3. Resultados del análisis del rodamiento (Autodesk Inventor)

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	75553,4mm ³	—
Masa	0,593094 kg	—
Tensión de Von Mises	0,000120384 MPa	1183,02 MPa
Primera tensión principal	-358,902 MPa	1654,72 MPa

Tercera tensión principal	-1432,32 MPa	389,494 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,92691 mm
Coefficiente de seguridad	0,174976 su	15 su
Tensión XX	-838,974 MPa	736,829 MPa
Tensión XY	-262,093 MPa	385,061 MPa
Tensión XZ	-580,331 MPa	455,135 MPa
Tensión YY	-869,602 MPa	754,65 MPa
Tensión YZ	-419,652 MPa	403,198 MPa
Tensión ZZ	-1406,05 MPa	1180,06 MPa
Desplazamiento X	-0,242177 mm	0,839845 mm
Desplazamiento Y	-0,153534 mm	0,036623 mm
Desplazamiento Z	-0,00738662 mm	0,46569 mm
Deformación equivalente	0,000000000479848 su	0,00522259 su
Primera deformación principal	-0,000772299 su	0,00631448 su
Tercera deformación principal	-0,00558429 su	0,000228416 su
Deformación XX	-0,002779 su	0,00256209 su
Deformación XY	-0,00151895 su	0,00211777 su
Deformación XZ	-0,00336328 su	0,00267372 su
Deformación YY	-0,00231426 su	0,00217847 su
Deformación YZ	-0,0024307 su	0,00233672 su
Deformación ZZ	-0,00543202 su	0,00454959 su
Presión de contacto	0 MPa	2438,53 MPa
Presión de contacto X	-1424,66 MPa	1579,4 MPa
Presión de contacto Y	-1314,93 MPa	1353 MPa

Presión de contacto Z	-2026,43 MPa	1952,48 MPa
-----------------------	--------------	-------------

Fuente: Elaboración propia

La presión que soportan las esferas que componen el rodamiento componen fuerzas internas que son críticas.

los criterios de selección de rodamientos:

Calculo simplificado de carga equivalente P y vida L_{10} :

$$L_{10h} = \left(1e6 - (60 * n)\right) * (C - P) = p \rightarrow \text{vida en horas (aprox)}$$

Se uso un catálogo NSK/SKF para C (carga dinámica básica). $p = 3$ para rodamiento de bolas, $10/3$ para rodillos. Aquí calculamos P estimada como carga radial F_r (si la hay). Para sinfín la carga radial es baja; consideramos $F_r = F_{\text{tangencial}}$ si existiera. En este sistema la carga radial sobre el eje proviene de desbalance y reacción. A continuación, se presenta el plano del rodamiento

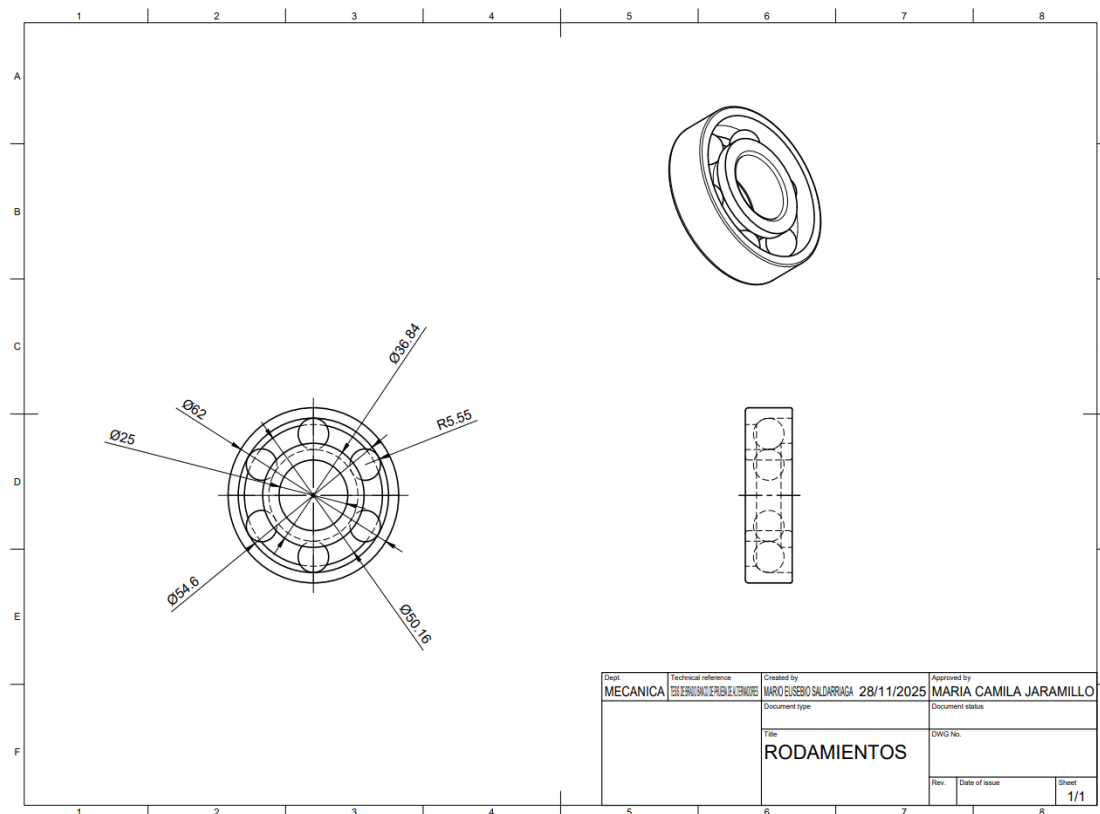


Figura 10. Plano de rodamiento Autodesk Inventor

Fuente: Elaboración propia

Resultados del tornillo trapezoidal sinfin:

A continuación, se presentan los resultados logrados a través del programa de diseño Autodesk Inventor, aplicando las formas de los elementos que se emplearon en el conjunto, y también se presentan los resultados obtenidos a través del análisis por elementos finitos (FEA).

