

Diseño y construcción de un prototipo de máquina universal de ensayos

José Luis Aponte Amado

Yobanny Albeiro Orjuela Bernal

Universitaria Agustiniiana - Uniagustiniana

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Mecatrónica

Bogotá D.C.

2024

Diseño y construcción de un prototipo de máquina universal de ensayos

José Luis Aponte Amado

Yobanny Albeiro Orjuela Bernal

Director

Ing. Wilmer Cruz Guayacundo

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecatrónico

Universitaria Agustiniiana - Uniagustiniana

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Mecatrónica

Bogotá D.C.

2024

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado con todo nuestro amor y gratitud a nuestros padres. Su apoyo incondicional, sus sacrificios y su constante aliento han sido fundamentales para alcanzar este logro.

Gracias por creer en nosotros y por enseñarnos el valor del esfuerzo y la perseverancia. Este proyecto es un reflejo de todo lo que hemos aprendido de ustedes y de su ejemplo de dedicación y amor.

Agradecimientos

Es un honor reconocer a aquellos que han sido fundamentales en este viaje educativo. Queremos agradecer a Dios, por las oportunidades, bendiciones recibidas, el éxito y la protección en el camino hacia este logro académico.

A nuestros padres, quienes, con su amor incondicional y apoyo constante, son nuestra fuerza motriz detrás de la perseverancia y el éxito.

También queremos agradecer a nuestros profesores, quienes, con su dedicación y orientación, iluminaron el camino del conocimiento y la sabiduría.

Cada uno de ellos jugaron un papel insustituible, proporcionando la inspiración y los medios para alcanzar metas y sueños. Es por ello, que queremos reconocer su contribución como gesto de humildad y respeto.

Resumen

Este documento detalla el diseño, construcción y validación de un prototipo de máquina universal de ensayos. El objetivo principal es diseñar y construir un prototipo capaz de realizar pruebas de compresión y flexión para evaluar las propiedades mecánicas de las zanahorias cultivadas en el invernadero de la Universitaria Agustiniense. Además, se busca apoyar los proyectos de investigación y la enseñanza en la materia Ciencia de los Materiales.

Se exploraron diversas alternativas para el tipo de accionamiento y estructura de la máquina universal de ensayos. El diseño del prototipo se basó en información obtenida de múltiples fuentes y en el cumplimiento de normas nacionales e internacionales. Se seleccionaron cuidadosamente los materiales y componentes de la máquina, considerando su capacidad y propósito para los ensayos previstos. Además, se describen los procesos de manufactura necesarios para la construcción y ensamblaje del prototipo.

Finalmente, se validó el sistema mediante pruebas experimentales, asegurando que el prototipo cumple con los requisitos y expectativas establecidos. Este proyecto no solo proporciona una herramienta valiosa para la investigación y educación, sino que también contribuye al desarrollo de competencias prácticas en el campo de la ingeniería.

Palabras clave: máquina universal de ensayos, compresión, flexión, prototipo, validación experimental.

Abstract

This document details the design, construction and validation of a universal testing machine prototype. The main objective is to design and build a prototype capable of performing compression and bending tests to evaluate the mechanical properties of carrots grown in the greenhouse of the Universitaria Agustiniana. In addition, it seeks to support research projects and teaching in the subject of Materials Science.

Various alternatives were explored for the type of drive and structure of the universal testing machine. The design of the prototype was based on information obtained from multiple sources and on compliance with national and international standards. The materials and components of the machine were carefully selected, considering its capacity and purpose for the intended tests. In addition, the manufacturing processes necessary for the construction and assembly of the prototype are described.

Finally, the system was validated through experimental tests, ensuring that the prototype meets the established requirements and expectations. This project not only provides a valuable tool for research and education, but also contributes to the development of practical skills in the field of engineering.

Keywords: universal testing machine, compression, bending, prototype, experimental validation.

Tabla de contenido

Introducción	15
Problema de investigación	17
Antecedentes del problema	17
Descripción del problema	21
Pregunta de investigación	22
Objetivos	23
Objetivo general.....	23
Objetivos específicos	23
Justificación	24
Marco referencial	26
Marco teórico	26
Metodología de diseño	26
Método de fabricación	27
Tipos de ensayos a realizar	30
Propiedades Mecánicas de los materiales	32
Interfaz grafica	35
Marco Conceptual.....	38
Máquina universal de ensayos	38
Husillo de rosca trapezoidal.....	39

Motor paso a paso	39
Caja reductora planetaria de precisión	39
Acople rígido	40
Chumacera de pared.....	40
Celda de carga tipo barra	40
Tarjeta ESP32	41
Microstep driver.....	41
Platos de compresión	41
Encoder	41
Rodillos de flexión.....	41
Marco legal	42
ISO 7500-1	42
Norma ISO 45001 - Seguridad y Salud en el trabajo.....	42
Norma ISO 14001 – Sistemas de gestión ambiental.....	44
Norma ASTM E4.....	44
Norma ISO 178 y Norma ISO 604	45
Marco Metodológico.....	47
Tipo de investigación.....	47
Variables	47
Variables de diseño.....	47

VARIABLES DE LOS ENSAYOS A REALIZAR	48
Fuentes de información.....	49
Instrumentos de recolección de datos	50
Cronograma.....	51
Etapa de prototipado	53
Fase 1-Empatizar	53
Fase 2-Definir e Idear	54
Diseño del sistema mecánico	57
Definición de parámetros de operación	61
Comparativo de materiales y componentes	62
Elementos seleccionados	66
Fase 3-Prototipar.....	66
Fabricación de estructura	66
Instalación sistema de recorrido.....	71
Instalación sistema eléctrico	72
Fase 4-Testear	73
Pruebas mecánicas	73
Pruebas eléctricas.....	74
Pruebas experimentales.....	75
Análisis de costos.....	90

Evaluación de viabilidad del proyecto.....	93
Conclusiones.....	97
Referencias.....	98

Lista de Tablas

Tabla 1. Variables de diseño.....	47
Tabla 2. Variables de ensayos.	48
Tabla 3. Cronograma de actividades.....	51
Tabla 4. Parámetros de operación.	62
Tabla 5. Comparativo de materiales y componentes.	62
Tabla 6. Comparativos sistemas de desplazamiento.....	63
Tabla 7. Comparativo de materiales de estructura.....	64
Tabla 8. Comparativo sistemas guía.	65
Tabla 9. Comparativo Sistemas Reductor.	65
Tabla 10. Elementos seleccionados.....	66
Tabla 11. Recursos de construcción.....	67
Tabla 12. Pruebas mecánicas.	73
Tabla 13. Pruebas eléctricas.....	74
Tabla 14. Resultados obtenidos prueba #1 compresión.....	80
Tabla 15. Resultados obtenidos prueba #2 compresión.....	81
Tabla 16. Resultados obtenidos prueba #3 compresión.....	83
Tabla 17. Resultados finales de compresión.....	85
Tabla 18. Resultados obtenidos prueba #1 flexión.....	85
Tabla 19. Resultados obtenidos prueba #2 flexión.....	86
Tabla 20. Resultados obtenidos prueba #3 flexión.....	88
Tabla 21. Resultados finales de flexión.....	89
Tabla 22. Lista de materiales.	91

Tabla 23. Proyección flujo de egresos.	93
Tabla 24. Costo de ensayos (compresión y flexión).	93
Tabla 25. Proyección costo de ensayos.	94
Tabla 26. Proyección flujo de ingresos.	95
Tabla 27. Comparativo de egresos, ingresos y flujo de caja.	95
Tabla 28. Resultado análisis TIR y VANNota.	96

Lista de Figuras

Figura 1. Diseño página principal interfaz.....	35
Figura 2. Interfaz sección control.	36
Figura 3. Interfaz sección gráfica de datos.	37
Figura 4. Interfaz sección ingreso y visualización de datos.....	38
Figura 5. Diseño prototipo #1 en Autodesk Inventor.....	59
Figura 6. Diseño prototipo #2 en Autodesk Inventor.....	60
Figura 7. Diseño prototipo #2 en Autodesk Inventor.....	61
Figura 8. Corte de material.	68
Figura 9. Unión por soldadura.	69
Figura 10. Adecuación sistema de husillo y sistema guía.....	70
Figura 11. Fabricación de platos y rodillos para los ensayos.....	70
Figura 12. Mecanizado de disco para Encoder.	71
Figura 13. Instalación sistema de recorrido.	72
Figura 14. Instalación de elementos eléctricos.	73
Figura 15. Add Torqueles.....	76
Figura 16. Probetas para pruebas de compresión.....	77
Figura 17. Probetas para pruebas de flexión.....	77
Figura 18. Validación de la celda de carga.....	78
Figura 19. Validación de la celda de carga.....	79
Figura 20. Posicionamiento de la viga.....	79
Figura 21. Prueba #1 de compresión. Gráfica de peso vs distancia.....	80
Figura 22. Toma de longitud final. Longitud final de 12 mm.....	81

Figura 23. Fallo de probeta.	81
Figura 24. Prueba #2 de compresión.....	82
Figura 25. Fallo de Probeta.	83
Figura 26. Prueba #3 de compresión.....	83
Figura 27. Toma de longitud final. longitud final de 10.5 mm.	84
Figura 28. Fallo del probeta.	84
Figura 29. Prueba #1 de flexión.....	85
Figura 30. Fallo del probeta.	86
Figura 31. Toma de longitud final.....	86
Figura 32. Prueba #2 de flexión.....	87
Figura 33. Toma de longitud final.....	87
Figura 34. Fallo del probeta.	88
Figura 35. Prueba #3 de flexión.....	88
Figura 36. Toma de longitud final.....	89

Introducción

El estudio de los materiales ha cobrado una importancia creciente a lo largo del tiempo, impulsado por las demandas actuales que exigen avances tecnológicos constantes. Estos avances requieren la construcción de nuevas tecnologías, las cuales, a su vez, dependen de materiales que cumplan con condiciones específicas de uso. Las propiedades mecánicas de los materiales, esenciales para determinar su idoneidad en diversas aplicaciones, se evalúan mediante ensayos mecánicos-destructivos como los de tensión, compresión y flexión.

En la Universitaria Agustiniiana, los programas de Ingeniería Mecatrónica e Ingeniería Industrial incluyen el estudio de estas propiedades en la asignatura de Ciencia de los Materiales. Además, se lleva a cabo un proyecto de investigación enfocado en las propiedades mecánicas de las zanahorias cultivadas en el invernadero de la institución. Sin embargo, actualmente, la Universitaria Agustiniiana no dispone de equipos propios para realizar estos ensayos, lo que obliga a depender de convenios con otras instituciones. Esta situación limita la autonomía de la universitaria para decidir cuándo y cómo realizar los ensayos, afectando tanto el avance de los proyectos de investigación como la ejecución de la asignatura.

Ante esta necesidad, surge el proyecto de “Diseño y construcción de un prototipo de maquina universal de ensayos”. Este prototipo está diseñado para realizar ensayos de compresión y flexión en materiales blandos, como las zanahorias, proporcionando una herramienta valiosa para la investigación y la educación. Con esto se busca dotar a la Universitaria Agustiniiana de la capacidad de realizar estos ensayos de manera autónoma, mejorando así la calidad y eficiencia de sus proyectos de investigación y actividades académicas.

La metodología empleada para el desarrollo de este prototipo fue el Design Thinking, una estrategia centrada en el usuario que fomenta la innovación y la resolución de problemas a través

de un enfoque iterativo y colaborativo. Este proceso se llevó a cabo en cuatro fases. En la fase 1-empatizar, se realizaron reuniones entre estudiantes y docentes con el fin de identificar las necesidades específicas. Posteriormente, en la fase 2-definir e idear, se generaron y refinaron ideas para el prototipo, considerando alternativas en materiales y estructuras que equilibraran el costo, durabilidad y funcionalidad.

En la fase 3-prototipado, se procedió a la fabricación de la estructura y a la implementación de los sistemas mecánicos y eléctricos, garantizando que cada componente cumpliera con los estándares requeridos. Finalmente, para la fase 4-testear, se llevaron a cabo pruebas mecánicas y eléctricas para validar el funcionamiento del prototipo, asegurando que este pudiera realizar los ensayos de manera precisa y confiable.

Este enfoque metodológico no solo busca crear un prototipo que satisfaga las necesidades inmediatas de la universidad, sino que también busca contribuir al avance de la educación y la investigación en el campo de los materiales, proporcionando herramientas que faciliten el aprendizaje y la innovación.

Problema de investigación

Antecedentes del problema

Las máquinas de ensayos universales han sido una herramienta fundamental en la ingeniería y la ciencia de materiales durante más de un siglo. Desde sus inicios a finales del siglo XIX hasta su sofisticación actual en el siglo XXI, estas máquinas han evolucionado continuamente para satisfacer las crecientes demandas de precisión, versatilidad y capacidad de análisis en una amplia gama de disciplinas industriales y académicas. Por ello, han sido objeto de diferentes estudios y proyectos de diseño.

En este contexto, la Escuela Politécnica Nacional de Quito, Ecuador, llevó a cabo el rediseño de una máquina de ensayos universales con el fin de mejorar la calidad de los ensayos realizados en el instituto.

Para realizar este rediseño, la Escuela Politécnica Nacional de Quito, Ecuador, llevo a cabo un proceso documentado que consta de cinco capítulos. En estos capítulos, se investigaron las máquinas de ensayo de flexión rotativa y se describió el funcionamiento de la máquina existente para analizar las posibles mejoras. Se abordaron aspectos teóricos y los fundamentos necesarios para ajustarlos a las innovaciones tecnológicas que se desean implementar en el rediseño de la nueva máquina. Se realizó un estudio de factibilidad para evaluar la necesidad de implementar nuevos elementos que permitan rediseñar la máquina actual y mejorar la calidad de los ensayos. Posteriormente, se planteó el diseño de la alternativa seleccionada, elaborando planos para la construcción y montaje de los elementos de la máquina. Finalmente, se llevaron a cabo una serie de ensayos para verificar el comportamiento de la máquina rediseñada, recopilando los datos para su debido procesamiento. De esta manera, se compararon los resultados obtenidos con los datos teóricos, mostrando una alta concordancia. Adicionalmente, se

diseñó un formato que establece los parámetros para el desarrollo de las prácticas de laboratorio. (Chaglla, 2010).

Asimismo, en la Universidad de San Buenaventura de Bogotá se llevó a cabo el diseño de una máquina de ensayos de tensión y torsión, estableciendo la etapa de adquisición de datos y la visualización de variables físicas.

El proyecto, titulado *Diseño y Construcción de una Máquina Básica de Ensayos Destructivos de Tracción y Torsión*, tiene como objetivo principal desarrollar una máquina que permita realizar ensayos destructivos de tracción y torsión en materiales, integrando la adquisición y visualización de variables físicas a través de tecnología avanzada.

La metodología utilizada para el diseño y construcción de la máquina incluye varias etapas: investigación preliminar sobre los ensayos de materiales, diseño de la máquina considerando especificaciones técnicas, construcción con un 60% de partes importadas de países como Inglaterra, Alemania, Italia y Estados Unidos, y pruebas de validación para verificar su funcionamiento. Las aplicaciones prácticas de esta máquina son diversas, permitiendo realizar ensayos de tracción y torsión en diferentes materiales, lo que es fundamental para evaluar sus propiedades mecánicas. Además, provee a la institución educativa un equipo que facilita la enseñanza de los principios de la mecánica de materiales y contribuye al desarrollo de nuevos materiales.

Los resultados obtenidos durante las pruebas iniciales fueron prometedores, logrando los resultados esperados en los ensayos realizados con diferentes metales, como aceros y aleaciones, lo que valida la efectividad del diseño y construcción de la máquina. En resumen, el proyecto no solo busca desarrollar una herramienta técnica, sino también contribuir al avance del

conocimiento en el área de la ingeniería mecatrónica, ofreciendo un recurso valioso para la educación y la investigación. (Moreno et al., 2006).

Otro diseño de máquina de ensayos universal se llevó a cabo en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro de México, en la tesis titulada *Diseño y construcción de un banco didáctico para pruebas de tensión y compresión en elementos simples*, se estableció como objetivo principal diseñar y construir un banco que permita realizar pruebas de tensión y compresión, facilitando así la enseñanza de las propiedades mecánicas de los materiales en un contexto educativo.

La metodología utilizada incluyó varias etapas. Primero, se identificó la necesidad de un banco didáctico adecuado y se realizó una investigación sobre diseños existentes y especificaciones requeridas. Luego, se definieron metas claras y se utilizó software de diseño asistido por computadora [CAD] para crear el diseño del banco. Se llevaron a cabo pruebas de prototipos para validar su funcionamiento y se documentaron los procedimientos de montaje y las pruebas realizadas, asegurando el cumplimiento de normativas pertinentes.

Los resultados obtenidos fueron positivos, ya que el banco didáctico diseñado cumplió con las expectativas planteadas, permitiendo realizar ensayos de tensión y compresión de manera efectiva. Se evidenció que los procedimientos de preparación y montaje de los instrumentos de medición, como las galgas extensométricas, se realizaron correctamente, aunque se identificaron algunas desviaciones entre los resultados teóricos y experimentales, atribuibles a errores sistemáticos en el banco de pruebas. (Tapia, 2001).

La revista Ingeniería e Innovación publicó el proceso de diseño, construcción y validación del prototipo de una máquina universal de ensayos. El proyecto se centró en el diseño,

construcción y validación del prototipo de una máquina para ensayos de resistencia de materiales. El objetivo principal fue desarrollar un prototipo que permitiera a los estudiantes de Ingeniería Mecánica de la Universidad del Córdoba realizar ensayos mecánicos-destructivos, como tensión, compresión y flexión, de manera autónoma, dado que la universidad no contaba con equipos propios para estos ensayos.

La metodología incluyó varias etapas. Primero, se llevó a cabo un estudio de diferentes alternativas para el tipo de accionamiento y la estructura de la máquina, basándose en información de artículos académicos, catálogos comerciales y normas ASTM. Se diseñó el prototipo considerando la capacidad de los elementos estructurales, como barras, vigas y mordazas. Posteriormente, se adquirieron los materiales necesarios y se aplicaron procesos de manufactura, como soldadura MIG y perforación, para construir las vigas, barras y la mesa de la máquina. Finalmente, se realizó la validación del prototipo comparando los datos obtenidos con los de una máquina universal de ensayos calibrada.

