

ELABORACIÓN DE UN AMBIENTE DIGITAL DE RESISTENCIA DE
MATERIALES

Reider Andrés Muñoz Herrera

Universidad del Valle

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil y Geomática

Programa Académico de Ingeniería Civil

Santiago de Cali, Abril de 2024

ELABORACIÓN DE UN AMBIENTE DIGITAL DE RESISTENCIA DE
MATERIALES

Reider Andrés Muñoz Herrera

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil

Co-directores:

Albert Ortiz, PhD

Sandra Villamizar, PhD(c)

Asesor:

Daniel Gómez, PhD

Universidad del Valle

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil y Geomática

Programa Académico de Ingeniería Civil

Santiago de Cali, Abril de 2024



GRUPO DE INVESTIGACIÓN
EN INFRAESTRUCTURA CIVIL
INTELIGENTE Y RESILIENTE



GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN
INGENIERÍA SÍSMICA, EÓLICA,
GEOTÉCNICA Y ESTRUCTURAL



Nota de aceptación

Aprobado por el comité de grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad del Valle para optar al título de Ingeniero Civil.

Jurado

Jurado

Santiago de Cali, Abril de 2024

A mis padres y hermano por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de grado fue financiado por CIDESCO mediante el proyecto de convocatoria: *Desarrollo e implementación de un laboratorio virtual en ingeniería estructural para el apoyo a la docencia y al aprendizaje*. Agradezco profundamente a mis profesores Daniel Gómez, Sandra Villamizar y Albert Ortiz, que forman parte del proyecto.

A todos mis profesores de la carrera, en especial a los profesores Daniel Gómez, Sandra Villamizar y Albert Ortiz, por su invaluable guía, apoyo y paciencia durante todo el proceso. Gracias por retarme a pensar de manera crítica, por compartir su amplio conocimiento, por creer en mí incluso en los momentos más difíciles, cuyas observaciones y consejos enriquecieron enormemente mi trabajo, aportando perspectivas y detalles que no habría considerado sin su intervención.

A mis padres, Miralba Herrera y Bernardo Muñoz, quienes desde el inicio han sido mi roca y mi inspiración. Gracias por inculcarme la pasión por el aprendizaje, por brindarme oportunidades, por sus sacrificios y, sobre todo, por su amor incondicional.

A mi hermano Wilmer Muñoz, no solo por estar siempre allí, brindándome aliento y recordándome que, con determinación y esfuerzo, no hay meta inalcanzable, sino también por estar a mi lado en aquellos momentos críticos en los que sentía que no podía avanzar. Su ánimo y su capacidad para ayudarme a ver con claridad, cuando todo parecía complicarse, han sido invaluable. Su intervención fue crucial para superar los obstáculos más desafiantes.

Finalmente, a todos quienes de una u otra forma formaron parte de esta travesía académica, mi más sincero agradecimiento. Esta tesis no solo es el fruto de mis esfuerzos, sino también de cada uno de ustedes que me acompañó y creyó en mí.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
LISTA DE TABLAS	IX
LISTA DE FIGURAS	X
RESUMEN	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Motivación	1
1.2. Planteamiento del problema	2
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4. Alcance	3
2. ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE	4
2.1. Antecedentes	4
2.2. Estado del arte	6
3. MARCO CONCEPTUAL	10
3.1. Conceptos relacionados a la resistencia de materiales	10
3.1.1. Resistencia de materiales	10
3.1.2. Estados de esfuerzos	10
3.1.3. Normas ASTM International	14
3.2. Conceptos relacionados al desarrollo de ambientes digitales	16
3.2.1. Aplicaciones web	16
3.2.2. HTML5 y CSS3	17
3.2.3. JavaScript	17
3.2.4. Bootstrap	18
3.2.5. Chart.js	19

	Page
3.2.6. SweetAlert2.js	19
3.2.7. SheetJS	20
3.2.8. Tippy.js	20
3.2.9. Three.js	21
3.2.10. Blender	21
3.2.11. Git	22
3.2.12. GitHub	22
4. DESARROLLO DEL AMBIENTE DIGITAL	23
4.1. Principio teóricos de resistencia de materiales	23
4.2. Obtención de datos experimentales	24
4.3. Construcción de ambiente digital	25
4.4. Interfaz gráfica en ambiente web	26
4.4.1. Panel de gráficas	28
4.4.2. Panel de entrada	28
4.4.3. Botones principales	29
4.4.4. Panel de resultados	29
4.4.5. Vistas predefinidas	29
4.4.6. Panel principal	30
4.4.7. Botones secundarios	30
4.4.8. Panel bidimensional	31
4.5. Modelado en 3D	31
4.6. Integración de modelos 3D	34
4.7. Publicación de ambiente digital en GitHub	37
4.8. Documentos complementarios del ambiente digital	38
4.8.1. Manual de usuario	38
4.8.2. Laboratorio-taller	38
5. IMPLEMENTACIÓN DEL AMBIENTE DIGITAL	39
5.1. Evaluación de la funcionalidad	39

	Page
5.2. Evaluación de porcentaje de aprobación	41
5.3. Evaluación por promedio/media de la calificación	46
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	50
7. ANEXOS	52
7.1. Enlaces de acceso al laboratorio virtual de resistencia de materiales . .	52
7.2. Enlaces de acceso al manual de usuario	52
7.3. Enlaces de acceso al laboratorio-taller	52
BIBLIOGRAFÍA	54

LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
4.1. Botones principales de la interfaz de laboratorios.	29
4.2. Botones de vistas predefinidas de la interfaz de laboratorios.	30
4.3. Botones secundarios de la interfaz de laboratorios.	31
5.1. Preguntas antes del uso del laboratorio virtual.	40
5.2. Preguntas después del uso del laboratorio virtual.	41

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
3.1. Barra sometida a compresión.	11
3.2. Barra sometida a tracción.	12
3.3. Barra sometida a flexión.	13
3.4. Barra sometida a torsión.	14
4.1. Interfaz gráfica general.	27
4.2. A) Sección del ensayo a tracción, B) Sección del ensayo a compresión, C) Sección del ensayo a flexión y D) Sección del ensayo a torsión	27
4.3. Máquina a tracción.	33
4.4. Máquina a compresión.	33
4.5. Máquina a flexión.	34
4.6. Máquina a torsión.	34
4.7. Interfaz del laboratorio virtual, módulo tracción.	35
4.8. Interfaz del laboratorio virtual, módulo compresión.	36
4.9. Interfaz del laboratorio virtual, módulo flexión.	36
4.10. Interfaz del laboratorio virtual, módulo torsión.	37
5.1. Porcentaje de aprobación de la encuesta del curso de Resistencia de Ma- teriales de Ingeniería Mecánica - Universidad del Valle, 2023.	43
5.2. Porcentaje de aprobación de la encuesta del curso de Resistencia de Ma- teriales de Ingeniería Civil - Universidad del Valle, 2023.	45
5.3. Barras de error de la encuesta del curso de Resistencia de Materiales de Ingeniería Mecánica - Universidad del Valle, 2023.	47
5.4. Barras de error de la encuesta del curso de Resistencia de Materiales de Ingeniería Civil - Universidad del Valle, 2023.	48

RESUMEN

El aprendizaje de la Resistencia de Materiales es una rama fundamental de la ingeniería en la que se abordan temas importantes de los materiales como esfuerzos, deformaciones, propiedades, entre otros. Al ser un campo que abarca una amplia variedad de temas y conceptos representa un desafío para los estudiantes al momento de aprender. En los últimos años, se ha visto un creciente interés en el uso de tecnologías web y herramientas virtuales para facilitar el proceso de enseñanza y aprendizaje de esta disciplina.

Esta investigación se enfoca en desarrollar un ambiente digital interactivo utilizando tecnologías web como herramientas de apoyo para la enseñanza y el aprendizaje de los laboratorios prácticos que se estudian en los cursos de Resistencia de Materiales. Para lograr el objetivo planteado, se realiza un análisis exhaustivo del estado del arte en el uso de tecnologías web y herramientas virtuales, con el fin de identificar las principales limitaciones y desafíos principales al aplicar este tipo de herramientas en la materia. A partir de los resultados de la revisión literaria, se establecen los requerimientos, especificaciones y funcionalidades de la herramienta virtual interactiva, así como los distintos laboratorios aplicados a la caracterización mecánica de los materiales que se abordarán en la misma. Posteriormente, se procede al desarrollo y programación de la herramienta utilizando tecnologías web y a la implementación de las diferentes funcionalidades.

La herramienta se somete a pruebas de usabilidad con el fin de evaluar su efectividad en el proceso de enseñanza-aprendizaje de los ensayos de Resistencia de Materiales. Con el desarrollo de este trabajo de grado, se busca mejorar la enseñanza y el aprendizaje de conceptos clave en el curso de Resistencia de Materiales a través de herramientas virtuales efectivas que faciliten y complementen el entendimiento de los conceptos teóricos básicos.

Palabras claves: Resistencia de Materiales, Ambiente Digital, Tecnologías Web.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación

La Resistencia de Materiales es una rama fundamental de la ingeniería, que se enfoca en estudiar la capacidad de los materiales para resistir diferentes tipos de cargas y fuerzas aplicadas. Esta disciplina se encarga de calcular y analizar el comportamiento y la resistencia de los materiales (metales, maderas, concreto, plástico, entre otros) cuando son sometidos a estados de esfuerzos de compresión, tracción, flexión, cortante y torsión ([Mott et al., 2009](#)). En el artículo de [Murugan \(2020\)](#) se destaca que la Resistencia de Materiales es una de las áreas más importantes de la ingeniería mecánica y civil, cuyo campo de aplicación es muy amplio, variando desde la construcción de edificios y puentes hasta la fabricación de piezas para maquinaria y dispositivos médicos, entre otros.

Los investigadores que trabajan en este tipo de áreas utilizan modelos teóricos basados en principios matemáticos y la experimentación como componentes para lograr determinar el comportamiento y las propiedades de los materiales. Esto, con el fin de lograr diferentes piezas o materiales compuestos totalmente seguros para su uso en diferentes industrias ([Brizuela Valenzuela, 2021](#)). En la academia, una de las formas más efectivas para que los estudiantes adquieran el conocimiento sobre la Resistencia de Materiales es mediante la combinación de la teoría y la experimentación, en donde la segunda es la que más contribuye a comprender de manera rápida los conceptos, lo que ayuda a desarrollar habilidades y conocimientos sólidos sobre la materia ([Guerrero M et al., 2014](#)).

La experimentación, en muchas ocasiones, no se puede realizar debido a falta de infraestructura, equipos, espacio y tiempo, lo cual implica un obstáculo muy grande para alcanzar los conocimientos adecuados ([Vargas et al., 2020](#)). Por tal motivo, se genera una necesidad de buscar soluciones que permitan superar este tipo de limitaciones que son ocasionadas por diversos factores. Una alternativa es la conversión de los laboratorios físicos en entornos virtuales, donde se puede llevar a cabo los experimentos fundamentales necesarios para la formación de los futuros profesionales

aprovechando las tecnologías de la información y comunicación (TIC's) ([Lorandi Medina et al., 2011](#); [Zamora Musa, 2010](#); [Vargas et al., 2020](#)).

Con la cuarta revolución en marcha, se crea un salto significativo a dos nuevas categorías de laboratorios: los simulados y los controlados de manera remota. Los laboratorios remotos y virtuales para la educación en ingeniería han sido desarrollados para lograr una formación académica de alta calidad, proporcionando una alternativa para la experimentación y prácticas en situaciones en las que no se puede asistir de forma presencial ([Grodotski et al., 2018](#)). Además, se puede resaltar que la pandemia de COVID-19 impulsó más el uso de laboratorios virtuales, permitiendo que los estudiantes puedan formarse sin necesidad de depender del lugar o tiempo, solo con la disponibilidad de un dispositivo tecnológico y acceso a internet ([Kapilan et al., 2021](#)). Los laboratorios virtuales o simulados se centran en la comprensión conceptual y permiten que los estudiantes desarrollen habilidades experimentales, en especial en situaciones en las que no se pueden asistir de forma presencial ([Magana et al., 2017](#)). La realización de una práctica de laboratorios virtuales puede ser una gran opción para motivar al estudiante para que logre aprender y reforzar el concepto teórico, lo cual es esencial en la formación de los ingenieros ([Pueyo Melchor, 2021](#)).

1.2 Planteamiento del problema

Teniendo en cuenta el contexto descrito acerca de los laboratorios virtuales y la gran importancia que conlleva los ensayos de Resistencia de Materiales. Una de las maneras de abordar este problema es mediante la elaboración de los laboratorios virtuales con el uso de las TICS, que consiste en un conjunto de herramientas tecnológicas. Considerando lo anterior, este trabajo de grado plantea responder la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo diseñar un ambiente digital interactivo para la enseñanza y el aprendizaje de los laboratorios experimentales de Resistencia de Materiales?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar un ambiente digital interactivo para la realización de los laboratorios de Resistencia de Materiales.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Definir los principales componentes esenciales para la virtualización de los laboratorios de Resistencia de Materiales.
2. Programar la herramienta digital en ambiente web de los laboratorios de Resistencia de Materiales.
3. Evaluar el impacto de la herramienta digital en el proceso de enseñanza y aprendizaje de la Resistencia de Materiales.

1.4 Alcance

Este trabajo de grado se encuentra enmarcado dentro del proyecto de investigación denominado **“Desarrollo e Implementación de un Laboratorio Virtual en Ingeniería Estructural para el Apoyo a la Docencia y al Aprendizaje”**, desarrollado por la Universidad del Valle (UNIVALLE) y la Corporación para la Integración y Desarrollo de la Educación Superior en el Sur Occidente Colombiano (CIDESCO).

El ambiente digital de Resistencia de Materiales desarrollado en este trabajo de grado comprende una serie de simulaciones de ensayos estandarizados diseñados para evaluar las propiedades de los materiales cuando se someten a diferentes tipos de cargas mecánicas, incluyendo tensión, compresión, flexión y torsión. Estas simulaciones permiten la variación del tipo de material utilizado y las dimensiones de las probetas. A través de estas simulaciones, se podrán observar los efectos correspondientes a dichas variaciones. Además, se brindará la visualización de la carga y deformación generada durante las pruebas. Los datos recopilados durante estas pruebas simuladas serán analizados posteriormente, lo que permitirá comprender los principios fundamentales y las características del comportamiento de los materiales.

2. ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE

2.1 Antecedentes

La enseñanza y el aprendizaje en línea han evolucionado en los últimos años siendo cada vez común el uso de tecnologías web para impartir cursos y mejorar el proceso de enseñanza ([Grodotski et al., 2018](#)). La creación de estas herramientas educativas basadas en tecnología ha sido un hito importante en la historia de la educación moderna. Uno de los ejemplos más destacados es Virtual Frog Dissection (1997), un software que permite a los estudiantes explorar la anatomía de los animales a través de una experiencia virtual interactiva ([Lalley et al., 2010](#)). Este software ha sido ampliamente utilizado en escuelas y universidades de todo el mundo, y se ha demostrado su eficacia en la enseñanza de la biología y la anatomía de los anfibios. Además, los estudios como el realizado por [Lalley et al. \(2010\)](#) han comparado la efectividad de Virtual Frog Dissection con la disección física de una rana, y han encontrado resultados similares en términos de aprendizaje y entendimiento. La creación de Virtual Frog Dissection abrió la puerta a nuevas formas de enseñanza que utilizan la tecnología, lo que ha llevado al desarrollo de una amplia gama de herramientas educativas digitales que mejoran la experiencia de aprendizaje de los estudiantes en diversas áreas del conocimiento.

El desarrollo de tecnologías de estructuras inteligentes ha sido un área de investigación activa en la ingeniería civil durante décadas. En un estudio de revisión sobre el estado del arte de estructuras inteligentes y sistemas integrados por [Chopra \(2002\)](#), se destaca la importancia del uso de sensores en tiempo real para medir las fuerzas y las deformaciones en las estructuras. Esto permite a los ingenieros monitorear y evaluar el comportamiento de las estructuras en condiciones de carga y mejorar la capacidad de diseño y mantenimiento. Los sistemas integrados también permiten una mayor automatización y control en la toma de decisiones en tiempo real en situaciones de emergencia. Además, el estudio destaca la importancia del desarrollo de nuevas tecnologías, como los sistemas de diagnóstico y pronóstico de daños, y los sistemas de control activo de vibraciones, para mejorar aún más el rendimiento y la seguridad de las estructuras inteligentes.

La mecánica es uno de los campos donde el desarrollo de herramientas virtuales interactivas ha sido especialmente relevante en el proceso enseñanza-aprendizaje efectivo de los conceptos. Una de las primeras iniciativas en este campo fue el proyecto llevado a cabo por [Rais-Rohani y Brown \(2000\)](#) en el año 2000, en el que se desarrolló un laboratorio virtual para el estudio de la mecánica clásica. Esta herramienta permitió a los estudiantes experimentar y analizar problemas de mecánica en un entorno virtual, lo que les brindó una experiencia de aprendizaje completa y efectiva. El proyecto de [Rais-Rohani y Brown \(2000\)](#) estableció las bases para el desarrollo de nuevos laboratorios virtuales en diversas áreas del conocimiento, lo que ha permitido a los estudiantes acceder a experiencias de aprendizaje interactivas y dinámicas.