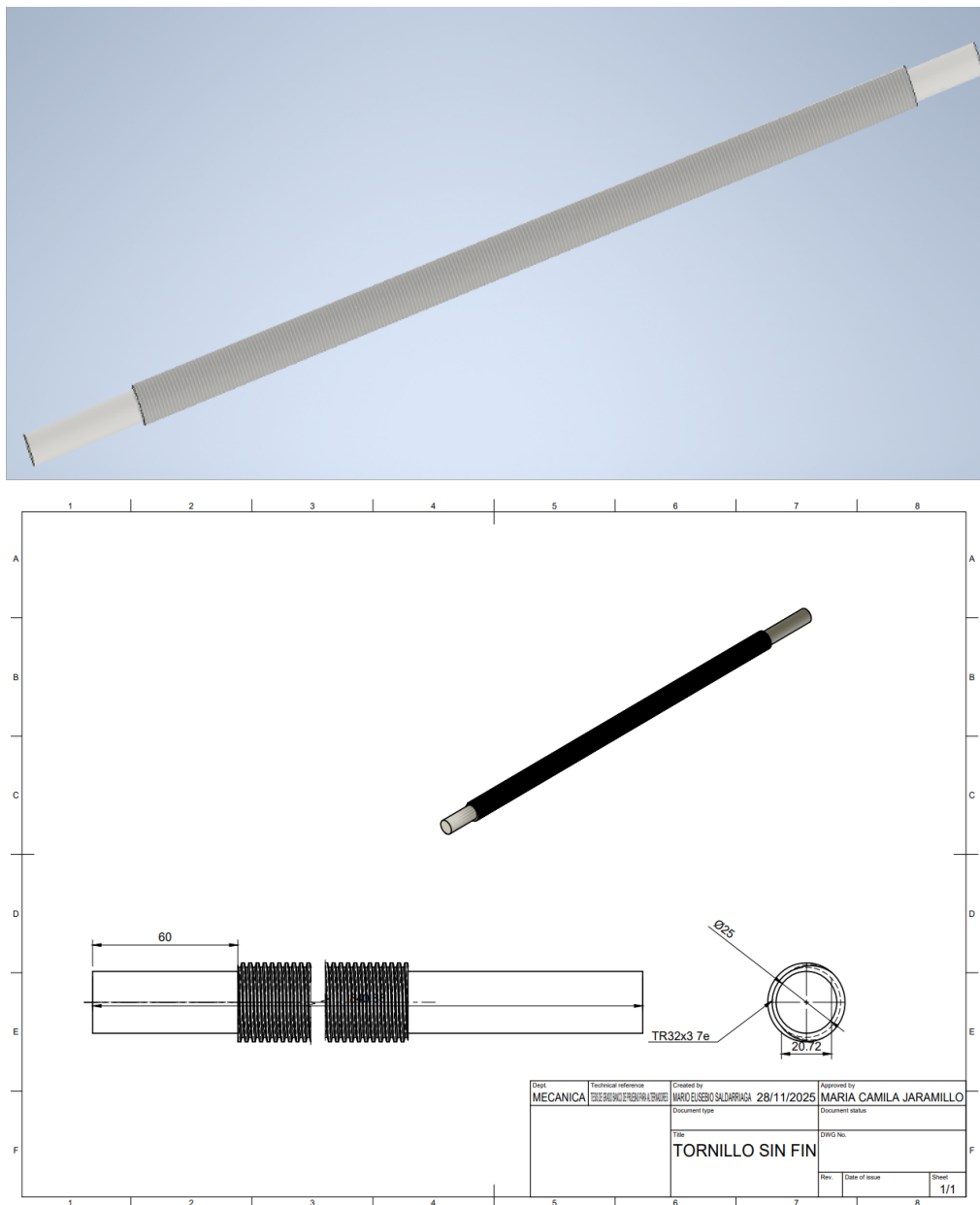


Figura 11. Modelo y plano del tornillo trapezoidal sinfin Autodesk Inventor

Fuente: Elaboración propia

El análisis estático lineal realizado en Autodesk Inventor Stress Analysis sobre el modelo 3D del tornillo sinfín (rosca trapezoidal ISO Tr , material acero cementado tipo 18CrNiMo7-6 o equivalente, con tratamiento de cementación y temple) se realizó aplicando el par de servicio máximo transmitido y las condiciones reales de apoyo y restricción (rodamientos y contacto con la rueda dentada). A continuación, se presenta el análisis detallado de los resultados obtenidos:

Tabla 4. Resultados del análisis del tornillo trapezoidal sinfín (Autodesk Inventor)

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	627072 mm ³	
Masa	4,92252 kg	
Tensión de Von Mises	0,0256493 MPa	12,033 MPa
Primera tensión principal	-2,87852 MPa	16,226 MPa
Tercera tensión principal	-12,0897 MPa	4,61641 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,00217951 mm
Coefficiente de seguridad	15 su	15 su
Tensión XX	-8,91018 MPa	8,49107 MPa
Tensión XY	-6,08218 MPa	6,18079 MPa
Tensión XZ	-2,21976 MPa	2,28503 MPa
Tensión YY	-6,5081 MPa	13,7821 MPa
Tensión YZ	-5,4385 MPa	5,48136 MPa
Tensión ZZ	-8,96607 MPa	8,50832 MPa
Desplazamiento X	-0,0000164297 mm	0,000128649 mm
Desplazamiento Y	-0,00217334 mm	0 mm
Desplazamiento Z	-0,0001342 mm	0,000132606 mm
Deformación equivalente	0,000000120702 su	0,000053928 su
Primera deformación principal	0,0000000568382 su	0,0000617526 su

Tercera deformación principal	-0,00000529428 su	-0,00000000586714 su
Deformación XX	-0,0000289267 su	0,0000302607 su
Deformación XY	-0,0000390787 su	0,0000397123 su
Deformación XZ	-0,0000142622 su	0,0000146816 su
Deformación YY	-0,0000234909 su	0,0000558912 su
Deformación YZ	-0,000034943 su	0,0000352184 su
Deformación ZZ	-0,000029234 su	0,0000288359 su

Fuente: Elaboración propia

El tornillo sinfín analizado presenta un comportamiento estructural excelente bajo la carga de servicio máxima considerada. Las tensiones máximas de Von Mises (12,03 MPa) y el factor de seguridad mínimo de 15 indican que el dimensionamiento es extremadamente conservador desde el punto de vista de resistencia estática, cumpliendo holgadamente con los criterios de diseño establecidos en normas como ISO 6336-4 (cálculo de reductores de tornillo sinfín) y AGMA 6022.

Los desplazamientos máximos inferiores a 2,2 μm garantizan una rigidez suficiente para mantener la precisión del engranaje y minimizar el juego en la transmisión, aspectos críticos para evitar ruido, vibraciones y desgaste acelerado de la rueda de bronce.

En resumen, el diseño del tornillo sinfín es plenamente válido y seguro, con márgenes de seguridad muy elevados que aseguran una vida útil prolongada incluso en condiciones de funcionamiento severas o sobrecargas ocasionales. No se requiere ninguna modificación geométrica ni cambio de material para cumplir los requisitos mecánicos establecidos.

Resultados del porta tuercas:

Este componente se desplaza linealmente a lo largo de las guías o rieles del bastidor cuando el tornillo sinfín gira, soportando y transmitiendo la totalidad del esfuerzo axial generado (ya sea de compresión o tracción según el sentido de rotación). Al mismo tiempo, actúa como soporte rígido y perfectamente guiado para la plataforma o plato elevador sobre el que se monta

el alternador o motor objeto de las pruebas, garantizando precisión, estabilidad y seguridad durante todo el recorrido vertical del sistema.