El resultado del proyecto fue un prototipo de máquina universal de ensayos con una estructura de doble espacio y un sistema de accionamiento hidráulico, capaz de realizar ensayos de tensión, compresión y flexión a tres puntos. La validación del prototipo mostró que el porcentaje de error relativo entre los resultados del prototipo y la máquina universal estandarizada fue menor al 2%, lo que indica que el prototipo proporciona datos confiables y que no existen diferencias estadísticamente significativas entre ambas máquinas. (Durango et al., 2015).

En el trabajo *Diseño e implementación de un sistema electrónico-informático para la aplicación de ensayos en la máquina universal*, se llevó a cabo como objetivo principal la automatización de una máquina universal de ensayos. Este sistema fue creado con el fin de

mejorar la precisión y eficiencia en la realización de ensayos de tracción, compresión y flexión. La idea del proyecto fue ofrecer una alternativa que optimizara el proceso manual, reduciendo el margen de error humano y permitiendo un control más detallado y confiable sobre los parámetros del ensayo.

Para cumplir con estos objetivos, se utilizó una metodología que involucró el diseño y programación de un controlador lógico programable [PLC], el cual se encargaba de gestionar los movimientos y la aplicación de fuerzas sobre los materiales a ensayar. Además, se integraron sensores que median las fuerzas y deformaciones generadas, junto con actuadores que aplicaban la carga de manera controlada. Paralelamente, se desarrolló un software específico que permitía procesar y visualizar los datos en tiempo real, proporcionando una interfaz de usuario que facilitaba la interacción y el control del sistema automático.

Como resultado, se obtuvo un sistema automatizado capaz de realizar ensayos de tracción, compresión y flexión con una alta precisión, permitiendo registrar los datos de forma estandarizada y en tiempo real. Esto no solo mejoró la exactitud en la medición de los ensayos, sino que también facilitó el análisis posterior de los resultados, optimizando significativamente el proceso operativo de la máquina universal de ensayos y reduciendo el tiempo requerido para completar los ensayos. (Colcha & Villa, 2010).

Descripción del problema

En el marco del proyecto de investigación sobre las propiedades mecánicas de la zanahoria, la Universitaria Agustiniense enfrenta un desafío crucial: la falta de equipos adecuados para realizar pruebas de compresión y flexión en las zanahorias cultivadas en su invernadero. Esta carencia impide obtener datos precisos sobre las propiedades mecánicas de estos vegetales, lo cual es esencial para comprender en profundidad su comportamiento bajo cargas específicas.

Para abordar este problema, se ha propuesto desarrollar un prototipo de máquina de ensayos universal, específicamente diseñada para realizar pruebas de compresión y flexión en materiales blandos como la zanahoria. Este prototipo permitirá realizar ensayos detallados y controlados, proporcionando información valiosa sobre las propiedades mecánicas de las zanahorias cultivadas en condiciones ideales.

El problema central radica en la necesidad de contar con un equipo que permita realizar estas pruebas de manera precisa y eficiente. La fabricación de este prototipo no solo resolverá la necesidad inmediata de la investigación en curso, sino que también establecerá una base sólida para futuras investigaciones académicas. Esto permitirá llevar a cabo estudios específicos y detallados sobre las propiedades de materiales blandos bajo ensayos de compresión y flexión, contribuyendo significativamente al avance del conocimiento en este campo.

Pregunta de investigación

¿Cómo desarrollar un prototipo de máquina universal de ensayos monoespacio con accionamiento electromecánico que cumpla con los estándares de precisión y seguridad requeridos para realizar pruebas de compresión y flexión en materiales blandos?

Objetivos

Objetivo general

Diseñar y construir un prototipo de máquina de ensayos universal capaz de realizar pruebas de compresión y flexión para evaluar las propiedades mecánicas de las zanahorias cultivadas en el invernadero de la Universitaria Agustiniiana.

Objetivos específicos

- Investigar los diferentes tipos de máquinas de ensayos para compresión y flexión, considerando las normas ASTM pertinentes.
- Definir el diseño del prototipo fundamentado en los antecedentes investigativos y en la selección óptima de los componentes y materiales.
- Construir el prototipo de máquina universal de ensayos que permita realizar las pruebas de compresión y flexión.
- Validar el prototipo mediante pruebas de funcionamiento que permitan evaluar la ejecución de los ensayos de compresión y flexión.

Justificación

La construcción de un prototipo de máquina de ensayos para este proyecto de grado se fundamenta en una serie de consideraciones integrales que abarcan aspectos técnicos, pedagógicos y financieros, alineados con los objetivos estratégicos y académicos de la universidad.

En primer lugar, la Universitaria Agustiniiana lleva a cabo un proyecto de investigación sobre las propiedades mecánicas de las zanahorias cultivadas en su propio invernadero. Esta investigación no solo representa una oportunidad para expandir el conocimiento en agricultura y biotecnología, sino que también tiene un impacto directo en la calidad y eficiencia de la producción agrícola, beneficiando a la comunidad académica y a los actores del sector agrícola a nivel local y regional; Además, el desarrollo de un prototipo de máquina de ensayos, especializado en pruebas de compresión y flexión, representa un enfoque económico y práctico en comparación con la adquisición de una máquina de ensayo universal construida.

En un contexto de gestión financiera eficiente, la construcción del prototipo permite la optimización de recursos y fondos destinados a la investigación y desarrollo. Este enfoque no solo supone un ahorro significativo, sino que también ofrece mayor flexibilidad y control sobre el diseño y la funcionalidad del equipo, adaptándolo específicamente a los requisitos del proyecto de investigación.

Por otro lado, la Uniagustiniana mantiene un firme compromiso con la formación integral y el desarrollo profesional de sus estudiantes. Involucrar a los estudiantes de último semestre de ingeniería mecatrónica en este proyecto les proporciona una valiosa oportunidad de aprendizaje práctico, aplicando conocimientos teóricos en un entorno real de investigación y desarrollo tecnológico. Esta experiencia no solo contribuye al avance del proyecto y al logro de sus

objetivos, sino que también fortalece las habilidades técnicas, analíticas y de trabajo en equipo de los estudiantes, preparándolos para enfrentar con éxito los desafíos del mercado laboral actual.

Marco referencial

Marco teórico

La construcción de una máquina de ensayos universales requiere una comprensión profunda de diversas teorías y principios de ingeniería. Estas máquinas, utilizadas para evaluar las propiedades mecánicas de los materiales mediante pruebas de tracción, compresión y flexión, deben diseñarse teniendo en cuenta la carga máxima, la velocidad del ensayo y la resolución de las mediciones. Los principios de funcionamiento de estas máquinas se basan en sistemas de carga precisos y una variedad de accesorios para sujetar los materiales durante las pruebas. Además, es crucial seguir las normativas internacionales, como las establecidas por ASTM o ISO, para garantizar la precisión y la reproducibilidad de los resultados.

Metodología de diseño

Design Thinking. Es un enfoque para la resolución de problemas y la innovación que se centra en entender las necesidades y experiencias de las personas para desarrollar soluciones efectivas y creativas. Se basa en un proceso iterativo y colaborativo que incluye las siguientes etapas:

Empatizar. Comprender profundamente las necesidades, deseos y problemas de las personas para las que se está diseñando. Esto a menudo implica realizar entrevistas, observaciones y estudios de campo para obtener una visión detallada de sus experiencias.

Definir. Analizar la información recopilada durante la fase de empatía para definir claramente el problema que se necesita resolver. Esta definición debe ser específica y centrada en las necesidades del usuario.

Idear. Generar una amplia gama de ideas y posibles soluciones para el problema definido. En esta etapa, se fomenta la creatividad y la colaboración para explorar diferentes enfoques y perspectivas.

Prototipar. Crear versiones simplificadas y tangibles de las ideas para explorar cómo podrían funcionar en la práctica. Los prototipos pueden ser bocetos, maquetas o modelos que permiten experimentar y obtener retroalimentación.

Testear. Probar los prototipos con usuarios reales para obtener retroalimentación y entender cómo se pueden mejorar las soluciones. Esta fase es crucial para identificar fallos, ajustar las ideas y refinar el diseño.

El Design Thinking promueve un enfoque centrado en el usuario, fomenta la creatividad y facilita la colaboración multidisciplinaria, esta metodología se aplica en una gran variedad de campos, desde el desarrollo de productos y servicios hasta la resolución de problemas sociales y la mejora de procesos.

Método de fabricación

Para el desarrollo de este prototipo se empleó el método de producción en taller (Job Shop), el cual es una técnica ampliamente utilizada en la creación de prototipos, especialmente cuando se requiere un alto grado de personalización y control en cada etapa de proceso. Este método es ideal para proyectos que involucran la fabricación de piezas únicas o de baja producción, como es el caso de los prototipos de máquinas de ensayos universales.

Para este proyecto la fabricación se dividió en cinco secciones:

Selección de materiales y componentes. Es un proceso fundamental en ingeniería que asegura que los materiales y componentes utilizados en un proyecto cumplan con las

especificaciones y los requisitos necesarios. En este proceso de selección se consideran tres factores clave los cuales ayudan a una óptima selección.

Costo. Se considera el costo de los materiales y componentes, incluyendo no solo el precio de compra, sino también los costos asociados con el procesamiento, manufactura y mantenimiento.

Durabilidad. Se analiza la capacidad del material para resistir el desgaste, la corrosión y otros factores ambientales que puedan afectar su vida útil.

Impacto ambiental. Se tiene en cuenta el impacto ambiental de los materiales, incluyendo aspectos como la reciclabilidad, huella de carbono y sostenibilidad (Industriapedia, 2023).

Teniendo en cuenta lo anterior se realiza una búsqueda en el mercado de cada uno de los materiales y componentes, teniendo como resultado una base de datos con cotizaciones y datasheets que permiten realizar una comparación entre cada uno, con el fin de seleccionar la mejor opción basándose en los tres factores clave.

Proceso de corte mecánico. Es una técnica que implica el uso de herramientas para cortar materiales, mediante la aplicación de fuerza física. Este tipo de corte se realiza sin la ayuda de maquinaria automatizada y se basa en la destreza del operador (hypertherm, s.f.).

Primero se deben seguir los protocolos de seguridad que incluyen el uso de elementos de protección personal [EPP] como guantes, gafas de seguridad y casco. A continuación, se debe despejar el área de trabajo para evitar cualquier tipo de accidente. Una vez asegurada la zona de trabajo, se utiliza una pulidora con disco de corte para realizar el proceso, asegurándose de obtener las piezas en las medidas requeridas.

Proceso de unión estructural. Se refiere a los métodos y técnicas utilizados para conectar diferentes componentes de una estructura, asegurando que trabajen juntos de manera efectiva y segura.

Uniones atornilladas. Utilizan tornillos para conectar componentes, lo cual hace que las piezas sean desmontables.

Uniones soldadas. Involucran la aplicación de calor para fundir y unir materiales similares o iguales (SAMAT, s.f.).

En esta sección se empleó el proceso de soldadura por arco eléctrico (SMAW), el cual consiste en mover el electrodo a lo largo de la junta a una velocidad constante, manteniendo un ángulo adecuado (aproximadamente 15 grados) para asegurar una penetración uniforme y un cordón de soldadura limpio. Una vez completada la soldadura, se deja enfriar el cordón y se retira la escoria con un martillo y un cepillo de alambre, esto con el fin de revelar el cordón de soldadura e inspeccionar la calidad de unión (ingenieriapedia.com, 2023). Adicional, se ha utilizado el electrodo revestido 7014, conocido por su facilidad de uso y buenas propiedades mecánicas.

Ensamble. Es la etapa final en el proceso de fabricación, donde se unen módulos y subconjuntos para producir productos terminados. Para este proceso se emplea el tipo de ensamble semipermanente, el cual permite el desarme del equipo con el uso de herramientas básicas.

Una vez completadas las etapas anteriores, se procede al ensamblaje del prototipo de máquina universal de ensayos, ajustando y colocando todos los elementos en sus posiciones

correspondientes, de manera que el equipo quede totalmente finalizado y listo para la etapa de realización de pruebas.

Tipos de ensayos a realizar

En esta sección, se detallarán los diferentes tipos de ensayos que se llevarán a cabo utilizando el prototipo de máquina universal de ensayos, especialmente diseñada para realizar pruebas de compresión y flexión. Estos ensayos son fundamentales para evaluar las propiedades mecánicas de los materiales blandos como la zanahoria.

Ensayo de compresión. Los ensayos de compresión se enfocan en determinar la resistencia de un material cuando se le aplica una carga que tiende a reducir su tamaño. Dichas pruebas implican la aplicación de una carga axial uniforme en la muestra, esta carga se aplica típicamente utilizando un sistema hidráulico o mecánico junto a cabezales, lo que implica el aumento gradual de una fuerza externa a una velocidad constante hasta obtener cambios en la pieza de prueba (Merino, 2021).

$$\sigma_c = \frac{F_{m\acute{a}x}}{A} \quad (1)$$

Donde:

$\sigma_{ruptura}$ es la tensión en el punto de ruptura.

$F_{ruptura}$ es la fuerza aplicada en el punto de ruptura.

A es el área transversal original de la probeta.

Para realizar un ensayo de compresión también se debe tener en cuenta la norma ISO 604, la cual se centra en evaluar las propiedades de compresión de plásticos rígidos, tanto

reforzados como no reforzados, midiendo el módulo de elasticidad, el límite elástico, la deformación más allá del límite elástico y la resistencia a la compresión (MTS, s.f.).

Para obtener un resultado óptimo, las probetas deben comprimirse de manera alineada entre platos de compresión paralelos, a una velocidad constante hasta fracturarse o alcanzar un valor predeterminado. Para ello, primero se deben ajustar manualmente los platos compresión a una distancia que asegure que la probeta quede firmemente sujeta, pero sin ejercer ningún tipo de fuerza. Es crucial que la probeta se posicione de manera central en los platos de compresión, esto permitirá que la fuerza se aplique uniformemente en toda la probeta, obteniendo así resultados precisos.

Finalmente, se inicia la prueba desde la interfaz de usuario, donde se podrán visualizar los datos obtenidos durante el ensayo.

Ensayos de flexión. Evalúan la capacidad de un material para resistir fuerzas que tienden a doblarlo definiéndose como la flexibilidad. El módulo de flexión es el principal medio para medir la rigidez de un material, este se determina trazando una tangente a la porción más inclinada de la curva carga-deformación en su fase inicial y calculando la siguiente ecuación:

$$EB = \frac{L3m}{4bd^3} \quad (3)$$

Donde EB es el módulo, b es el ancho de la muestra, d es la profundidad, m es la pendiente de la tangente, y L es el lapso en pulgadas (Polimeros, 2018).

Para los ensayos de flexión se debe abordar la norma ASTM D790, la cual describe el método para determinar las propiedades de flexión en plásticos reforzados y no reforzados

(Thackeray, s.f.). Este ensayo se realiza utilizando un sistema de flexión de tres puntos, aplicando una carga a una tasa proporcional a la profundidad de la probeta.

Para los ensayos de flexión, se sigue un proceso similar al de los ensayos de compresión, ajustando la maquina a una posición específica. Luego, se cambian los elementos necesarios para la prueba; en este caso, se sustituyen los platos de compresión por rodillos de flexión. Estos rodillos serán los encargados de aplicar la fuerza sobre la probeta, que estará posicionada de manera horizontal.

Finalmente, al igual que en los ensayos de compresión, se inicia la prueba desde la interfaz de usuario, donde se podrán visualizar los datos obtenidos.

Propiedades Mecánicas de los materiales

Límite elástico. En el punto de fluencia o límite elástico, el material ha superado la región lineal de su comportamiento elástico y comienza a experimentar deformaciones plásticas. Es decir, el material ya no puede volver completamente a su forma original después de retirar la carga (Sanchez, 2020).

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A} \quad (4)$$

Donde:

σ_y es el límite elástico.

F_y es la fuerza necesaria para producir una deformación plástica detectable.

A es el área transversal original de la probeta.

Punto de cedencia. Es el punto entre el cambio de estado elástico a plástico, y presenta una rápida deformación sin una aplicación de carga significativa (Sanchez, 2020).

$$L_e = \frac{F_{m\acute{a}x}}{A} \quad (5)$$

Donde:

L_e es el límite elástico de un material.

F_m es la fuerza máxima.

A es el área de sección transversal de la probeta.

Resistencia a la tensión. Representa el valor máximo a la tracción, si el material muestra una ductilidad alta la estricción de este será mayor antes de que ocurra la fractura, esto permite al material mantenerse uniforme (Conecband, 2017).

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{F_{m\acute{a}x}}{A} \quad (6)$$

Donde:

$\sigma_{m\acute{a}x}$ es la resistencia a la tensión.

$F_{m\acute{a}x}$ es la fuerza máxima aplicada antes de la fractura.

A es el área transversal original de la probeta.

Porcentaje de alargamiento a la fractura. Se presenta antes que el material falle o entre en fractura, existe un porcentaje de deformación también conocido como el valor de ductilidad (zwickroell, 2023).

$$\% \text{ alargamiento} = \frac{L-L_0}{L_0} \times (100\%) \quad (7)$$

Porcentaje de estricción. También denominado porcentaje de reducción de área, mediante este porcentaje también se puede calcular la ductilidad (fsancac, 2015).

$$\% \text{ estricción} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} x (100\%) \quad (8)$$

Límite de fluencia. Es el acortamiento que presenta un material ante una carga aplicada a compresión uniforme. También representa el límite donde la carga puede cesar y volver el material a su estado original (Instron, 2024).

$$\sigma_f = \frac{F_f}{A} \quad (9)$$

Donde:

σ_f es el límite de la fluencia.

F_f es la fuerza necesaria para producir una deformación plástica detectable.

A es el área transversal original de la probeta.

Límite de resistencia última. En este punto, el material experimenta deformación plástica significativa debido a la carga aplicada, lo que resulta en cambios internos irreversibles en su estructura. Como resultado, el material ya no puede volver completamente a su estado inicial y muestra de formación permanente (Instron, 2024).

$$\sigma_{ult} = \frac{F_{ult}}{A} \quad (10)$$

Donde:

σ_{ult} es el límite de resistencia última.

F_{ult} es la fuerza máxima aplicada antes de la fractura.

A es el área transversal original de la probeta.

Interfaz grafica

La construcción del prototipo de maquina universal de ensayos incluye una interfaz gráfica de usuario diseñada para ser intuitiva y accesible al público. Al abrir la interfaz gráfica en el computador se podrá visualizar una primera ventana en donde preguntará que tipo de ensayo se quiere realizar y por ende se debe seleccionar.

Figura 1.

Diseño página principal interfaz.