[Bhargava et al. \(2006\)](#) diseñaron e implementaron un laboratorio virtual de torsión basado en la web para mejorar la enseñanza de la mecánica de materiales en la educación superior. Este laboratorio virtual proporcionó una experiencia interactiva en línea para que los estudiantes aprendan sobre la torsión y las propiedades del material. También incluyó simulaciones y ejercicios prácticos para ayudar a los estudiantes a aplicar los conceptos aprendidos. Los resultados de la investigación demostraron que el laboratorio virtual de torsión web fue efectivo a la hora de mejorar la comprensión y el rendimiento de los estudiantes en la mecánica de materiales. Además, [Martínez Valle y Martínez Jiménez \(2019\)](#) presentaron un estudio sobre el uso de un laboratorio virtual web refinado para el estudio de la torsión uniforme en vigas delgadas en la enseñanza de la ingeniería. El uso del laboratorio virtual web mejoró significativamente la comprensión de los estudiantes y les permitió aplicar los conceptos aprendidos en situaciones prácticas.

La investigación realizada por [García Ramírez \(2019\)](#) muestra que el modelo de aula invertida puede mejorar la participación y la comprensión de los estudiantes en los conceptos básicos. Sin embargo, este modelo no garantiza automáticamente una mejor enseñanza y aprendizaje si no se complementa con actividades prácticas y de aplicación. Por lo tanto, los educadores deben considerar cuidadosamente el diseño de las actividades en línea y en persona para que los estudiantes puedan consolidar su conocimiento y aplicarlo en situaciones reales, lo que resulta esencial para desarrollar habilidades sólidas en la aplicación práctica de los conceptos aprendidos.

Desde entonces, se han desarrollado muchos otros laboratorios virtuales similares para la enseñanza de la ingeniería en línea ([Escamilla, 2013](#)). La mayoría de estos laboratorios virtuales web han demostrado que son una herramienta valiosa en la enseñanza de la ingeniería, ya que permiten a los estudiantes realizar experimentos y

visualizar fenómenos que no son accesibles en un laboratorio físico. De igual manera, la incorporación de videos en línea como herramienta pedagógica también se ha convertido en una práctica común que posibilita la visualización y explicación de conceptos complejos de manera efectiva. En este contexto, se ha evidenciado que los videos en línea son una herramienta valiosa para enseñar a los estudiantes los principios fundamentales de la Resistencia de Materiales. [Ahn y Bir \(2018\)](#) investigaron cómo los estudiantes interactuaban con los videos en línea en un curso híbrido de mecánica de materiales y cómo estos videos impactaron de manera positiva el aprendizaje y percepción del curso por parte de los estudiantes. Por lo anterior, el diseño y desarrollo de una herramienta virtual interactiva para el aprendizaje de ensayos de Resistencia de Materiales utilizando tecnologías web es un tema importante en la educación en ingeniería, y se han desarrollado diversas herramientas virtuales interactivas y se han estudiado sus efectos en el aprendizaje de los estudiantes.

2.2 Estado del arte

Con el gran impacto que existe en los medios de comunicación y las tecnologías de internet, se permite el uso de software para aprendizaje a distancia mediante laboratorios virtuales. La integración de estos software supone una concepción activa del alumno en el aprendizaje. Durante la historia, han existido discusiones sobre el reconocimiento que tienen las prácticas en el ámbito conceptual. Esto ha cambiado con el tiempo debido a la poca relación del trabajo práctico con el avance del conocimiento científico, en donde según [Sierra y Barrios \(2013\)](#) afirma que la enseñanza de los estudiantes en materias científicas se debe llevar a cabo con experimentos para mejorar su comprensión teórica. En el artículo de [Matthews \(2012\)](#), se destaca cómo los videojuegos se están incorporando en la enseñanza de materias dentro de las aulas de clase. Lo destacado del artículo de [Matthews \(2012\)](#) es que muestra que la NASA (National Aeronautics and Space Administration) es uno de los centros donde se está aplicando estos videojuegos y simuladores de dentro de sus centros educativos.

Los laboratorios virtuales son representaciones visuales que simulan un entorno real, dando la sensación de estar en un laboratorio físico, donde se muestra en el monitor los gráficos que representa el laboratorio. Los objetos virtuales imitan las características y propiedades de los objetos reales ([Luengas et al., 2009](#)). Estos laboratorios permiten que cada estudiante pueda desarrollar la misma práctica. Además, puede repetirla las veces que quiera, usando diferentes variables a un costo moderado

(Nájera y Estrada, 2007). Los laboratorios virtuales brindan muchas ventajas, principalmente cuando los laboratorios o prácticas requieren de un equipamiento especial que puede ser costoso o escaso, estando más protegidos al evitarse su uso directo o incluso puede estar en un entorno peligroso. Asimismo, el laboratorio virtual puede incluir un sistema de autoevaluación en línea (Torres et al., 2002).

En la actualidad existen muchos proyectos diferentes sobre los laboratorios virtuales. La diferencia entre ellos radica en la forma en que se presentan los laboratorios virtuales o en el modo de uso que tiene los estudiantes al realizar la práctica, haciendo unos más populares que otros. El Kharki et al. (2021) presentaron el diseño e implementación de un laboratorio virtual para asignaturas de física en universidades marroquíes. Este laboratorio virtual se desarrolló para abordar los desafíos que enfrentan las universidades en Marruecos para proporcionar a los estudiantes acceso a laboratorios de calidad y para mejorar la calidad de la educación en las disciplinas de física. El laboratorio virtual consta de diferentes experimentos virtuales interactivos que cubren varios temas de física, como mecánica, electricidad, magnetismo, óptica y termodinámica. Estos experimentos virtuales permiten a los estudiantes realizar simulaciones, análisis y mediciones de datos a través de una interfaz en línea.

Particularmente, La Escuela de Ingeniería Civil y Geomática de la Universidad del Valle, en 2008, lanzó una aplicación remota llamada “Módulo de Resistencia de Materiales” para un laboratorio remoto de estructuras, lo que representa el primer intento de esta escuela por crear un laboratorio virtual para la asignatura de Resistencia de Materiales (Moreno et al., 2008). Esta aplicación se enfocó principalmente en realizar las pruebas de Resistencia de Materiales: tracción, compresión y cortante, en una maquina Universal controlada remotamente, en donde los resultados se registran visualmente mediante un indicador de carga del tablero de la máquina y un deformímetro de carátula instalado sobre la probeta.

Latif et al. (2020) desarrollaron la plataforma de laboratorios virtuales de código abierto, AsperLabs, destinada para el mejoramiento de la educación STEM. Esta plataforma se ha diseñado para uso tanto por profesores como por estudiantes en áreas como física, química, biología y matemáticas. Los resultados de la investigación han demostrado que el uso de estos laboratorios virtuales mejoran la comprensión conceptual y la motivación de los estudiantes. Además, se ha observado que los laboratorios virtuales también pueden mejorar la eficacia de la enseñanza y reducir el tiempo y los costos asociados con la planificación y realización de experimentos físicos.

[Chou et al. \(2014\)](#) propusieron el uso de técnicas de aprendizaje automático para la simulación de la resistencia del concreto. Su estudio se basó en la recopilación de datos de diferentes países, con el fin de desarrollar modelos de predicción de la resistencia del concreto a través de la aplicación de algoritmos de aprendizaje automático, como redes neuronales y árboles de decisión. Los resultados de su investigación mostraron que los modelos de predicción desarrollados utilizando técnicas de aprendizaje automático tuvieron un rendimiento significativamente mejor que los modelos de predicción tradicionales basados en regresión lineal y regresión no lineal. Este estudio sugiere que las técnicas de aprendizaje automático pueden ser una herramienta efectiva para la simulación de la resistencia del concreto y que el uso de datos de diferentes países puede mejorar la precisión de los modelos de predicción. Además, el estudio destaca la importancia de la aplicación de técnicas avanzadas de análisis de datos en la industria de la construcción para mejorar la calidad y la eficiencia de los procesos de construcción.

El estudio de [Lei et al. \(2022\)](#) se enfoca en el desarrollo de una plataforma web internacional para laboratorios remotos y virtuales que permita la comunicación en varios idiomas y el acceso desde diferentes partes del mundo. El objetivo de la plataforma es facilitar la colaboración y el intercambio de conocimientos entre estudiantes e investigadores de diferentes culturas y regiones. Para lograr esto, se utiliza la tecnología de React Framework para crear una interfaz de usuario amigable y de fácil uso, y se incorporan herramientas de comunicación en tiempo real, como chats y videoconferencias, para mejorar la experiencia de los usuarios. La plataforma también ofrece una amplia variedad de laboratorios virtuales y remotos para diferentes campos incluyendo ingeniería, ciencias y tecnología. En resumen, el estudio presenta una solución innovadora para el acceso y la colaboración en laboratorios virtuales y remotos a nivel internacional.

[Hao et al. \(2021\)](#) describe el desarrollo de un sistema de información de experimentos basado en un laboratorio virtual en línea. El estudio señala que los sistemas de laboratorios virtuales en línea son cada vez más utilizados en la educación y la investigación debido a su flexibilidad y capacidad para brindar acceso remoto a los experimentos. El artículo describe el diseño e implementación del sistema, que permite a los usuarios realizar experimentos en línea, controlar los instrumentos de laboratorio, recopilar datos y resultados en tiempo real. El sistema también incluye funciones para el almacenamiento y gestión de datos, así como herramientas para la colaboración y el intercambio de información. El estudio presenta los resultados de una prueba pi-

loto del sistema con estudiantes universitarios y se encontró que el sistema fue bien recibido y efectivo para el aprendizaje práctico.

En el caso específico de la investigación desarrollada por [Larbaoui et al. \(2020\)](#), se aborda la adaptación de materiales y sistemas empotrados de laboratorios presenciales a laboratorios remotos, a través de internet. Se menciona, que la adaptación de los materiales a una plataforma en línea permitió el acceso a los experimentos a través de dispositivos móviles, aumentando así la accesibilidad y el alcance de la educación a estudiantes de áreas remotas o con limitaciones en el acceso a los laboratorios físicos. Se destaca también la importancia de la formación de los estudiantes en el manejo de estas tecnologías y de la evaluación constante de la eficacia de los recursos educativos virtuales en la mejora del aprendizaje y la formación de habilidades prácticas.

[Chiodi et al. \(2021\)](#) describe el uso de un laboratorio virtual y dispositivos móviles como herramientas de apoyo para los procesos de enseñanza-aprendizaje de la física durante la pandemia. El estudio señala que la pandemia ha tenido un impacto significativo en la educación y ha obligado a los educadores a adoptar nuevas metodologías y tecnologías para continuar el proceso de enseñanza. El artículo describe la implementación de un laboratorio virtual y la utilización de dispositivos móviles como herramientas de apoyo para la enseñanza de la física en un contexto de educación a distancia. El estudio muestra los resultados de una encuesta realizada a estudiantes universitarios sobre su experiencia con el laboratorio virtual y los dispositivos móviles. Se encontró que la mayoría de los estudiantes consideraron que estas herramientas fueron efectivas para el aprendizaje y mejoraron su comprensión de los conceptos físicos. Además, destaca la importancia de adoptar nuevas metodologías y tecnologías en la educación durante la pandemia, y describe la implementación de un laboratorio virtual y el uso de dispositivos móviles como herramientas de apoyo para la enseñanza de la física en un contexto de educación a distancia.

3. MARCO CONCEPTUAL

Este capítulo presenta una serie de conceptos que buscan proporcionar una visión general y la contextualización acerca del proceso de implementación de un laboratorio virtual en la web para la realización de los experimentos de Resistencia de Materiales. El desarrollo de este laboratorio virtual está basado en la utilización de tecnologías web avanzadas que permiten a los estudiantes interactuar de manera práctica y realista con diferentes ensayos estandarizados de materiales de construcción. A través de este enfoque, se busca brindar a los estudiantes una experiencia de aprendizaje enriquecedora, donde puedan aplicar y poner a prueba los conceptos teóricos aprendidos en un ambiente seguro y controlado.

3.1 Conceptos relacionados a la resistencia de materiales

3.1.1 Resistencia de materiales

La Resistencia de Materiales es la disciplina que se enfoca en el estudio de las propiedades mecánicas de los materiales ([Murugan, 2020](#)). Esta rama de la ingeniería se centra en la definición y análisis de las características que describen cómo los materiales responden a las fuerzas aplicadas sobre ellos. Lo anterior implica investigar y medir diversas propiedades mecánicas de los materiales, como la resistencia a la tensión, la resistencia a la compresión, la elasticidad, la plasticidad, la rigidez y la ductilidad, entre otras. Estas propiedades son fundamentales para entender el comportamiento de los materiales en diferentes condiciones y para asegurar que las estructuras y componentes construidos con esos materiales sean seguros y confiables.

3.1.2 Estados de esfuerzos

Según [Mott et al. \(2009\)](#) en su libro “Resistencia de Materiales”, los estados de esfuerzos son un aspecto fundamental en el análisis y diseño de estructuras y componentes mecánicos, ya que permiten comprender cómo un material responde a las fuerzas aplicadas en diferentes direcciones. Al estudiar los estados de esfuerzos en un

material, los ingenieros y diseñadores pueden evaluar la capacidad del material para resistir y distribuir las cargas externas asegurando así la estabilidad y seguridad de la estructura en funcionamiento.

Compresión

El esfuerzo por compresión es una presión mecánica que acorta o comprime un material en la dirección de la carga aplicada (Fig. 3.1). Esta compresión genera una resistencia interna en el material para mantener su forma original.



Figura 3.1.: Barra sometida a compresión.

El esfuerzo por compresión se mide en unidades de fuerza por área, como N/m^2 o Pa (Pascal) en el Sistema Internacional. Los esfuerzos que actúan sobre la sección transversal están distribuidos uniformemente; debido a esto, el esfuerzo se puede determinar con la Ec. 3.1.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (3.1)$$

Donde σ es el esfuerzo, P es la carga axial aplicada y A representa el área de la sección transversal.

La resistencia del material a la compresión es un parámetro importante en el diseño y análisis de estructuras, ya que asegura que el material pueda soportar las cargas aplicadas sin deformaciones excesivas o fallas (Mott et al., 2009). El conocimiento del esfuerzo por compresión es esencial para garantizar la seguridad y confiabilidad en diversas aplicaciones industriales y de construcción (Mott et al., 2009). El chequeo de este estado es fundamental para estructuras como columnas y pilares, donde se busca resistir altas fuerzas de compresión para asegurar la estabilidad y resistencia de la estructura. Este tipo de esfuerzo es contrario al esfuerzo por tensión, donde el material se estira (Gere y Goodno, 2013), como se explica a continuación.

Tracción

El esfuerzo por tracción es un estado en el que la fuerza mecánica que actúa sobre un material tiende a alargarlo o estirarlo en la dirección de la carga aplicada (Fig. 3.2). Cuando se somete un material a fuerzas de tracción, se generan esfuerzos internos que buscan resistir el alargamiento y mantener la integridad estructural (Gere y Goodno, 2013).



Figura 3.2.: Barra sometida a tracción.

El esfuerzo por tracción también se mide en unidades de fuerza por área, como N/m^2 o Pa (Pascal) en el Sistema Internacional, los esfuerzos que actúan sobre la sección transversal están distribuidos uniformemente, por tal motivo, el esfuerzo se puede calcular utilizando la Ec. 3.1. Este es un parámetro esencial en el diseño y análisis de estructuras y componentes sometidos a cargas de tracción para garantizar su seguridad y funcionalidad como cables, cuerdas, vigas y elementos sometidos a cargas de tensión. La resistencia del material a la tracción es fundamental para asegurar la capacidad de soportar fuerzas de tracción sin fracturas o roturas (Mott et al., 2009).

Flexión

El esfuerzo por flexión se presenta cuando un material está sometido a una carga que lo dobla o curva (Fig. 3.3). En este estado de esfuerzo, el material experimenta tensiones de compresión en la parte superior y tensiones de tracción en la parte inferior, a lo largo de su eje longitudinal (Gere y Goodno, 2013).

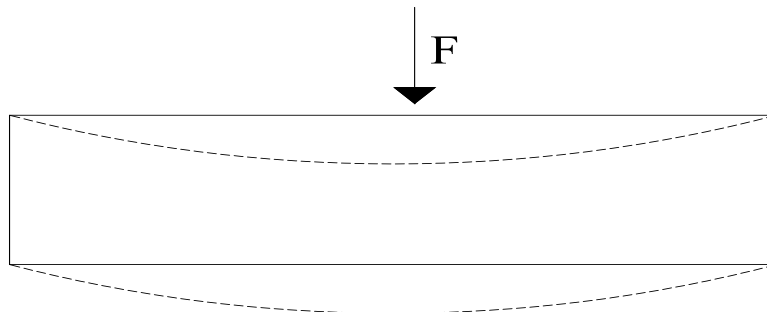


Figura 3.3.: Barra sometida a flexión.

El esfuerzo por flexión se mide en unidades de fuerza por área, al igual que en otros tipos de esfuerzos, haciendo uso de la Ec. 3.2.

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I} \quad (3.2)$$

Donde σ es el esfuerzo, M hace referencia al momento flector, y representa la longitud desde el centroide hasta el lado superior de la viga e I representa el momento de inercia de la sección.

Este tipo de esfuerzo es común en elementos estructurales como vigas, columnas y puentes, donde la flexión es una fuerza importante a tener en cuenta en el diseño y análisis de la estructura. La resistencia del material a la flexión es esencial para garantizar que pueda soportar cargas de flexión sin deformaciones excesivas o fracturas.