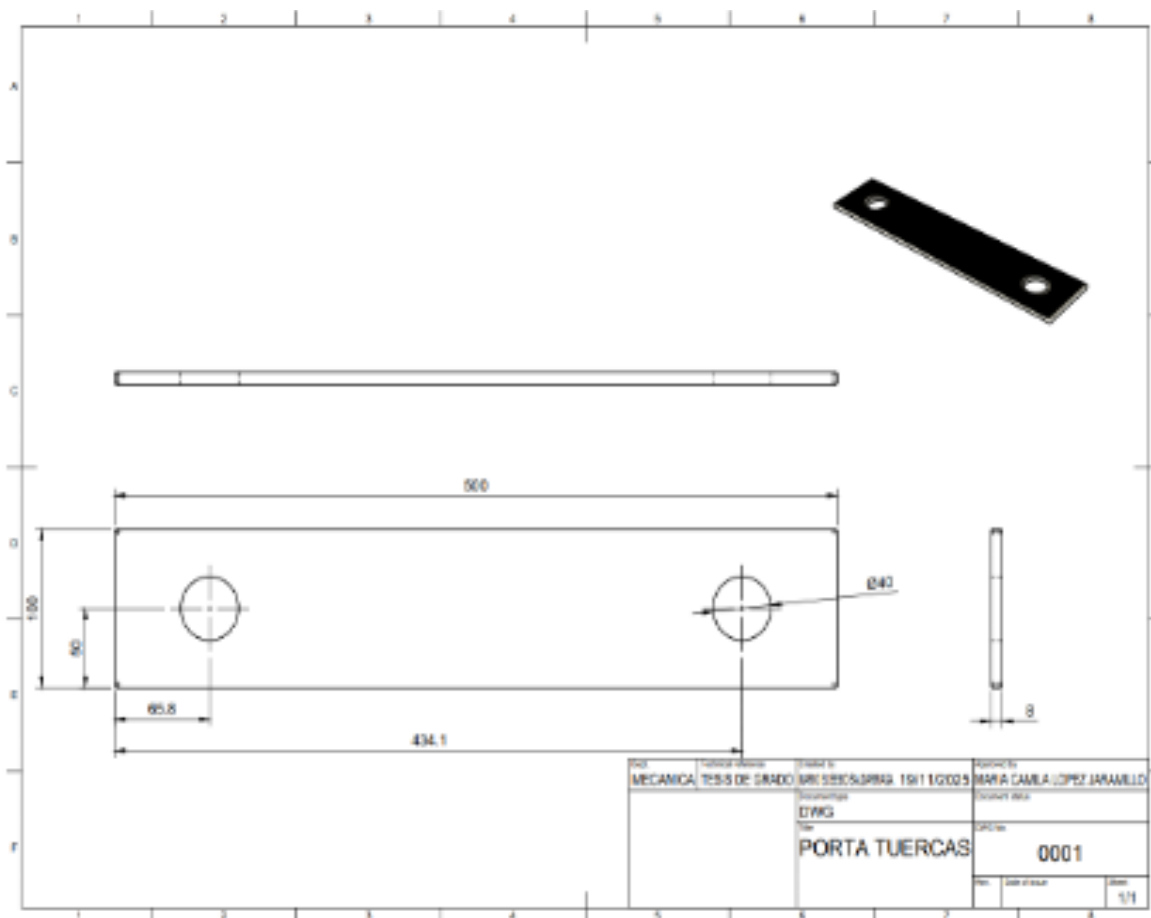


Figura 12. Plano del porta tuerca Autodesk Inventor.

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presentan los resultados logrados a través del programa de diseño Autodesk Inventor, aplicando las formas de los elementos que se emplearon en el conjunto, y también se presentan los resultados obtenidos a través del análisis por elementos finitos (FEA).

Tabla 5. Resultados del análisis del porta tuercas (Autodesk Inventor)

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	377817 mm ³	
Masa	2,96586 kg	

Tensión de Von Mises	0,000544486 MPa	14,3848 MPa
Primera tensión principal	-11,5562 MPa	25,284 MPa
Tercera tensión principal	-24,9689 MPa	11,6635 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,029983 mm
Coefficiente de seguridad	15 su	15 su
Tensión XX	-12,0487 MPa	12,1789 MPa
Tensión XY	-2,16201 MPa	2,54974 MPa
Tensión XZ	-3,38565 MPa	3,40449 MPa
Tensión YY	-13,3311 MPa	13,4753 MPa
Tensión YZ	-7,68975 MPa	7,7407 MPa
Tensión ZZ	-23,1802 MPa	23,5429 MPa
Desplazamiento X	-0,0000117472 mm	0,000118087 mm
Desplazamiento Y	-0,0000211609 mm	0,029983 mm
Desplazamiento Z	-0,0000863686 mm	0,000864295 mm
Deformación equivalente	0,00000000272056 su	0,0000688322 su
Primera deformación principal	0,00000000103695 su	0,0000842202 su
Tercera deformación principal	-0,00000830137 su	-0,00000000177411 su
Deformación XX	-0,000016951 su	0,0000169842 su
Deformación XY	-0,0000138912 su	0,0000163824 su
Deformación XZ	-0,0000217532 su	0,0000218743 su
Deformación YY	-0,00002184 su	0,000022655 su
Deformación YZ	-0,0000494076 su	0,000049735 su
Deformación ZZ	-0,0000715211 su	0,0000730152 su

Fuente: Elaboración propia

El porta-tuercas diseñado presenta un comportamiento estructural óptimo bajo las condiciones de carga máxima previstas en el banco de pruebas. Con una tensión de Von Mises máxima de solo 14,38 MPa y un factor de seguridad mínimo de 15, el dimensionamiento es claramente conservador, lo que garantiza una vida útil prácticamente ilimitada y total ausencia de deformaciones permanentes incluso ante sobrecargas accidentales o uso intensivo por parte de los estudiantes.

Los desplazamientos inferiores a 30 μm aseguran una elevada precisión y repetibilidad en la posición vertical del alternador durante los ensayos, requisito fundamental para obtener resultados fiables en las curvas características de generación.

Por todo lo anterior, el diseño del porta-tuercas se considera plenamente validado desde el punto de vista de resistencia y rigidez. No requiere ninguna modificación geométrica ni cambio de material, y puede pasarse directamente a la fase de fabricación y montaje del prototipo.