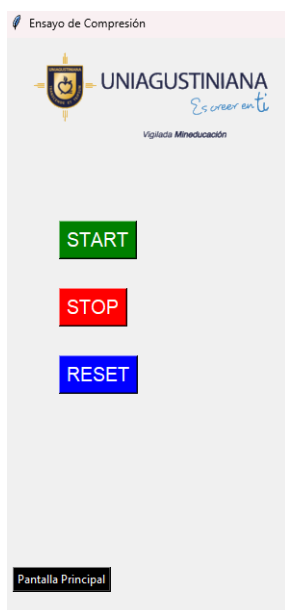
Nota. Autoría propia.

Al seleccionar el ensayo que se desea realizar, pasara a una nueva ventana que se divide en tres secciones principales:

- Control del prototipo: esta sección permite operar el prototipo directamente desde la interfaz, facilitando el manejo de las pruebas de compresión y flexión. Cuenta con tres botones principales: start, stop y reset, que permiten iniciar, detener y reiniciar las pruebas respectivamente.

Figura 2.

Interfaz sección control.

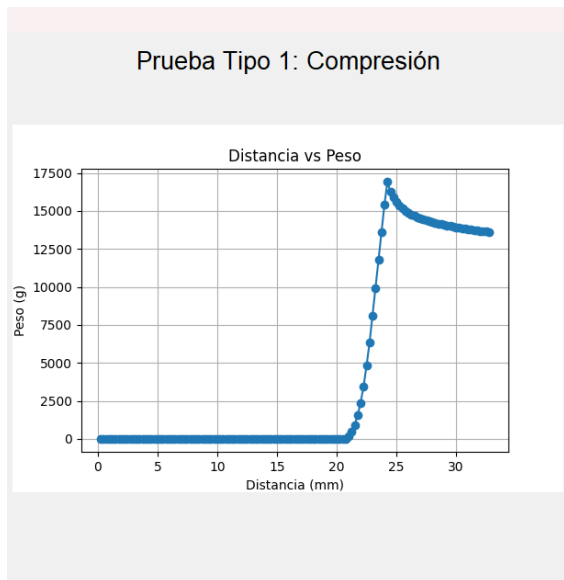


Nota. Autoría propia.

- Visualización de datos: aquí se presenta una gráfica en tiempo real de los datos obtenidos durante las pruebas, proporcionando una representación visual clara y precisa de los resultados.

Figura 3.

Interfaz sección gráfica de datos.



Nota. Autoría propia.

- **Gestión de probetas:** en esta sección, los usuarios pueden introducir los datos de las probetas a ser evaluadas para posteriormente ser comparados. Se divide en dos subsecciones: la primera para ingresar los parámetros de las probetas y la segunda como visualizador de datos, permitiendo una gestión eficiente y detallada de la información.

Figura 4.

Interfaz sección ingreso y visualización de datos.



The image shows a web browser window with a light gray background. At the top, there are standard window control buttons (minimize, maximize, close). Below the title bar, the interface is divided into two main sections. The first section is titled "Ingresar Parámetros" and contains three input fields labeled "Diámetro:", "Altura:", and "Peso:". Below these fields is a button labeled "Enviar Datos". The second section is titled "Visualizador de Datos" and contains two input fields labeled "Fuerza:" and "Deformación:". At the bottom right of the interface, there is a blue button labeled "Ver Historial".

Nota. Autoría propia.

Para obtener información más detallada sobre la interfaz gráfica, se puede consultar el trabajo de grado titulado Propuesta e implementación de la instrumentación de un prototipo de una máquina de compresión y flexión con una capacidad de 196 Newton realizado por Maryury Milena Mendieta.

Marco Conceptual***Máquina universal de ensayos***

Es un equipo esencial en la ingeniería de materiales y la manufactura, utilizado para evaluar las propiedades mecánicas y físicas de diversos materiales bajo condiciones controladas. Estas máquinas, que se asemejan a prensas industriales, aplican cargas específicas a los materiales en prueba, permitiendo realizar ensayos de tracción, compresión y flexión. Utilizan placas de compresión o mordazas, que pueden ser activadas por tornillos o sistemas hidráulicos,

para medir con precisión la resistencia, elasticidad, deformación y otras propiedades fundamentales de los materiales (Servosis, 2019).

Husillo de rosca trapezoidal

Los husillos de rosca trapezoidal se diseñan para convertir movimiento rotatorio en movimiento lineal y para ejercer la fuerza necesaria para mover un elemento de máquina a lo largo de una trayectoria deseada. El husillo de bolas minimiza la fricción entre las roscas de tornillo y la tuerca acoplada, gracias a las bolas de rodamiento. A su vez, estos se utilizan en muchas aplicaciones, como tornillos de avance en máquinas herramientas, mordazas, gatos mecánicos para elevación de vehículos, prensas y otros dispositivos de elevación de cargas (Lineales, 2024).

Motor paso a paso

El motor paso a paso es un tipo de motor que está controlado por trenes de impulsos desfasados, generados por un puerto de salida equipado con transistores, ya que la corriente requerida por los devanados del motor puede ser demasiado elevada y volverse destructiva para los puertos. Este motor permite transformar un impulso eléctrico en un movimiento angular. Es muy habitual en dispositivos donde se desea realizar un control de velocidad o de posición en bucle abierto, típico de los sistemas de posicionamiento (Yagüe, 2011).

Caja reductora planetaria de precisión

Es un conjunto de engranajes rotativos diseñado para instalarse en motores, con el fin de disminuir la velocidad del eje y mejorar la transmisión de torque. Estos reductores están disponibles en cinco tamaños diferentes, con relaciones de reducción que varían entre 3:1 y 100:1 (Potencia, s.f.).

Acople rígido

Son dispositivos que proporcionan una conexión fija y precisa entre dos ejes, transmitiendo un alto par de potencia; sin embargo, no pueden absorber desalineaciones ni vibraciones, lo que requiere que los ejes estén perfectamente alineados para evitar fallos en la instalación (Une, s.f.).

Chumacera de pared

Es un tipo de rodamiento montado que se utiliza para brindar soporte y estabilidad a los ejes giratorios en maquinaria industrial. Estas chumaceras se instalan fijas a la máquina y cuentan con un cuadro de dos o cuatro agujeros que permiten fijarlas al soporte.

Son esenciales para mantener la alineación y el funcionamiento adecuado de los ejes, especialmente en aplicaciones que requieren una fijación segura y estable. Además, su diseño permite manejar cargas desde ligeras hasta pesadas, lo que las hace muy versátiles en diferentes entornos industriales (industriales, s.f.).

Celda de carga tipo barra

Es un sensor electromecánico utilizado para medir la fuerza o el peso. Su diseño se basa en la transferencia entre una fuerza aplicada, la deformación del material y el flujo de electricidad. Son versátiles y precisas, esencialmente en procesos industriales y comerciales como la automatización y el pesaje. Con los avances tecnológicos, nuevos avances en robótica, aptica y prótesis medicas también se benefician de las celdas de carga, adaptándose continuamente a las necesidades del mercado (flintec, s.f.).

Tarjeta ESP32

Es una placa de programación que trabaja bajo una plataforma de electrónica de código abierto que utiliza hardware y software libre. Es flexible y fácil de usar, lo que la hace ideal para creadores y desarrolladores (Fernández, 2022).

Microstep driver

Este dispositivo permite conectar motores paso a paso de dos y cuatro fases, configurar diferentes ángulos de paso y ajustar la corriente de cada fase del motor mediante interruptores DIP. El controlador soporta una corriente pico máxima de 4 A (Vistronica, 2020).

Platos de compresión

Los platos para ensayos de compresión son componentes esenciales en las máquinas universales de ensayos, estos platos se utilizan para aplicar una carga de compresión uniforme sobre una muestra de prueba, que puede ser de geometría cúbica o cilíndrica (INSTRON, s.f.).

Enconder

Es un dispositivo que permite determinar la velocidad o posición de un elemento en rotación, según Taberner, (2011) “es un sensor que permite detectar el movimiento de rotación de un eje” (p. 3).

Rodillos de flexión

La empresa zwickroell.com, (s.f.) fabricante de herramientas para máquinas de ensayos menciona lo siguiente “Este dispositivo de flexión en 3 puntos se utiliza para realizar el ensayo de flexión en discos que determina el ángulo de flexión, con el objetivo de obtener información sobre el comportamiento de deformación de materiales” (p.2)

Marco legal

En el desarrollo y operación de un prototipo, es crucial seguir un conjunto de normas que aseguren su calidad y eficacia. Estas normas pueden incluir regulaciones de seguridad, estándares de la industria, y especificaciones técnicas detalladas. Además, se deben considerar las normativas ambientales y de sostenibilidad, así como las leyes locales e internacionales pertinentes. La adherencia a estas normas no solo facilita la viabilidad técnica del prototipo, sino que también garantiza su aceptación en el mercado y su conformidad con las expectativas regulatorias.

ISO 7500-1

Se centra en la calibración y verificación de máquinas de ensayo uniaxiales estáticas, específicamente para ensayos de tracción y compresión en materiales. Esta norma es crucial para asegurar que las máquinas de ensayo midan con precisión las fuerzas aplicadas durante las pruebas. (ISO, 2021).

En el proyecto se siguieron estrictamente los lineamientos normativos, realizando mediciones, calibraciones y pruebas de ensayo detalladas. Estos procedimientos permitieron obtener resultados precisos que, al ser comparados con los de una máquina calibrada previamente, demostraron la confiabilidad del prototipo. Esta precisión es fundamental para garantizar que el prototipo pueda ser utilizado en ensayos de futuros estudios con total confianza en su desempeño.

Norma ISO 45001 - Seguridad y Salud en el trabajo

Es la norma para la gestión de la seguridad y salud en el trabajo (SG-SST). Por medio de la cual se generan herramientas y parámetros útiles para ayudar a las empresas en la gestión para la identificación y mitigación de los riesgos laborales, el objetivo de la implementación de la

norma es mejorar el sistema de gestión para proporcionar un lugar de trabajo seguro y saludable. (ISO, 2018).

La implementación de esta norma en el desarrollo del prototipo de una maquina universal de ensayos ha sido fundamental para garantizar la seguridad y salud ocupacional durante todo el proceso. De acuerdo con esta norma, se contemplaron las siguientes medidas:

- Estructura base: largo y ancho de 400 mm, con una altura de 230 mm.
- Viga de apoyo principal: posicionada de manera central en uno de los lados de la estructura base, con una altura de 285 mm.

Estas dimensiones permiten tener una amplia zona de trabajo y una altura adecuada para la distribución de los elementos de control. Adicionalmente, como elementos de protección, se utilizaron sensores de carrera infrarrojos y mecánicos, posicionados sobre la viga de apoyo principal a 57 mm de la lámina base y a 38 mm de la lámina superior, con una distancia entre ellos de 132 mm.

Para más información relacionada con los elementos de instrumentación, como los sensores, se puede consultar el trabajo de grado *Propuesta e implementación de la instrumentación de un prototipo de una máquina de ensayos de compresión y flexión con una capacidad de 196 Newton* presentado por Maryury Milena Mendieta.

Estas dimensiones no solo facilitan el desarrollo de los ensayos, sino que también permiten una correcta disposición del tablero eléctrico. Este tablero está diseñado para estar a simple vista y de fácil acceso, lo cual es crucial para la rápida ejecución de un paro de emergencia en caso de ser necesario. La accesibilidad y visibilidad del tablero eléctrico son

aspectos clave que cumplen con los requisitos de la norma, asegurando que cualquier intervención de emergencia pueda realizarse de manera inmediata y segura.

En resumen, la norma ISO 45001 ha influido significativamente en el diseño y construcción del prototipo, promoviendo un entorno de trabajo seguro y saludable, y garantizando que todas las medidas de seguridad necesarias estén integradas en el equipo desde su fase de diseño.

Norma ISO 14001 – Sistemas de gestión ambiental

Norma internacional que establece los requisitos para un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) efectivo. Su objetivo principal es ayudar a las organizaciones a mejorar su desempeño ambiental mediante un uso más eficiente de los recursos y la reducción de residuos, ganando así una ventaja competitiva y la confianza de las partes interesadas. (eurofins, 2024)

Esta norma se aplica al proyecto para asegurar que todos los procesos de fabricación y operación de la máquina minimicen el impacto ambiental. Esto incluye la selección de materiales sostenibles, la optimización del uso de recursos y la gestión adecuada de los residuos.

Para la gestión adecuada de los residuos, estos serán debidamente separados y calificados, siendo posteriormente destinados al compost de la universidad, con esto se promueve la sostenibilidad y la reducción en el impacto ambiental. Este proceso no solo ayuda a minimizar los residuos enviados a los vertederos, sino que también contribuye a la creación de compost útil para la agricultura y jardinería en la universidad.

Norma ASTM E4

La norma ASTM E4 describe las condiciones, los requisitos y la verificación fundamental de las calibraciones de celdas de carga para máquinas de prueba estáticas de un solo

eje. Se utilizan para garantizar una calibración adecuada y son relevantes en una amplia gama de industrias y para muchas aplicaciones diferentes. Las normas establecen una base importante para obtener resultados de prueba confiables (zwickroell, s.f.).

Para abordar esta norma, se trabajó en conjunto con el documento de trabajo de grado titulado *Propuesta e implementación de la instrumentación de un prototipo de una máquina de ensayos de compresión y flexión con una capacidad de 196 Newton* presentado por Maryury Milena Mendieta. En este proyecto se hizo la instalación y conexión de una celda de carga tipo barra con una capacidad máxima de 20 kg.

Para obtener más información sobre los requisitos de calibración y el proceso realizado, se recomienda consultar el documento de trabajo de grado anteriormente mencionado.

Norma ISO 178 y Norma ISO 604

La norma ISO 178 especifica el método para determinar las propiedades de flexión de plásticos rígidos y semirrígidos bajo condiciones definidas. Este método se utiliza para investigar el comportamiento de flexión de las probetas y determinar la resistencia a la flexión, el módulo de flexión y otros aspectos de la relación tensión-deformación en flexión (Caesar, s.f.).

La norma ISO 604 analiza las propiedades de compresión de los plásticos rígidos reforzados y no reforzados, incluidos los compuestos de alto módulo, mediante un proceso de deformación y carga del plástico a velocidades de deformación relativamente bajas. Permite replicar las condiciones específicas de la aplicación. La información de propiedad de compresión proporciona un medio estándar y consistente para comparar materiales para investigación y desarrollo, control de calidad, aceptación o rechazo bajo especificaciones y otros procesos de evaluación de materiales (MTS, s.f.).

Cumplir con la norma ISO 178, en conjunto con la norma ISO 604, asegura que los resultados obtenidos sean consistentes y replicables. La ISO 178 proporciona un método estandarizado para los ensayos de flexión, mientras que la ISO 604 se enfoca en los ensayos de compresión. Al trabajar juntas, estas normas garantizan la precisión y fiabilidad de la máquina, permitiendo que los datos de compresión y flexión sean comparables y reproducibles, lo cual es crucial para validar el desempeño del prototipo en diversas condiciones de ensayo.

Marco Metodológico

Tipo de investigación

La construcción de la máquina universal de ensayos está centrada bajo un enfoque de investigación cuantitativo proporcionando un marco riguroso y objetivo para evaluar el rendimiento y la efectividad de la máquina construida, lo que es fundamental para demostrar su viabilidad y utilidad práctica.

Variables

Variables de diseño

En la siguiente tabla se presentarán las variables de diseño consideradas para este prototipo:

Tabla 1.

Variables de diseño.

Variable	Indicador	Valor de referencia	Tipo de variable
Tamaño	Alto, Largo, Ancho	494x400x400 mm	Cuantitativa continua
Forma	Estructura cubica	N/A	Cualitativa categórica
Capacidad	Fuerza máxima	32 N	Cuantitativa continua

Nota. Autoría propia.

Tamaño. Dimensiones físicas de la máquina, incluyendo altura, ancho y profundidad; dichas dimensiones son de gran importancia ya que afectan a la capacidad de la máquina para acomodar diferentes tamaños de muestras y su facilidad de instalación y transporte.

Forma. La configuración geométrica y el diseño estructural de la máquina influyen en la distribución de las fuerzas durante los ensayos y en la estabilidad del equipo.

Capacidad. La capacidad máxima de carga que la máquina puede aplicar durante los ensayos determina el rango de materiales y tipos de pruebas que se pueden realizar, como compresión y flexión.

Variables de los ensayos a realizar

Para los ensayos de compresión y flexión, se considerarán las siguientes variables:

Tabla 2.

Variables de ensayos.

Variable	Indicador	Valor de referencia	Tipo de variable
Desplazamiento	Milímetros	0-100	Cuantitativa continua
Deformación	Porcentaje	0-10	Cuantitativa continua
Límite de fluencia	Mega Pascales	0.1 - 1	Cuantitativa continua
Ángulo de flexión	Ángulo en grados	10 - 30	Cuantitativa continua
Módulo de elasticidad	Mega Pascales	0.024 – 0.031	Cuantitativa continua

Nota. Autoría propia.

Desplazamiento. Cambio de posición de un punto en un cuerpo debido a la aplicación de una fuerza. Es decir, es la distancia que un punto en el material se mueve desde su posición original.

Deformación. Es la medida del cambio en la forma o tamaño de un material cuando se somete a una fuerza. Puede ser el resultado de compresión, tensión, flexión u otras cargas. Se expresa generalmente como una fracción o porcentaje del cambio en longitud respecto a la longitud original.

Límite de fluencia. Es el punto en el cual un material comienza a deformarse plásticamente. Antes de este punto, el material se deforma elásticamente y puede regresar a su forma original cuando se elimina la carga. Después de este punto, la deformación es permanente.

Ángulo de flexión. Medida del ángulo formado cuando un material se dobla bajo una carga. Es una indicación de la capacidad del material para resistir la flexión sin fracturarse.

Módulo de elasticidad. También conocido como módulo de Young, es una medida de la rigidez de un material. Se define como la relación entre el esfuerzo (fuerza por unidad de área) y la deformación (cambio de longitud) en la región elástica de un material. Un módulo de elasticidad alto indica que el material es rígido y se deforma poco bajo carga.

Fuentes de información

En el desarrollo de este proyecto se contemplan las fuentes de información primarias y secundarias.

