

Propuesta de prácticas experimentales para el tema de flexión y deflexión de vigas de la asignatura Mecánica de sólidos.

Nicolás Rivera Vásquez y Nolfon David Peralta Cera

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Civil

Director

José Miguel Benjumea Royero

Ph.D. en Ingeniería Civil y Ambiental

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2024

### **Dedicatoria**

Le dedico este trabajo de grado a mis padres, quienes siempre estuvieron brindándome apoyo incondicional tanto económico como emocional, a mis hermanos que siempre estuvieron presentes cuando les necesité.

A mis profesores, quienes me guiaron durante todo este proceso y finalmente a mis compañeros, por el apoyo y la amistad en los mejores y peores momentos.

**Nicolás Rivera Vásquez**

Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a Dios por darme la fortaleza y sabiduría necesarias para llevar a cabo este proyecto, que representa una etapa crucial en mi vida académica y profesional.

A mis padres. Bladimir Rafael Peralta Vega y Ledis María Cera Bermúdez gracias por su amor incondicional, su apoyo emocional y financiero, y por estar siempre a mi lado. Su confianza en mí ha sido el motor que impulsado a seguir adelante.

**Nolfon David Peralta Cera**

### **Agradecimientos**

Nuestros agradecimientos van primeramente al profesor José Miguel Benjumea Royero, nuestro director de proyecto, por su guía, paciencia y dedicación. Sus valiosos consejos, el brindarnos las herramientas necesarias y su incansable apoyo fueron esenciales para la realización de este trabajo.

Estamos agradecidos con la Escuela de Ingeniería Civil y con sus docentes por aportar sus conocimientos y guiarnos durante todo este arduo proceso, consiguiendo que pudiésemos estar en estas instancias.

Finalmente, agradecemos a la Universidad Industrial de Santander por toda su contribución a nuestro crecimiento profesional y persona.

**Tabla de Contenido**

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	10
1. Antecedentes .....	12
1.1 Asignatura Mecánica de Sólidos en la EIC-UIS .....	12
1.2 Experiencias de aprendizaje implementando prácticas experimentales .....	13
2. Objetivos .....	16
2.1 Objetivo General .....	16
2.2 Objetivos Específicos .....	16
3. Selección de las prácticas de laboratorio .....	17
4. Elaboración de las guías de laboratorio .....	22
4.1 Guía 1 - Principio de superposición .....	22
4.2 Guía 2 - Flexión pura .....	23
4.3 Guía 3 - Deflexión de una viga continua .....	24
4.4 Digitalización de las guías de laboratorio .....	25
5. Implementación de las prácticas experimentales en el aula virtual de aprendizaje .....	26
5.1 Adecuación del aula virtual de aprendizaje .....	26
5.2 Recursos audiovisuales .....	27
5.3 Resultados del montaje en el AVA .....	28
6. Conclusiones .....	32
7. Recomendaciones .....	32
Referencias Bibliográficas .....	34

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1 Curso de Mecánica de sólidos del programa de Ingeniería Civil UIS .....	13
Tabla 2 Prácticas del laboratorio sugeridas por el manual del equipo HST11 .....	17
Tabla 3 Rúbrica sugerida para evaluación del laboratorio.....	30

**Lista de Figuras**

	<b>Pág.</b>
Figura 1 Resultados de la encuesta de estudiantes de mecánica de sólidos del período 2023-2 ..	11
Figura 2 Equipo HST11 empleado para la ejecución del laboratorio .....	18
Figura 3 Dispositivo electrónico HDA200 .....	19
Figura 4 Dispositivo HDA200 sin carga (izquierda) y con carga (derecha).....	19
Figura 5 Evidencia de contacto con la empresa ICL Didáctica .....	20
Figura 6 Montaje completo de la guía – Principio de superposición.....	23
Figura 7 Montaje de la guía – Flexión pura .....	24
Figura 8 Montaje experimental de la guía – Deflexiones de una viga continua.....	25
Figura 9 Ruta de acceso al módulo de las prácticas experimentales .....	27
Figura 10 Presentación de la primera práctica en el AVA.....	28
Figura 11 Presentación de la segunda práctica en el AVA.....	29
Figura 12 Presentación de la tercera práctica en el AVA .....	29

### **Lista de Apéndices**

“Los apéndices están adjuntos y puede visualizarlos en la base de datos de la biblioteca UIS”

Apéndice A. Carga P máxima a emplear en la práctica de superposición.