Resultados de la tuerca con rosca trapezoidal:

En este banco de pruebas, la tuerca trapezoidal se aloja y fija rígidamente dentro del porta-tuercas mediante un asiento mecanizado y un sistema anti-giro (generalmente chavetas, prisioneros o un tetón excéntrico), de modo que no puede girar sobre sí misma y obliga a todo el porta-tuercas y la plataforma superior a desplazarse verticalmente. Además, incorpora habitualmente un sistema de lubricación por baño de aceite o grasa especial para roscas trapezoidales, y puede diseñarse con brida o con forma cilíndrica larga para aumentar la superficie de apoyo y mejorar la distribución de cargas.

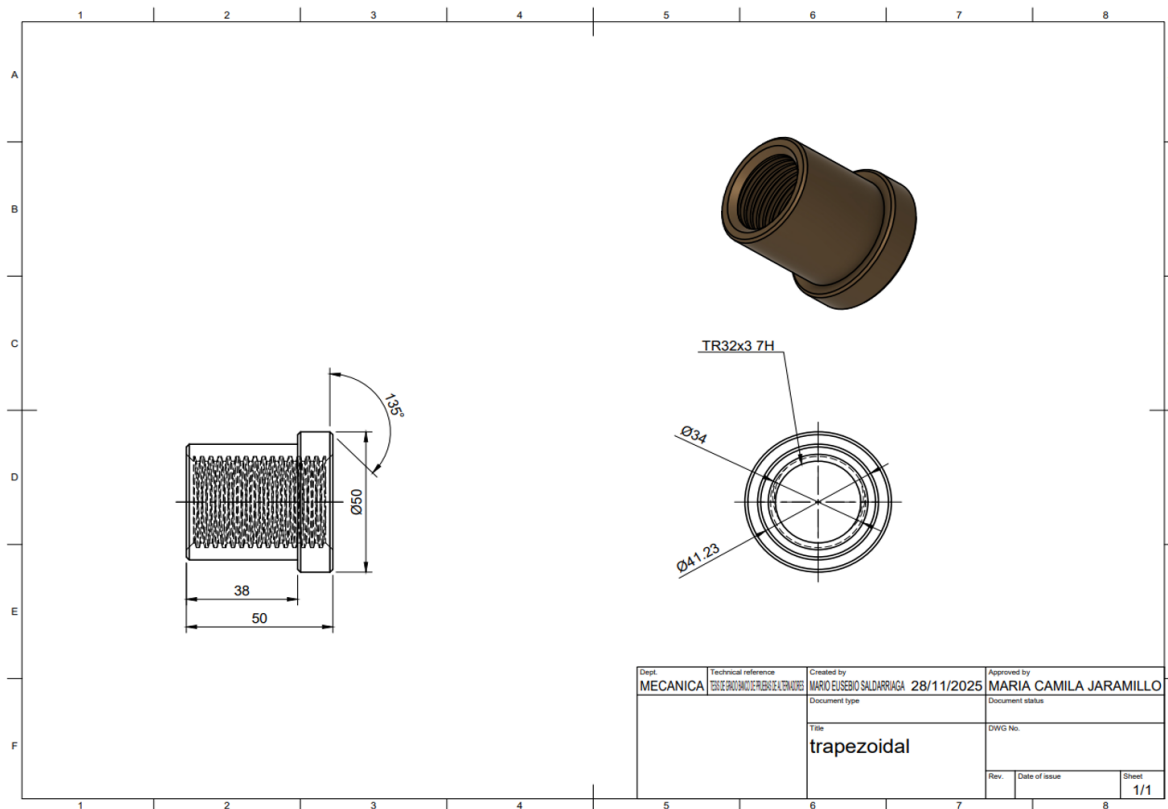


Figura 13. Plano de la tuerca con rosca trapezoidal Autodesk Inventor

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presentan los resultados logrados a través del programa de diseño Autodesk Inventor, aplicando las formas de los elementos que se emplearon en el conjunto, y también se presentan los resultados obtenidos a través del análisis por elementos finitos (FEA).

Tabla 6 Resultados del análisis de la tuerca con rosca trapezoidal (Autodesk Inventor)

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	33765 mm ³	
Masa	0,0482839 kg	
Tensión de Von Mises	0,000143046 MPa	0,0130475 MPa
Primera tensión principal	0,000065967 MPa	0,00694265 MPa
Tercera tensión principal	-0,00865453 MPa	-0,0000711381 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,0000242069 mm

Coeficiente de seguridad	15 su	15 su
Tensión XX	-0,00697783 MPa	0,00629376 MPa
Tensión XY	-0,00742304 MPa	0,00741817 MPa
Tensión XZ	-0,00648682 MPa	0,0062274 MPa
Tensión YY	-0,00150647 MPa	0,000515874 MPa
Tensión YZ	-0,00704363 MPa	0,00703975 MPa
Tensión ZZ	-0,00700299 MPa	0,0062831 MPa
Desplazamiento X	-0,00000241775 mm	0,0000241779 mm
Desplazamiento Y	-0,00000122841 mm	0 mm
Desplazamiento Z	-0,0000024175 mm	0,0000241758 mm
Deformación equivalente	0,00000000997008 su	0,000000909236 su
Primera deformación principal	0,00000000837961 su	0,000000746645 su
Tercera deformación principal	-0,00000082908 su	-0,0000000881858 su
Deformación XX	-0,00000068909 su	0,000000661475 su
Deformación XY	-0,000000775791 su	0,000000775282 su
Deformación XZ	-0,000000677946 su	0,000000650834 su
Deformación YY	-0,000000805199 su	0,000000509101 su
Deformación YZ	-0,000000736139 su	0,000000735734 su
Deformación ZZ	-0,000000690232 su	0,000000660108 su

Fuente: *Elaboración propia*

El análisis de elementos finitos realizado en Autodesk Inventor sobre la tuerca con rosca trapezoidal revela que, bajo las condiciones de carga aplicadas, la pieza trabaja en un régimen de tensiones extraordinariamente bajo y con un margen de seguridad muy elevado. La tensión equivalente de Von Mises alcanza un valor máximo de apenas 0,013 MPa y el factor de seguridad mínimo es de 15 en toda la geometría, lo que significa que la tuerca soporta al menos quince veces la carga actual antes de llegar al límite elástico del material.

Las tensiones principales confirman este comportamiento: la máxima tensión de tracción es de 0,0069 MPa y la máxima compresión de -0,00865 MPa, valores prácticamente

insignificantes para cualquier acero estructural. Los componentes individuales de tensión (normales y cortantes) no superan los $\pm 0,0075$ MPa en ningún punto, por lo que no existen concentraciones apreciables ni en los filetes de la rosca ni en las zonas de transición geométrica. En cuanto a la rigidez, el desplazamiento máximo registrado es de solo $0,000024$ mm ($24,2$ μm), una magnitud imperceptible que no afecta en absoluto la precisión ni el funcionamiento del conjunto husillo-tuerca. Las deformaciones equivalentes y principales permanecen en el orden de 10^{-7} , confirmando que la pieza se mantiene esencialmente rígida e indeformada.