Torsión

El esfuerzo por torsión se presenta cuando un material está sometido a un momento de torsión o giro alrededor de su eje longitudinal (Fig. 3.4).

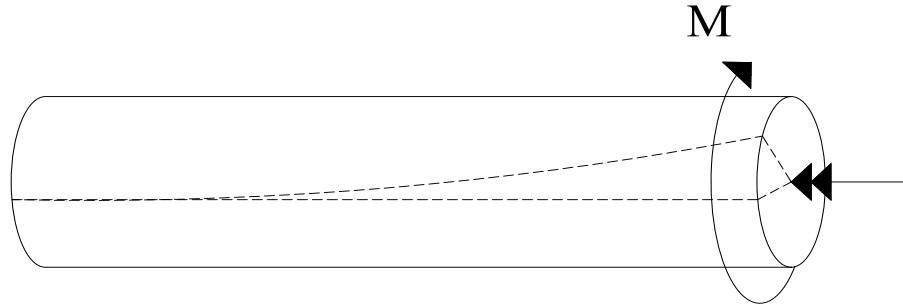


Figura 3.4.: Barra sometida a torsión.

En este estado de esfuerzo, las diferentes secciones del material giran alrededor de un punto central, lo que genera tensiones y deformaciones internas a lo largo de su longitud ([Gere y Goodno, 2013](#)).

El esfuerzo por torsión es común en elementos cilíndricos como ejes, vigas tubulares y torres de transmisión, donde las fuerzas de torsión pueden ser aplicadas en forma de torque o torsión. La resistencia del material al esfuerzo por torsión es vital para asegurar que pueda soportar cargas de torsión sin sufrir daños o fracturas.

El esfuerzo por torsión se mide en unidades de fuerza por área, al igual que otros tipos de esfuerzos. La distribución de los esfuerzos cortantes que actúan sobre la sección transversal es continua alrededor de esta sección; por tanto, la fórmula que describe la torsión en un elemento es la Ec. 3.3.

$$\tau = \frac{T \cdot r}{J} \quad (3.3)$$

Donde τ es el esfuerzo cortante, T hace referencia al torque aplicado, r hace referencia al radio de la sección de la probeta y J representa el momento polar de inercia.

3.1.3 Normas ASTM International

Las normas ASTM son documentos técnicos que establecen especificaciones y practicas estándar para una amplia variedad de materiales, productos, sistemas y servicios. Estas se basan en la premisa fundamental de promover la uniformidad y la calidad en los métodos de prueba y las especificaciones, proporcionando un lengua-

je común, que facilitan la comunicación y garantizan la fiabilidad de los resultados ([Rodríguez Santibáñez, 2014](#)).

ASTM E8/E8M

Es un ensayo uniaxial que según [Córdor Luna y Quispe Ramírez \(2021\)](#), es el método de prueba más usado para determinar las propiedades de materiales sometidos a tracción, desde su lanzamiento en 1924, ha experimentado ciertas modificaciones, siendo una de las más notables la reciente división en dos partes: ASTM E8 destinada a usuarios de unidades internacionales, y ASTM E8M diseñada para aquellos que emplean el sistema métrico.

Esta norma aborda la evaluación de materiales metálicos mediante pruebas de tracción realizadas a temperatura ambiente, con el objetivo de determinar propiedades cruciales como el límite elástico, la resistencia a la tracción, la deformación o elongación, y la reducción del área. Para la realización de estas pruebas en probetas cilíndricas, se establece un requisito específico de longitud: cuatro veces el diámetro para la norma ASTM E8 y cinco veces el diámetro para la norma ASTM E8M, según lo especificado por [“Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials ASTM E8/E8M” \(2022\)](#). Este criterio de dimensionamiento asegura la representatividad y confiabilidad de los resultados obtenidos a través de estas pruebas de tracción, ofreciendo un estándar consistente para la evaluación de materiales metálicos en condiciones de temperatura ambiente.

ASTM D143

La norma ASTM D143 se dedica a los ensayos de compresión y flexión en madera estableciendo un enfoque estandarizado para la medición de su resistencia y rigidez bajo carga. Un aspecto crucial de esta norma es la clasificación de las propiedades de la madera según su orientación, ya sea a lo largo de las fibras (paralelas) o perpendicular a ellas. Esta clasificación proporciona una base esencial para comprender y comparar cómo la madera responde a fuerzas aplicadas en diferentes direcciones, contribuyendo así a la evaluación precisa de sus propiedades mecánicas [“Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber ASTM D143” \(2022\)](#).

ASTM A938

Según [Pillajo Huaraca y Suárez Suárez \(2018\)](#), la norma referida se emplea para llevar a cabo ensayos de torsión simple en elementos cilíndricos. Esta normativa se centra en someter el elemento a torsión a lo largo de su eje hasta que se produce la falla. Posteriormente, se analizan tanto el número de revoluciones o grados antes de la falla como el torque al cual se expuso el elemento. Esta información se utiliza para construir una gráfica de torque vs revoluciones o grados, que resulta fundamental para identificar el punto de falla y encontrar sus propiedades. Este proceso detallado de evaluación respaldado por la norma “[Standard Test Method for Torsion Testing of Wire ASTM A938](#)” (2018), proporciona una metodología estructurada y estandarizada para la determinación precisa de las propiedades de torsión de elementos cilíndricos, lo cual es esencial en aplicaciones como la repotenciación de sistemas, tal como señala [Pillajo Huaraca y Suárez Suárez \(2018\)](#).

3.2 Conceptos relacionados al desarrollo de ambientes digitales

3.2.1 Aplicaciones web

Las aplicaciones web son un tipo de software diseñado para funcionar en navegadores web y permitir a los usuarios acceder y utilizar servicios, herramientas o información a través de internet ([Guillén y Moldes, 2019](#)). Estas aplicaciones se ejecutan en servidores remotos y los datos son transmitidos entre el cliente y el servidor mediante el protocolo de transferencia de hipertexto (HTTP) que permite cargar páginas web mediante enlaces de hipertexto. La arquitectura de aplicaciones web abarca el diseño y estructura de los componentes que componen la aplicación, así como la interacción entre el cliente y el servidor ([Luna del Águila, 1999](#)).

Las aplicaciones web tienen diversas características que las hacen populares y útiles en la actualidad. Una de las ventajas clave es que son accesibles desde cualquier dispositivo con acceso a internet, lo que permite a los usuarios utilizar la aplicación desde computadoras de escritorio, tabletas y teléfonos móviles ([Riccardi Sabatier et al., 2018](#)). Además, las actualizaciones y mejoras en la aplicación pueden realizarse en el servidor, lo que simplifica el proceso de mantenimiento y actualización para los usuarios.

La arquitectura de aplicaciones web incluye diferentes componentes, como el cliente, que es el navegador web utilizado por el usuario para acceder a la aplicación. El

servidor, que aloja la lógica del software y maneja las solicitudes del cliente. La base de datos, donde se almacenan y recuperan los datos necesarios para el funcionamiento de la aplicación. La interacción entre estos componentes se rige por el modelo cliente-servidor, donde el cliente solicita recursos y el servidor responde proporcionando la información solicitada ([Ovallos-Ovallos et al., 2020](#)).

3.2.2 HTML5 y CSS3

De acuerdo a la definición dada por [Li y Zhang \(2019\)](#), HyperText Markup Language 5 (HTML5) y Cascading Style Sheets 3 (CSS3) son tecnologías fundamentales en el desarrollo de páginas web modernas y receptivas. HTML5 es la última versión del lenguaje de marcado utilizado para estructurar y presentar contenido en la web. Proporciona etiquetas semánticas y elementos multimedia que permiten crear sitios web más accesibles y compatibles con diferentes dispositivos y navegadores ([Prescott, 2015](#)). Por otra parte, CSS3 es la última versión de las hojas de estilo en cascada utilizadas para definir el diseño y la presentación visual de una página web creada en HTML5 ([Aubry, 2014](#)). Con CSS3, los desarrolladores pueden aplicar estilos avanzados, efectos visuales y diseños flexibles a sus páginas, lo que contribuye a la creación de páginas web atractivas y receptivas ([Puig, 2013](#)). El uso combinado de HTML5 y CSS3 permite a los desarrolladores crear páginas web que se ajusten dinámicamente a las dimensiones de los dispositivos utilizados para acceder a ellas, lo que mejora la usabilidad y la experiencia del usuario. Al adoptar estas tecnologías, los sitios web pueden ser eficientes y versátiles ofreciendo una interfaz amigable y atractiva para los visitantes.

3.2.3 JavaScript

JavaScript es un lenguaje de programación interpretado que se ejecuta en el navegador web del cliente y permite agregar interactividad y dinamismo a las páginas web ([Oviedo Chavez, 2021](#)). A diferencia de HTML5 y CSS3, que se utilizan para estructurar y diseñar el contenido, JavaScript permite crear funciones y eventos que responden a las acciones del usuario, lo que mejora significativamente la experiencia de navegación.

Uno de los principales atractivos de JavaScript es su capacidad para manipular el contenido y la estructura de una página web en tiempo real, sin necesidad de recargar

la página. Esto permite crear efectos visuales, animaciones y cambios de contenido de manera dinámica, lo que resulta en una experiencia interactiva y atractiva para los usuarios. Según [Ramírez et al. \(2020\)](#), JavaScript también es ampliamente utilizado en el desarrollo de aplicaciones web y sitios web complejos, ya que permite realizar operaciones avanzadas y realizar llamadas a servidores para obtener y enviar datos sin la necesidad de recargar toda la página.

Otro aspecto destacado de JavaScript es su versatilidad y compatibilidad con diferentes navegadores. La mayoría de los navegadores modernos admiten JavaScript, lo que lo convierte en un lenguaje de programación ampliamente utilizado en el desarrollo web. Además, JavaScript es compatible con otros lenguajes y tecnologías web, lo que facilita su integración con HTML5 y CSS3, así como con bibliotecas y marcos de trabajo populares como jQuery, React y Angular [Guillén y Moldes \(2019\)](#).

3.2.4 Bootstrap

Bootstrap es un framework de diseño front-end de código abierto que facilita y agiliza el desarrollo de sitios web y aplicaciones web responsivas. Bootstrap proporciona un conjunto de herramientas y componentes preestablecidos, como botones, formularios, barras de navegación y cuadros modales, que pueden ser fácilmente integrados en el diseño de un sitio web ([Ortega et al., 2019](#)). Además, Bootstrap utiliza HTML5, CSS3 y JavaScript para su implementación, lo que lo hace compatible con múltiples navegadores y dispositivos ([Krause y Krause, 2016](#)).

Según [Largo Rodríguez \(2023\)](#), una de las principales características de Bootstrap es su enfoque en la creación de diseños receptivos, lo que significa que los sitios web creados con Bootstrap se ajustan y adaptan automáticamente a diferentes tamaños de pantalla, como computadoras de escritorio, tabletas y teléfonos móviles. Esto garantiza que la experiencia del usuario sea óptima independientemente del dispositivo que utilice para acceder al sitio. Bootstrap también ofrece un sistema de cuadrícula flexible que permite organizar y distribuir el contenido en una página de manera eficiente y fácil de mantener. Este sistema de cuadrícula es altamente personalizable y permite a los desarrolladores crear diseños complejos y atractivos sin tener que escribir una gran cantidad de código.

3.2.5 Chart.js

Chart.js es una biblioteca de JavaScript gratuita, ampliamente utilizada para crear gráficos y visualizaciones de datos en aplicaciones web ([Da Rocha, 2019](#)). Su versatilidad y facilidad de uso la convierten en una herramienta poderosa para representar datos de manera efectiva y atractiva. Con Chart.js, los desarrolladores pueden elegir entre varios tipos de gráficos, como barras, líneas, áreas, pastel y más, adaptándolos a las necesidades específicas de su aplicación ([Da Rocha, 2019](#)). La biblioteca ofrece una amplia gama de opciones de personalización, lo que permite ajustar colores, estilos, etiquetas y títulos para crear visualizaciones únicas y atractivas.

Según [Ortiz Fajardo \(2022\)](#), Chart.js es una herramienta de código abierto, lo que significa que es completamente gratuita y respaldada por una comunidad activa de desarrolladores. Además de su capacidad para crear gráficos estáticos, Chart.js se destaca por su interactividad. Los gráficos son interactivos de forma predeterminada, lo que permite a los usuarios explorar los datos haciendo clic en puntos de datos, acercar o alejar, y más. Esto mejora significativamente la comprensión de los datos y facilita la toma de decisiones informadas. La biblioteca también es adecuada para datos dinámicos en tiempo real, lo que la convierte en una opción sólida para aplicaciones que requieren actualización constante de gráficos. Con una comunidad activa de desarrolladores y una documentación completa, Chart.js es una herramienta confiable y respaldada por una amplia base de usuarios ([Chart.js, 2023](#)).

3.2.6 SweetAlert2.js

SweetAlert2.js, es una librería de JavaScript de código abierto ampliamente utilizada que brinda a los desarrolladores la capacidad de elevar la experiencia del usuario en aplicaciones web al permitir la creación de ventanas modales de alerta y diálogos personalizados. Destacándose por su interfaz de usuario atractiva y altamente adaptable, SweetAlert2 permite a los desarrolladores diseñar mensajes de alerta que superan las limitaciones de las típicas alertas del navegador. Esta librería ofrece una extensa gama de opciones de personalización, que incluyen la incorporación de imágenes, iconos, botones personalizados y transiciones ([SweetAlert2.js, 2023](#)). Además, esta biblioteca admite mensajes de confirmación y entradas brindando una versatilidad inigualable para interactuar con los usuarios y mejorar la comunicación en aplicaciones web.

SweetAlert2 se distingue por su capacidad para simplificar la creación de ventanas modales de alerta altamente personalizadas, en donde ofrece un amplio conjunto de opciones de diseño y estilo. Con una interfaz de usuario contemporánea y facilidad de uso como sello distintivo, esta biblioteca se ha convertido en la elección predilecta de los desarrolladores que buscan realzar la presentación y la interacción en sus aplicaciones web, promoviendo una experiencia de usuario gratificante y eficaz. A través de su enfoque en la adaptabilidad y la estética, SweetAlert2 ha demostrado ser un recurso inestimable en la caja de herramientas del desarrollo web para crear diálogos y alertas atractivos y funcionales (*SweetAlert2.js*, 2023).

3.2.7 SheetJS

SheetJS es una biblioteca JavaScript de código abierto que permite a los desarrolladores manipular y trabajar con hojas de cálculo en formato Excel en aplicaciones web (*Carrera Balsells et al.*, 2018). Con SheetJS, los usuarios pueden importar, exportar y manipular datos en hojas de cálculo de Excel de forma dinámica, lo que brinda una mayor flexibilidad y funcionalidad a las aplicaciones. Esta biblioteca es conocida por su facilidad de uso y su capacidad para trabajar con una variedad de formatos de archivo de hojas de cálculo, incluyendo XLSX, XLS, CSV y más. Además, SheetJS es independiente de la plataforma, lo que significa que se puede utilizar tanto en aplicaciones web en el lado del cliente como en el lado del servidor. Con su amplia gama de características y su comunidad activa de desarrolladores, SheetJS se ha convertido en una elección popular para aquellos que necesitan manejar datos tabulares de manera efectiva en sus aplicaciones web (*SheetJS CE*, 2023).

3.2.8 Tippy.js

Tippy.js es una popular biblioteca de JavaScript utilizada para crear tooltips personalizados y altamente configurables en aplicaciones web. Con Tippy.js, los desarrolladores pueden mejorar la experiencia del usuario al proporcionar información adicional o explicaciones contextuales al interactuar con elementos de la interfaz de usuario (*Ko*, 2022). Esta potente herramienta ofrece una amplia variedad de opciones de personalización, como la posición, el estilo, la animación y el contenido de los tooltips, lo que facilita la adaptación de los tooltips a las necesidades específicas de cualquier proyecto web. Tippy.js se ha convertido en una elección común para agre-

gar interacciones informativas y mejorar la usabilidad en aplicaciones web modernas (*Tippy.js*, 2023).

3.2.9 Three.js

Three.js es una librería de JavaScript ampliamente utilizada en el desarrollo de herramientas de visualización de datos en entornos web. Three.js se centra en la creación de gráficos 3D y ofrece un conjunto de funciones y herramientas que permiten a los desarrolladores representar datos complejos de una manera más intuitiva y atractiva (Maggiolo Ruiz et al., 2022). La librería Three.js aprovecha la tecnología WebGL, que está integrada en la mayoría de los navegadores modernos, para ofrecer un alto rendimiento en la visualización de gráficos 3D (Palomar-Vázquez y Viñals, 2016). Esto permite que las herramientas de visualización creadas con Three.js sean rápidas y fluidas, incluso al manejar grandes conjuntos de datos.

Three.js se ha vuelto especialmente relevante en el ámbito de la visualización de datos, ya que ofrece una variedad de técnicas y efectos visuales para mejorar la representación de información compleja. Los desarrolladores pueden crear visualizaciones interactivas que permiten a los usuarios explorar los datos desde diferentes perspectivas y niveles de detalle, lo que facilita la comprensión y el análisis de la información.