Apéndice B. Documento guía de la práctica #1 – Principio de superposición.

Apéndice C. Documento guía de la práctica #2 – Flexión pura.

Apéndice D. Documento guía de la práctica #3 – Deflexiones de una viga continua.

Apéndice E. Video ejemplo del montaje de una de las prácticas.

Apéndice F. Guía audiovisual de la práctica #1.

Apéndice G. Guía audiovisual de la práctica #2.

Apéndice H. Guía audiovisual de la práctica #3.

Apéndice I. Modelo en ZAP2000 de la carga P máxima.

## Resumen

**Título:** Propuesta de prácticas experimentales para el tema de flexión y deflexión de vigas de la asignatura Mecánica de sólidos. \*

**Autor:** Nicolás Rivera Vásquez, Nolfon David Peralta Cera. \*\*

**Palabras Clave:** Deflexiones, Aula virtual, Mecánica de sólidos, Laboratorio.

**Descripción:** Los procesos de aprendizaje de los estudiantes de nuevo ingreso al programa de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander (UIS) requieren de la introducción de materiales pedagógicos apoyados en tecnologías de la información y la comunicación (TIC). Aquí es donde se busca desarrollar una práctica que pueda integrar la parte teórica con un componente didáctico y presencial. Es por ello que este trabajo se enfocó en generar material para el curso de Mecánica de sólidos, el cual se basa en un laboratorio de modelación de vigas con condiciones de carga y apoyos que busca medir principalmente deflexiones. El material se integró en el aula virtual de aprendizaje (AVA) acompañado de recursos necesarios para realizar una ejecución exitosa del mismo. En el material del AVA se incluyen guías audiovisuales y escritas brindando una ruta de trabajo sencilla y práctica, teniendo en cuenta que el producto final en el aula virtual puede ser actualizado por el docente del curso a su conveniencia. El trabajo desarrollado amplía el material pedagógico a disposición de los docentes del curso de Mecánica de sólidos, ofreciendo al estudiante un ambiente de aprendizaje más interactivo y amigable que busca adaptarse a las necesidades de los estudiantes del curso.

---

\* Práctica en docencia

\*\* Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: José Miguel Benjumea Royero. Ph.D. en Ingeniería Civil y Medioambiental.

### Abstract

**Title:** Proposal of experimental practices for the topic of bending and deflection of beams in the Solid mechanic's course.\*

**Author(s):** Nicolás Rivera Vásquez, Nolfon David Peralta Cera.\*\*

**Key Words:** Deflections, Virtual Classroom, Solid Mechanics, Laboratory.

**Description:** The learning processes of the new students of the Civil Engineering program at the Universidad Industrial de Santander (UIS) require the introduction of pedagogical materials supported by information and communication technologies (ICT). This is where we seek to develop a practice that can integrate the theoretical part with a didactic and presential component. That is why this work focused on generating material for the Mechanics of Solids course, which is based on a beam modeling laboratory with load and support conditions where the main objective is to measure deflections. The material was integrated into the virtual learning classroom (VLA) along with the necessary resources for a successful execution of the course. The classroom material includes audiovisual and written guides providing a simple and practical work route, taking into consideration that the final product in the virtual classroom can be updated by the teacher of the course at his convenience. The work developed expands the pedagogical material available to the teachers of the Mechanics of Solids course, offering the student a more interactive and friendly learning environment that seeks to adapt to the needs of the students of the course.

---

\* Teaching practice

\*\* Faculty of Physical and Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director: José Miguel Benjumea Royero. Ph.D. in Civil and Environmental Engineering.