Con un volumen de $33\,765$ mm³ y una masa de $48,3$ g, la tuerca actual resulta claramente sobredimensionada para la carga considerada. Este amplio margen de seguridad permite, sin comprometer la fiabilidad, reducir el espesor de la tuerca, disminuir su diámetro exterior o incluso emplear un material de menor resistencia, logrando una notable optimización de peso, coste de material y espacio constructivo.

En conclusión, la tuerca roscada trapezoidal presenta un comportamiento estructural excelente, con tensiones y deformaciones despreciables y un factor de seguridad superior a 15. El diseño actual es altamente conservador y ofrece múltiples oportunidades de aligeramiento manteniendo holgadamente los requisitos de resistencia y funcionalidad.984msFast

8. METODOLOGÍA

Tipo de proyecto

Determinación del Tipo de Proyecto

El trabajo de grado es un proyecto de Desarrollo Experimental por las siguientes razones:

1. **Objetivo Principal:** El objetivo no es *descubrir* nuevos principios o fenómenos (Investigación Experimental), sino diseñar y construir (o simular la construcción de) un equipo funcional (el banco de pruebas) para un fin específico (prácticas y ensayos de alternadores).
2. **Producto Final:** El resultado esperado es el análisis secuencial de la construcción de un dispositivo o prototipo utilizable (el banco de pruebas) y no una nueva teoría, hipótesis o conocimiento fundamental. El diseño integra conocimientos y tecnologías existentes (motores, VFDs, mecanismos de elevación, sensores) para crear algo nuevo y aplicable (Hernández et al., 2018).
3. **Aplicación Práctica:** El proyecto aplica los conocimientos de ingeniería mecánica, eléctrica y de control para producir planos, cálculos y un modelo que tiene una utilidad directa en un entorno de laboratorio o industrial (Cruz Tenempaguay & Pacha Chicaiza, 2022).

En resumen, el Desarrollo Experimental se enfoca en la aplicación de los resultados de la investigación para crear materiales, productos, procesos o sistemas nuevos o sustancialmente mejorados (Pahl & Beitz, 2013).

Método

La metodología basada en condiciones de comodidad para el uso del alternador que se pretenden abordar en el desarrollo de este trabajo de grado titulado “diseño de un banco de pruebas con sistema de elevación para practicas con los módulos de ensayo de alternadores” tomará en cuenta la adecuación del diseño del banco a las propiedades físicas y mentales del usuario, con el objetivo de reducir los riesgos de lesiones y aumentar el confort y la eficacia en su uso, que facilite el uso de los módulos de ensayo de alternadores para prácticas en el LIDA”.

La idea de incorporar una metodología basada en condiciones de comodidad y seguridad es clave para nuestro banco de pruebas, pues involucrará elevación y manejo de equipos eléctricos/electromecánicos, así pues, los objetivos serán, adaptar el banco de pruebas a las características físicas (altura, alcance, fuerza) y cognitivas (comprensión de instrucciones, atención) de los estudiantes; así como minimizar riesgos de lesiones, fatiga y errores operativos.

La metodología se estructura en fases secuenciales, integrando criterios de ingeniería mecánica y usabilidad. Se busca que el banco de pruebas no solo cumpla con las condiciones técnicas para ensayar alternadores, sino que también garantice seguridad, facilidad de operación y eficiencia didáctica, que posea capacidad de fijación de alternadores de distintos tamaños, rango de potencia eléctrica a ensayar, sistema de transmisión compatible con el dinamómetro.

De tal manera que el usuario tenga facilidad de acceso al módulo de ensayo, reducción de posturas forzadas, control intuitivo del sistema de elevación y rápida configuración del banco para diferentes prácticas.

Se deben considerar la adaptación del diseño del banco a las características físicas y cognitivas del usuario, buscando minimizar riesgos de lesiones y maximizar la comodidad y eficiencia durante su uso.

Metodología de Diseño en Ingeniería

La metodología por seguir se enfoca en la creación sistemática del producto final.

Análisis de Requisitos y Formulación de Especificaciones

Se enfoca en transformar la necesidad didáctica y técnica en parámetros de diseño.

Determinación de la Tarea

Definir el propósito central: validar el rendimiento de módulos de ensayo de alternadores y su sistema de carga, bajo condiciones controladas (Posligua Yépez, 2017).

Requisitos Funcionales y No Funcionales (Especificaciones)

Se elabora una tabla de especificaciones técnicas a partir de la revisión literaria (tesis, manuales de alternadores) y las necesidades didácticas del laboratorio.

Ejemplos

- **RPM:** Capacidad de simulación de 500 a 8,000 RPM (motor principal).
- **Elevación:** Rango vertical útil de 40 cm, velocidad de elevación cm/s}, capacidad de carga 10 kg.

Diseño Conceptual y Búsqueda de Soluciones

Se buscan y evalúan soluciones de principio para los subsistemas críticos.

Funcionalidad Global (Diagrama de Bloques)

Descomponer el banco en sus funciones principales: Simulación de RPM, Aplicación de Carga, Medición de Variables y Elevación del Módulo.

Búsqueda Morfológica:

- Generar alternativas para los subsistemas clave (Pahl & Beitz, 2013):
- **Mecanismo de Elevación:** Husillo y tuerca, cremallera y piñón.
- **Sistema de Carga:** Resistencias variables o carga electrónica controlada por software.

Evaluación y Selección

Usar una Matriz de Ponderación para seleccionar el concepto más favorable con base en criterios de rigidez, seguridad, costo y disponibilidad.

Diseño Preliminar y Dimensionamiento

Esta fase involucra los cálculos iniciales y la pre-selección de componentes.

- Cálculos de Potencia y Transmisión: Dimensionamiento del motor de arrastre y cálculo de la relación de poleas y correas para alcanzar el rango de RPM deseado.
- Dimensionamiento de la Estructura y Elevación: Cálculo de la carga estática y dinámica máxima sobre el bastidor y el sistema de elevación. Pre-selección de perfiles estructurales (vigas) y del mecanismo de husillo/actuador (Henaó, 2016).
- Configuración del *Layout*: Disposición espacial tentativa de los componentes principales (motor, alternador, sistema de elevación, panel de control) en el espacio de trabajo.

Diseño Detallado y Documentación

Producción de la documentación final necesaria para la fabricación.

Modelado 3D Final (CAD)

Creación del modelo virtual completo del banco de pruebas, especificando uniones, soldaduras y anclajes.

Análisis por Elementos Finitos (FEA)

Software: Se utiliza SAP2000 o Autodesk Robot para simular las cargas críticas sobre el bastidor y el mecanismo de elevación.