3.2.10 Blender

Blender es un software de código abierto utilizado para la creación de gráficos en 3D, modelado, animación y renderizado. Esta herramienta de diseño se ha convertido en una opción popular en la industria de la animación, el diseño gráfico y los efectos visuales debido a su amplia gama de funciones y su comunidad activa de desarrolladores (Soni et al., 2023). Blender ofrece una interfaz gráfica de usuario intuitiva y amigable que permite a los usuarios trabajar con facilidad en diferentes aspectos del diseño en 3D. El software proporciona una variedad de herramientas y opciones para modelar objetos, animar personajes, escenas, renderizar imágenes y vídeos de alta calidad. Además, Blender es compatible con múltiples plataformas, lo que lo convierte en una herramienta versátil y accesible para usuarios de diferentes sistemas operativos. Según Ruiz Yépez (2019), una de las características más destacadas de Blender es su naturaleza de código abierto, lo que significa que el software es gratuito y está disponible para su modificación y mejora por parte de la comunidad de desarrolladores.

Esto ha dado lugar a una gran cantidad de complementos y scripts desarrollados por la comunidad, que amplían aún más las capacidades y funcionalidades de Blender.

3.2.11 Git

Git es un sistema de control de versiones distribuido diseñado para supervisar los cambios en el código fuente durante el desarrollo de software ([Ram, 2013](#)). Este sistema posibilita a todos los usuarios colaborar simultáneamente en un proyecto capturando de manera eficiente sus respectivos avances para luego fusionarlos. De este modo, Git facilita el seguimiento del progreso de un proyecto a lo largo del tiempo permitiendo la visualización de las modificaciones realizadas, quién las llevó a cabo y por qué razón. Incluso ofrece la posibilidad de regresar a versiones anteriores del código ([Astigarraga y Cruz-Alonso, 2022](#)).

3.2.12 GitHub

GitHub es una plataforma web que permite complementar el proceso de desarrollo de software y la colaboración tecnológica desempeñando un papel importante en la revolución digital. En esta herramienta alberga una comunidad global de programadores, diseñadores y científicos de datos que utilizan su infraestructura para alojar, compartir y colaborar proyectos de código abierto y privados ([Esteban Díaz, 2016](#)). En esencia, GitHub combina el poder del sistema de control de versiones Git con una interfaz de usuario intuitiva y herramientas avanzadas para el seguimiento del proyecto, la automatización del flujo de trabajo y la integración continua ([Parpette, 2023](#)). Permitiendo mejorar el proceso de eficiencia en el desarrollo de software fomentando la colaboración entre equipos multidisciplinarios y la distribución global del conocimiento tecnológico. Su infraestructura garantiza un alojamiento seguro y eficiente de repositorios, además brinda soporte para una variedad de lenguajes de programación facilitando la colaboración en diversos proyectos. Así mismo, permite la publicación de páginas web en GitHub que se simplifica gracias a su servicio de alojamiento gratuito llamado "GitHub Pages"([Hu, 2022](#)).

4. DESARROLLO DEL AMBIENTE DIGITAL

Esta investigación se enfoca en desarrollar una herramienta virtual que permita a los estudiantes de ingeniería aprender y practicar los diferentes ensayos de Resistencia de Materiales de manera interactiva y dinámica. La herramienta está diseñada para ser accesible en línea a través de tecnologías web, lo que permite a los estudiantes acceder a ella desde cualquier lugar y en cualquier momento. De igual manera, la herramienta virtual se desarrolla para que los estudiantes puedan interactuar con modelos 3D de ensayos estructurales, observar cómo se aplican las fuerzas, cómo responden los materiales, y analizar los resultados en tiempo real. Esto proporciona a los estudiantes una herramienta complementaria para la comprensión de los principios teóricos y les permite desarrollar habilidades prácticas de análisis y diseño, lo que fomenta el aprendizaje activo y autónomo. A continuación se describen las distintas fases llevadas a cabo para la definición de los requerimientos, el diseño y el desarrollo del ambiente digital de Resistencia de Materiales del presente estudio.

4.1 Principio teóricos de resistencia de materiales

En primera instancia, para el desarrollo de la aplicación se lleva a cabo una exhaustiva revisión de la teoría de Resistencia de Materiales, que incluye los conceptos clave como tensiones, deformaciones, módulos de elasticidad y fallas estructurales. Esta revisión permite establecer una base teórica sólida para la comprensión de los estados de esfuerzos y comportamientos de los materiales bajo diferentes condiciones de carga. Luego de la revisión teórica, se procede a aplicar dicha teoría mediante ensayos y simulaciones con el fin de analizar y evaluar el comportamiento de diversos materiales frente a distintas sollicitaciones, tales como tracción, compresión, flexión y torsión. Durante este proceso, se realizan mediciones de deformación y cálculos de tensiones en diferentes secciones de las muestras.

4.2 Obtención de datos experimentales

Ensayos de tracción

Los datos experimentales de esfuerzo vs. deformación obtenidos de diversos ensayos reales a materiales se usan como base para validar los resultados del laboratorio virtual. Para el caso del ensayo a tracción, los datos del acero A36 se toman de un ensayo ejecutado en la Universidad del Valle. Para los aceros A514, A572 y A588 se toman de *Información General del Acero – MIPS A* (2023). Del informe de *Bowie et al.* (2018), se toman los datos para el aluminio 6061. Siguiendo la normativa “*Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials ASTM E8/E8M*” (2022), se obtiene los diámetros y longitudes calibradas. De la Ec. 3.1 se obtiene los datos de carga y de la Ec. 4.1 se obtiene los datos de alargamiento para el laboratorio virtual de tracción.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_o} \quad (4.1)$$

donde ϵ es la deformación, ΔL hace referencia al alargamiento y L_o representa la longitud inicial de la probeta.

Ensayos de compresión

De los ensayos de *Ribas* (2018) se toman los datos esfuerzo vs. deformación para el ensayo a compresión en madera de pino con fibras perpendiculares y fibras paralelas. Siguiendo la normativa “*Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber ASTM D143*” (2022) se obtienen las dimensiones de ancho, canto y la longitud inicial de la probeta de madera. De la Ec. 3.1 se obtiene los datos de carga aplicada y de la Ec. 4.1 se obtiene los datos de deformación para el laboratorio virtual de tracción.

Ensayos de flexión

Para el ensayo a flexión se usan los datos esfuerzo vs. deflexión de *Silva* (2020), la cual corresponde a una probeta de madera de pino sometida a una carga lateral de tres puntos. Siguiendo la normativa “*Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber ASTM D143*” (2022) se obtienen las dimensiones de altura, canto y la

longitud inicial de la probeta de madera. Usando la Ec. 3.2 se obtiene los datos de carga aplicada para el laboratorio virtual de flexión.

Ensayos de torsión

Los datos esfuerzo vs. deformación angular de giro para el ensayo de torsión son tomados de un laboratorio virtual de [SUNSPIRE \(s.f.\)](#), de uno de sus reportes de laboratorio. Siguiendo la normativa “[Standard Test Method for Torsion Testing of Wire ASTM A938](#)” (2018) se obtiene el diámetro de la barra y la longitud inicial de la probeta. Con la Ec. 3.3 se obtiene los datos del torque aplicado y con la Ec. 4.2 se obtiene los datos del ángulo, para el laboratorio virtual de torsión.

$$\gamma = \frac{r \cdot \theta}{L_o} \quad (4.2)$$

Donde, γ es la deformación angular, r es el radio de la sección circular de la probeta, θ hace referencia al ángulo de giro que esta teniendo y L_o representa la longitud inicial de la probeta.

4.3 Construcción de ambiente digital

La construcción del ambiente digital se realiza utilizando HTML5, CSS3, JavaScript y Bootstrap. Este es un proceso que combina la estructura, el diseño y la interactividad para crear una experiencia de usuario moderna y atractiva. En primer lugar, se utiliza HTML5 para establecer la estructura del ambiente web. HTML5 proporciona una serie de etiquetas semánticas que permiten organizar el contenido de manera clara y accesible. Se definen los elementos principales del ambiente, como encabezados, menús, secciones y pies de página, utilizando las etiquetas adecuadas para dar significado y contexto al contenido. Luego, se aplica CSS3 para dar estilo y diseño al ambiente web. CSS3 permite definir colores, fuentes, márgenes, bordes y otros atributos visuales para personalizar la apariencia del ambiente. Se utiliza el diseño responsivo para garantizar que el ambiente se adapte y se vea bien en diferentes dispositivos y tamaños de pantalla.

Para agregar interactividad y dinamismo al ambiente web, se utiliza JavaScript. Mediante JavaScript, se implementan funcionalidades como animaciones, validaciones de formularios y efectos visuales que mejoran la experiencia del usuario. Se pueden

crear elementos interactivos como botones desplegables, barras de navegación dinámicas y galerías de imágenes que respondan a las acciones del usuario. Además, se aprovecha Bootstrap para acelerar el proceso de desarrollo y mejorar la apariencia y funcionalidad del ambiente web. Bootstrap es un framework frontend que proporciona una colección de componentes y estilos predefinidos que facilitan la creación de páginas web receptivas y visualmente atractivas. Se utilizan las clases de Bootstrap para crear diseños de cuadrícula flexibles, menús de navegación responsivos y elementos interactivos con un diseño moderno y profesional.

4.4 Interfaz gráfica en ambiente web

La interfaz gráfica visualmente es atractiva y funcional que mejora significativamente la experiencia del usuario al interactuar con la herramienta virtual de Resistencia de Materiales. El diseño de la interfaz ha sido cuidadosamente planificado para garantizar la usabilidad y accesibilidad, y se ha aplicado un enfoque centrado en el usuario para crear una experiencia intuitiva y amigable. La interfaz gráfica presenta una disposición clara de elementos, con menús desplegables, botones interactivos y etiquetas explicativas, lo que facilita la navegación por el ambiente web y el acceso a las diferentes funcionalidades de la herramienta. Los colores, fuentes y elementos visuales utilizados en el diseño se han seleccionado cuidadosamente para reflejar la identidad de la herramienta y mantener una coherencia estética en toda la interfaz.

Además, se ha implementado una navegación fluida que permite a los usuarios moverse de manera rápida y sencilla por el ambiente web y explorar los ensayos de Resistencia de Materiales de forma eficiente. Los controles interactivos responden de manera ágil a las acciones del usuario, lo que proporciona una experiencia de usuario enriquecedora y atractiva. Se han desarrollado módulos específicos que abordan cada área: tracción, compresión, flexión y torsión. Cada uno de estos módulos posee su propia interfaz gráfica única y diferenciada de las demás. La estructura de la interfaz gráfica se mantiene uniforme a través de todos los módulos del laboratorio virtual, subdividiéndose en ocho secciones distintivas, tal como se ilustra en la Fig. 4.1. Lo que se diferencia de cada módulo es la sección del panel de la izquierda.

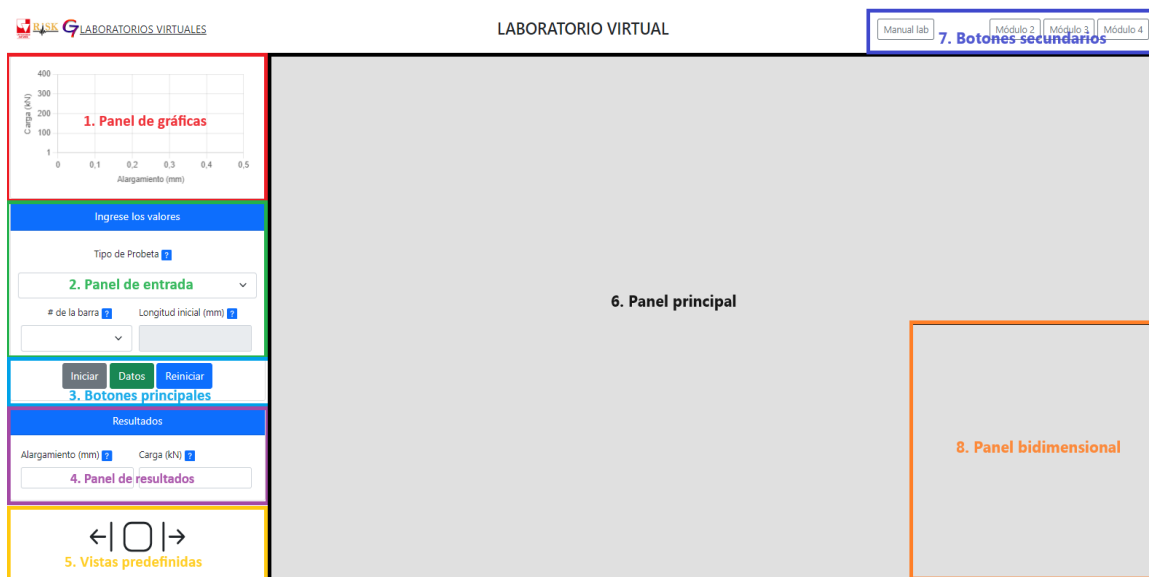


Figura 4.1.: Interfaz gráfica general.

La sección de la parte izquierda, destinada tanto al ensayo de tracción, compresión, flexión y torsión, siempre va contar con un panel gráfico, los datos de entrada, botones principales, resultados y vistas predeterminadas, tal como se muestra en la Fig. 4.2. Como se puede observar, existe una gran similitud en cada uno de los ensayos, pero estos difieren en funciones.



Figura 4.2.: A) Sección del ensayo a tracción, B) Sección del ensayo a compresión, C) Sección del ensayo a flexión y D) Sección del ensayo a torsión

4.4.1 Panel de gráficas

En este panel, los usuarios pueden apreciar una representación gráfica detallada de la carga y/o torque aplicado sobre la probeta, junto con la respuesta correspondiente de la probeta ante dicha carga. En el ensayo de tracción, la gráfica muestra la relación entre la Carga (kN) y el Alargamiento (mm). En el ensayo de compresión, se presenta la relación entre la Carga (kN) y la Deformación (mm). Para el ensayo de flexión, se exhibe la relación entre la Carga (kN) y la Deflexión (mm). Por último, en el ensayo de torsión, se representa la relación entre el Torque ($N \cdot m$) y el Ángulo (grados), estas diferencias se las pueden notar en la Fig. 4.2.

4.4.2 Panel de entrada

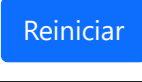
En este panel se encuentran las especificaciones y propiedades que la probeta a ensayar poseerá dentro del laboratorio virtual. Para el modulo de tracción, este panel presenta 2 campos editables. En el campo “Tipo de probeta”, se despliegan todas las opciones de materiales disponibles para el ensayo, que incluyen: Acero ASTM A36, Acero ASTM A514, Acero ASTM A572, Acero ASTM A588 y Aluminio 6061. En el campo “# de barra”, se presenta un desplegable para seleccionar el número de la barra en octavos, que son #3, #5 y #8 (Fig. 4.2 imagen A). Para los módulos de compresión, flexión y torsión, se presenta únicamente un campo desplegable denominado “Tipo de probeta”. En el caso del módulo de compresión, este campo permite seleccionar si el material de la probeta de madera de pino tiene sus fibras paralelas o perpendiculares (Fig. 4.2 imagen B). Para el modulo de flexión se puede elegir el material de la probeta a ensayar (Fig. 4.2 imagen C), mientras que para el ensayo de torsión, se ofrece un desplegable para seleccionar el material a ensayar entre Acero A36 y Hierro fundido (Fig. 4.2 imagen D).

El panel de entrada está diseñado para completar automáticamente los campos requeridos según las normas ASTM de cada ensayo como se nombra en la sección 3.1.3. Por ejemplo, en el módulo de tracción se proporciona automáticamente la longitud inicial. En el módulo de compresión, se incluyen la longitud inicial, el ancho y el grosor. Para el módulo de flexión, se calculan automáticamente la longitud inicial, el grosor y la altura. Por último, en el módulo de torsión, se completa el diámetro de la barra y la longitud inicial.

4.4.3 Botones principales

En la Tabla 4.1, se muestran los botones principales de la interfaz.

Tabla 4.1.: Botones principales de la interfaz de laboratorios.

	Descarga los datos obtenidos de la probeta, durante el ensayo en el laboratorio virtual.
	Da inicio al proceso de simulación del laboratorio virtual.
	Reinicia todo el laboratorio virtual, reanudando todos los campos y paneles.

4.4.4 Panel de resultados

En este espacio, los usuarios pueden visualizar en tiempo real los resultados y comportamientos numéricos que la probeta presenta durante su ejecución. Este panel brinda un seguimiento inmediato y preciso, facilitando el análisis y comprensión del desempeño del ensayo.

Para el ensayo a tracción, los resultados que muestran son el alargamiento (mm) y la carga (kN). Para el ensayo de compresión, se presentan la deformación (mm) y la carga (kN). En el ensayo de flexión, se muestran la deflexión (mm) y la carga (N). Finalmente, en el ensayo de torsión se muestra el ángulo (grados) y el torque (N-m)

4.4.5 Vistas predefinidas

En la Tabla 4.2, se muestran los botones de las vistas predefinidas del panel principal.

Tabla 4.2.: Botones de vistas predefinidas de la interfaz de laboratorios.

	Vista superior predefinida ofrece una perspectiva aérea superior del laboratorio virtual, proporcionando una visión en altura del entorno virtual enfocándose en la probeta.
	Vista central predefinida proporciona una perspectiva frontal del laboratorio virtual, resaltando la probeta en el entorno desde un enfoque directo.
	Vista lateral izquierda predefinida ofrece una perspectiva desde el costado izquierdo del laboratorio virtual destacando la probeta de este lado del ambiente virtual.
	Vista lateral derecha predefinida ofrece una perspectiva desde el costado derecho del laboratorio virtual, mostrando con detalle la probeta de este lado del entorno virtual.