## Introducción

Actualmente la asignatura de Mecánica de Sólidos impartida en la Escuela de Ingeniería Civil (EIC) de la Universidad Industrial de Santander (UIS) no cuenta con prácticas de laboratorio, por lo que esta asignatura es teórica. El trabajo experimental en las ingenierías ha sido reconocido como una habilidad esencial a desarrollar en los estudiantes de ingeniería ya que mejora el trabajo de manera colaborativa. Sin embargo, la implementación de laboratorios suele ser costosa debido a los recursos necesarios para la adquisición de equipos e instrumentos de medición y el espacio que se necesita para ejecutarlos correctamente.

A lo largo de los años, se han desarrollado investigaciones (López Rua, 2012) (Espinosa-Ríos, 2016) que han confirmado que las actividades de laboratorio juegan un papel central en los procesos de enseñanza y aprendizaje, brindando a los estudiantes la oportunidad de experimentar y aplicar conceptos teóricos en la práctica.

En el marco de la Ingeniería Civil, tanto en el proceso de formación como en el ejercicio de la profesión, el laboratorio es una herramienta indispensable que permite visualizar el cómo se pueden comportar los materiales y las estructuras simulando casos de la vida cotidiana, lo que permite identificar riesgos y en base a ello tomar decisiones (Guerrero Ugalde, 2009). El laboratorio es fundamental ya que confiere validez a lo que está escrito, otorga pruebas y consolida el conocimiento (López, 2015).

El aprendizaje a través del desarrollo de actividades experimentales fomenta una comprensión más profunda que lo que se logra mediante actividades completamente teóricas; además, mejora la capacidad de resolución de problemas y aumenta el interés. El aprendizaje experimental consta de cuatro etapas: experiencia concreta, observación reflexiva, conceptualización abstracta y experimentación activa, logrando un aprendizaje eficaz una vez se

transcurren por todas las etapas (Kolb, 2015). Un ejemplo de lo anterior fue el laboratorio virtual para el área de geotecnia, en el cual se consolida una muestra de suelo sometidas a pruebas de drenaje con varias relaciones de sobreconsolidación (OCR), describiendo el efecto del OCR sobre la carga última, la deformación axial y el exceso de presión de agua de poros, variando algunos parámetros como el módulo de corte (Wyatt et al., 1999). Al final de la prueba, los estudiantes mostraron un progreso en la comprensión los temas cubiertos en el laboratorio, evidenciado mediante las respuestas escritas que presentaron los estudiantes correspondientes al comportamiento esperado del material descrito en el artículo.

Una encuesta reciente realizada entre el 17 y el 27 de octubre del 2023 a los estudiantes de mecánica de sólidos de la UIS del período académico 2023-2 mostró que, a pesar de que más del 70% de los estudiantes del curso estaban cursando la asignatura de mecánica de sólidos por primera vez, todos estaban de acuerdo en que el desarrollo de prácticas experimentales ayudaría con la asimilación de conceptos teóricos (Figura 1).

### Figura 1

*Resultados de la encuesta de estudiantes de mecánica de sólidos del período 2023-2*



El propósito del docente es lograr que los estudiantes, empleando diferentes estilos de aprendizaje, aprendan, comprendan, apliquen e integren el conocimiento del curso; esto es posible si se implementan metodologías y estrategias pedagógicas apropiadas (De Jesús Domínguez

Rodríguez et al., 2015). Por lo tanto, en este proyecto se busca complementar y mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje mediante el uso de prácticas experimentales en los temas de flexión y deflexión en vigas en el curso de mecánica de sólidos de la EIC-UIS. Para esto se propondrán prácticas de laboratorio que estarán acompañadas de una ruta de trabajo detallada para su correcta ejecución por parte de los estudiantes.