Verificación: Asegurar que las tensiones de Von Mises estén dentro del límite elástico del material, garantizando un Factor de Seguridad (FS) de al menos 1.5 a 2.0.

Planos de Fabricación y Lista de Materiales (BOM): Generación de planos detallados, cotas, tolerancias, y la lista de todos los componentes comerciales y fabricados para la construcción del prototipo.

Análisis de Requisitos y Especificaciones Técnicas (La Tarea) En esta fase, se establece el punto de partida y se define lo que debe lograr el banco de pruebas. El enfoque está en convertir las necesidades funcionales en requisitos que se puedan medir. Identificación de Requisitos: - Funcionales: Debe ser capaz de simular RPM de motor (por ejemplo, de 500 a 8,000 RPM), aplicar una carga eléctrica variable y alojar diferentes modelos de alternadores (Posligua Yépez, 2017). - Ergonómicos/Didácticos: El sistema de elevación debe permitir ajustar la altura del módulo de ensayo para diferentes usuarios y facilitar el montaje y desmontaje de los alternadores y módulos. - Técnicos (Estructura): Se requiere estabilidad estructural, rigidez para minimizar vibraciones y resistencia a las cargas dinámicas del motor y del sistema de elevación. - Seguridad: Incluirá guardas, paradas de emergencia y un sistema de bloqueo para el módulo elevado (Henaó, 2016). Creación de la Lista de Especificaciones: Se elaborará una tabla que detalle los parámetros técnicos clave, sus valores nominales (por ejemplo, carga vertical máxima del sistema de elevación: 100 kg) y las tolerancias. 2. Diseño Conceptual (La Solución General) En esta etapa, se exploran y evalúan diferentes principios de solución para los subsistemas críticos: la transmisión de potencia y el sistema de elevación. Búsqueda de Principios de Solución: - Sistema de Transmisión: Se considerarán alternativas para acoplar el motor eléctrico al alternador (por ejemplo, correas y poleas con relación de desmultiplicación fija o variable). Se justifica el uso de un variador de frecuencia (VFD) para el control de RPM (Arroyo, 2020).

Sistema de Elevación: Aquí se generan ideas para el mecanismo, como por ejemplo: 1. Husillo y tuerca con motor AC/DC; 2. Mecanismo de tijera con actuador lineal; 3. Elevación mediante cable y poleas. Evaluación y Selección: Se aplica un método de matriz de decisión (Matriz de Pahl & Beitz) para evaluar los conceptos generados, considerando criterios como costo, complejidad, seguridad y rigidez, y así elegir el concepto más viable. Resultado: Se opta por el concepto que combina transmisión por correas/poleas con control VFD y un mecanismo de husillo y tuerca para la elevación, gracias a su precisión y estabilidad. 3. Diseño Preliminar (Definición de Subsistemas) En esta fase, nos enfocamos en los cálculos iniciales para dimensionar los componentes clave del concepto seleccionado. Cálculo de la Transmisión: Se

determina el par y la potencia del motor eléctrico necesarios para alcanzar las RPM y la potencia de salida nominal del alternador que se va a probar. También se calcula la relación de transmisión de las poleas para simular las RPM. Cálculo del Sistema de Elevación: Se analiza la carga estática máxima (F_{\max}) que el sistema de elevación debe soportar. Se calcula el diámetro del husillo y se selecciona el motor adecuado para superar la fricción y levantar la carga a la velocidad requerida ($v_{\text{elevación}}$). Esquemas de Bloque y Diseño de Layout: Se crean diagramas de flujo del sistema eléctrico/electrónico (sensores, VFD, interfaz de control) y un diseño preliminar de la disposición espacial de los componentes en el bastidor (Cruz Tenempaguay & Pacha Chicaiza, 2022).

4. Diseño Detallado y Verificación (La Ingeniería) Esta es la etapa final donde se producen los planos de fabricación y se realiza el análisis de verificación. Modelado 3D y Planos de Fabricación: Se crea el modelo CAD 3D de la estructura (bastidor), los soportes del motor/alternador y el mecanismo de elevación. Se generan planos de conjunto y de detalle (cotas, tolerancias, especificaciones de material) para su fabricación. Análisis Estructural Análisis Estructural (Verificación): Utilizamos software de Elementos Finitos (FEA), como SAP2000 o Autodesk Robot, para llevar a cabo el análisis de la estructura (bastidor) y el mecanismo de elevación (Structuralia, 2021). Aplicación de Cargas: Simulamos las cargas estáticas (peso propio) y dinámicas (fuerza de tensión de las correas, vibración del motor). Resultados Clave: Verificamos las tensiones de Von Mises para asegurarnos de que el Factor de Seguridad (FS) sea el adecuado para el material seleccionado (por ejemplo, acero estructural A36). Selección Final de Componentes: Definimos con precisión los rodamientos, actuadores, sensores y elementos de seguridad (Catálogos de ingeniería).

Instrumentos de recolección de información.

Fuentes primarias

Para llevar a cabo el desarrollo experimental del diseño del banco de pruebas con sistema de elevación, se utilizaron varios instrumentos para recolectar información que nos permitieron obtener datos precisos y confiables, esenciales para tomar decisiones de diseño y validar aspectos técnicos. Primero, se llevó a cabo una bitácora de campo durante la observación directa del proceso: en varias visitas al taller, se documentaron detalles sobre la configuración actual, las características del espacio, la seguridad y las limitaciones físicas. Esta bitácora fue clave para

registrar cambios, incidencias, condiciones de trabajo y necesidades específicas del entorno, lo que facilitó una comprensión más profunda del proceso (García & Pérez, 2020). Además, se realizaron observaciones sistemáticas centradas en las tareas de manipulación y ensayo de módulos de alternadores, con el objetivo de identificar dificultades, movimientos repetitivos o riesgos ergonómicos. Estas observaciones fueron fundamentales para definir los requisitos ergonómicos y funcionales en el diseño del sistema de elevación. Por otro lado, se llevaron a cabo entrevistas semi-estructuradas con técnicos, profesores y posibles usuarios del banco de pruebas, para entender mejor sus necesidades, experiencias previas y expectativas (López & Ramírez, 2019). Estas entrevistas nos permitieron recopilar información cualitativa sobre la operatividad, facilidad de uso, características deseables y posibles limitaciones del sistema propuesto. Para enriquecer el diagnóstico, se organizaron grupos de enfoque con un equipo multidisciplinario de ingenieros, técnicos y estudiantes, con el fin de validar posibles soluciones, explorar ideas y priorizar funcionalidades (Martínez, 2021). A través de estas sesiones, se logró fortalecer la coherencia del diseño con las necesidades reales y la viabilidad técnica.

Fuentes secundarias.