Como fuente primaria de información, se realizó una serie de pruebas en la Universidad Piloto de Colombia, las cuales proporcionaron datos directos y específicos a través de ensayos controlados. Estos resultados fueron cruciales, ya que ofrecieron una base sólida para el avance y la definición de parámetros, medidas y selección de materiales y componentes. Las fuentes secundarias se obtuvieron de investigaciones, trabajos de grado, tesis y artículos de revistas científicas, los cuales se mencionan en los antecedentes del problema, adicionalmente, se consultaron otros trabajos de investigación, tales como: Máquina universal de ensayos: Sistema estático, presentado por Diana Mishel Mora Ayala de la Universidad Técnica del Norte – Ibarra, Ecuador; Diseño mecánico de una maquina universal de ensayos para polímeros presentado por Paula Andrea Gallego Botero y Rolando Ferney Claros Claros de la Universidad Tecnológica de

Pereira; Reparación y automatización de una máquina universal de ensayos por Jose Redondo y Jorge Torres de la Universidad Nacional Experimental de Táchira. Estos complementan la investigación al ofrecer una perspectiva más amplia y diversa. Estas fuentes secundarias permiten comparar, contrastar y enriquecer los hallazgos del estudio principal con información adicional, lo que puede conducir a una comprensión más profunda y a la innovación en el diseño y funcionamiento de las máquinas de ensayos universales.

Instrumentos de recolección de datos

Mediante experimentos de laboratorio, se realizó una recolección de datos. Para ello, se construyó un prototipo de máquina universal de ensayos. Este prototipo fue diseñado específicamente para realizar pruebas de compresión y flexión en materiales blandos, como la zanahoria. Durante el proceso de ensayo, se aplicaron diferentes cargas y se midieron las respuestas de los materiales bajo condiciones controladas.

Para la aplicación de estas cargas, se utilizó una celda de carga, la cual permite conocer la fuerza ejercida. Para medir la distancia, se implementó un Encoder, que ayuda a determinar la distancia que se desplaza una vez se produce la fractura y se termina el ensayo. Los datos obtenidos de estas pruebas son de vital importancia para la investigación en curso, ya que proporcionan información detallada sobre las propiedades mecánicas de los materiales estudiados. Estos datos permiten evaluar la resistencia, elasticidad y otros parámetros críticos que son esenciales para el desarrollo de aplicaciones prácticas y teóricas. Además, la construcción del prototipo se realizó siguiendo las normas internacionales y nacionales pertinentes, asegurando la precisión y confiabilidad de los resultados obtenidos. Este enfoque meticuloso garantiza que los datos recolectados sean robustos y puedan ser utilizados para avanzar en el conocimiento científico y técnico en el campo de los materiales blandos.

Cronograma.**Tabla 3.***Cronograma de actividades.*

Actividad	Fecha (MM/AAAA)	Comentarios
Fase 1. Empatizar (Se comprende las necesidades, deseos y problemas mediante una investigación de los diferentes tipos de máquinas de ensayos, considerando las normas pertinentes.)		
Investigación sobre los diferentes tipos y usos de máquinas de ensayos universal	02/2024	Hecho
Búsqueda de prototipos	03/2024	Hecho
Búsqueda de antecedentes	04/2024	Hecho
Investigación de normas	04/2024	Hecho
Elaboración marco de referencia y metodológico	05/2024	Hecho
Fase 2. Definir e Idear (Se analiza la información recopilada y se genera una amplia gama de ideas y posibles soluciones, llegando a la conclusión con un diseño de prototipo.)		
Diseño de sistema mecánico	05/2024	Hecho
Definición parámetros de operación	05/2024	Hecho
Checklist de materiales y componentes	08/2024	Hecho
Cuadro comparativo de cotizaciones para materiales y componentes	07/2024	Hecho
Compra de materiales	08/2024	Hecho

Fase 3. Prototipar (Se crean diseños de versiones simplificadas de las ideas, teniendo como resultado una versión que nos lleve a la construcción del prototipo.)

Fabricación de estructura	09/2024	Hecho
Instalación Sistema de recorrido	09/2024	Hecho
Instalación sistema eléctrico	09/2024	Hecho

Fase 4. Testear (Se realizan validaciones del sistema creado y se obtiene una retroalimentación a partir de la cual se hacen mejoras; Esto se realiza con el fin de detectar posibles fallos.)

Pruebas mecánicas	10/2024	Hecho
Pruebas eléctricas	10/2024	Hecho
Pruebas experimentales	10/2024	Hecho

Nota. Autoría propia.

Etapa de prototipado

En esta etapa de prototipado, se empleó la metodología de diseño Design Thinking, que consta de cinco etapas, clasificadas en cuatro fases dentro de la etapa de prototipado:

- Fase 1-Empatizar
- Fase 2-Definir e idear
- Fase 3-Prototipar
- Fase 4-Testear

Cada una de estas fases se ejecutó de manera secuencial para asegurar un proyecto exitoso y confiable.

Fase 1-Empatizar

La fase inicial de cualquier proyecto de ingeniería es crucial, ya que establece las bases para el desarrollo futuro. En el caso de la máquina universal de ensayos, comprender a fondo las necesidades y problemas específicos es esencial para diseñar un equipo que no solo cumpla con las normativas actuales, sino que también responda a las exigencias prácticas del uso diario. La investigación sobre los diferentes tipos y usos de estas máquinas proporciona una visión integral que ayuda a anticipar posibles desafíos y a diseñar soluciones efectivas. La adherencia a normas nacionales e internacionales no solo garantiza la calidad y seguridad del producto, sino que también asegura su aceptación en el mercado global, facilitando así la estandarización y la comparabilidad de los resultados de los ensayos. Este enfoque metódico y normativo es lo que eventualmente conduce a la innovación y la excelencia en el campo de la ingeniería de pruebas.

La primera fase de este proyecto, se centró en comprender las necesidades y expectativas de la universidad, que buscaba desarrollar una máquina universal de ensayos para evaluar las

propiedades físicas y mecánicas de zanahorias cultivadas en condiciones ideales. Esto implicó la programación de reuniones con las personas inmersas en el proyecto universitario, la realización de visitas a laboratorios para hacer pruebas y tener un registro sobre el rango de valores que son necesarios para este tipo de pruebas, cotizaciones de los elementos y materiales a utilizar para tener un comparativo y establecer los que mejor se ajustaran a este proyecto y analizar las características como la precisión en las pruebas y la adaptabilidad del equipo a diferentes tipos de ensayos. Este proceso permitió identificar los aspectos claves que la máquina debía cumplir para satisfacer los objetivos de la investigación y diseñar un prototipo.

Fase 2-Definir e Idear

El proceso de diseño implica una fase crítica de análisis donde se examina detenidamente la información recopilada. Este análisis conduce a la generación de un espectro diverso de ideas y soluciones potenciales. A través de un enfoque iterativo y colaborativo, se refinan estas ideas hasta llegar a un diseño de prototipo bien fundamentado. Este prototipo sirve como una representación tangible del concepto, permitiendo su evaluación y mejora continua antes de la producción final.

El proceso comenzó con la coordinación de una serie de reuniones en las que se recopilaron ideas de todos los participantes interesados en el desarrollo de la máquina.

La primera idea que se planteó fue la construcción de un sistema electromecánico basado en una estructura modular hecha con perfiles estructurales de aluminio. Este tipo de perfiles es popular en la construcción de prototipos y máquinas por su ligereza, resistencia a la corrosión y la facilidad con la que se pueden ensamblar. La propuesta incluía la posibilidad de realizar un ensamblaje a través de uniones atornilladas, lo que facilitaría su montaje y desmontaje en futuras modificaciones o mejoras del prototipo.

El enfoque modular del diseño también ofrecía una gran flexibilidad, ya que permitiría ajustar la estructura según las necesidades específicas del proyecto sin la necesidad de cambios drásticos en el diseño original. Además, la ligereza del aluminio era vista como una ventaja significativa, especialmente en términos de transporte y manejo del dispositivo.

No obstante, tras un análisis más detallado de los costos involucrados, se encontró que la adquisición de perfiles de aluminio estructural, así como los elementos de ensamblaje necesarios, resultaba considerablemente costosa. El aumento en el precio de los materiales, en combinación con los componentes adicionales, generaba una carga financiera excesiva para el presupuesto disponible en esta etapa del proyecto. En consecuencia, se descartó esta opción, priorizando alternativas más económicas sin sacrificar la calidad del producto final.

Como segunda idea, se propuso la construcción de un prototipo con una estructura sólida de acero, utilizando técnicas de soldadura para las uniones, con accionamiento hidráulico.

La soldadura permitiría una mayor rigidez y durabilidad en comparación con las uniones atornilladas. A esto se sumaba la idea de implementar un sistema actuador hidráulico, el cual proporcionaría la fuerza necesaria para las operaciones mecánicas del dispositivo. El sistema hidráulico estaba pensado para ofrecer un control preciso y una capacidad de manejo de cargas significativas, lo cual era una ventaja para las pruebas que el prototipo debía realizar.

Sin embargo, este enfoque también presentó complicaciones. El uso de acero, si bien más económico que el aluminio, implicaba un aumento considerable en el peso total del prototipo, lo que hacía más compleja su manipulación y transporte. Además, las dimensiones del prototipo requerían una cantidad considerable de material, lo que afectaba tanto el costo como la logística de construcción.

El mayor desafío, no obstante, fue la complejidad y el costo del sistema hidráulico. Aunque este tipo de sistemas son conocidos por su fiabilidad en aplicaciones que requieren fuerza, el precio de los componentes necesarios para su implementación, así como el mantenimiento a largo plazo, superaba nuevamente los recursos disponibles. El costo no solo se reflejaba en los materiales, sino también en la instalación de los sistemas auxiliares, como el control hidráulico y los mecanismos de seguridad asociados. Finalmente, se determinó que, aunque esta propuesta era técnicamente viable, no era sostenible desde un punto de vista financiero ni práctico para el alcance de este proyecto.

Después de analizar exhaustivamente las dos propuestas anteriores y teniendo en cuenta las limitaciones económicas y técnicas, el equipo de trabajo desarrolló una tercera idea que combinaba la robustez de la estructura de acero con un enfoque más simple y eficiente en la parte mecánica y actuadora. Esta propuesta final consistía en la construcción de un prototipo de una máquina universal de ensayos con desplazamiento mecánico, lo cual permitiría realizar las pruebas controladas de manera precisa y fiable.

La idea principal era utilizar un sistema de desplazamiento mecánico, acoplado a un motor paso a paso como sistema actuador. El motor paso a paso fue seleccionado debido a su capacidad para controlar con gran precisión los movimientos, lo que resultaba crucial para la ejecución de los ensayos. Además, estos motores son relativamente más económicos que los sistemas hidráulicos y no requieren del mismo nivel de mantenimiento, lo que los convierte en una opción más asequible y sostenible a largo plazo. El uso de un sistema guía también fue incorporado al diseño, lo que garantizaría la estabilidad y el control durante el desplazamiento, reduciendo errores y mejorando la repetitividad de las pruebas.

El resultado de este proceso de ideación fue la definición de un prototipo equilibrado, que cumpliría con los requisitos técnicos y que, al mismo tiempo, se ajustaba al presupuesto del proyecto.

El diseño final se basó en un análisis de las propuestas anteriores, donde se priorizo la eficiencia, la precisión en el control del sistema actuador y la durabilidad de la estructura mecánica, sin que ello implicara un sobre costo o una complejidad innecesaria en la construcción.

Diseño del sistema mecánico

La selección de un diseño adecuado es un paso crucial en el proceso de desarrollo de productos, especialmente cuando se trata de maquinaria. La practicidad y la portabilidad son factores esenciales que influyen en la eficiencia y la funcionalidad del producto final. Un diseño que prioriza la facilidad de uso y un transporte sencillo puede aumentar significativamente la adopción del producto por parte de los usuarios finales. Además, al considerar estos aspectos desde las etapas iniciales, se pueden evitar complicaciones durante la fabricación y se asegura que el producto cumpla con los estándares de calidad y las expectativas del mercado. Por lo tanto, la integración de la información recopilada y los requisitos necesarios en el diseño no solo es una práctica recomendable, sino una inversión en la viabilidad y el éxito a largo plazo del producto.

A continuación, se presenta el diagrama de flujo que describe el proceso a seguir para el diseño y la construcción del prototipo de una maquina universal de ensayos, el cual puede consultarse en el Anexo 1. Asimismo, el plano detallado del diseño estructural del prototipo se encuentra disponible en el Anexo 2.

Los criterios para la selección de los materiales y el diseño de este prototipo se fundamentan en investigaciones previas detalladas en los antecedentes. La configuración para realizar movimientos verticales se determinó considerando la disposición de los componentes principales, como la celda de carga, facilitando así la colocación de las probetas para pruebas de flexión y compresión.

Adicionalmente, la ubicación del motor y la caja reductora se planificó con el objetivo de garantizar la seguridad de los usuarios frente a riesgos mecánicos, dado que estos componentes están en rotación y pueden causar atrapamientos durante las pruebas. Asimismo, para mitigar riesgos eléctricos, se decidió instalar estos elementos en la parte inferior, cubriendo los componentes.

Se evaluó que la implementación de un prototipo de un solo brazo reduce los costos estructurales, ya que las máquinas universales de ensayos tipo H requieren dos columnas para soportar la viga horizontal, lo que implica un mayor consumo de material y una mayor complejidad en el ensamblaje general.

Finalmente, se optó por el uso de tubo estructural debido a su fácil adquisición y manejo en términos de corte, soldadura y resistencia.

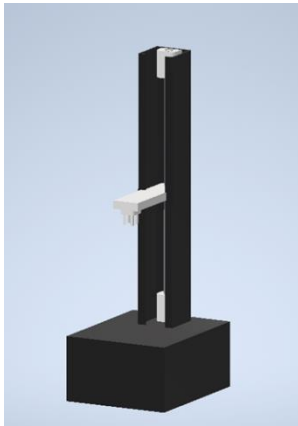
Para el diseño mecánico de este proyecto, se desarrollaron tres prototipos de estructura similar en Autodesk Inventor, con algunas diferencias en la disposición de los elementos, como se describe a continuación.

En la figura número uno, se diseñó una base cerrada simulando una lámina de acero de calibre $\frac{1}{4}$ de pulgada, la cual se uniría con una columna en forma de U para incorporar los soportes del husillo y soportar el sistema de desplazamiento. Este tipo de estructura brindaba

protección al sistema de desplazamiento, pero dificultaba la disposición del sistema guía y los elementos de instrumentación. Este diseño no fue seleccionado debido a que el espacio reducido en la parte inferior dificultaba la instalación del motor paso a paso y la caja reductora de precisión, así como los elementos eléctricos y electrónicos. Además, la columna, al ser vacía en su interior, no generaba la misma resistencia que una columna de forma cuadrada.

Figura 5.

Diseño prototipo #1 en Autodesk Inventor.

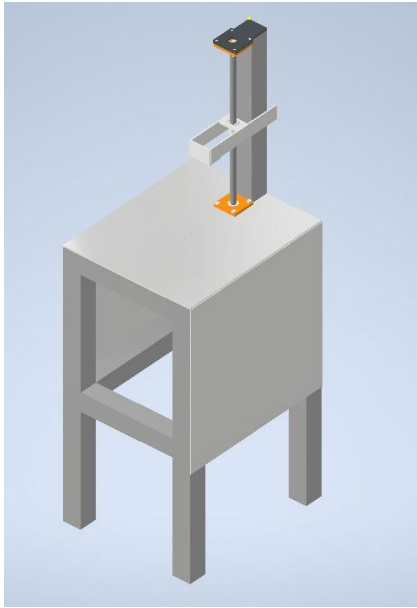


Nota. Autoría propia.

Para el diseño número dos, se modeló una estructura más robusta, compuesta por cuatro columnas de tubo cuadrado estructural con soportes intermedios y superiores, formando un cubo para soportar una lámina de acero de calibre $\frac{1}{4}$. Sobre esta estructura, se realizó la unión de la columna principal, en la cual se soportan las chumaceras que apoyan el husillo. También se diseñó una viga horizontal en platina de acero, unida a la tuerca que se desplaza por el tornillo, con extensiones laterales que proporcionan guía y precisión al sistema de desplazamiento. Este modelo no se llevó a cabo debido a que la alta fricción en el sistema guía disminuía la capacidad del motor y afectaba la precisión en el desplazamiento lineal. Además, debido a las dimensiones de los materiales, el prototipo resultaba sobredimensionado y pesado.

Figura 6.

Diseño prototipo #2 en Autodesk Inventor.



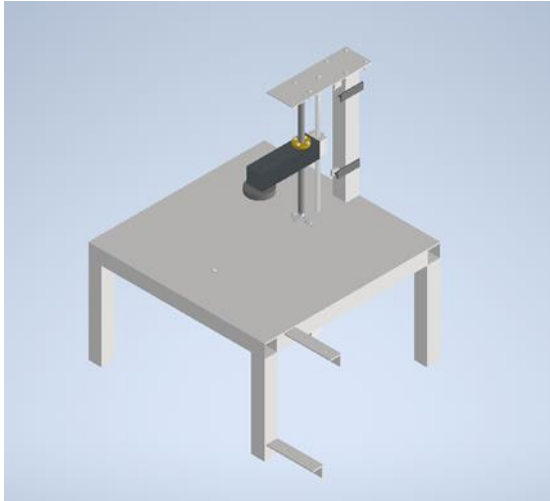
Nota. Autoría propia.

El tercer diseño se modeló uniendo las ideas de los diseños anteriores, contando con una estructura en tubo cuadrado estructural, un poco más ancha en la base para proporcionar estabilidad. La base está modelada con platina de acero calibre $\frac{1}{4}$ de pulgada y cuenta con una columna en tubo cuadrado de acero. En la parte superior de la columna se posicionó un soporte para sostener una chumacera que fija el sistema de desplazamiento. De forma paralela, se implementó un sistema guía, compuesto por una varilla lisa con un rodamiento lineal de bolas recirculantes para proporcionar firmeza y precisión en los movimientos. Acoplada al sistema de desplazamiento y al sistema guía, se construyó una viga horizontal en nylon, la cual transmitirá el esfuerzo hacia los platos de compresión para fallar la probeta de material vegetal. En la parte inferior de la estructura se implementó el sistema actuador, compuesto por un motor paso a paso Nema 23 acoplado a una caja reductora de precisión 10:1, lo que permitiría aumentar la fuerza en las pruebas. Finalmente se diseñó el sistema Encoder, conformado por un disco con perforaciones y un sensor fotoeléctrico para medir el desplazamiento de la viga horizontal. Este

modelo fue diseñado y seleccionado debido a las mejoras realizadas con respecto a los diseños anteriores, teniendo en cuenta normas de seguridad y operatividad y manteniendo los requerimientos de la máquina.