4.4.6 Panel principal

En este panel, los usuarios serán recibidos con una animación interactiva detallada que representa fielmente los elementos característicos de cada laboratorio. Esta animación no es simplemente una representación estática, sino que busca simular el movimiento, la funcionalidad y la interacción que tendrían estos elementos en un entorno de laboratorio real. Al interactuar con la animación, los usuarios pueden obtener una sensación cercana a la de manipular equipos y herramientas reales, permitiéndoles experimentar y aprender de una manera más inmersiva y práctica.

4.4.7 Botones secundarios

En la Tabla 4.3, se muestran los botones secundarios. Estos botones juegan un papel esencial ya que proporciona acciones adicionales referente al laboratorio virtual. Cada uno de estos botones ha sido diseñado para ofrecer acciones adicionales que enriquecen y complementan la experiencia principal del laboratorio.

Tabla 4.3.: Botones secundarios de la interfaz de laboratorios.

Manual Tracción Manual Compresión Manual Flexión Manual Torsión	Al interactuar con cualquiera de esos botones, los usuarios podrán acceder al manual de usuario del laboratorio virtual correspondiente al modulo proporcionando instrucciones sobre como navegar y utilizar eficientemente todas las funciones.
Tracción	Al interactuar con este botón, los usuarios serán dirigidos al módulo específico del laboratorio virtual de tracción.
Compresión	Al interactuar con este botón, los usuarios serán dirigidos al módulo específico del laboratorio virtual de compresión.
Flexión	Al interactuar con este botón, los usuarios serán conducidos al modulo específicos del laboratorio virtual dedicado a la flexión.
Torsión	Al interactuar con este botón, los usuarios serán dirigidos al módulo específico del laboratorio virtual de torsión.

4.4.8 Panel bidimensional

Este panel ha sido diseñado para presentar una representación gráfica detallada y en dos dimensiones de la probeta en estudio. A diferencia de una representación tridimensional que podría ofrecer perspectivas múltiples, este panel se centra en proporcionar una vista plana, clara y directa a la probeta, lo que en muchos casos puede facilitar el análisis detenido de ciertos aspectos específicos.

4.5 Modelado en 3D

El proceso de construcción de modelos 3D con Blender es un enfoque creativo y versátil que permite diseñar objetos, materiales y otros elementos del laboratorio con gran detalle y realismo. En primer lugar, se inicia con la creación de objetos básicos, como cubos, esferas o cilindros, que servirán como bloques de construcción para los elementos complejos. Estos objetos se pueden escalar, rotar y trasladar para lograr la forma deseada.

Una vez que se tienen los objetos básicos, se procede a esculpir y modelar los detalles finos de los materiales y objetos del laboratorio. Esta etapa requiere el uso de herramientas de escultura y modelado de precisión para añadir texturas, relieve y características realistas. También se pueden importar y ajustar modelos preexistentes para acelerar el proceso de construcción y garantizar la coherencia estética.

Para dotar a los objetos de los materiales adecuados, Blender ofrece una variedad de opciones para aplicar texturas, colores, brillo y opacidad. Los materiales pueden simular desde maderas y metales hasta plásticos y vidrios, lo que permite obtener resultados altamente detallados y fotorealistas.

El resultado obtenido en la implementación de elementos 3D ha sido satisfactorio, en donde proporciona a los usuarios una experiencia inmersiva y realista al interactuar con los ensayos de Resistencia de Materiales en el ambiente web. Los modelos 3D generados en Blender y su integración con Three.js han logrado una representación visual detallada y precisa de los objetos y materiales del laboratorio.

Los elementos 3D se presentan con una calidad visual excelente, mostrando texturas, colores y detalles realistas que permiten a los usuarios explorar y estudiar los objetos desde diferentes perspectivas. Los controles interactivos aplicados a los modelos 3D permiten a los usuarios rotar, ampliar y trasladar los objetos, brindando una experiencia de usuario interactiva y personalizada.

La integración de los modelos 3D con Three.js ha garantizado un rendimiento eficiente y una carga rápida en el ambiente web. Los tiempos de carga reducidos y la fluidez en la visualización de los elementos 3D han contribuido a una experiencia de usuario agradable.

Los ensayos de tracción se realizan utilizando una máquina uniaxial diseñada específicamente para aplicar una carga de tensión sobre la probeta. Esta se sujeta firmemente mediante pinzas especialmente diseñadas para garantizar la precisión del ensayo, como se ilustra en la Fig. 4.3. Para los ensayos de compresión, se utiliza una máquina uniaxial diseñada para aplicar una carga compresiva sobre la probeta, la cual se posiciona adecuadamente entre las placas de compresión para garantizar la precisión del ensayo, tal como se muestra en la Fig. 4.4. Los ensayos de flexión se llevan a cabo con una máquina uniaxial específicamente diseñada para aplicar una carga flexionante sobre la probeta, la cual se coloca adecuadamente entre los puntos de apoyo para asegurar la exactitud del ensayo, como se observa en la Fig. 4.5. Por último, los ensayos de torsión se ejecutan mediante una máquina uniaxial meticulosamente diseñada para imponer un momento torsional sobre la probeta, asegurando su

precisión durante la rotación y la medición del torque aplicado, en donde se sujeta firmemente mediante pinzas especialmente diseñadas para garantizar la precisión del ensayo, como se muestra en la Fig. 4.6.

La configuración detallada de cada máquina, elaborada meticulosamente a través del modelado en el software Blender, proporciona una representación gráfica del dispositivo utilizado para llevar a cabo cada tipo específico de ensayo.

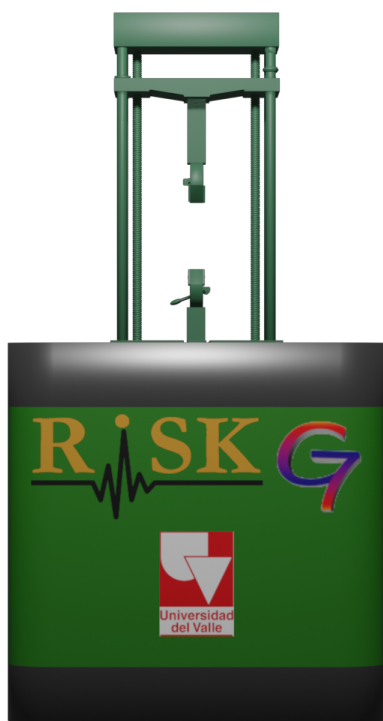


Figura 4.3.: Máquina a tracción.



Figura 4.4.: Máquina a compresión.

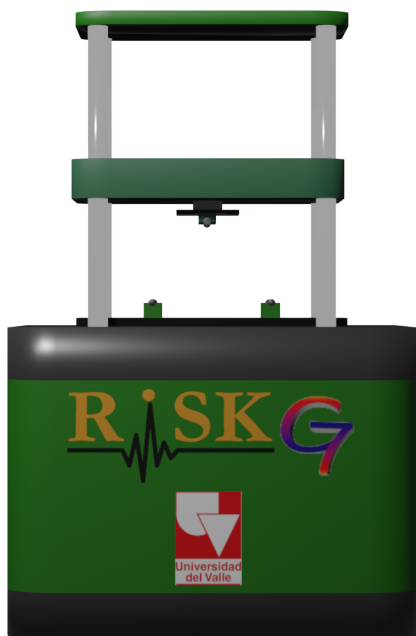


Figura 4.5.: Máquina a flexión.



Figura 4.6.: Máquina a torsión.

La Fig. 4.3, Fig. 4.4, Fig. 4.5 y Fig 4.6 sirve como una representación visual que ilustra la estructura y configuración esencial de la máquina de ensayo de tracción, compresión, flexión y torsión, proporcionando a los investigadores y profesionales una referencia clara sobre la instrumentación empleada en este proceso de evaluación de materiales. Este enfoque integrado de diseño y visualización contribuye a la mejora continua de las técnicas de ensayo, en donde respalda así la investigación y el desarrollo en el ámbito de la ingeniería de materiales.

4.6 Integración de modelos 3D

La integración de los modelos 3D ha sido un logro significativo en el desarrollo del ambiente web para experimentos de Resistencia de Materiales. La importación de los modelos generados en Blender a través de Three.js ha permitido una representación visual impresionante y realista de los objetos y materiales del laboratorio. La integración se ha llevado a cabo de manera eficiente y precisa asegurando que los modelos 3D se visualicen correctamente en la escena del ambiente web. Los formatos de archivo compatibles y las herramientas proporcionadas por Three.js han facilitado el proceso de importación, la cual permite que los modelos sean renderizados con alta calidad y detallados.

La capacidad de rotar, ampliar y trasladar el entorno web permite a los usuarios explorar los ensayos de manera interactiva, posibilitando una comprensión profunda de los conceptos involucrados. Estas funcionalidades ofrecen una experiencia inmersiva, permitiendo a los usuarios examinar los detalles desde diferentes perspectivas y dimensiones. Este enfoque interactivo contribuye significativamente a una comprensión completa de los ensayos de manera dinámica enriqueciendo así, el aprendizaje de los usuarios al proporcionar una visualización tridimensional y flexible de los conceptos clave.

Además, la integración de los modelos ha enriquecido la experiencia de usuario al permitir la combinación de elementos visuales con los datos de entrada. Los modelos 3D han sido combinados con datos relevantes, descripciones detalladas y explicaciones visuales para brindar una experiencia educativa completa y enriquecedora. En el módulo de tracción, la integración se ilustra en la Fig. 4.7. Esta representación demuestra una sincronización entre los modelos 3D y la interfaz gráfica, resultando en una transición fluida y coherente de los modelos.



Figura 4.7.: Interfaz del laboratorio virtual, módulo tracción.

En la Fig. 4.8 se presenta la interfaz del módulo de compresión. Esta visualización destaca una integración armoniosa entre los modelos 3D y la interfaz gráfica, en donde se asegura una transición fluida y coherente entre ambos.

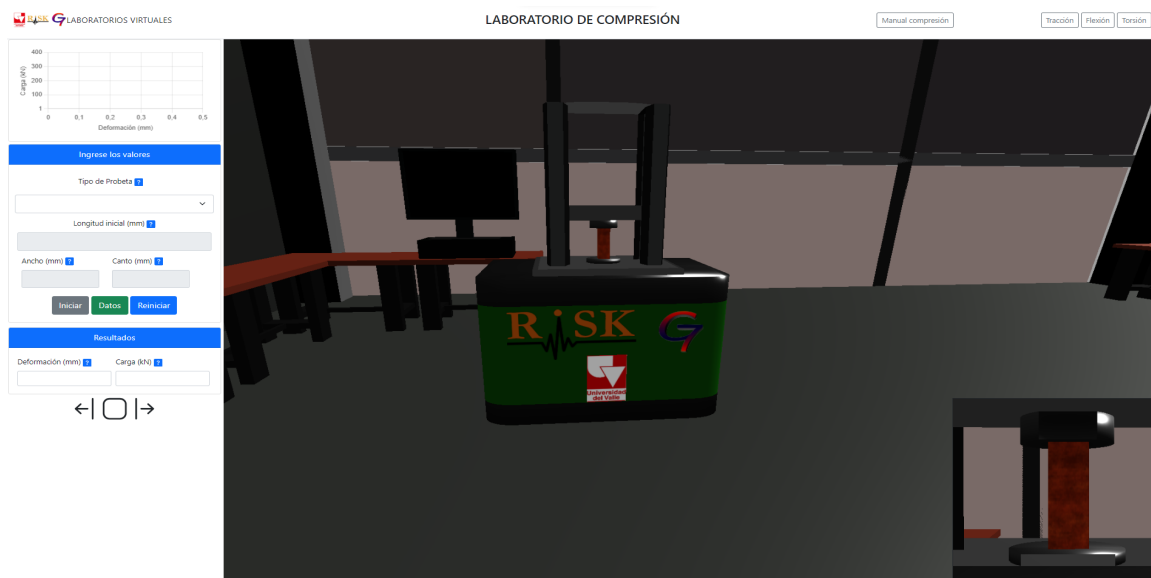


Figura 4.8.: Interfaz del laboratorio virtual, módulo compresión.

En la Fig. 4.9 se exhibe la interfaz del módulo de ensayo a flexión. Esta representación pone de manifiesto una integración perfecta entre los modelos 3D y la interfaz gráfica, logrando una transición continua y coherente entre ambos elementos.

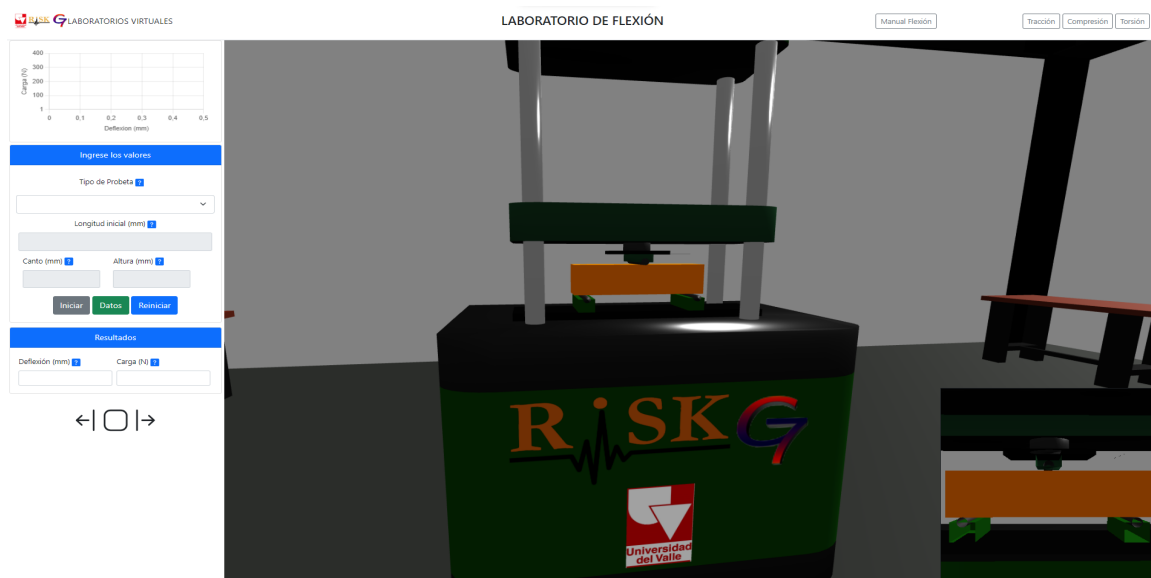


Figura 4.9.: Interfaz del laboratorio virtual, módulo flexión.

La Fig. 4.10 revela la configuración de la interfaz para el módulo de ensayo a torsión. A través de este gráfico se puede apreciar una fusión meticulosa entre los

modelos 3D y el diseño de la interfaz gráfica, estableciendo una dinámica integrada y homogénea entre ellos.

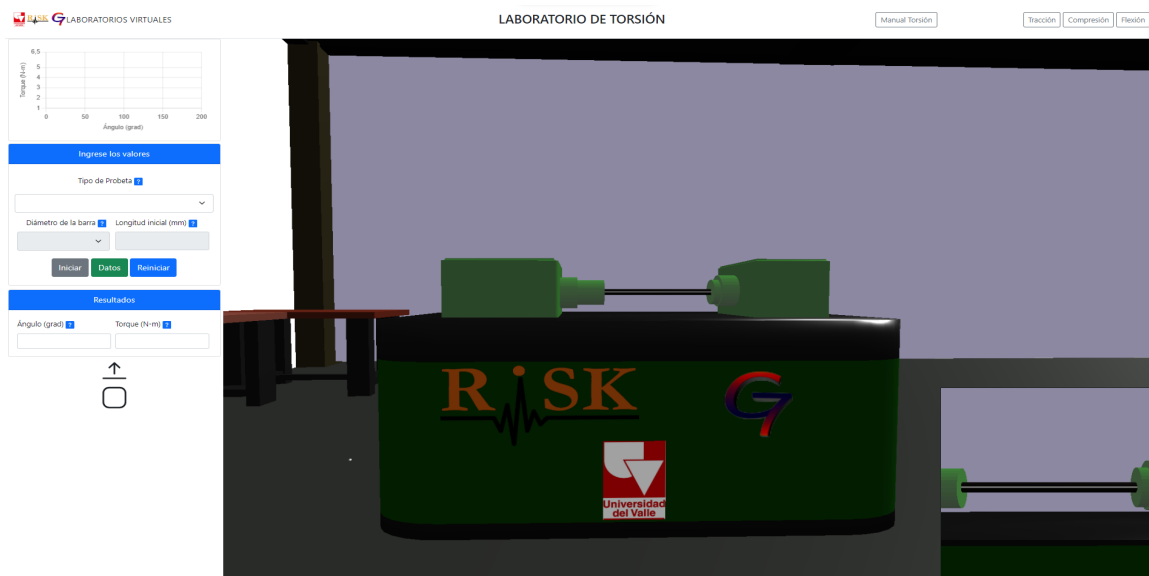


Figura 4.10.: Interfaz del laboratorio virtual, módulo torsión.