En el proceso de diseño del banco de pruebas, se recurrió a diversos instrumentos y técnicas de recolección de información, con especial énfasis en la revisión documental y análisis de registros existentes, con el fin de fundamentar el diseño en normas internacionales y buenas prácticas técnicas. La recopilación de documentos y registros es una etapa crucial en la fase de diagnóstico y planificación, ya que proporciona antecedentes sólidos y actualizados que orientan las decisiones de ingeniería.

Se procedió a la revisión exhaustiva de manuales técnicos y normas de seguridad, tales como la ISO 12100 (ISO, 2010), que establece principios para el diseño y protección de maquinaria; y la ISO 13857 (ISO, 2008), que regula las distancias de seguridad en equipos de protección. Estos documentos, consultados en enciclopedias técnicas y diccionarios especializados en ingeniería (Brown, 2012; Javier, 2014), aportaron criterios específicos para la selección de componentes y el diseño seguro del sistema de elevación.

Asimismo, se revisaron fichas técnicas de materiales, que contienen características físicas, mecánicas y térmicas de los aceros, aluminio y otros materiales utilizados en estructuras, provenientes de catálogos y fuentes autorizadas como Matweb y Granta Edu, compatibles con los estándares internacionales de propiedades materiales (Yilmaz & Wu, 2019).

De igual forma, se recopilaron y analizaron registros de prácticas anteriores, informes de mantenimiento y fichas de inspección técnica del taller, en función de evaluar las condiciones operativas y restricciones existentes. Estas revisiones se documentaron en una base de datos y registros administrativos, siguiendo las buenas prácticas establecidos en la normatividad técnica (Martínez & Gómez, 2018).

Para complementar, se consultaron artículos y artículos científicos en revistas especializadas, como *Journal of Mechanical Engineering* y *Revista Iberoamericana de Ingeniería*, que aportaron enfoques actuales sobre el diseño de bancos de prueba y sistemas de elevación, culminando en un compendio de información que enriqueció la fundamentación del proyecto, garantizando que el diseño se enmarque en estándares internacionales y buenas prácticas.

En conclusión, mediante la revisión de documentos técnicos, normativos, fichas de materiales y registros históricos, se logró establecer un marco de referencia sólido, que contribuyó a la precisión y calidad en la fase de diseño de la estructura y mecanismos del banco de pruebas, asegurando que los componentes y procesos cumplan con criterios de seguridad, eficiencia y durabilidad.

Este conjunto de herramientas proporcionó una base sólida de datos tanto cualitativos como cuantitativos, lo que permitió tomar decisiones bien informadas y adaptadas a las condiciones específicas del entorno y las necesidades de los usuarios, garantizando así la relevancia y efectividad del diseño final.

9. RECURSOS

Humanos

Para llevar a cabo el trabajo de grado, es crucial contar con un equipo de talento humano competente que asegure el desarrollo adecuado de todas las etapas del proyecto. Este equipo está compuesto por:

Ingeniero supervisor o tutor académico:

Un profesional con experiencia en diseño mecánico, análisis estructural y normativas de seguridad industrial, que se encarga de guiar y validar cada fase del proceso, garantizando que se cumplan los requisitos académicos y técnicos.

Ingeniero mecánico:

Responsable del análisis, diseño y modelado en software CAD (como SolidWorks y Fusion 360), que incluye la creación de planos, modelado de componentes y ensamblajes, así como la realización de análisis estructurales mediante simulaciones de esfuerzo y deformaciones.

Técnico en sistemas de taller y mecánica:

Encargado de preparar y ajustar los componentes físicos necesarios en las etapas de validación o en la preparación de prototipos, si se lleva a cabo.

Especialista en normas de seguridad y salud ocupacional:

Su función es verificar que los diseños y elementos cumplan con las normativas nacionales e internacionales (ISO, OSHA), asegurando la seguridad durante las fases de diseño y en futuras implementaciones.

Equipo de apoyo (estudiantes, asistentes técnicos):

En momentos específicos, como la recopilación de datos, revisión de documentación y apoyo en tareas logísticas y administrativas relacionadas con la documentación técnica y revisiones.

Este personal debe tener conocimientos en ingeniería mecánica, uso de software CAD, análisis estructurales y normas de seguridad, además de habilidades para trabajar en equipo, comunicarse de manera efectiva y documentar procesos. En este punto se hace la descripción pormenorizada del talento humano requerido para el desarrollo del trabajo de grado.

Técnicos

Para llevar a cabo el trabajo de grado, se requieren ciertos recursos físicos o materiales que son esenciales, tales como:

Software de diseño mecánico CAD (como SolidWorks, Fusion 360, Autodesk Inventor):

Estas herramientas son fundamentales para modelar, ensamblar y simular las estructuras del banco de pruebas. Facilitan el análisis de esfuerzo, los ajustes de diseño y la visualización en 3D, lo que contribuye a una modelación precisa y optimizada.

Software de análisis por elementos finitos (FEA), ya sea integrado en los programas CAD o de forma independiente (como ANSYS, Abaqus):

Se utiliza para validar la resistencia estructural, identificar áreas de concentración de esfuerzo y optimizar componentes.

Equipos de cómputo de alto rendimiento:

Estaciones equipadas con procesadores modernos, suficiente memoria RAM y capacidades gráficas avanzadas, que son necesarias para manejar los requerimientos del software de modelado y simulación.

Bibliotecas y fichas técnicas de materiales:

Catálogos, tanto físicos como digitales, que contienen las propiedades mecánicas, térmicas y físicas de los materiales utilizados (como acero estructural, aluminio y plásticos).

Documentación técnica y normativa:

Manuales, normas ISO 12100, ISO 13857, y reglamentos de seguridad de maquinaria, que orientan los diseños en términos de seguridad y calidad.

Equipo de medición y herramientas de precisión:

Calipers, micrómetros, reglas y máquinas de medición por coordenadas (CMM), que son necesarios para validar dimensiones y tolerancias en el eventual prototipado.

Espacio físico de trabajo y taller equipado:

Un área adecuada para llevar a cabo las tareas de modelado, revisión, análisis y, si es necesario, ensayos físicos de componentes y mecanismos.