Figura 7.

Diseño prototipo #2 en Autodesk Inventor.



Nota. Autoría propia.

Definición de parámetros de operación

Para definir los parámetros de operación, se consideraron las capacidades máximas de operación del motor paso a paso NEMA 23 y la celda de carga. Inicialmente, el motor NEMA 23, con un torque de 3.2 Nm, no generaba la fuerza suficiente para fracturar una probeta de materiales blandos. Por esta razón, se decidió incorporar una caja reductora de precisión con una relación 10:1, lo que incrementó el torque a 32 Nm, aumentando así la fuerza aplicada a las probetas.

A continuación, se presenta una tabla con los parámetros de operación definidos:

Tabla 4.*Parámetros de operación.*

Elemento	Capacidad	Unidad de medida
Motor paso a paso con caja reductora	32	Nm
Celda de carga	20	Kg
Husillo	10	mm

Nota. Autoría propia.***Comparativo de materiales y componentes***

Para este apartado, se consideraron las tablas de criterio mostradas a continuación, en las cuales se relacionan los elementos aplicables a este prototipo, teniendo en cuenta tanto los aspectos estructurales como la disposición de los elementos eléctricos principales.

Dado el diseño del prototipo y la necesidad de controlar cuidadosamente el movimiento en las pruebas, se optó por la comparación entre cuatro motores de diferentes características las cuales se ajustaban al funcionamiento deseado de la máquina como se muestra en la Tabla 5.

A partir de esta información, se seleccionó un motor paso a paso NEMA 23, ya que permite controlar la velocidad y lograr desplazamientos más precisos en la aplicación de los esfuerzos sobre las probetas.

Tabla 5.*Comparativo de materiales y componentes.*

Actuador	Torque	Control de posición	Con caja reductora	Tipo de motor	Precisión	Precio
-----------------	---------------	----------------------------	---------------------------	----------------------	------------------	---------------

Nema 23	3.2 Nm	Si	No	Paso a paso	1.8	\$150.000
Nema 17	1.1 Nm	Si	No	Paso a paso	1.8	\$130.000
Servomotor	0.64 Nm	Si	No	Servo	1.8	\$40.000
Motor AC	745 Nm	No	No	AC	N/A	\$60.000

Nota. Autoría propia.

Para garantizar la precisión de los movimientos en la maquina se hizo la comparativa entre diferentes sistemas de desplazamiento como se observa en la Tabla 6, a partir de lo anterior el elemento que más se ajusta a este prototipo es el tornillo trapezoidal ya que tiene buena precisión en su desplazamiento y el costo se ajusta a este proyecto.

Tabla 6.

Comparativos sistemas de desplazamiento

Sistema de desplazamiento	Precisión	Coefficiente de fricción	Peso (Kg)	Avance	Precio
Tornillo de bolas recirculantes	Alta	Bajo 10%	5	10 mm/vuelta	\$800.000
Tornillo trapezoidal	Alta	Alto 80%	0.5	8 mm/vuelta	\$100.000
Tornillo de rosca triangular	Media	Alto 80%	1	3 mm/vuelta	\$50.000

Nota. Autoría propia.

Los materiales analizados para la construcción de la estructura se observan en la Tabla 7, dichos materiales se evaluaron debido a su alta resistencia, no obstante, fue necesario comparar factores relevantes para la implementación del prototipo, como la soldabilidad, el peso y el costo de cada uno.

A partir de las características presentadas, se evidenció que el tubo estructural es el material más adecuado para el prototipo ya que tiene un costo asequible respecto al nylon y al perfil en aluminio, además de poseer mayor soldabilidad lo que permite una mejor construcción y resistencia estructural.

Tabla 7.

Comparativo de materiales de estructura.

Sistema estructural	Resistencia	Soldabilidad	Peso (Kg)	Precio
Tubo estructural	Alta	Alta	5	\$80.000
Nylon	Alta	Nula	4	\$180.000
Perfil en aluminio	Alta	Media	2	\$400.000

Nota. Autoría propia.

Por otra parte, para garantizar el movimiento guiado de la viga horizontal y mitigar perturbaciones, se tuvieron en cuenta características como la precisión, el coeficiente de fricción, el avance y el precio de diferentes guías, como se muestra en la Tabla 8, teniendo en cuenta la información presentada, se concluyó que la mejor opción fue la guía de varilla con rodamiento lineal, puesto que genera una buena precisión y un costo adecuado al prototipo.

Tabla 8.*Comparativo sistemas guía.*

Sistema guía	Precisión	Coefficiente de fricción	Peso (Kg)	Avance	Precio
Guía plana CNC	Alta	Medio 50%	0.5	Bolas recirculantes	\$180.000
Guía de varilla	Media	Medio 50%	0.3	Bolas recirculantes	\$30.000
Guía triangular	Baja	Alto 80%	1	Rodachines	\$15.000

Nota. Autoría propia.

Teniendo en cuenta la aplicación de esfuerzos en las probetas se hizo necesaria la adquisición de un sistema de caja reductora para aumentar la fuerza de compresión y flexión tal que tuviera la capacidad de fallar la probeta. Las características de las cajas reductoras evaluadas se presentan en la Tabla 9. Con base en el análisis de la información de cada dispositivo, se seleccionó la caja reductora planetaria debido a que tiene un tamaño que se ajusta a la estructura principal del prototipo y al sistema actuador.

Tabla 9.*Comparativo Sistemas Reductor.*

Sistema reductor	Precisión	Relación	Peso Kg	Precio
Reductora de ejes paralelos	Alta	30:1	15	\$ 700,000
Reductora planetaria	Alta	10:1	1	\$360,000
Reductora sin fin corona	Media	5:1	10	\$350,000

Nota. Autoría propia.

Elementos seleccionados

Al realizar el análisis comparativo, estos elementos fueron seleccionados con base en su capacidad para cumplir con los requisitos del prototipo en términos de precisión, control, resistencia y costo, asegurando un diseño funcional y práctico para las pruebas.

Tabla 10.

Elementos seleccionados.

Elemento	Nema 23	Celda tipo barra	Tornillo trapezoidal	Tubo estructural	Guía de varilla	Caja reductora de precisión 10:1
Precio	\$150.000	\$201.900	\$100.000	\$80.000	\$30.000	\$360.000

Nota. Autoría propia.

Fase 3-Prototipar

Fabricación de estructura

La fabricación de estructuras metálicas requiere precisión y conocimiento técnico, especialmente cuando se trabaja con tubo cuadrado estructural. Cortar cada pieza a la medida exacta es crucial para asegurar que la estructura final sea sólida y estable. La soldadura es un proceso fundamental en este tipo de construcciones, y la elección de la soldadura 7014 indica una preferencia por su penetración media y su capacidad para soldar en todas las posiciones, lo que es ideal para estructuras que requieren una alta resistencia. La adición de una planchuela de hierro de 3 mm de grosor proporciona una mayor estabilidad y soporte, asegurando que la estructura pueda soportar las cargas para las que fue diseñada. Estos detalles no solo reflejan la calidad del trabajo, sino también la seguridad y durabilidad de la estructura final.

En este apartado se describe el proceso detallado para la construcción del prototipo, utilizando los siguientes recursos:

Tabla 11.

Recursos de construcción.

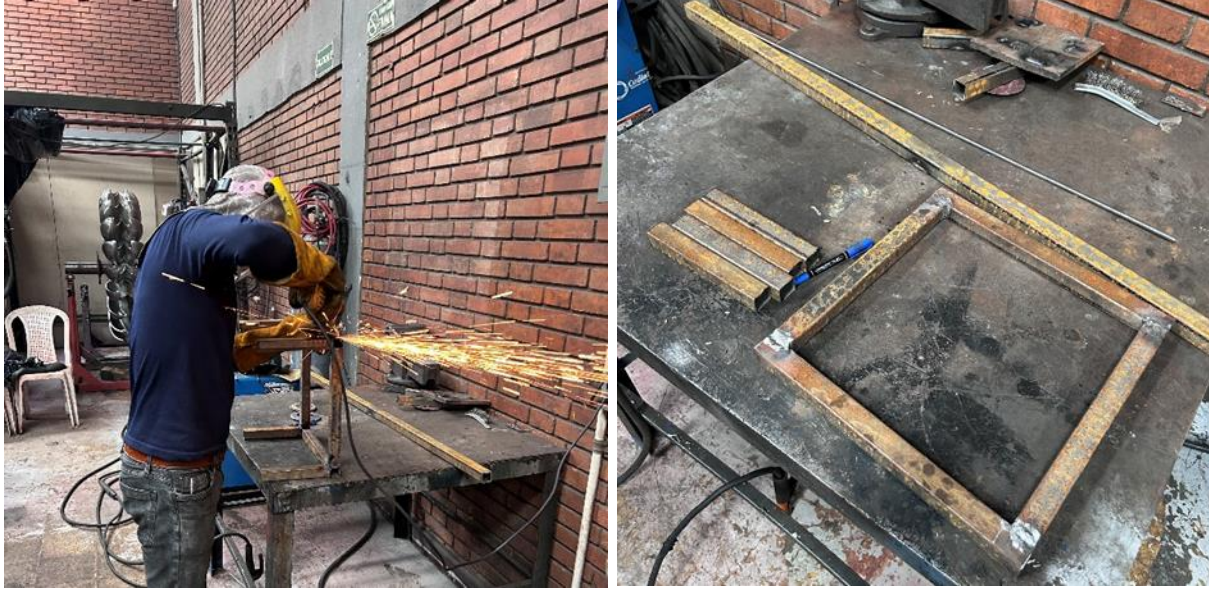
Equipos y herramientas	Consumibles	Elementos de protección personal
Flexómetro	Disco de corte de 4 pulgadas	Guantes
Pulidora	Disco de desbaste de 4 pulgadas	Overol
Equipo de soldadura	Soldadura de electrodo revestido	Gafas
Taladro de árbol	Grata	Protección respiratoria
Torno	Lijas	Protección visual
Fresadora		Botas de seguridad
Brocas		
Machuelos		
Atornilladores		

Nota. Autoría propia.

Para este primer paso, se hace la toma de medidas sobre el material para así proceder al corte, tal como se muestra en la figura 8.

Figura 8.

Corte de material.

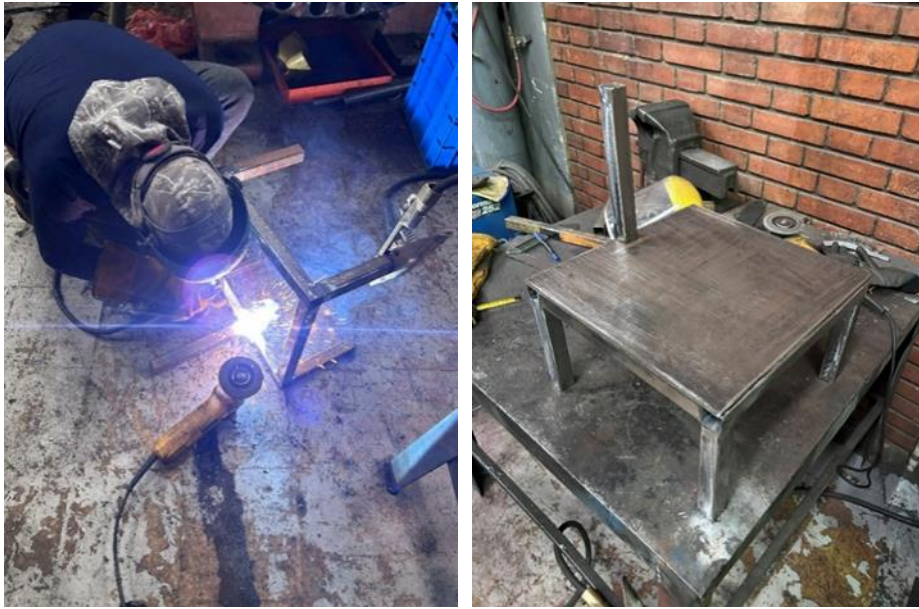


Nota. Autoría propia.

Para el siguiente paso, se procede a hacer la unión de las piezas cortadas, junto con la base superior y la base principal, empleando el proceso de soldadura, para garantizar la firmeza de la estructura.

Figura 9.

Unión por soldadura.



Nota. Autoría propia.

Continuando con el proceso se realizan las perforaciones para las uniones atornilladas y los soportes con el fin de adecuar los elementos correspondientes al sistema guía, sistema de husillo y viga horizontal.

Figura 10.

Adecuación sistema de husillo y sistema guía.



Nota. Autoría propia.

Al disponer de un ensamble de la estructura general, se procede con la fabricación de los platos para la prueba de compresión y los rodillos para las pruebas de flexión, los cuales se realizaron por proceso de mecanizado en torno paralelo.

Figura 11.

Fabricación de platos y rodillos para los ensayos.



Nota. Autoría propia.

Por último, se fabricó un disco con perforaciones para ser adecuado a un sensor fotoeléctrico que genera la lectura de desplazamiento de la viga horizontal, este proceso se realizó por medio del mecanizado de piezas.

Figura 12.

Mecanizado de disco para Encoder.



Nota. Autoría propia.

Instalación sistema de recorrido

La implementación de un tornillo de bolas recirculantes para sistemas de recorrido es una elección adecuada debido a su alta precisión y eficiencia en la conversión de movimiento rotativo en lineal. Con una longitud de 60 cm y un desplazamiento libre de 40 cm, proporciona un rango adecuado para muchas aplicaciones industriales. La fijación de sus extremos a chumaceras de pared asegura una instalación robusta y estable, lo que es crucial para mantener la precisión del movimiento a lo largo del tiempo. Esta configuración es comúnmente utilizada en maquinaria donde la precisión del posicionamiento es fundamental, como en equipos de CNC, robótica o sistemas automatizados de ensamblaje.

La instalación de un elemento base como guía es un paso crucial en la mejora de sistemas mecánicos o robóticos. Este componente fundamental actúa como un eje de referencia, asegurando que el movimiento del sistema sea más controlado y preciso. Al proporcionar una base sólida y estable, se minimizan las vibraciones y desviaciones, resultando en una operación más suave y exacta. Esta mejora en la estabilidad y precisión no solo aumenta la eficiencia del sistema, sino que también puede prolongar la vida útil del equipo al reducir el desgaste irregular y los posibles fallos mecánicos.

Figura 13.

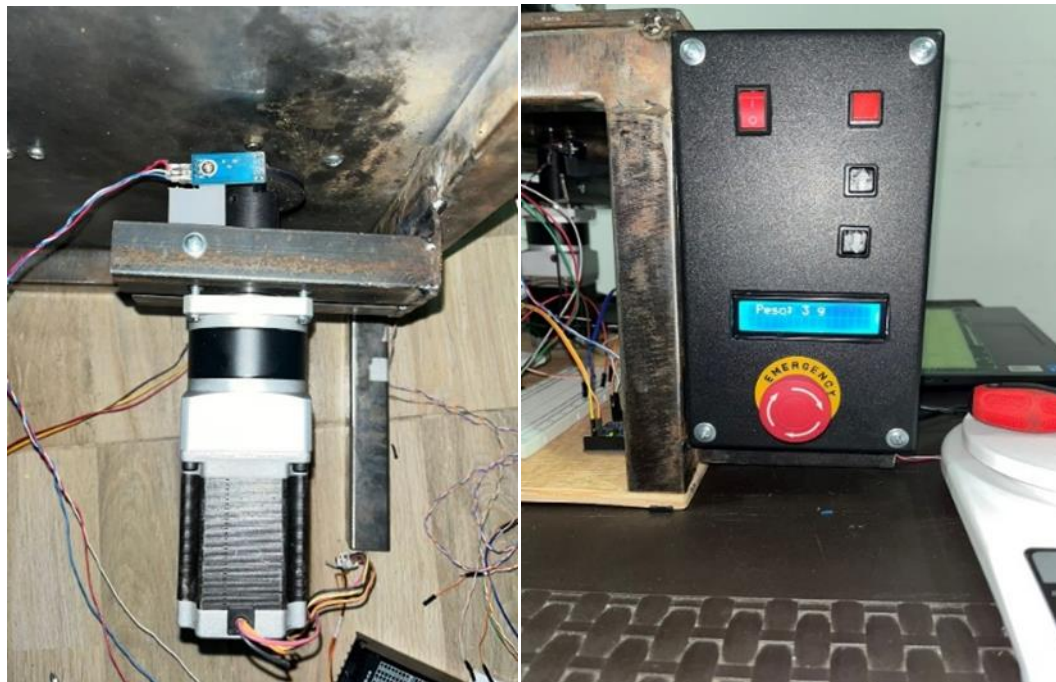
Instalación sistema de recorrido.



Nota. Autoría propia

Instalación sistema eléctrico

Luego de realizar la construcción de la parte estructural y mecánica se procede a realizar la instalación de la parte eléctrica, la cual fue implementada en su totalidad por (Mendieta, 2024) en su trabajo de grado. En esta sección se realizó la instalación y conexión de elementos como lo son motor paso a paso, caja reductora, instalación de sensores finales de carrera, instalación de sensor del Encoder y por último la adecuación del gabinete principal.

Figura 14.*Instalación de elementos eléctricos.**Nota. Autoría propia.***Fase 4-Testear*****Pruebas mecánicas***

La validación de funcionamiento de cada uno de los elementos que conforman el sistema mecánico estará expresada en la Tabla 12, con calificaciones de cada sistema de 0 a 10 donde cero es la calificación más baja y 10 representa un óptimo funcionamiento.

Tabla 12.*Pruebas mecánicas.*

Sistema	Función Específica	Prueba Realizada	Puntaje 0-10
Motor paso a paso	Giro horario y anti horario	Verificar el movimiento uniforme hacia arriba y abajo	10

Caja reductora	Aumento en el torque aplicado	Realización de pruebas de compresión y flexión	10
Sistema guía	Desplazamiento suave Ascenso/Descenso	Verificación de la reducción de movimientos de anormales.	8
Sistema de husillo	Desplazamiento vertical de la viga para las pruebas de compresión y flexión	Desplazamiento hasta el punto máximo superior y punto máximo inferior	8
Sistema de enconder	Medición del desplazamiento de la viga horizontal	Visualización de los datos de desplazamiento	9

Nota. Autoría propia.

Pruebas eléctricas

La validación de funcionamiento de cada uno de los elementos que conforman el sistema eléctrico estará expresada en la Tabla 13, con calificaciones de cada componente de 0 a 10 donde cero es la calificación más baja y 10 representa un óptimo funcionamiento.