Este trabajo de grado se encuentra distribuido de la siguiente manera: la primera sección presenta información de la asignatura de mecánica de sólidos, antecedentes y experiencias de aprendizaje implementando prácticas experimentales mencionando algunas ventajas de la implementación de estas. La segunda sección abarca el objetivo general del proyecto junto con los objetivos específicos. La tercera sección se enfatizó en la selección de las prácticas, que aspectos se tomaron en cuenta para seleccionarlas, que inconvenientes se presentaron y como se afrontaron. En la cuarta sección se brinda información sobre la elaboración de las guías tanto escritas como audiovisuales, que temas abarca cada una y el procedimiento. En la quinta sección se describió el proceso de adecuar el aula virtual de aprendizaje, acompañado de una rúbrica de evaluación. Finalmente, en la sexta y séptima sección, se reflejan las conclusiones y recomendaciones que resultaron de ejecutar este proyecto de grado.

## **1. Antecedentes**

### **1.1 Asignatura Mecánica de Sólidos en la EIC-UIS**

Este trabajo de grado fue diseñado para realizar experimentos utilizando el equipo HST11 enfocado en el tema de flexión y deflexión en vigas hiperestáticas e isostáticas, desarrollándose dentro del tema de flexión y deflexión en vigas del contenido de la asignatura de mecánica de sólidos de la Tabla 1 (Benjumea et al., 2023).

**Tabla 1**

*Curso de Mecánica de sólidos del programa de Ingeniería Civil UIS. Tomado de (Benjumea et al., 2023).*

Créditos: 4		Requisitos: Cálculo 3 y Estática	
Intensidad Horaria		Hora de consulta	
Teóricas: 4	Prácticas: 0	2 por semana	
Horas de estudio independiente: 8 por semana			
Contenido			
1. Introducción y conceptos fundamentales	Repaso de conceptos de estática. Conceptos de fuerzas internas y externas y esfuerzos. Valor promedio del esfuerzo normal y cortante. Esfuerzo biaxial.		
2. Propiedades de los materiales	Ensayos de materiales. Diagramas de Esfuerzo-Deformación. Ley de Hooke. Comportamiento elástico y plástico. Energía de deformación. Módulo de elasticidad, módulo de rigidez, y módulo de Poisson y su relación. Ley de Hooke para estado general de esfuerzo.		
3. Elementos cargados axialmente	Principio de Saint-Venant. Deformación en elementos cargados axialmente. Relaciones geométricas entre las deformaciones y desplazamientos en estructuras formadas por barras cargadas axialmente. Estructuras isostáticas e hiperestáticas y componentes formados por barras articuladas. Sistemas hiperestáticos bajo carga axial y cambios de temperatura.		
4. Torsión	Hipótesis básicas. Elementos de sección circular. Esfuerzos generados por torsión. Deformaciones torsionales: Ángulo de torsión. Esfuerzos y deformaciones en el rango elástico. Elementos hiperestáticos bajo torsión. Torsión en elementos no circulares. Torsión en elementos de secciones abiertas y cerradas de paredes delgadas.		
5. Flexión y cortante	Introducción. Esfuerzos bajo flexión pura. Esfuerzo y deformación en la zona elástica. Módulo de sección elástico. Esfuerzos de flexión en secciones de dos o más materiales. Flexión asimétrica. Esfuerzo cortante en vigas. Esfuerzo cortante horizontal. Esfuerzo cortante en elementos de pared delgada. Carga asimétrica en elementos de pared delgada. Centro de corte.		
6. Deflexión en vigas	Introducción. Ecuación de la curva elástica en vigas. Método de integración y superposición. Deflexión máxima en vigas. Vigas hiperestáticas.		
7. Transformación de esfuerzos y cargas combinadas	Transformación de esfuerzos. Esfuerzo principal y esfuerzo cortante máximo. Circulo de Mohr y transformación de esfuerzos. Elementos bajo cargas combinadas.		

## 1.2 Experiencias de aprendizaje implementando prácticas experimentales

En varios campos académicos, los estudiantes han adquirido conocimientos mediante la implementación de prácticas experimentales en sus carreras universitarias. Algunas investigaciones han demostrado que estas prácticas desempeñan un papel central en la formación de los estudiantes universitarios. Algunos de estos casos se mencionan a continuación.