4.7 Publicación de ambiente digital en GitHub

La publicación del laboratorio virtual de Resistencia de Materiales se hace a través de GitHub Pages, lo que representa una estrategia integral y efectiva para la difusión y acceso de esta herramienta como apoyo del aprendizaje. GitHub Pages, como un servicio gratuito de alojamiento web de GitHub, simplifica tanto la publicación inicial como el mantenimiento continuo del sitio. Esto se logra al permitir el alojamiento confiable del contenido del laboratorio y compartirlo fácilmente a través de una URL. Además, la plataforma GitHub facilita la colaboración, el control de versiones y la retroalimentación de la comunidad, elementos cruciales que contribuyen a enriquecer y mejorar de manera continua el entorno del laboratorio virtual.

En el Anexo 7 se presentan los enlaces de libre de acceso a los diferentes laboratorios virtuales de Resistencia de Materiales, cada uno enfocado en un componente específico. Estos enlaces permiten acceder directamente a cada uno de los laboratorios virtuales mencionados, lo que facilita la exploración de cada componente (Tracción, compresión, flexión y torsión) en el contexto de esta investigación.

4.8 Documentos complementarios del ambiente digital

4.8.1 Manual de usuario

El ambiente digital contiene dos manuales de usuario denominados: “Manual de Ensayos a Carga Uniaxial y Flexión” y “Manual de Laboratorio de Torsión”. Estos pueden consultarse utilizando los enlaces de acceso presentados en el Anexo 7 del presente documento. El primer manual, “Manual de Ensayos a Carga Uniaxial y Flexión”, está diseñado para los laboratorios de tracción, compresión y flexión. El segundo, “Manual de Laboratorio de Torsión”, está destinado al laboratorio de torsión. Ambos manuales se han creado con el objetivo de facilitar el uso y la navegación a través del laboratorio virtual, proporcionando instrucciones claras y concisas para optimizar la experiencia del usuario. Están dirigidos tanto a educadores como a estudiantes, con el fin de que puedan aprovechar al máximo las características y funciones que ofrece el laboratorio virtual.

4.8.2 Laboratorio-taller

El ambiente digital cuenta además con un laboratorio-taller específico para cada ensayo: Tracción, Compresión, Flexión y Torsión. Los enlaces de acceso a estos talleres pueden consultarse en el Anexo 7. La finalidad de estos laboratorios-talleres es la evaluación de los conocimientos de los estudiantes, basándose en los datos proporcionados por el laboratorio virtual.

5. IMPLEMENTACIÓN DEL AMBIENTE DIGITAL

En esta sección, se presentan los resultados obtenidos luego de implementar e incorporar el entorno digital en dos cursos de Resistencia de Materiales de los programas de Ingeniería Civil e Ingeniería Mecánica de la Universidad del Valle.

5.1 Evaluación de la funcionalidad

Para la evaluación de la funcionalidad del ambiente digital se llevaron a cabo pruebas para asegurar que todas las funcionalidades de la herramienta trabajaran de manera adecuada y cumplieran con los objetivos establecidos. Esta evaluación constó de dos partes fundamentales: la primera consistió en una evaluación visual y facilidad de manejo del laboratorio virtual, mientras que la segunda se realizó a través de encuestas.

Para la primera parte, se llevaron a cabo ensayos tanto para evaluar la facilidad de interactuar con la interfaz gráfica y los elementos en 3D como para medir el rendimiento, la velocidad de carga y la eficiencia del ambiente web. Los resultados de estas pruebas fueron favorables en ambos aspectos. Los usuarios elogiaron la navegación intuitiva y la interactividad del laboratorio, lo que reflejó una experiencia satisfactoria. Además, se garantizó que los modelos 3D se cargaran rápidamente y que la herramienta respondiera ágilmente a las acciones del usuario, lo que contribuyó a una experiencia fluida y sin retrasos. La funcionalidad de los controles interactivos y las herramientas de exploración de los ensayos de Resistencia de Materiales fue otro aspecto clave evaluado. Los usuarios pudieron rotar, ampliar y trasladar los modelos 3D de manera intuitiva, lo que facilitó la comprensión de los conceptos y ensayos estudiados. Por último, se recopilaron comentarios y retroalimentación de los usuarios para identificar posibles áreas de mejora y futuras implementaciones. Todos estos comentarios fueron tomados en cuenta y se realizaron ajustes adicionales para perfeccionar la funcionalidad y la experiencia general del usuario.

Para la segunda parte, se realizaron dos encuestas: 1) pre-encuesta y 2) post-encuesta. La pre-encuesta tiene como propósito valorar la comprensión de los temas por parte de los estudiantes tomando en cuenta la metodología y recursos didácticos

empleados en el curso. Las preguntas propuestas en esta encuesta se detallan en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1.: Preguntas antes del uso del laboratorio virtual.

Pre-encuesta
1. ¿Es sencillo representar y entender los conceptos teóricos de la asignatura utilizando el enfoque metodológico actual?
2. ¿Cuál es el nivel de dificultad en la comprensión de la parte matemática de la materia en cuestión?
3. ¿Cuál es el grado de facilidad que se tiene actualmente para representar y comprender físicamente las probetas de ensayo mediante la metodología utilizada?
4. ¿Qué nivel de claridad tienen las explicaciones de los distintos temas de la clase para que se puedan entender y asimilar los conceptos vinculados con la asignatura?
5. ¿Es evidente la conexión entre los conceptos expuestos en el curso y las situaciones que se presentan en la vida real?
6. ¿La bibliografía, las herramientas computacionales y el internet son adecuados para entender los conceptos de la materia?
7. ¿En qué medida las herramientas informáticas relacionadas con este tema son fáciles de usar, intuitivas y permiten la interacción para ayudar en la comprensión de los conceptos?
8. En su opinión, ¿Cuál sería el nivel de utilidad de una herramienta computacional recién creada para ayudar en la comprensión de los conceptos de la materia?

El propósito de la post-encuesta es valorar la eficacia de la aplicación en su función pedagógica. Las preguntas planteadas en dicha encuesta se presentan en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2.: Preguntas después del uso del laboratorio virtual.

Post-encuesta
1. ¿Qué tan sencillo resulta comprender y representar de manera gráfica los principios teóricos de la materia utilizando una herramienta computacional?
2. ¿Cuál es el nivel de facilidad para entender el aspecto matemático relacionado con la asignatura utilizando la herramienta computacional?
3. En comparación con la metodología actual, ¿Qué tan sencillo es observar y comprender físicamente las probetas de ensayo utilizando una herramienta computacional?
4. ¿Cuál es el nivel de claridad en la presentación de los temas de clase utilizando herramientas computacionales para que los estudiantes puedan entender y asimilar los conceptos relacionados con la materia?
5. ¿Qué grado de claridad existe en la conexión entre los conceptos enseñados en el curso y su aplicación en situaciones prácticas mediante el uso de herramientas computacionales?
6. ¿En qué medida la herramienta computacional es suficiente para complementar el contenido disponible en el curso?
7. En comparación con las herramientas computacionales que conocías, ¿Cómo describirías la facilidad de uso, la intuición y la interactividad de esta herramienta?
8. ¿Qué grado de utilidad ha tenido la herramienta computacional?

5.2 Evaluación de porcentaje de aprobación

El porcentaje de aprobación refleja la proporción de estudiantes que han otorgado una calificación igual o superior a 4, en relación con la calificación máxima de 5, a la pregunta del laboratorio virtual en comparación con el número total de estudiantes. Esta métrica se calcula comparando el número total de estudiantes que participaron en la evaluación. Este indicador desempeña un papel fundamental en la evaluación de la eficacia del laboratorio virtual, proporcionando una medida clara de la aceptación y el rendimiento general de los estudiantes en la actividad propuesta.

En la Fig. 5.1, se presenta un gráfico de barras que refleja los resultados de una encuesta aplicada a estudiantes del curso de Resistencia de Materiales perteneciente al programa académico de Ingeniería Mecánica de la Universidad del Valle, con una muestra de 16 estudiantes. En la Fig 5.2, se exhibe un gráfico de barras que muestra los resultados de una encuesta realizada a estudiantes inscritos en la asignatura de Resistencia de Materiales, la cual forma parte del plan de estudios del programa

académico de Ingeniería Civil de la Universidad del Valle, con una muestra de 22 estudiantes.

Los resultados en la Fig. 5.1 muestran un aumento en el porcentaje de aceptación en casi todos sus ítems. En la pregunta 4, en donde se evidencio un incremento del 43.75 % en donde los estudiantes dando el uso de la herramienta computacional mejoran el nivel de claridad de los temas vistos en clase. Seguidamente, la pregunta 2, se evidenció un incremento del 31.25 % relacionado con la comprensión de la componente matemática del curso de Resistencia de Materiales, gracias al empleo de la herramienta computacional. La pregunta 3 reflejó un crecimiento del 25 %, lo que sugiere que los estudiantes han adquirido una mejor comprensión de los fenómenos físicos asociados a la probeta en contraste con técnicas pedagógicas tradicionales. La eficacia de la herramienta computacional en comparación con otros laboratorios virtuales en el campo de resistencia de materiales, resalta su valor como recurso didáctico, como se constata en el porcentaje de aceptación de la pregunta 7. Paralelamente, en la pregunta 8, la percepción sobre la utilidad de la herramienta computacional registró un alza del 6.25 %, indicando que es un gran complemento de material que se tiene disponible en el curso de Resistencia de Materiales.

La disminución del porcentaje de aprobación en la pregunta 5, sugiere la necesidad de realizar ajustes y mejoras tanto en la pedagogía de los conceptos abordados como en su implementación práctica mediante herramientas computacionales. Estos ajustes tienen el potencial de enriquecer la experiencia de aprendizaje de los participantes, al tiempo que aseguran una vinculación clara entre los fundamentos del curso y su aplicación en contextos reales. Las encuestas realizadas después de la implementación del laboratorio virtual evidenciaron calificaciones superiores en comparación con las obtenidas antes del uso del laboratorio virtual. Esto demuestra la evidente aceptación y valoración de los laboratorios virtuales dentro del curso.

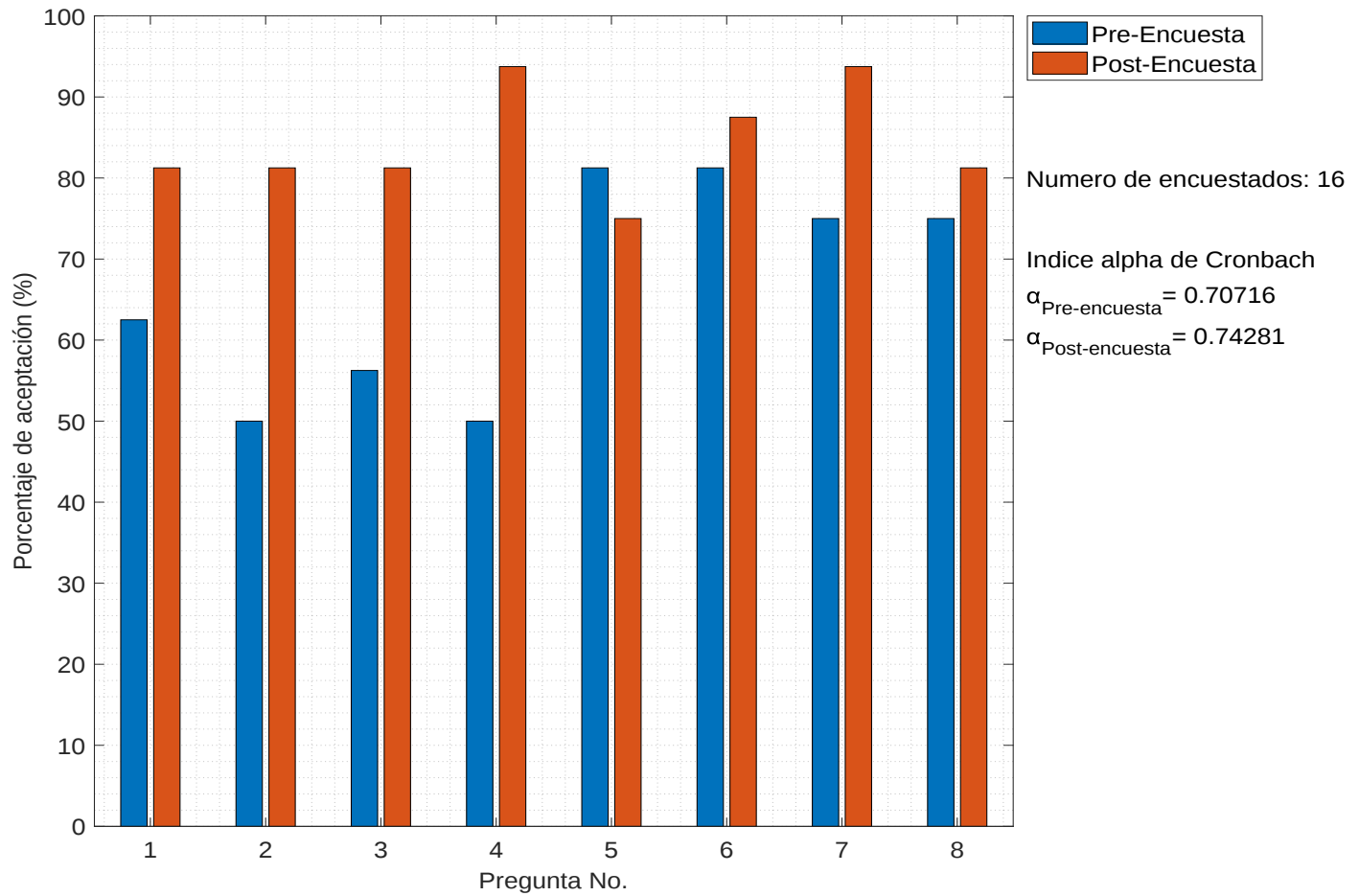


Figura 5.1.: Porcentaje de aprobación de la encuesta del curso de Resistencia de Materiales de Ingeniería Mecánica - Universidad del Valle, 2023.

Los resultados presentados en la Fig. 5.2 indican un aumento general en el índice de aceptación en casi todos los aspectos evaluados. Es particularmente destacable el incremento del 40.9% en la respuesta a la pregunta 2, relacionado con una mejor comprensión de la componente matemática del curso de Resistencia de Materiales gracias al empleo de la herramienta computacional. Asimismo, se observó un aumento del 18.18% en la pregunta 3, lo que sugiere que los estudiantes han desarrollado una comprensión sólida de los fenómenos físicos asociados a la probeta, en comparación con las técnicas pedagógicas tradicionales. También se reflejó un crecimiento del 18.18% en la pregunta 4, donde los estudiantes expresaron que el uso de la herramienta computacional mejora significativamente la claridad de los temas abordados

en clase. La efectividad de la herramienta computacional, al ser comparada con otros laboratorios virtuales en el ámbito de la resistencia de materiales, resalta su valor como recurso educativo, como se evidencia en el porcentaje de aceptación registrado en la pregunta 7 con un porcentaje de 18.18 %. Paralelamente, en la pregunta 8, la percepción sobre la utilidad de la herramienta computacional experimentó un aumento del 5 %, indicando que se percibe como un valioso complemento al material disponible en el curso de Resistencia de Materiales.

La disminución observada en la tasa de aprobación respecto a la pregunta 6 sugiere que, aunque los estudiantes pueden hallar beneficiosas las herramientas computacionales para la comprensión de los conceptos, aún necesitan complementar el contenido del curso incorporando temas adicionales o consultando otras fuentes de información para abarcar la totalidad de la asignatura de Resistencia de Materiales. Las encuestas efectuadas tras la introducción del laboratorio virtual revelaron puntuaciones más altas en contraste con las alcanzadas previo a la incorporación del mismo. Esto subraya la favorable recepción y aprecio de los laboratorios virtuales dentro del contexto del curso.