Tabla 13.

Pruebas eléctricas.

Elemento	Función específica	Prueba realizada	Puntaje 0-10
Driver	Alimentación eléctrica del motor	Entrega de energía eléctrica para dar movimiento horario y antihorario del motor	10

Parada de emergencia	Interrumpir la energía eléctrica total	Aplicación simulando un disparo de emergencia	10
Interruptor de encendido	Dar paso a la energía eléctrica de los componentes del gabinete	Medición de tensión en los demás componentes luego de la activación y desactivación	10
Botón home	Genera la señal para llevar la viga horizontal a su posición inicial	Pulsar una vez para llevar el prototipo a su posición inicial	10
Pulsadores de posicionamiento	Posicionamiento manual de la viga para las pruebas	Comprobación del desplazamiento ascendente y descendente	10

Nota. Autoría propia.

Pruebas experimentales

En esta sección, se procede a la ejecución de pruebas destinadas a validar y evaluar el funcionamiento del sistema de instrumentación, así como de los componentes mecánicos y eléctricos. Estas pruebas tienen como objetivo garantizar la capacidad del prototipo para realizar ensayos con zanahorias, con el fin de verificar el correcto desempeño del prototipo.

Probetas para pruebas de compresión. Para la elaboración de las probetas de zanahoria, se sigue la norma ASTM D695, que establece que la longitud de la probeta debe ser el doble de su ancho principal o diámetro. Con este propósito, se fabricaron moldes, como podemos ver en la figura 15, para garantizar que las probetas sean proporcionales y cumplan con las especificaciones. (ver figura 16).

Figura 15.

Troquel para compresión.



Nota. Autoría propia.

Figura 16.

Probetas para pruebas de compresión.

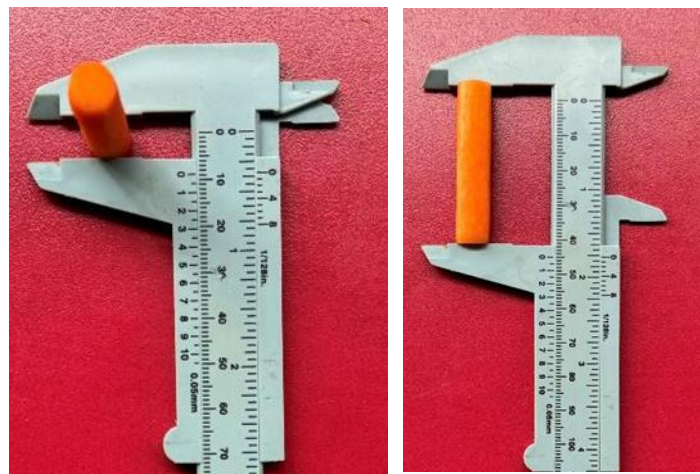


Nota. Dimensiones de probeta para prueba de compresión: Longitud de 20 mm x 10 mm de diámetro. Autoría propia.

Probetas para pruebas de flexión. Para la elaboración de las probetas de zanahoria se tiene en cuenta la forma y dimensiones de la probeta según la ISO 178 (ver figura 17).

Figura 17.

Probetas para pruebas de flexión.



Nota. Dimensiones de probetas para pruebas de flexión: Longitud de 45 mm x 8.5 mm de diámetro. Autoría propia.

Proceso de Pruebas de Compresión y Flexión. El proceso de pruebas de compresión y flexión incluye los siguientes pasos:

Verificación de la Celda de Carga. Se realiza una validación del peso de la probeta utilizando la balanza de referencia SF-400 en comparación con la celda de carga del prototipo de la máquina de ensayos. Este procedimiento se repite en las tres pruebas realizadas, obteniendo un resultado consistente en la celda de carga (1 g para compresión y 3 g para flexión) (ver figura 18 y 19).

Figura 18.

Validación de la celda de carga.



Nota. Probetas para ensayo de compresión. Autoría propia.

Figura 19.

Validación de la celda de carga.



Nota. Probeta para ensayo de flexión. Autoría propia.

Ajuste de la Posición de la Viga. Se ajusta la posición de la viga para colocar la probeta, utilizando los botones del tablero de control (ver figura 20).

Figura 20.

Posicionamiento de la viga.



Nota. Autoría propia.

Inicio de las Pruebas. Una vez posicionada la viga, se presiona el botón "Start" en la interfaz de usuario (HMI) para comenzar las pruebas. La prueba se detiene automáticamente al ocurrir la falla de la probeta, generando un resultado gráfico en la interfaz.

Validación de la Falla de la Probeta. Se revisa el punto exacto en el que ocurre la falla y se mide la longitud total de la probeta después de cada prueba.

Todos estos pasos se realizan con las tres pruebas de compresión y flexión, obteniendo los siguientes resultados:

Ensayo de compresión.

Tabla 14.

Resultados obtenidos prueba #1 compresión.

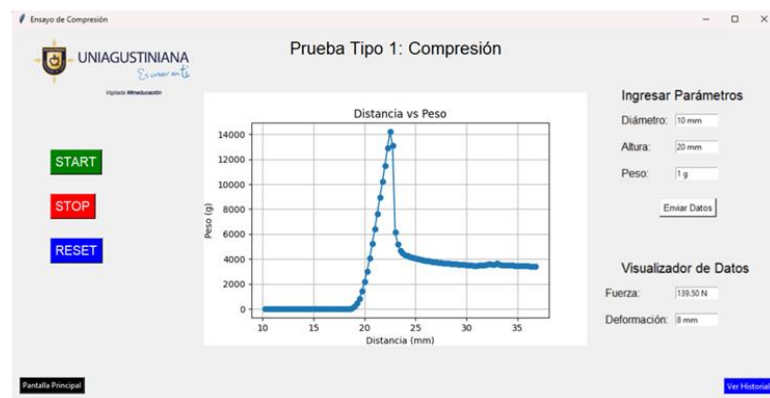
Prueba #1	Dimensiones/Masa por probeta		Resultados	
	milímetros	gramos	Carga ejercido en gramos	Deformación en milímetros
1	20x10	1	14220	8

Nota. Autoría propia.

Resultados interfaz gráfica.

Figura 21.

Prueba #1 de compresión. Gráfica de peso vs distancia.

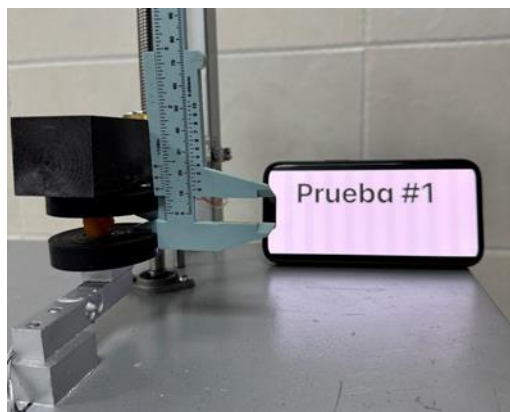


Nota. Gráfica de peso vs distancia. Autoría propia.

Validación de longitud final probeta.

Figura 22.

Toma de longitud final. Longitud final de 12 mm.

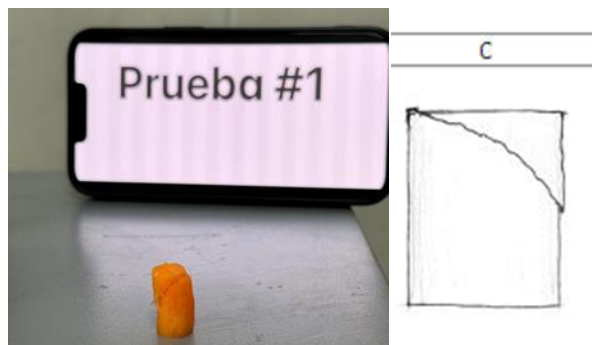


Nota. Longitud final de 12 mm. Autoría propia.

Fallo de probeta.

Figura 23.

Fallo de probeta.



Nota. Es una falla por corte. Tomado de Salazar Jaramillo, (2016).

Tabla 15.

Resultados obtenidos prueba #2 compresión.

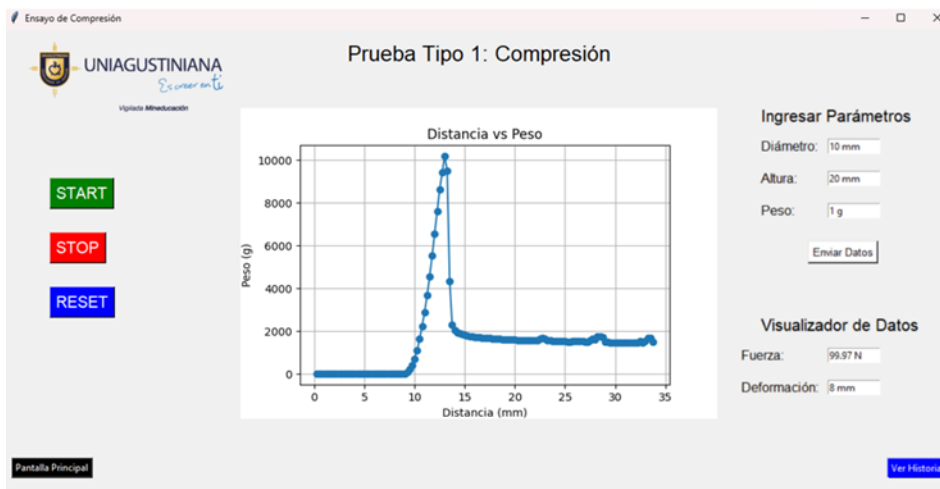
Prueba #2	Dimensiones/Masa por probeta		Resultado	
	milímetros	gramos	Carga ejercido en gramos	Deformación en milímetros
2	20x10	1	10191	8

Nota. Autoría propia.

Resultados interfaz gráfica.

Figura 24.

Prueba #2 de compresión.

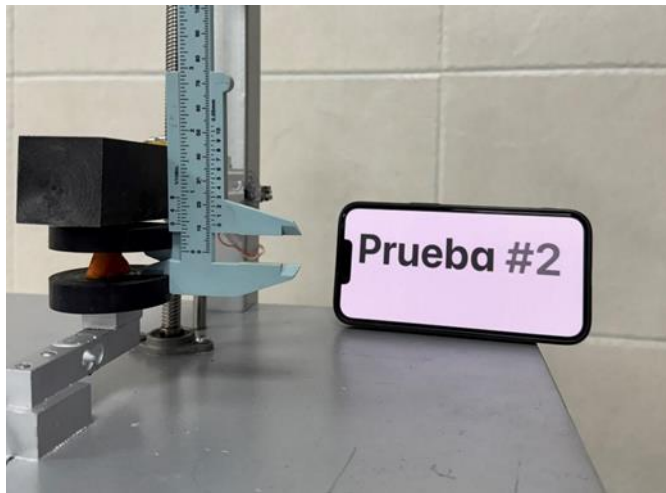


Nota. Gráfica de peso vs distancia. Autoría propia.

Validación de longitud final probeta.

Figura 25.

Longitud final de 12 mm



Nota. Autoría propia.

Fallo de probeta.

Figura 26.

Fallo de Probeta.



Figura 6. F) Falla por pandeo local de las fibras en presencia de nudo.

Nota. Es una falla por pandeo local de las fibras en presencia de nudo Adaptado de Salazar Jaramillo (2016).

Tabla 16.

Resultados obtenidos prueba #3 compresión

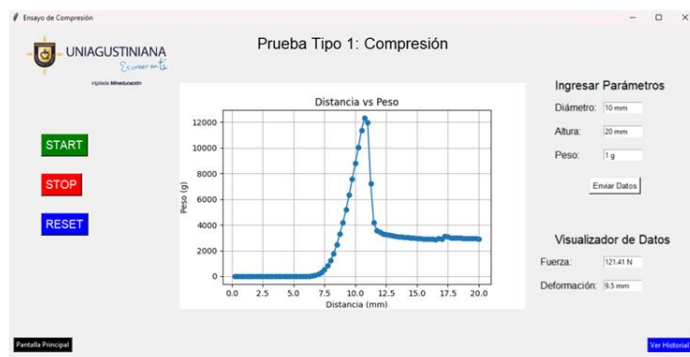
Prueba #3	Dimensiones/Masa por probeta		Resultado	
	milímetros	gramos	Carga ejercido en gramos	Deformación en milímetros
3	20x10	1	12377	9.5

Nota. Autoría propia.

Resultados interfaz gráfica.

Figura 27.

Prueba #3 de compresión.

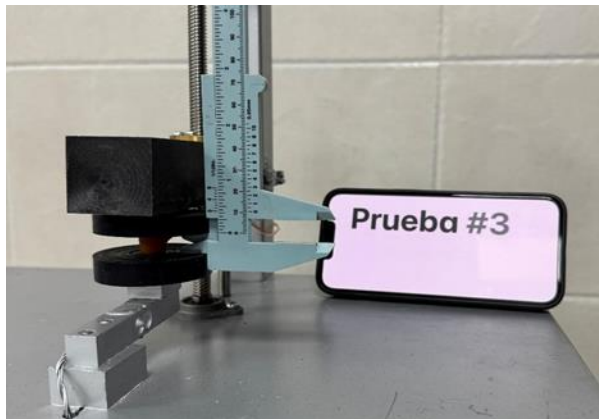


Nota. Gráfica de peso vs distancia. Autoría propia.

Validación de longitud final probeta.

Figura 28.

Toma de longitud final. longitud final de 10.5 mm.

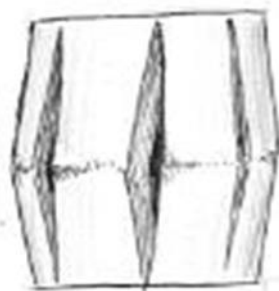
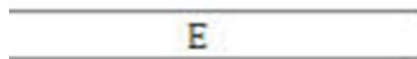
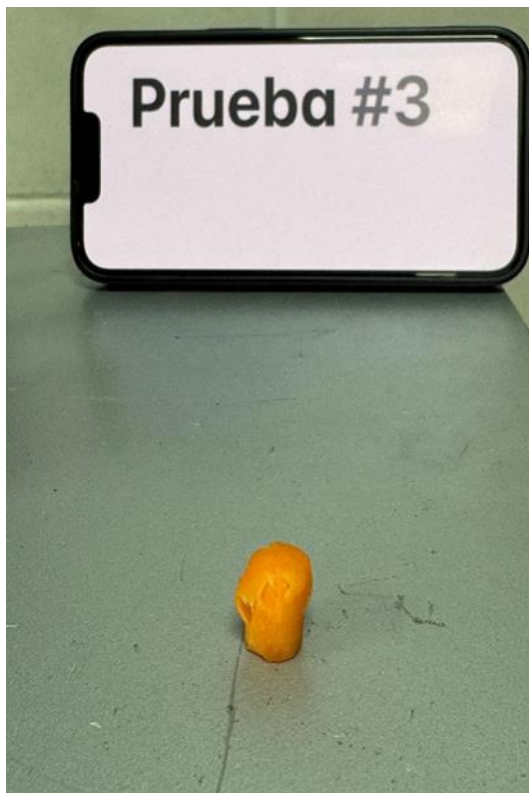


Nota. longitud final de 10.5 mm. Autoría propia.

Fallo de probeta.

Figura 29.

Fallo de la probeta.



Nota. Es una falla por pandeo general de las fibras en dirección externa. Adaptado de Salazar Jaramillo, (2016).

Tablas Resultados Final.

Tabla 17.

Resultados finales de compresión.

Ensayo de compresión				
Prueba	Dimensiones/Masa por probeta		Resultado	
	milímetros	gramos	Fuerza (Newton)	Deformación (milímetros)
1	20x10	1	139.5	8
2	20x10	1	99.97	8
3	20x10	1	121.41	9.5

Nota. Autoría propia.

Pruebas De Flexión.

Tabla 18.

Resultados obtenidos prueba #1 flexión.

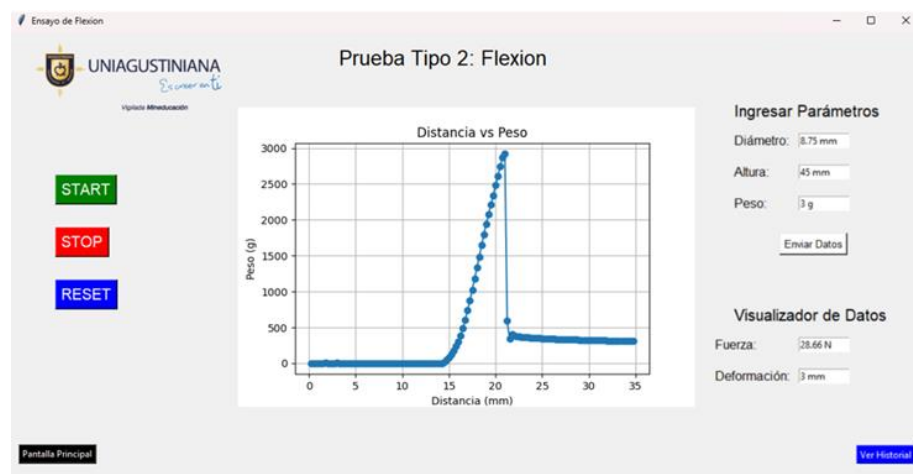
Prueba #1	Dimensiones/Masa por probeta		Resultado	
	milímetros	gramos	Carga ejercido en gramos	Deformación en milímetros
1	45x8.75	3	2922	3

Nota. Autoría propia.

Resultados interfaz gráfica.

Figura 30.

Prueba #1 de flexión.

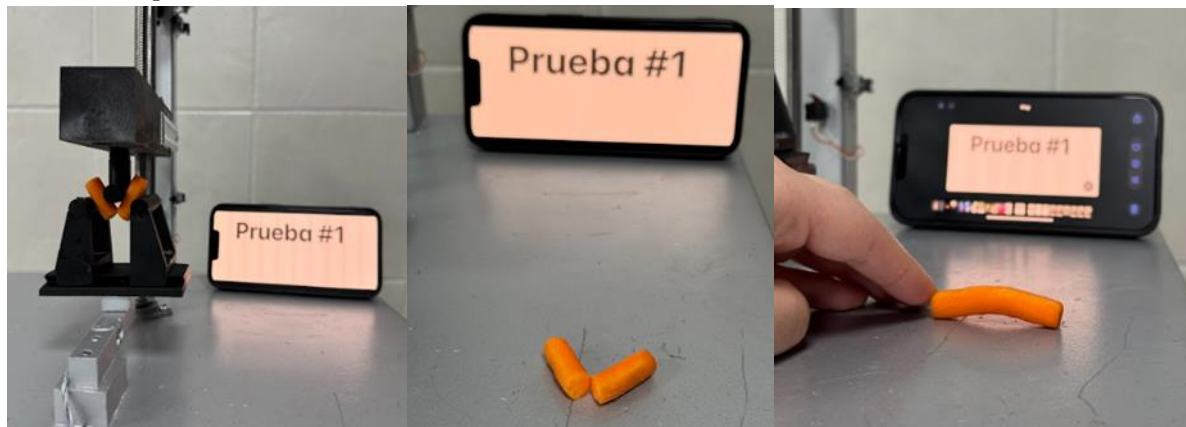


Nota. Gráfica de peso vs distancia. Autoría propia.