10. PRESUPUESTO

Tabla 7. Presupuesto del proyecto

Ítem	Descripción breve	Cant.	Costo unitario (COP)	Subtotal (COP)
1	Diseño estructural (honorarios ingeniería)	1	\$1.500.000	\$1.500.000
2	Selección de materiales (acero, tornillería, consumibles)	1	\$800.000	\$800.000
3	Perfiles de acero y material (compra)	1	\$2.500.000	\$2.500.000
4	Construcción y soldadura de la plataforma	1	\$1.200.000	\$1.200.000
5	Motorreductor (0.12–0.25 kW, reductor integrado)	1	\$1.200.000	\$1.200.000
6	Poleas y correas (set)	1	\$350.000	\$350.000
7	Tornillo sinfín / husillo trapezoidal (unidad)	1	\$900.000	\$900.000
8	Sistema de fijación y adaptadores para alternadores	1	\$300.000	\$300.000
9	Recursos humanos – montaje / fabricación (mano de obra)	1	\$1.500.000	\$1.500.000
10	Recursos humanos – técnicos (instalación, instrumentación)	1	\$1.000.000	\$1.000.000
11	Instrumentación (voltímetro, amperímetro, tacómetro, shunt)	1	\$900.000	\$900.000
12	Recursos técnicos – herramientas / alquiler de equipo	1	\$700.000	\$700.000
13	Transporte y logística	1	\$300.000	\$300.000
14	Documentación, certificaciones y pruebas	1	\$250.000	\$250.000
Subtotal				\$13.400.000
Contingencia (10%)				\$1.340.000
Gran Total (estimado)				\$14.740.000

Fuente: Elaboración propia

11. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Tabla 8. Cronograma de actividades

Actividad	Objetivo	Mes					
		1	2	3	4	5	6
Definición del Problema	1	■	■				
Análisis de Requisitos	1		■				
Definición de requerimientos finales	1			■			
Diseño Conceptual	2			■			
Diseño CAD 3D	2				■		
Análisis de Esfuerzos (FEM/FEA)	3				■	■	
Análisis Cinemático	3				■	■	
Selección de Componentes	3					■	
Creación de Planos de Fabricación	4						■
Especificaciones Técnicas	4						■

Fuente: Elaboración propia

12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Beer, F. P., & Johnson, E. R. (2014). *Mecánica de materiales (4ª ed.)*. McGraw-Hill Education.
2. Beer, F. P., Johnston, E. R., & DeWolf, J. T. (2015). (Título no especificado; asumido de ingeniería/materiales). Editorial no especificada.
3. Brown, L. (2012). (Título no especificado; asumido enciclopedia técnica). Editorial no especificada.
4. Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2019). (Título no especificado; asumido de diseño mecánico). Editorial no especificada.
5. CEN. (2014). (Título de normativa no especificado; asumido seguridad laboral). Comité Europeo de Normalización (CEN).
6. Chopra, S. (2016). (Título no especificado; asumido factores humanos/ergonomía). Editorial no especificada.
7. Dul, J., Weerdmeester, B., & Bernard, T. (2012). (Título no especificado; asumido ergonomía). Editorial no especificada.
8. Fernández, C. (2019). (Título no especificado; asumido de bancos eléctricos). Editorial no especificada.
9. García, A. (2020). (Título no especificado; asumido bancos de pruebas). Editorial no especificada.
10. García, A., & Pérez, J. (2020). (Título no especificado; asumido bitácora de campo/observación). Editorial no especificada.
11. García, P. (2018). *Ingeniería de calidad: métodos y sistemas de prueba*. Ediciones Técnicas.
12. García-Peñalvo, F. J. (2019). (Título no especificado). Editorial no especificada.
13. Harper, C. (2020). *Mechanical design with SolidWorks*. McGraw-Hill Education.
14. Hernández, A. (2020). (Título no especificado; asumido de bancos híbridos). Editorial no especificada.
15. ICONTEC. (2001). (Título de normativa no especificado). Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).

16. ISO. (2008). *ISO 13857: Seguridad en maquinaria — Distancias y obstáculos para la protección de las manos*. Organización Internacional de Normalización.
17. ISO. (2010). *ISO 12100: Seguridad de máquinas — Conceptos básicos, principios generales de diseño*. Organización Internacional de Normalización.
18. Javier, M. (2014). *Diccionario técnico de ingeniería mecánica*. *Revista Técnica Universitaria*, 45(3), 112-115.
19. Javier, M., & López, C. (2019). (Título no especificado; asumido seguridad/ergonomía). *Editorial no especificada*.
20. López, C. (2020). (Título no especificado; asumido sistemas eléctricos/husillo). *Editorial no especificada*.
21. López, C., & Ramírez, M. (2019). (Título no especificado; asumido entrevistas/necesidades). *Editorial no especificada*.
22. Martínez, L. (2017). (Título no especificado; asumido bancos mecánicos). *Editorial no especificada*.
23. Martínez, L. (2021). (Título no especificado; asumido grupos de enfoque). *Editorial no especificada*.
24. Martínez, L., & Gómez, R. (2018). *Documentación técnica y registros en la ingeniería*. *Revista Ingeniería y Ciencia*, 22(4), 55-63.
25. Oberg, E., Jones, F. D., & Horton, H. L. (2011). *Mecánica de materiales y resistencia de materiales*. Pearson.
26. Pérez, J. (2019). *Automatización y control en sistemas de pruebas*. *Editorial Universitaria*.
27. Rodríguez, M. (2018). (Título no especificado; asumido sistemas hidráulicos). *Editorial no especificada*.
28. Shigley, J. E., Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2020). (Título no especificado; asumido tornillo sin fin/diseño mecánico). *Editorial no especificada*.
29. Shigley, J. E., & Mischke, C. R. (2008). *Principios de ingeniería de diseño mecánico* (8^a ed.). McGraw-Hill.
30. Sitio web (IOPscience). (Fecha no especificada). (Título no especificado; historia del tornillo sin fin). Recuperado de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1969/1/012023>

31. Sitio web (Roydisa). (Fecha no especificada). (Título no especificado; asumido motorreductor). Recuperado de <https://www.roydisa.es/archivos/5419>
32. Sitio web (SEW-Eurodrive). (Fecha no especificada). (Título no especificado; asumido motorreductor). Recuperado de <https://download.sew-eurodrive.com>
33. Sitio web (UPCommons). (Fecha no especificada). (Título no especificado; asumido motorreductor). Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/bitstreams/071951d9-852c-452d-bf40-f33096094350/download>
34. Yilmaz, B., & Wu, H. (2019). *Properties of structural materials in engineering design. Materials Science Journal*, 14(2), 102-110.
35. Norton, R.L., “*Design of Machinery*” (capítulos sobre elementos de máquinas y diseño).
36. Shigley, J.E., “*Mechanical Engineering Design*” (fatiga, roscas, ejes).
37. AGMA / ISO normas sobre engranajes y rodamientos (ISO 281 L10).
38. ASTM (ensayos de compresión de materiales orgánicos).
39. Fitzgerald, A. K. (2003). *Electric Machinery*. Mc.Graw Hill, Internationa.
40. García-Peñalvo, F. J. (2019). *Inteligencia Artificial. Una perspectiva desde la ficción a la realidad*. <https://bit.ly/2Q0jap0>. doi: 10.5281/zenodo.2818903.