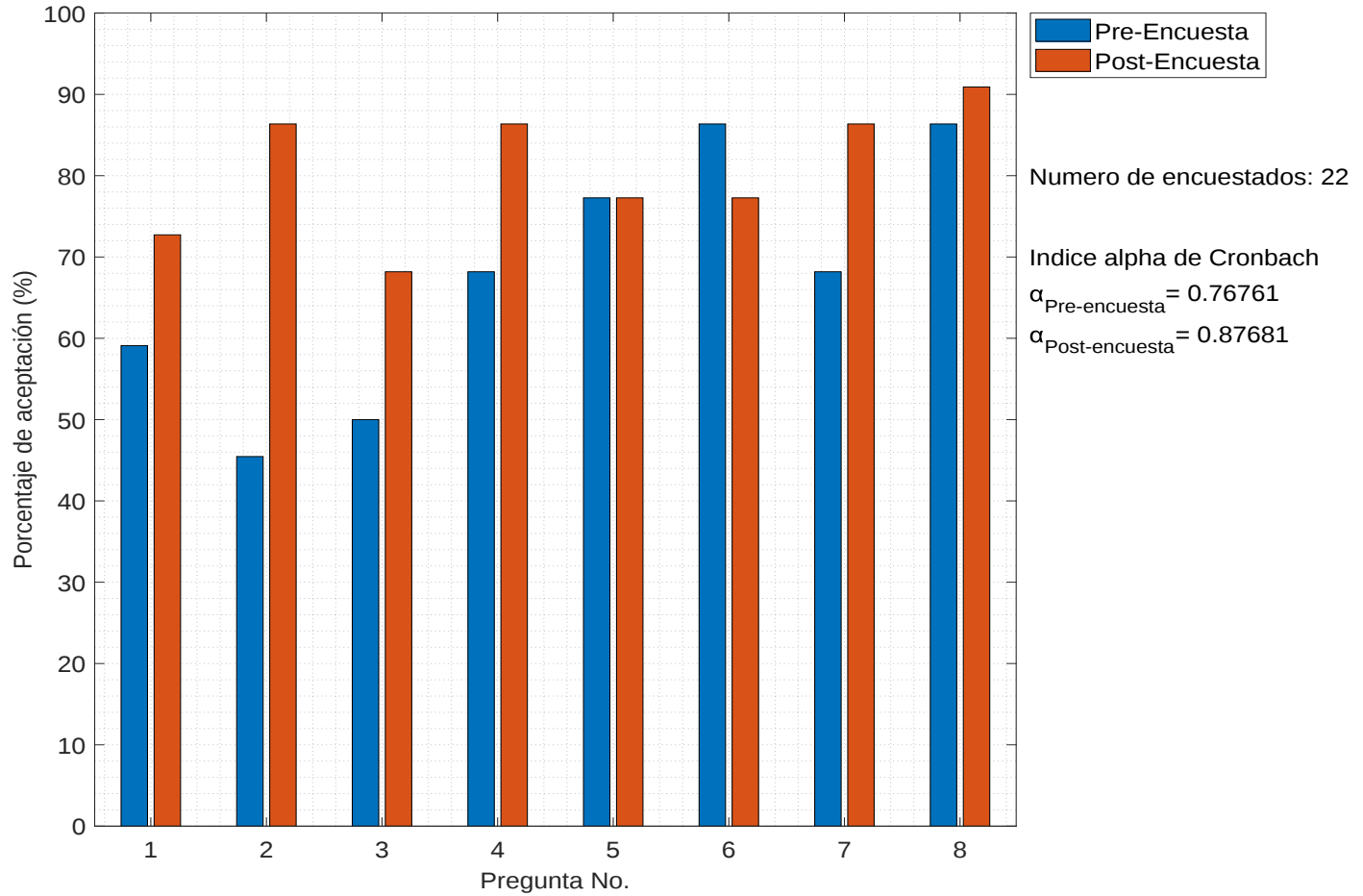


Figura 5.2.: Porcentaje de aprobación de la encuesta del curso de Resistencia de Materiales de Ingeniería Civil - Universidad del Valle, 2023.

Para analizar la fiabilidad de los resultados, se utilizó el índice Alpha de Cronbach, presentado en la Ec. 5.1, este coeficiente es una herramienta reconocida para medir la consistencia interna de pruebas o encuestas, lo que nos permite cuantificar con precisión la confiabilidad de la encuesta (Cronbach, 1951), en donde K es el número de preguntas, S_i es la varianza de cada ítem y S_t es la varianza total de todos los ítems.

$$\alpha = \left[\frac{K}{K-1} \right] \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^k S_i^2}{S_t^2} \right] \quad (5.1)$$

El Índice Alpha de Cronbach produce valores que oscilan entre 0 y 1, reflejando la correlación interna entre las preguntas del cuestionario. Un valor inferior a 0.7 indica una correlación débil entre las ítems (Oviedo y Campo-Arias, 2005). Sin embargo, en las encuestas analizadas, los valores superaron el umbral de 0.7, lo que sugiere una confiabilidad en los resultados obtenidos.

Durante un semestre, se evaluó la percepción del laboratorio virtual. Sin embargo, para obtener una comprensión más profunda del impacto de esta metodología del uso de laboratorios virtuales, es esencial realizar un seguimiento extendido a lo largo de varios años.

5.3 Evaluación por promedio/media de la calificación

Esta evaluación calcula la puntuación promedio obtenida en una pregunta en los diversos estudiantes que la calificaron. Este promedio se obtiene sumando todas las puntuaciones y dividiendo el resultado por el número total de evaluaciones. Es una forma común de resumir el desempeño de manera cuantitativa.

En la Fig. 5.3 y Fig. 5.4, se presenta un gráfico de barras con error, en la cual representa la calificación promedio de cada pregunta, y muestra también la desviación estándar que tienen cada pregunta respecto a las respuestas totales del curso de Resistencia de Materiales de los programas académicos de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Civil, respectivamente. Los resultados en la Fig. 5.3, de la encuesta muestran un aumento en su calificación promedio de la mayoría de las preguntas, se observó que la desviación estándar se mantuvo constante en algunos casos y en otros casos disminuyó su desviación, indicando que la dispersión de las respuestas es similar en ambas encuestas. Hay incremento en la respuesta promedio, acompañado de una reducción significativa en la desviación estándar, en la pregunta 4 que habla sobre el nivel de claridad que tienen los temas del curso dando uso de la herramienta computacional. La mejora sustancial en la respuesta de la pregunta 3 se atribuye a la facilidad con la que los estudiantes pueden observar y comprender físicamente las probetas del ensayo a través del laboratorio virtual. La consistencia en los resultados de la pregunta 5 sugiere la necesidad de realizar ajustes y mejoras tanto en la enseñanza de los conceptos tratados como en su aplicación práctica mediante herramientas computacionales, con el fin de asegurar una conexión clara entre los fundamentos del curso y su aplicación en situaciones reales. Por otro lado, el declive en la respuesta a la pregunta 6 podría deberse a que, aunque el curso abarca una amplia gama de temas, los contenidos

presentados en el laboratorio virtual podrían no ser suficientes para una comprensión completa del curso. Este hecho subraya la preferencia de los estudiantes por el uso del laboratorio virtual para asimilar conceptos, en comparación con la metodología tradicional en clase.

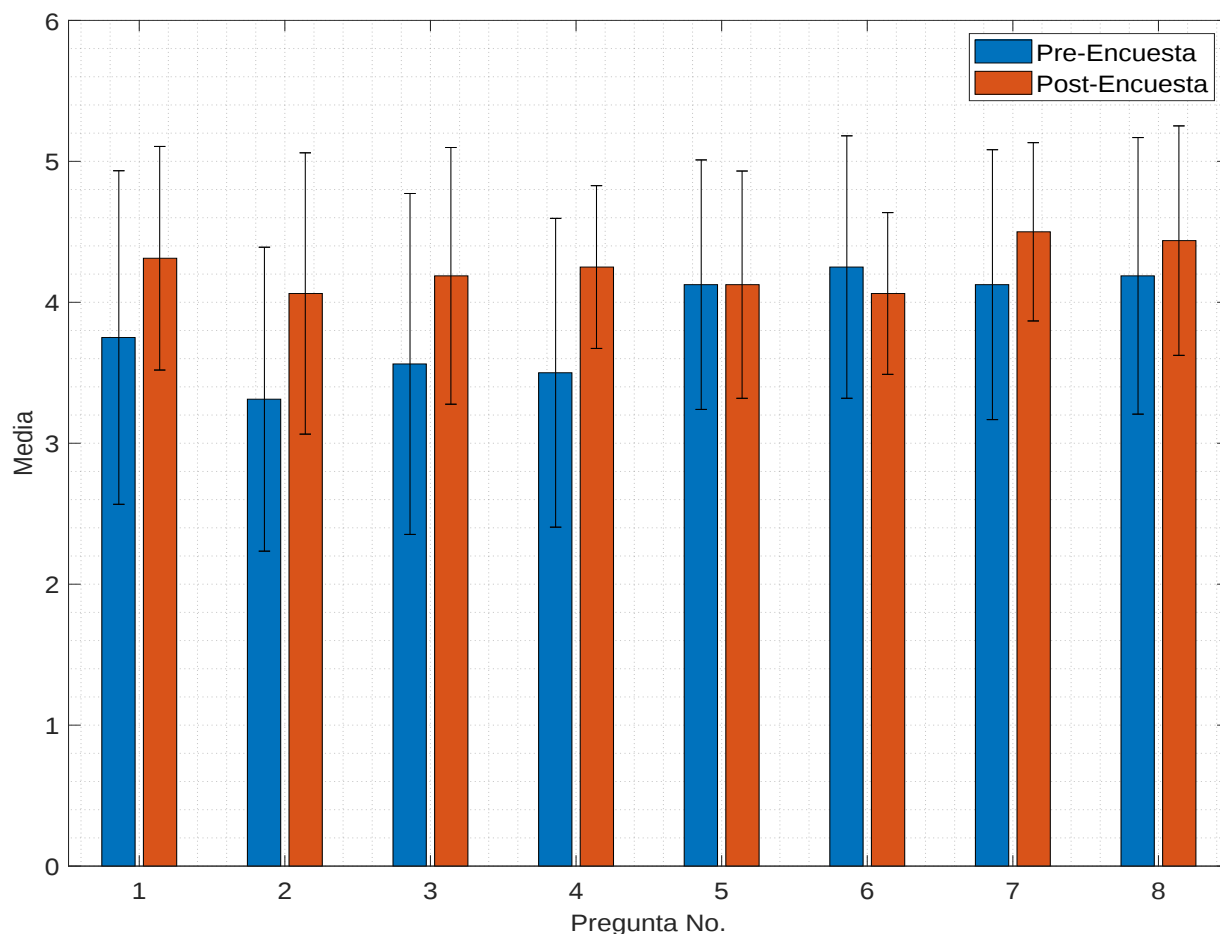


Figura 5.3.: Barras de error de la encuesta del curso de Resistencia de Materiales de Ingeniería Mecánica - Universidad del Valle, 2023.

Los resultados de la encuesta presentados en la Fig. 5.4, se observa que la desviación estándar permaneció constante en algunos casos, mientras que en otros disminuyó, sugiriendo que la variabilidad en las respuestas es comparable en ambas encuestas.

Se observa un aumento en las puntuaciones de las preguntas realizadas después de la implementación del laboratorio virtual en comparación con la encuesta previa al

uso de este recurso. Es importante destacar que se registraron valores similares a los presentados en la Fig. 5.3, sin embargo, el incremento mas notable en la Fig. 5.4 es en la pregunta 2, la cual aborda el nivel de facilidad que los estudiantes experimentan al comprender la parte matemática del curso. Por otro lado, basándonos en la pregunta 6 los estudiantes expresan que, aunque el laboratorio virtual está completo y se percibe como una herramienta valiosa para la comprensión de conceptos y temas, no es suficiente para abordar completamente el contenido disponible en el curso.

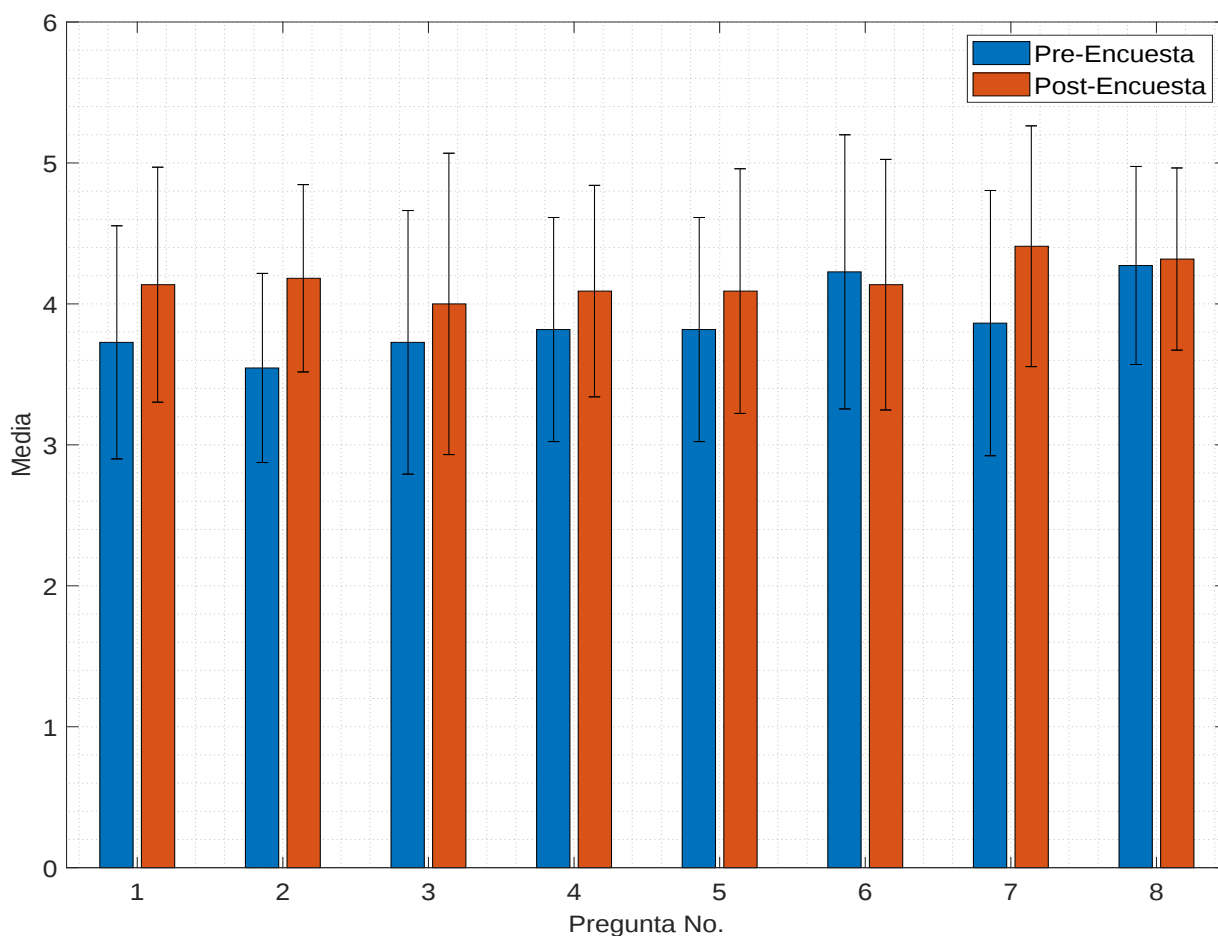


Figura 5.4.: Barras de error de la encuesta del curso de Resistencia de Materiales de Ingeniería Civil - Universidad del Valle, 2023.

El análisis detallado de las gráficas proporciona una conclusión clara y contundente: la interacción con el laboratorio virtual de Resistencia de Materiales ha generado

un impacto positivo y significativo en la percepción de los estudiantes. La disminución observada en la variabilidad de las respuestas después de la experiencia indica una mayor coherencia y uniformidad en las opiniones de los estudiantes. Este hallazgo refuerza de manera considerable la evidencia de una mejora sustancial en la comprensión y satisfacción de los estudiantes con el laboratorio virtual.

La reducción en la dispersión (desviación estándar) de las respuestas sugiere que la experiencia con el laboratorio virtual ha tenido un efecto unificador en las percepciones de los estudiantes, creando una convergencia hacia evaluaciones más consistentes y positivas. Este fenómeno respalda de manera concluyente la eficacia del laboratorio virtual como herramienta pedagógica, indicando que no solo ha generado mejoras individuales, sino que ha contribuido a establecer una percepción homogénea y positiva entre los estudiantes que participaron en la experiencia.

El cambio positivo en la percepción de los estudiantes se puede atribuir de manera significativa a la experiencia práctica con la herramienta virtual de Resistencia de Materiales. La interacción directa y la aplicación práctica de los conceptos mediante esta herramienta ofrecieron a los estudiantes una comprensión profunda de su utilidad, funcionalidad y aplicabilidad en el contexto del curso. Este nivel de involucramiento permitió a los estudiantes no solo familiarizarse con la herramienta, sino también apreciar su potencial para mejorar su comprensión y aplicación de los conceptos clave. Como resultado, la herramienta virtual se percibe no solo como eficaz, sino también como altamente beneficiosa para el proceso de aprendizaje, destacando la importancia de las experiencias prácticas en línea para influir positivamente en la percepción de los estudiantes hacia las herramientas educativas virtuales.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Se desarrolló cuatro ambientes digitales de Resistencia de Materiales para replicar los ensayos de tracción, compresión, flexión y torsión. Cada uno de estos ambientes cuenta con una interfaz amigable que incluye gráficas, listas desplegables, botones y modelos tridimensionales detallados. Estos recursos están disponibles de forma gratuita en un repositorio de GitHub, lo que permite a los estudiantes aprender sin restricciones geográficas. Además, los ambientes contienen un manual de usuario del ensayo y un laboratorio-taller correspondiente a cada módulo, facilitando la práctica y aplicación de los conocimientos adquiridos en el entorno virtual.
- Se implementó la herramienta virtual en dos cursos de Resistencia de Materiales en la Universidad del Valle durante el año 2023. Se realizaron dos encuestas, una previa y otra posterior al uso de la herramienta, revelando mejoras significativas en la mayoría de los aspectos evaluados en ambas instancias.
- Se evaluó el impacto de los laboratorios virtuales en el proceso enseñanza-aprendizaje de la Resistencia de Materiales. La evaluación se realizó en términos de claridad, aprobación, funcionalidad y utilidad a través de encuestas. En total se encuestaron 38 estudiantes. Los resultados de la evaluación en términos de claridad demostraron que más del 85 % de los estudiantes encuestados comprenden la relación entre los principios teóricos y la herramienta virtual, lo cual demuestra su alta efectividad y beneficio para los estudiantes de ingeniería. Los resultados de la evaluación de aprobación indicaron que más del 85 % de los encuestados expresaron tener un nivel de aceptación considerable hacia la herramienta computacional, lo que sugiere que la integración de recursos virtuales, como el desarrollado en la presente investigación, no solo enriquece el aprendizaje, sino que también contribuye significativamente al nivel general de satisfacción de los estudiantes con su experiencia educativa. Además, los resultados de funcionalidad del entorno virtual demostraron que más del 80 % de los

estudiantes encuentran que dicho entorno es altamente funcional, gracias a beneficios como la posibilidad de repetir ensayos y la eliminación de restricciones de tiempo y espacio presentes en los laboratorios físicos. Por último, los resultados de la evaluación de la utilidad del ambiente virtual mostraron que más del 80 % de los estudiantes encuestados encuentran útil la herramienta debido a su fácil manejo y al uso que pueden hacer de ella en el laboratorio virtual. Este porcentaje de satisfacción evidencia que la interactividad del sistema no solo mantiene el interés de los estudiantes, sino que también promueve una participación más activa en el proceso de aprendizaje.