Fallo de probeta.

Figura 31.

Fallo de la probeta.

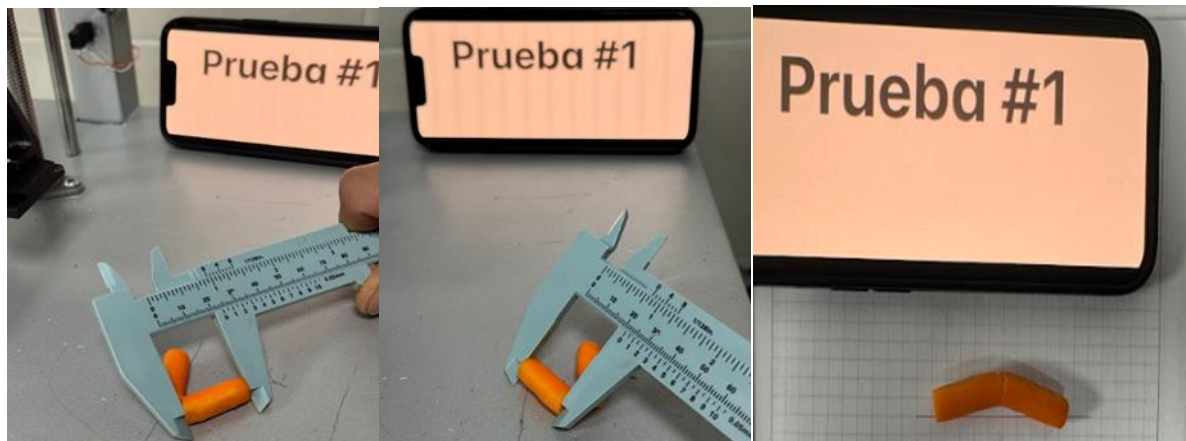


Nota. Autoría propia.

Validación de medidas finales probeta.

Figura 32.

Toma de longitud final.



Nota. Autoría propia.

Tabla 19.

Resultados obtenidos prueba #2 flexión.

Prueba #2	Dimensiones/Masa por probeta		Resultado	
	milímetros	gramos	Carga ejercido en gramos	Deformación en milímetros

2

45x8.75

3

2250

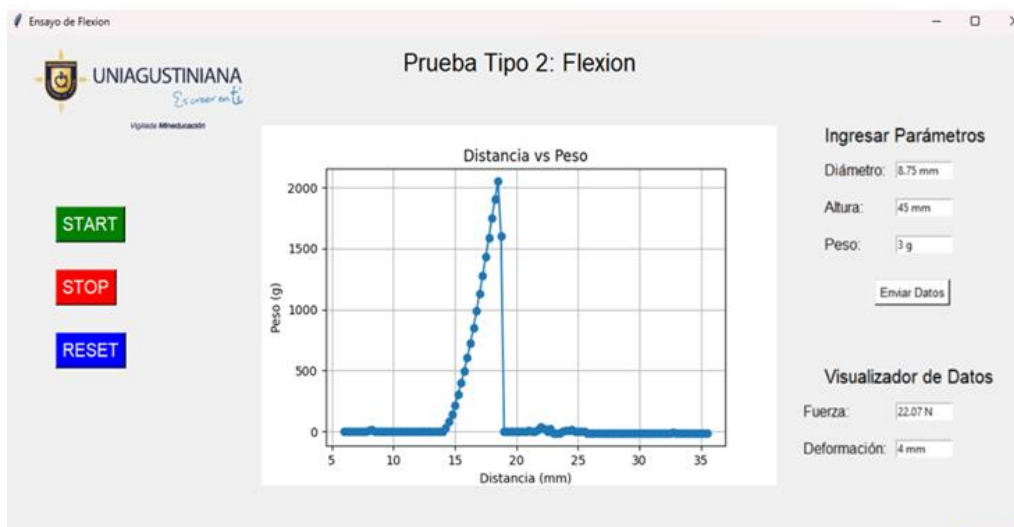
4

Nota. Autoría propia.

Resultados interfaz gráfica.

Figura 33.

Prueba #2 de flexión.

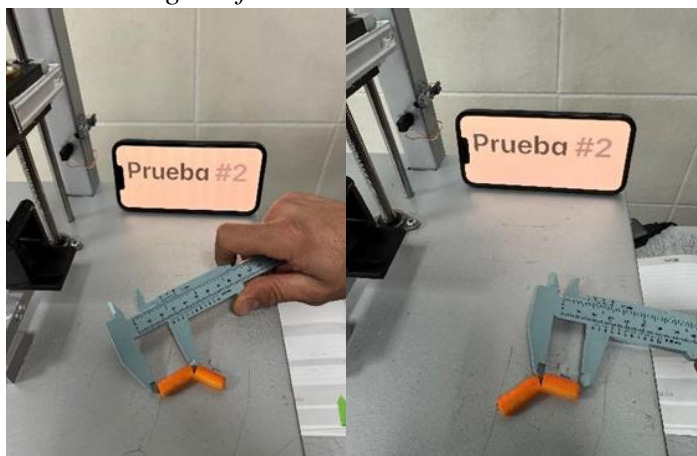


Nota. Gráfica de peso vs distancia. Autoría propia.

Validación de medidas finales probeta.

Figura 34.

Toma de longitud final.



Nota. Autoría propia.

Fallo de probeta.

Figura 35.

Fallo de la probeta.



Nota. Autoría propia.

Tabla 20.

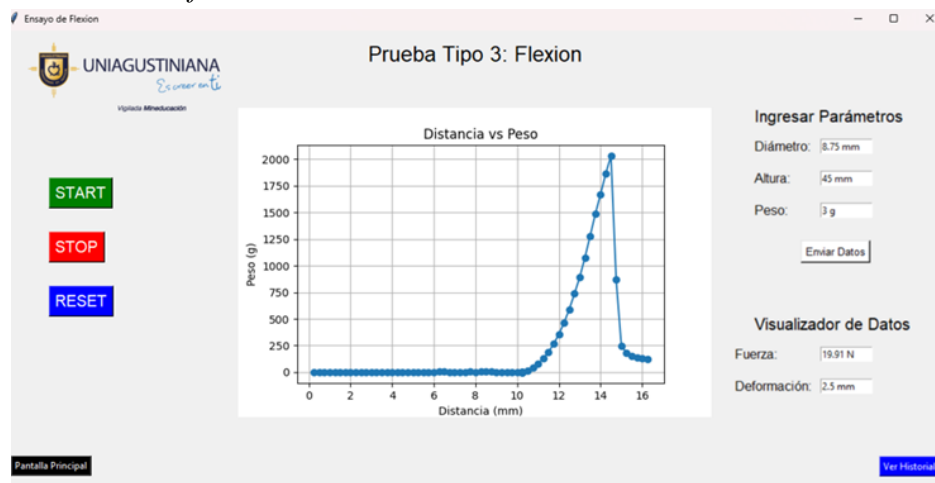
Resultados obtenidos prueba #3 flexión.

Prueba #3	Dimensiones/Masa por probeta		Resultado	
	milímetros	gramos	Carga ejercido en gramos	Deformación en milímetros
3	45x8.75	3	2030	2.5

Nota. Autoría propia.

Figura 36.

Prueba #3 de flexión.

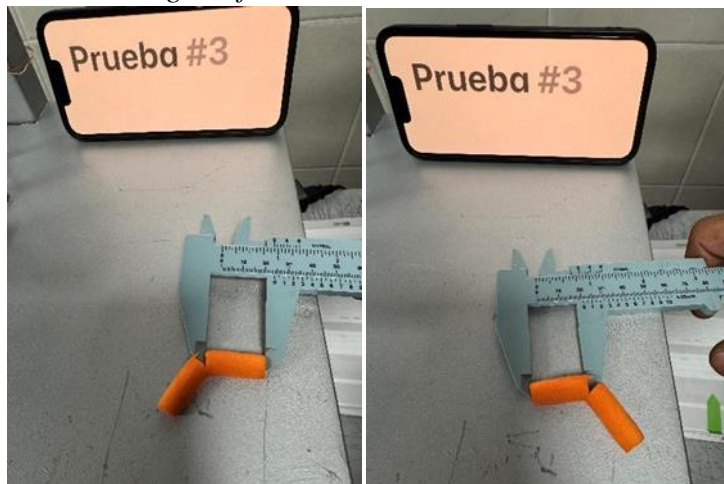


Nota. Gráfica de peso vs distancia. Autoría propia.

Validación de medidas finales probeta.

Figura 37.

Toma de longitud final



Nota. Autoría propia.

Resultados Finales.

Tabla 21.

Resultados finales de flexión.

Prueba	Ensayo de flexión			Resultado	
	Dimensiones/Peso por probeta		Fuerza (Newton)	Deformación (milímetros)	
	milímetros	gramos			
1	45x8.75	3	28.96	3	
2	45x8.75	3	22.07	4	
3	45x8.75	3	19.91	2.5	

Nota. Autoría propia.

Conclusiones de las pruebas experimentales.

- Las pruebas de compresión y flexión realizadas con el prototipo de la maquina universal de ensayos han evidenciado su eficacia para evaluar la resistencia mecánica de probetas de zanahoria, cumpliendo con los estándares establecidos por ASTM D695 e ISO 178. Los resultados obtenidos validan la capacidad del sistema para proporcionar mediciones precisas y confiables.

- Los ensayos de compresión mostraron una variabilidad en las fuerzas aplicadas, que oscilaron entre 99,97 N y 139,5 N, con deformaciones correspondientes de 8 mm y 9.5 mm, este comportamiento sugiere que las probetas presentan propiedades mecánicas que responden de manera coherente a las cargas aplicadas, lo cual es indicativo de la integridad estructural del material.
- En los ensayos de flexión, se registró una disminución progresiva en la resistencia de las probetas, con fuerzas que variaron de 28.96N a 19.91N. Este hallazgo destaca la variabilidad inherente en la resistencia de los materiales, que puede atribuirse a factores tanto biológicos como mecánicos asociados con la naturaleza del material vegetal.
- La fabricación de probetas conforme a las normativas ASTM e ISO asegura que se mantengan las proporciones y especificaciones necesarias para los ensayos. Esto es fundamental para la reproductibilidad de los resultados y permite comparaciones significativas en estudios futuros.
- La consistencia observada en los resultados de las pruebas, a pesar de las variaciones, sugiere que el proceso de ensayos es robusto y fiable. la capacidad de reproducir resultados similares refuerza la validez de la metodología empleada y proporciona una base sólida para análisis posteriores.

Análisis de costos

Realizar un análisis de costos exhaustivo es fundamental para cualquier proyecto, ya que permite identificar la opción más rentable sin sacrificar la calidad. Al solicitar cotizaciones de diferentes proveedores, se obtiene una visión comparativa que facilita la toma de decisiones basada en datos concretos. Este proceso no solo ayuda a encontrar la alternativa más asequible,

sino que también asegura que se cumplan los estándares y requisitos específicos del proyecto. Además, este enfoque metódico puede revelar oportunidades de negociación para obtener mejores precios o condiciones, lo que resulta en una gestión de recursos más eficiente y efectiva.

Para este proyecto, se elaboró un Checklist detallado de todos los componentes y materiales utilizados. Este listado sirve como base para calcular la inversión inicial necesaria. A continuación, se muestra una tabla donde se puede visualizar cómo se llegó a la cifra de (\$4,900,000) cuatro millones novecientos mil pesos colombianos como inversión inicial.

Tabla 22.

Lista de materiales.

Componente y/o material	Precio
Tarjeta de desarrollo ESP32 WiFi y Bluetooth	\$ 35,000
Celda de Carga 20Kg + Modulo Conversor A/D 24 Bit HX711	\$ 18,000
Sensor Infrarrojo Tracker Ir Tcrt5000	\$ 32,000
Micro Switch Final de Carrera con Rodillo Mediano	\$ 1,800
Modulo Sensor de Velocidad F249 Tipo Herradura KLH-512	\$ 6,500
Pulsador Paro De Emergencia Girar 22 Mm NC	\$ 14,700
Pantalla Display LCD 2x16 Azul+	\$ 24,800
Modulo Adaptador Interfaz I2C para LCD 2x16	
Pulsador de posicionamiento arriba para el cabezal transversal móvil	\$ 2,500
Pulsador de posicionamiento abajo para el cabezal transversal móvil	\$ 2,500
Pulsador de llevar a cero la celda de carga	\$ 2,500
Switch encendido o apagado de la maquina	\$ 10,200

Pulsador para posicionar el programa en opción home de las pruebas.	\$ 2,500
Caja tablero de control	\$ 16,000
Cables Jumper Arduino Dupont x 40 Macho - Macho 20 cm	\$ 8,000
Cables Jumper Arduino Dupont x 40 Hembra - Hembra 20 cm	\$ 8,000
Cable - Alambre UTP	\$ 3,000
Tornillo de rosca trapezoidal	\$ 42,000
Sistema guía	\$ 23,000
viga horizontal, platos y rodillos en nylon	\$ 50,000
Lámina Cold Rolled de 40x40x ¼"	\$ 65,000
Tubo estructural en hierro fundido de 1/8"	\$ 25,000
Motor paso a paso Nema 23	\$ 80,000
Driver	\$ 65,000
Caja reductora 10:1	\$ 360,000
Tornillos de ajuste	\$ 10,000
Chumaceras de pedestal	\$ 30,000
Protoboard	\$ 17,000
Fuente de energía 24 V	\$ 45,000
Mano de obra	\$ 3,900,000
Total inversión inicial	\$ 4,900,000

Nota. Autoría propia.

Evaluación de viabilidad del proyecto

En primera instancia, se calculó la tasa interna de retorno (TIR) y el valor actual neto (VAN), tomando como referencia la inversión inicial. Estos cálculos son esenciales para evaluar la viabilidad y rentabilidad del proyecto.

Proyección de flujo de egresos. Posteriormente, se realizó un estudio detallado para proyectar los flujos de egresos durante los próximos cuatro años, basado en las estimaciones del índice de precios al consumidor (IPC) de Colombia (Finanzas, 2024), como se puede ver en la Tabla 23.

Tabla 23.

Proyección flujo de egresos.

IPC	Año	Precio
5.4%	2024	\$4,900,000
3.8%	2025	\$5,086,200
3.4%	2026	\$5,259,130
3.0%	2027	\$5,416,904

Nota. Adaptada de Portafolio (2024).

Proyección de flujo de ingresos. Para esta proyección, se compararon los costos de los ensayos de compresión y flexión en diversas universidades calculando un promedio. Estos resultados están reflejados en la tabla #24.

Tabla 24.

Costo de ensayos (compresión y flexión).

Tipo de ensayo	Precio
----------------	--------

Compresión en fibras longitudinales (por probeta)	\$ 128,000
Compresión en fibras perpendiculares (por probeta)	\$ 128,000
Flexión (por probeta)	\$ 152,000

Nota. Adaptado de Área De Materiales Y Obras Civiles Universidad Javeriana (s.f).

Cabe destacar que, dado que el proyecto contempla un prototipo, se realizó un ajuste del 46% en el valor por ensayo en comparación con los equipos certificados, como se observa en la tabla #25.

Tabla 25.

Proyección costo de ensayos.

Año	Precio de ensayo	Incremento anual	Total
2024	\$150,000	\$-	\$150,000
2025	\$150,000	\$10,000	\$160,000
2026	\$160,000	\$10,000	\$170,000
2027	\$170,000	\$10,000	\$180,000

Nota. Autoría propia.

Demanda del equipo. Se indago que, en la Universidad Agustiniana, en sus programas de Ingeniería Mecatrónica e Ingeniería Industrial, cuenta con un promedio de 40 estudiantes por jornada (diurna y nocturna), lo que equivale a 10 grupos de trabajo por jornada. que harían uso del prototipo. Esto representa un total de 40 grupos por año utilizando el equipo, tal como se detalla en la tabla #26.

Tabla 26.*Proyección flujo de ingresos.*

Año	Precio de ensayo	Grupos de trabajo	Total ingresos por año
2024	\$150,000	40	\$ 6,000,000
2025	\$160,000	40	\$ 6,400,000
2026	\$170,000	40	\$ 6,800,000
2027	\$180,000	40	\$ 7,200,000

Nota. Autoría propia.

Comparativo de ingresos y egresos. Con esta información podemos realizar un comparativo entre los egresos y los ingresos, teniendo como resultado un flujo de caja, el cual necesitaremos para poder calcular el TIR (tasa interna de retorno) y el VAN (valor actual neto).

Los detalles de este análisis se pueden consultar en la tabla #27.

Tabla 27.*Comparativo de egresos, ingresos y flujo de caja.*

Flujo de egresos		Flujo de ingresos		Flujo efectivo neto	
Año	Egresos	Año	Ingresos	Año	F. caja
1	\$4,900,000	1	\$6,000,000	1	\$1,100,000
2	\$5,086,200	2	\$6,400,000	2	\$1,313,800
3	\$5,259,130	3	\$6,800,000	3	\$1,540,870
4	\$5,416,904	4	\$7,200,000	4	\$1,783,096

Nota. Autoría propia.

Cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN). Para calcular el TIR y el VAN, se utilizó Microsoft Excel. Empleando las funciones financieras correspondientes. El procedimiento fue el siguiente:

- Se introdujeron los flujos de caja proyectados y la inversión inicial en una hoja de cálculo.
- Para el cálculo del VAN, se empleó la función VNA para calcularlo, ingresando la tasa de descuento y los flujos de caja correspondientes.
- Para el cálculo del TIR, se empleó la función TIR, adicionando los flujos de caja y la inversión inicial.

Estas herramientas permitieron obtener resultados precisos de manera rápida y sencilla, facilitando la evaluación de la viabilidad del proyecto. Los resultados se muestran en la tabla #28.