En la asignatura de mecánica de sólidos del programa de Ingeniería Civil de la UIS, algunos estudiantes han manifestado y mostrado dificultades para asociar componentes teóricos abarcados en el curso con la respuesta real de los elementos estructurales sometidos a distintas condiciones de carga. Esto se debe principalmente a que las clases teóricas y los cursos experimentales no están integrados. Para abordar este problema, Benjumea et al. (2023) aplicaron una experiencia de aprendizaje teórico-experimental aplicada en el tema de torsión pura en vigas elásticas, donde un total de 81 estudiantes organizados en 23 equipos utilizaron un torsiómetro de bajo costo diseñado por los autores y aplicaron la técnica de correlación de imágenes digitales para medir deformaciones en probetas. Los estudiantes fueron encuestados al final del experimento y los resultados mostraron que se promovió su interés en el tema de torsión pura y se reforzó su capacidad de trabajo colaborativo.

En otro caso, Wyatt et al. (1999) implementó un laboratorio virtual de ingeniería geotécnica de la Universidad de Washington partiendo de la premisa de que hay universidades con bajos presupuestos y no pueden adquirir laboratorios presenciales. El estudio contó con la participación de 18 estudiantes, quienes observaron fenómenos físicos de la materia y a su vez, herramientas gráficas de simulación de casos. Se evidenció la flexibilidad que el laboratorio aporta a los estudiantes y al desarrollo del aprendizaje autónomo, ya que ellos tienen el control total en los parámetros de las pruebas de los laboratorios. A pesar de ello, se evidenció mediante gráficas que no todos los participantes le sacan el máximo provecho a la implementación del laboratorio virtual debido al poco trabajo independiente de los estudiantes.

Macedo & Pinho-Lopes (2018) realizó un estudio en el que implementó programas (software) didácticos y complementarios en dos cursos de mecánica de suelos en el programa de ingeniería civil de la Universidad de Aveiro en Portugal. Para este estudio, un grupo de 58

estudiantes utilizó herramientas didácticas diferentes y complementarias (hojas de cálculo, diapositivas y procesadores de texto) en el aprendizaje basado en proyectos con un enfoque colaborativo. Se realizó una encuesta al final del proyecto y los resultados mostraron que los estudiantes consideran el uso de las herramientas informáticas útil para promover y mejorar su nivel de conocimientos, es decir, les ayuda en el desarrollo de sus procesos de aprendizaje.

Guerrero et al. (2018) desarrolló un laboratorio virtual de ingeniería sísmica, el cual fue dividido en tres módulos, un módulo de dinámica estructural, un módulo de geotecnia y un módulo de análisis estructural. Enfatizando en el módulo de análisis estructural se tiene dos aplicaciones programadas en MATLAB, que realizan un análisis mediante métodos energéticos y matriz de rigidez. Además, las aplicaciones permiten determinar propiedades geométricas, diagramas de momento, cortante y reacción aplicando métodos distintos. Mediante una encuesta realizada a los estudiantes se aprecia que la característica más valorada de la aplicación es la flexibilidad que brinda para variar propiedades, sin necesidad de crear un nuevo modelo. A su vez, los estudiantes consideran que la herramienta es intuitiva y fácil de entender ya que permite la visualización e interpretación de conceptos teóricos de la asignatura. El estudio contó con la participación de 31 estudiantes de pregrado del curso de Dinámica estructural y 17 estudiantes de posgrado del curso de Dinámica avanzada. Un resultado importante de las encuestas realizadas mostró una alta eficacia de los laboratorios para ayudar a los estudiantes a comprender conceptos y visualizar e interpretar resultados.