En general, esta investigación demostró que la enseñanza de la Resistencia de Materiales de forma virtual a través de un ambiente web interactivo es una estrategia efectiva y prometedora. La combinación de una interfaz gráfica intuitiva, elementos 3D realistas y funcionalidades interactivas ha proporcionado una experiencia de aprendizaje enriquecedora y práctica para los estudiantes, mejorando así el proceso de enseñanza y promoviendo un mayor compromiso y comprensión de los conceptos estudiados. Estos resultados sugieren que las herramientas virtuales pueden desempeñar un papel clave en la educación del futuro, enriqueciendo la experiencia de los estudiantes y brindando nuevas oportunidades para la enseñanza en el ámbito de la ingeniería.

Recomendaciones

- Se recomienda realizar evaluaciones periódicas del laboratorio virtual de Resistencia de Materiales para identificar áreas de mejora y garantizar su efectividad en la enseñanza. La recopilación de las observaciones de los estudiantes es fundamental, ya que ofrece la retroalimentación para la mejora continua de la herramienta.
- Se recomienda extender el alcance de la investigación hacia el desarrollo de nuevos módulos que aborden otros temas relevantes en Resistencia de Materiales y considerar la posibilidad de aplicar estos avances a otras asignaturas de la ingeniería que también hagan uso de laboratorios físicos.

7. ANEXOS

7.1 Enlaces de acceso al laboratorio virtual de resistencia de materiales

- Laboratorio virtual de tracción: <https://reidermunoz.github.io/lab-tension.github.io/indexrelojvariosensayos.html>
- Laboratorio virtual de compresión: https://reidermunoz.github.io/lab-tension.github.io/indexrelojvariosensayos_compresion_madera_blanco.html
- Laboratorio virtual de flexión: https://reidermunoz.github.io/lab-tension.github.io/indexrelojvariosensayos_flexionanimacion.html
- laboratorio virtual de torsión: https://reidermunoz.github.io/lab-tension.github.io/index_torsion_Blanco.html

7.2 Enlaces de acceso al manual de usuario

- Manual de ensayos a carga uniaxial y flexión: https://reidermunoz.github.io/lab-tension.github.io/Manual_carga_uniaxial_Flexion__DEF.pdf
- Manual de laboratorio de torsión: https://reidermunoz.github.io/lab-tension.github.io/Manual_de_Torsion__DEF.pdf

7.3 Enlaces de acceso al laboratorio-taller

- Laboratorio-taller tracción: https://reidermunoz.github.io/lab-tension.github.io/Lab_1__Resistencia_de_materiales.pdf
- Laboratorio-taller compresión: [https://reidermunoz.github.io/lab-tension.github.io/Laboratorio_de_Resistencia_de_Materiales__Compresi%C3%B3n____DEF%20\(1\).pdf](https://reidermunoz.github.io/lab-tension.github.io/Laboratorio_de_Resistencia_de_Materiales__Compresi%C3%B3n____DEF%20(1).pdf)
- Laboratorio-taller flexión: https://reidermunoz.github.io/lab-tension.github.io/Laboratorio_de_Resistencia_de_Materiales__Flexi%C3%B3n____DEF.pdf

- Laboratorio-taller torsión: https://reidermunoz.github.io/lab-tension.github.io/Laboratorio_de_Resistencia_de_Materiales__torsion___DEF.pdf

Bibliografía

- Ahn, B., y Bir, D. D. (2018). Student interactions with online videos in a large hybrid mechanics of materials course. *Advances in Engineering Education*, 6(3), n3.
- Astigarraga, J., y Cruz-Alonso, V. (2022). ¿se puede entender cómo funcionan git y github! *Ecosistemas*, 31(1), 2332–2332.
- Aubry, C. (2014). *Html5 y css3: para sitios con diseño web responsive*. Ediciones ENI.
- Bhargava, P., Antonakakis, J., Cunningham, C., y Zehnder, A. T. (2006). Web-based virtual torsion laboratory. *Computer Applications in Engineering Education*, 14(1), 1–8.
- Bowie, L. M. W., Canabal, K. P., Ruiz, M. C., Julián, J., Sarmiento, S., y Campo, R. (2018, 9). *Tracción de probetas metálicas traction of metal test tubes*. Descargado de <http://ylang-ylang.uninorte.edu.co:8080/objetos/Ingenieria/EnsayoDeTension/ensayo2.html>
- Brizuela Valenzuela, D. (2021). *Influencia de la rigidez de la fibra en el comportamiento estructural de elementos de hormigón armado reforzados con frp* (Tesis Doctoral no publicada). Edificacion.
- Carrera Balsells, P., Ferrero Beato, I., y Calafí, J. (2018). Incorporació de dades 3d en visors web: desenvolupament d'una app corporativa per al consorci del besòs.
- Chart.js. (2023, 8). Descargado de <https://www.chartjs.org/docs/latest/>
- Chiodi, G. A., Soutadet, A. J., y Bosio, M. A. (2021). Virtual laboratory and mobile devices as a support tool for the teaching-learning processes of physics in pandemic times. *International Journal of Recent Contributions from Engineering, Science & IT (IJES)*, 9(3), 76.
- Chopra, I. (2002). Review of state of art of smart structures and integrated systems. *AIAA journal*, 40(11), 2145–2187.

- Chou, J.-S., Tsai, C.-F., Pham, A.-D., y Lu, Y.-H. (2014). Machine learning in concrete strength simulations: Multi-nation data analytics. *Construction and Building materials*, 73, 771–780.
- Cóndor Luna, A. B., y Quispe Ramírez, Y. L. (2021). Diseño de una máquina de ensayos a tracción standard bajo la norma astm e8 para la facultad de ingeniería de la universidad continental.
- Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *psychometrika*, 16(3), 297–334.
- Da Rocha, H. (2019). *Learn chart. js: Create interactive visualizations for the web with chart. js 2*. Packt Publishing Ltd.
- El Kharki, K., Berrada, K., y Burgos, D. (2021). Design and implementation of a virtual laboratory for physics subjects in moroccan universities. *Sustainability*, 13(7), 3711.
- Escamilla, J. G. (2013). Avances en la enseñanza a distancia de la ingeniería. *Revista de Ingeniería*(39), 67–72.
- Esteban Díaz, A. (2016). Desarrollo de un portal para una forja de proyectos de código abierto basado en el generador de sitios webs estáticos de jekyll.
- García Ramírez, Y. (2019). It is not enough to flip your classroom. a case study in the course of pavements in civil engineering. *Ingeniería e Investigación*, 39(3), 62–69.
- Gere, J. M., y Goodno, B. J. (2013). *Mecánica de materiales* (Octava ed.). Cengage Learning.
- Grodotski, J., Ortelt, T. R., y Tekkaya, A. E. (2018). Remote and virtual labs for engineering education 4.0: achievements of the elli project at the tu dortmund university. *Procedia manufacturing*, 26, 1349–1360.
- Guerrero M, L. F., Gómez P, D., Sandoval V, E., Thomson, P., Marulanda Casas, J., y cols. (2014). Sismilab, un laboratorio virtual de ingeniería sísmica, y su impacto en la educación.
- Guillén, X. V., y Moldes, L. N. (2019). *Arquitectura de aplicaciones web*.

- Hao, C., Zheng, A., Wang, Y., y Jiang, B. (2021). Experiment information system based on an online virtual laboratory. *Future Internet*, 13(2), 27.
- Hu, L. (2022). Desarrollo de una herramienta web para el diseño y realización de evaluaciones de experiencia de usuario tipo ueq.
- Información general del acero – mipsa. (2023). Descargado de <https://www.mipsa.com.mx/sabias-que/informacion-general-del-acero/>
- Kapilan, N., Vidhya, P., y Gao, X.-Z. (2021). Virtual laboratory: A boon to the mechanical engineering education during covid-19 pandemic. *Higher Education for the Future*, 8(1), 31–46.
- Ko, O. (2022). Analyzing relationships with machine learning.
- Krause, J., y Krause, J. (2016). Introduction to bootstrap. *Introducing Bootstrap 4*, 23–32.
- Lalley, J. P., Piotrowski, P. S., Battaglia, B., Brophy, K., y Chugh, K. (2010). A comparison of v-frog [c] to physical frog dissection. *International Journal of Environmental and Science Education*, 5(2), 189–200.
- Larbaoui, Y., Naddami, A., y Fahli, A. (2020). Adapting hands-on laboratory’s materials and embedded systems from local use to remote experimenting through internet. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 5(7), 518–528.
- Largo Rodríguez, S. J. (2023). Desarrollo de un prototipo de sistema de información para la gestión de laboratorio clínico.
- Latif, M. A. M., Hafidzuddin, M. E. H., Top, M. M., Tah, M., y Arifin, N. M. (2020). Asperlabs: Open source virtual laboratories for stem education. *International Journal of Modern Education*, 2(5), 29–37.
- Lei, Z., Zhou, H., Hu, W., y Liu, G.-P. (2022). Toward an international platform: A web-based multi-language system for remote and virtual laboratories using react framework. *Heliyon*, 8(10), e10780.
- Li, N., y Zhang, B. (2019). The design and implementation of responsive web page based on html5 and css3. En *2019 international conference on machine learning, big data and business intelligence (mlbdbi)* (pp. 373–376).

- Lorandi Medina, A. P., Hermita Saba, G., Silva, J. H., de Guevara Durán, E. L., y cols. (2011). Los laboratorios virtuales y laboratorios remotos en la enseñanza de la ingeniería. *Rev. Educación en Ing*, 4, 24–31.
- Luengas, L. A., Guevara, J. C., y Sánchez, G. (2009). ¿cómo desarrollar un laboratorio virtual? metodología de diseño. , 5, 165-170.
- Luna del Águila, F. (1999). Implementación del protocolo http paralelizado en cliente y servidor.
- Magana, A., Ortega-Alvarez, J., Lovan, R., Gomez, D., Marulanda, J., y Dyke, S. (2017). Virtual, local and remote laboratories for conceptual understanding of dynamic systems. *International Journal of Engineering Education*, 33(1).
- Maggiolo Ruiz, S. A., y cols. (2022). Desarrollo de herramientas de visualización de datos basadas en three.js.
- Martinez Valle, J., y Martinez Jimenez, P. (2019). A refined virtual web laboratory for the study of uniform torsion in thin beams. *Transylvanian Review*, 27(36).
- Matthews, J. N. (2012). Computer games take their place in the science classroom. *Physics Today*, 65(4), 27.
- Moreno, J. A. S., Scarpetta, J. M. R., y De Oro, A. L. V. (2008). Desarrollo tecnológico de los laboratorios remotos de estructuras e ingeniería sísmica y dinámica estructural. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 18(2), 77–99.
- Mott, R. L., Salas, R. N., Flores, M. A. R., y Martínez, E. B. (2009). *Resistencia de materiales* (Vol. 5). Pearson Educación.
- Murugan, S. S. (2020). Mechanical properties of materials: definition, testing and application. *International Journal of Modern Studies in Mechanical Engineering (IJMSME)*, 6(2), 28–38.
- Nájera, J. M., y Estrada, V. H. M. (2007). Ventajas y desventajas de usar laboratorios virtuales en educación a distancia: la opinión del estudiantado en un proyecto de seis años de duración. *Revista Educación*, 31(1), 91–108.
- Ortega, D. J. O., Asesor, O., y Pérez, M. A. B. (2019). Bootstrap y laravel, herramientas para el desarrollo de aplicaciones web. *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE SINALOA, Mexico*.

- Ortiz Fajardo, J. C. (2022). Software estadístico de la actividad contractual de las dependencias del sector central del departamento de cundinamarca para la gobernanación de cundinamarca.
- Ovallos-Ovallos, J. A., Rico-Bautista, D., y Medina-Cárdenas, Y. (2020). Guía práctica para el análisis de vulnerabilidades de un entorno cliente-servidor gnu/linux mediante una metodología de pentesting. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*(E29), 335–350.
- Oviedo, H. C., y Campo-Arias, A. (2005). Aproximación al uso del coeficiente alfa de cronbach. *Revista colombiana de psiquiatría*, 34(4), 572–580.
- Oviedo Chavez, C. D. (2021). Desarrollo de sitio web para la trazabilidad de actividades en campo, y el almacenamiento de información relevante del proyecto wipen en la empresa línea comunicaciones sas.
- Palomar-Vázquez, J., y Viñals, M. J. (2016). Exploración de las posibilidades de la librería three.js en proyectos de difusión del patrimonio cultural. *Virtual Archaeology Review*, 7(15), 112–122.
- Parpette, C. (2023). A web tool for visualization of routing problems.
- Pillajo Huaraca, N. C., y Suárez Suárez, F. S. (2018). *Repotenciación del sistema de adquisición de datos de la máquina de torsión del laboratorio de resistencia de materiales de la facultad de mecánica*. (B.S. thesis). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Prescott, P. (2015). *Html 5*. Babelcube Inc.
- Pueyo Melchor, L. (2021). *Valoración de un prototipo de laboratorio virtual de resistencia de materiales* (B.S. thesis). Universitat Politècnica de Catalunya.
- Puig, J. C. (2013). *Css3 y javascript avanzado*. *Diponible en <https://openlibra.com/es/book/download/css3-y-javascript-avanzado>*.
- Rais-Rohani, M., y Brown, D. T. (2000). Development of virtual laboratory for the study of mechanics. En *2000 annual conference* (pp. 5–231).
- Ram, K. (2013). Git can facilitate greater reproducibility and increased transparency in science. *Source code for biology and medicine*, 8(1), 1–8.

- Ramírez, C. E. G., Robles, R. O., y Celis, B. A. (2020). Desarrollo de aplicaciones web utilizando javascript. *Mazatlán, Sinaloa: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE SINALOA*.
- Ribas, C. (2018, 5). *Estructuras ii (de acero y madera) - ensayo con probetas libres de defectos de madera de pino*. Ingenia-ConStruct: Canal de Ingeniería UIB.
- Riccardi Sabatier, Y., Vega Almeida, R. L., y Miyares Díaz, E. (2018). Aplicación del responsive web design en la creación e implementación del sitio web del centro de histoterapia placentaria. *Revista Cubana de Informática Médica*, 10(1), 16–27.
- Rodríguez Santibáñez, I. (2014). Interpretación de normas internacionales de distintos ordenamientos bajo el acuerdo de obstáculos técnicos al comercio de la omc. *Boletín mexicano de derecho comparado*, 47(140), 617–648.
- Ruiz Yépez, J. P. (2019). Diseño y desarrollo de un sitio web e-commerce para la distribución y comercialización de piezas gráficas tridimensionales producidas en blender®.
- Sheetjs ce. (2023). Descargado de <https://docs.sheetjs.com/docs/>
- Sierra, C. A. S., y Barrios, R. L. A. (2013). Las prácticas de laboratorio en las ciencias ambientales. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*(40), 191–203.
- Silva, E. (2020, 11). *Laboratorio mecánica de materiales*.
- Soni, L., Kaur, A., y Sharma, A. (2023). A review on different versions and interfaces of blender software. En *2023 7th international conference on trends in electronics and informatics (icoei)* (pp. 882–887).
- Standard test method for torsion testing of wire astm a938. (2018, 9). *ASTM INTERNATIONAL*, 01.03. Descargado de www.astm.org, doi: 10.1520/A0938-18
- Standard test methods for small clear specimens of timber astm d143. (2022, 5). *ASTM INTERNATIONAL*, 04.10. Descargado de www.astm.org, doi: 10.1520/D0143-22
- Standard test methods for tension testing of metallic materials astm e8/e8m. (2022, 7). *ASTM INTERNATIONAL*, 03.01. Descargado de www.astm.org, doi: 10.1520/E0008_E0008M-22

SUNSPIRE. (s.f.). *Strength of materials*. Descargado de <https://sunspire.site/software-products/strength-of-materials/>

Sweetalert2.js. (2023). Descargado de <https://sweetalert2.github.io/>

Tippy.js. (2023). Descargado de <https://atomiks.github.io/tippyjs/>

Torres, F., Candelas-Herías, F. A., Puente Méndez, S. T., Ortiz Zamora, F. G., Pomares, J., y Gil, P. (2002). Laboratorio virtual remoto para la enseñanza de robótica.

Vargas, J., Cuero, J., y Torres, C. (2020). Laboratorios remotos e iot una oportunidad para la formación en ciencias e ingeniería en tiempos del covid-19: Caso de estudio en ingeniería de control. *Espacios*, 41(42), 188–198.

Zamora Musa, R. (2010). Laboratorios remotos: Análisis; características y su desarrollo como alternativa a la práctica en la facultad de ingeniería. *INGE CUC*.