Tabla 28.

Resultado análisis TIR y VAN

T. DESC. (K)	10%	TIR	54%
	TIR>K	VAN	\$2,461,342

Nota. Autoría propia.

Los resultados del análisis indican que el proyecto es viable. El cálculo arroja una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 54%, significativamente superior a la tasa de descuento del 10%. Además, el Valor Actual Neto (VAN) es positivo, con un valor de \$2,461,342 COP, lo que confirma que no solo se recuperará la inversión inicial, sino que el proyecto generará un retorno adicional, garantizando su rentabilidad y viabilidad a largo plazo.

Conclusiones

A partir de las literaturas descritas por otros autores se realizaron las investigaciones pertinentes con el fin de alimentar este proyecto para establecer las condiciones iniciales por medio de las cuales se llegó a la concepción y definición del prototipo desarrollado.

Por medio de las herramientas CAD se realizaron diferentes modelos para definir el mejor diseño teniendo en cuenta la disposición de los elementos que componen el prototipo, siendo la forma de desplazamiento vertical la más adecuada para la realización de las pruebas, también se logró establecer la selección de los materiales como lo son el tubo cuadrado ya que por su forma y el tipo de material se adapta mejor al momento de hacer la construcción.

Se hizo la construcción del prototipo por medio de procesos de manufactura como lo son el proceso de soldadura eléctrica y uniones atornilladas, adecuando los diferentes sistemas mecánico y eléctrico, también se hizo la fabricación de los herramientas necesarios como lo son los platos para las pruebas de compresión y los rodillos para las pruebas de flexión, esto se llevó a cabo por medio de los procesos de diseño, mecanizado e impresión 3D.

Por último, se realizó el proceso de validación de funcionamiento del prototipo haciendo pruebas en los diferentes sistemas como lo son el sistema mecánico y eléctrico obteniendo resultados satisfactorios en cuanto al buen comportamiento de la estructura, buen funcionamiento de los sistemas de desplazamiento, sistema guía, motor y caja reductora, por otro lado en cuanto al sistema eléctrico se obtuvo una respuesta positiva en el correcto funcionamiento de los elementos como lo son pulsadores interruptor de encendido y el paro de emergencia. Luego de hacer esta comprobación se realizaron las pruebas de compresión y flexión con probetas de zanahoria normalizadas en las cuales se arrojaron resultados óptimos en cuanto a la medición de la fuerza aplicada versus la distancia recorrida hasta el fallo de la probeta.

Referencias

- ¿Qué es la norma ISO 14001 y para qué sirve?. (2024, 9 de junio). Eurofins.
<https://www.eurofins-environment.es/es/la-norma-iso-14001-sirve/>
- ¿Qué es y dónde se instala el botón de paro de emergencia? (s.f.). SDI.
<https://sdindustrial.com.mx/blog/boton-de-paro-de-emergencia/>
- Alargamiento de rotura A. (2023). Zwickroell. <https://www.zwickroell.com/es/sectores/ensayo-de-materiales/ensayo-de-traccion/alargamiento-de-rotura/>
- Caesar, D. (s.f.). *Guía completa sobre la norma ISO 178: Cómo realizar un ensayo de flexión en plásticos según ISO 178*. Instron. <https://www.instron.com/es-ar/testing-solutions/iso-standards/the-definitive-guide-to-iso-178-flexure-testing-for-plastics>
- Chumaceras (Rodamientos Montados). (s.f.). Refacciones industriales.
<https://brr.mx/chumaceras/>
- Colcha Díaz, J. y Villa Orozco, M. E. (2010). *Diseño e Implementación de un Sistema Electrónico-Informático para Aplicaciones en Ensayos en la Máquina Universal*. [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <https://inm.gov.co/web/wp-content/uploads/2021/12/Gui%CC%81a-de-calibracio%CC%81n-ME-V.1-2.pdf>
- Corona Ramírez, L. G., Abarca Jiménez G. S. y Mares Carreño, J. (2014). *Sensores Y Actuadores: Aplicaciones con Arduino*. Grupo Editorial Patria.
https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=wMm3BgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=actuadores+mec%C3%A1nicos&ots=6P1scDe5_C&sig=lhrYwczXoa40nc0dtBHiXlGnTUU#v=onepage&q=actuadores%20mec%C3%A1nicos&f=false
- Definicion.de. (2020). *Pulsador*. <https://definicion.de/pulsador/>
- Definición.de. (2021). *Compresión*. Consultado el 30 de octubre de 2024
<https://definicion.de/compresion/>
- Del Caño Sanchez, J. C. (s.f.). *Elasticidad*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Valladolid.
https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/2015/apuntes_Elasticidad_jun0;jsessionid=353B2AD4C83675C074157FC9B30DF692?sequence=1
- Descripción general del proceso de corte*. (s.f.). Hypertherm.
<https://www.hypertherm.com/es/solutions/technology/cutting-process-overview/#:~:text=metal%20y%20piedra.-,Mec%C3%A1nico,objeto%20que%20se%20est%C3%A1%20cortando.>
- Descubre la Versatilidad de la Máquina Universal de Ensayos de SERVOSIS*. (2019, 06 de septiembre). Servosis. <https://www.servosis.com/maquina-universal-de-ensayos-que-es-y-por-que-se-llama-asi/>
- Diccionario de Ingeniería Eléctrica. (2006). *Circuitos*.
<https://electricidad.usal.es/Principal/Circuitos/Diccionario/Diccionario.php?b=id:551>
- Dispositivo de flexión en 3 puntos para ensayo de flexión en discos*. (s.f.). Zwickroell.
<https://www.zwickroell.com/es/accesorios/utiles-de-ensayo/utiles-de-ensayo-para-metales/dispositivo-de-flexion-en-3-puntos-para-ensayo-de-flexion-en-discos/>
- Driver Microstepper Motor Paso a Paso TB6600 4A 9-40DC*. (s.f.). Vistronica.
<https://www.vistronica.com/impresora-3d-y-cnc/driver-microstepper-motor-paso-a-paso-tb6600-4a-9-40dc-detail.html#:~:text=Este%20Driver%20permite%20la%20conexi%C3%B3n,corriente%20pico%20m%C3%A1xima%20de%204A.>

- Durango, D., Herrera, E., & Otero, N. (2015). Diseño, construcción y validación del prototipo de una máquina para ensayos de resistencia de materiales. *Ingeniería e Innovación*, 16-27.
- EFE. (2024, 2 de octubre). Pronósticos: cómo le iría al PIB y la inflación en Colombia en 2024, 2025 y 2026. *Portafolio*. <https://www.portafolio.co/economia/finanzas/proyecciones-de-bbva-research-sobre-el-pib-y-la-inflacion-en-colombia-para-2024-2025-y-2026-614625#:~:text=La%20inflaci%C3%B3n%20interanual%20de%20Colombia%20en%20agosto%20fue,la%20Rep%C3%ABlica%20%28autoridad>
- Ensayo de tracción de materiales según ISO 6892-1*. (s.f.). Instron. <https://www.instron.com/es-ar/testing-solutions/iso-standards/iso-6892>
- Ensayo de Tracción*. (s.f.). Área Tecnología. <https://www.areatecnologia.com/materiales/ensayo-de-traccion.html>
- Ensayo De Tracción. (s.f.). Instron. <https://www.instron.com/es-es/resources/test-types/compression-test>
- Ensayos destructivos y cuándo aplicarlos*. (2020, 28 de julio). Infinitia Industrial Consulting. <https://www.infinitiaresearch.com/noticias/ensayos-destructivos-y-cuando-aplicarlos/>
- Fernández, Y. (2022, 23 de septiembre). *Qué es Arduino, cómo funciona y qué puedes hacer con uno*. Xataka Basics. <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>
- Flintec Aprender. (s.f.). *¿Cómo funciona una celda de carga?* Flintec. <https://www.flintec.com/es/aprender/sensor-de-peso/celulas-de-carga>
- Fsancac. (2015, 23 de septiembre). Ensayo de tracción. *Blog de Tecnología – IES José Arencibia Gil – Telde*. <https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoblog/fsancac/2015/09/23/elongacion/#:~:text=Se%20mide%20entre%20dos%20puntos,la%20zona%20de%20la%20rotura>
- Gallego Botero, P y Claros Claros, R. (2007). *Diseño mecánico de una máquina universal de ensayos para polímeros*. [Trabajo de grado, Universidad Tecnológica de Pereira]. <https://hdl.handle.net/11059/1113>
- Industrial. (2022, 01 de septiembre). *Reductores y motorreductores: concepto, tipos y aplicaciones*. TRANSMISIONES Y EQUIPOS. <https://www.ajtransmisiones.com/blog/reductores-motorreductores-definicion-aplicaciones-tipos>
- ISO 178 | Ensayo de flexión en 3 puntos en plásticos*. (2001). Zwickroell. <https://www.zwickroell.com/es/sectores/plasticos/termoplasticos-y-materiales-termoendurecibles/ensayo-de-flexion-en-3-puntos-iso-178/>
- ISO 604: Plásticos - Determinación de las propiedades de compresión*. (2002). MTS. <https://www.mts.com/la/applications/materials/test-standard/iso/iso-604#:~:text=La%20norma%20ISO%20604%20analiza,condiciones%20espec%C3%ADficas%20de%20la%20aplicaci%C3%B3n>
- ISO 7500-1, ASTM E4 Calibración captadores de fuerza*. (2004). Zwickroell. <https://www.zwickroell.com/es/servicios/calibracion/iso-7500-1-astm-e4-calibracion-captadores-de-fuerza/#:~:text=Las%20normas%20ASTM%20E4%20e,ejemplo%2C%20en%20caso%20de%20traslados>
- ISO 7500-1, ASTM E4 Load Cell Calibration*. (2004). Zwickroell. <https://www.zwickroell.com/services/calibration/iso-7500-1-astm-e4-load-cell-calibration/>

- La importancia del punto de rotura en uniformes técnicos.* (2022, 16 de marzo). Partenon.
<https://www.partenon.net/la-importancia-del-punto-de-rotura-en-uniformes-tecnicos/#:~:text=Se%20denomina%20punto%20de%20rotura,el%C3%A1stico%20sin%20sufrir%20deformaciones%20permanentes.>
- Límite de Fluencia.* (s.f.). Instron. <https://www.instron.com/es-es/resources/glossary/yield-strength>
- Los Tipos de Lámina: Calibres, Anchos y Usos.* (2023, 20 de octubre). MYMC.
<https://materialesmetalicos.com/los-tipos-de-lamina-calibres-anchos-y-usos/>
- Mendieta, M. M. (2024). *Propuesta e implementación de la instrumentación de un prototipo de una máquina de ensayos de compresión y flexión con una capacidad de 196 Newton.* [Tesis de investigación]. Universitaria Agustiniiana. Bogotá - Colombia
- Meneses Basantes, A. Z. y Vásconez Paredes, F. J. (2019). *Diseño y construcción de mordazas para realizar ensayos a tracción en tubos de acero y cañerías de cobre en la máquina universal del laboratorio de resistencia de materiales de la Escuela de Ingeniería Mecánica -ESPOCH.* [Trabajo de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].
[http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/10196.](http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/10196)
- Monitor de cristal líquido. (2024, 24 de septiembre). De *Techopedia*.
<https://www.techopedia.com/es/definicion/monitor-cristal-liquido>
- Mora Ayala, D. M. (2019). *Máquina universal de ensayos: Sistema estático.* [Trabajo de grado, Universidad Técnica Del Norte].
[http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/9360/3/04%20MEC%20253%20TRA%20BAJO%20GRADO.pdf.](http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/9360/3/04%20MEC%20253%20TRA%20BAJO%20GRADO.pdf)
- Moreno, G. Y., López González, J. A., Malagón Mendoza, O. D., y Henao Vega, J. J. (2006). *Diseño y construcción de una máquina básica de ensayos destructivos de tracción y torsión.* [Trabajo de grado, Universidad de San Buenaventura].
https://www.academia.edu/download/47083929/DISENO_Y_CONSTRUCCION_DE_UNA_MAQUINA_BASICA_DE_ENSAYOS_DESTRUCTIVOS_DE_TRACCION_Y_TORSION_I.pdf
- Organización Internacional de Normalización. (2018). *Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo — Requisitos con orientación para su uso (Norma ISO No. ISO 45001).* [https://www.iso.org/obp/ui/es/#iso:std:iso:45001:ed-1:v1:es.](https://www.iso.org/obp/ui/es/#iso:std:iso:45001:ed-1:v1:es)
- Propiedades de Flexión.* (2018, 29 de agosto). Todo en Polimeros.
<https://todoenpolimeros.com/2018/08/29/propiedades-de-flexion/#:~:text=La%20resistencia%20a%20la%20flexi%C3%B3n,rectangular%20soportada%20en%20ambos%20extremos.>
- Propiedades del metal: la resistencia a la tracción.* (2017, 15 de septiembre). Conecband.
<https://www.conecband.com/entrada/807/propiedades-del-metal-la-resistencia-a-la-traccion/#:~:text=La%20resistencia%20a%20la%20tensi%C3%B3n,una%20carga%20progresiva%20lentamente%20creciente.>
- Qué es la soldadura y cuántos tipos de soldadura existen.* (s.f.). CEIF.
<https://formacionceif.es/actualidad/que-es-la-soldadura-y-cuantos-tipos-de-soldadura-existen/>
- Reductor Planetario Tipo P de Precisión de Simple y Doble Etapa FU-Tandler.* (s.f.). FU Iberica Transmision De Potencia. <https://www.fuiberica.com/product/reductores-planetarios-precision/reductor-planetario-tipo-p-de-simple-y-doble-etapa-fu->

- tandler/#:~:text=Un%20reductor%20planetario%20de%20precisi%C3%B3n,capacidad%20de%20transmisi%C3%B3n%20de%20par.
- Salazar Jaramillo, Á. A., Quintero Suarez, C. M., & Fonthal, G. (2016). Revisión de la norma ISO-N314-22157 para estandarizar los ensayos de compresión paralela en la guadua angustifolia Kunth. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 39(2), 056-063. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702016000200002&lng=es&tlng=es.
- Schwartz. (2020, 07 de marzo). *Acoplamiento Mecánico: ¿Qué es? Tipos de Acoplamientos que Existen y sus Aplicaciones*. LBA Industrial. <https://www.lbaindustrial.com.mx/acoplamientos-mecanicos/?cn-reloaded=1#>
- Soldadura SMAW: Principio de funcionamiento, polaridad de soldadura, tipos de electrodos, ventajas y desventajas, aplicaciones, limitaciones y tipos Soldadura SMAW. (2023, 08 de septiembre). En *Ingenieriapedia*. <https://ingenieriapedia.com/soldadura-smaw/>
- Spiret, M. (s.f.). ASTM E8 Ensayo de tracción de materiales metálicos. Instron. <https://www.instron.com/es-ar/testing-solutions/astm-standards/the-definitive-guide-to-astm-e8-e8m>
- Taberner Rosaleny, R. (2011, 29 de enero). *Encoders Ópticos*. Infopl.net. <https://www.infopl.net/documentacion/12-instrumentacion-deteccion/55-encoders-opticos>
- Tapia Molina, F. (2001). *Diseño y construcción de un banco didáctico para pruebas de tensión y compresión en elementos simples*. [Tesis de Licenciatura]. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. <https://repositorio.uaaan.mx/handle/123456789/7779>
- Tensión (mecánica). (2023, 14 de noviembre). En *Wikipedia*. [https://es.wikipedia.org/wiki/Tensi%C3%B3n_\(mec%C3%A1nica\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Tensi%C3%B3n_(mec%C3%A1nica))
- Thackeray, K. (s.f.). *Norma ASTM D790 para ensayos de flexión de plásticos*. Instron. <https://www.instron.com/es-es/testing-solutions/astm-standards/the-definitive-guide-to-astm-d790>
- Tipos de acoplamientos de transmisión de potencia*. (s.f.). Eganagroup. <https://eganagroup.com/une/tipos-de-acoplamientos-de-transmision-de-potencia/#:~:text=r%C3%ADgidos%20y%20flexibles,-,Acoplamientos%20r%C3%ADgidos,y%20requieren%20de%20lubricaci%C3%B3n%20frecuentemente>.
- Tipos de uniones estructurales mecánicas en ingeniería industrial. (s.f.). *Samat*. <https://ingenieriasamat.es/blog/tipos-uniones-estructurales-mecanicas-ingenieria-industrial/>
- Tobar Chicaiza, M. F. y Carrillo Chaglla, J. M. (2010). *Rediseño y Construcción de una Máquina para Ensayos de Resistencia a la Fatiga por Flexión con Viga Rotatoria Versión II*. [Trabajo de grado, Escuela Politécnica Nacional de Quito]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2495>
- Tornillo de Bolas Recirculantes*. (s.f.). Soluciones Lineales. [http://www.solucioneslineales.com/tornillo-de-bolas-recirculantes/#:~:text=Un%20tornillo%20de%20bolas%20recirculantes%20\(o%20%22h usillo%20de%20bolas%20recirculantes,en%20movimientos%20axiales%20o%20lineales](http://www.solucioneslineales.com/tornillo-de-bolas-recirculantes/#:~:text=Un%20tornillo%20de%20bolas%20recirculantes%20(o%20%22h usillo%20de%20bolas%20recirculantes,en%20movimientos%20axiales%20o%20lineales)

- Tubos cuadrados.* (s.f.). Hierros Gil. <https://hierrosgil.com/producto/tubos-cuadrados/#:~:text=Los%20tubos%20cuadrados%20son%20tubos,ligeros%20y%20f%C3%A1ciles%20de%20montar>.
- Vincent. (2023, 17 de noviembre). *From Twists to Turns: What Is UTP Cable?* FS. <https://community.fs.com/article/what-is-utp-cable.html>
- Yagüe, J. M. (2011). *Control De Un Motor Paso A Paso*. [Trabajo de Grado]. Escuela Universitaria Ingeniería Técnica Industrial. <https://zaguan.unizar.es/record/5655/files/TAZ-PFC-2011-107.pdf?version=2>

Anexos

Anexo 1. Diagrama de flujo que describe el proceso que se debe seguir para el diseño y construcción de una maquina universal de ensayos. Este diagrama se encuentra dividido en las cuatro fases empleadas para la construcción del prototipo, y en cada una de las fases se explica a detalle el proceso.

Anexo 2. Plano detallado del sistema estructural del prototipo, en donde se puede apreciar las medidas con las que el prototipo fue desarrollado.