## 2. Objetivos

### 2.1 Objetivo General

Desarrollar una estrategia de enseñanza y aprendizaje basada en prácticas experimentales enfocada en el tema de flexión y deflexión de vigas de la asignatura mecánica de sólidos.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Seleccionar las prácticas de laboratorio que podrían implementarse en el curso con base en el tiempo de ejecución de las mismas.
- Elaborar una guía audiovisual y escrita de desarrollo de las prácticas seleccionadas.
- Implementar, en el aula virtual de aprendizaje Moodle, las guías de las prácticas seleccionadas y las actividades de entrega y evaluación.

### 3. Selección de las prácticas de laboratorio

Uno de los objetivos de este proyecto es ejecutar las prácticas sugeridas por el manual del equipo HST11 (Tabla 2). Estas prácticas están destinadas a complementar y profundizar el conocimiento teórico adquirido en el curso de mecánica de sólidos, específicamente en el tema de flexión y deflexión en vigas. Este trabajo de grado, desarrollado en el edificio Álvaro Beltrán Pinzón (laboratorio de materiales) de la Universidad Industrial de Santander, se enfocó en brindar a los estudiantes una experiencia práctica completa que les permitiera aplicar los principios fundamentales de la materia en un entorno experimental y controlado.

**Tabla 2**

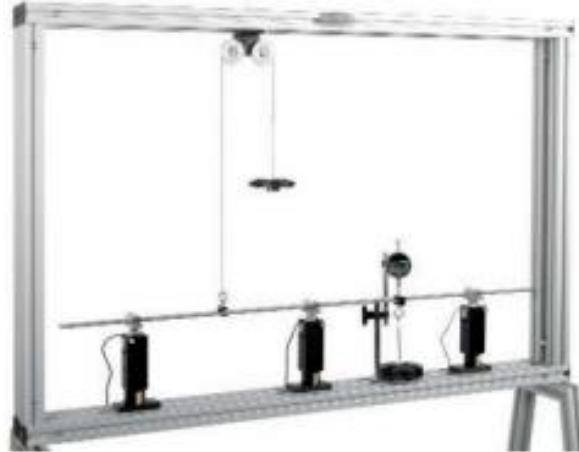
*Prácticas del laboratorio sugeridas por el manual del equipo HST11*

Práctica	Nombre
1	Reacciones y deflexión central de una viga simplemente apoyada con separación variable
2	Reacciones y deflexión para una carga desplazada en una viga apoyada en un punto intermedio
3	Carga distribuida en una viga simplemente apoyada
4	Flexión pura
5	Carga de puntos desplazados
6	Reacciones de viga continua de dos tramos
7	Deflexiones de una viga continua
8	Carga en un voladizo
9	Carga simétrica y asimétrica
10	Principio de superposición en vigas isostáticas

Para llevar a cabo la implementación de cada una de las practicas se usó el equipo HST11 Continuous and Indeterminate Beams (Figura 2), el cual se encuentra ubicado en el laboratorio de caracterización de materiales de la UIS.

**Figura 2**

*Equipo HST11 empleado para la ejecución del laboratorio*



En un principio, el factor determinante para la selección de las prácticas a ejecutar era el tiempo, partiendo de la premisa de que se podían realizar todas las prácticas sugeridas por el manual del equipo (prácticas 1 a la 9 de la Tabla 2), es decir, dependiendo del tiempo que se necesitará para llevar a cabo cada una de las prácticas se concluía si esta se podía seleccionar.

Durante la ejecución de las prácticas surgieron inconvenientes con el equipo HST11 debido a que este estuvo en desuso por un tiempo. Uno de los componentes del equipo no funcionó, haciendo énfasis en los apoyos, los cuales están conectados a un dispositivo electrónico HDA200 (Figura 3), ya que cuando se aplicaron las cargas no arrojó los resultados de la medición de las reacciones (Figura 4). Debido a ello, se contactó con la empresa ICL Didáctica para una revisión (Figura 5), quienes concluyeron que debido al tiempo que no se usó la máquina el dispositivo HDA200 se descompuso, por lo que la opción era darle una revisión a fondo para determinar si necesitaba mantenimiento o reemplazar el equipo.

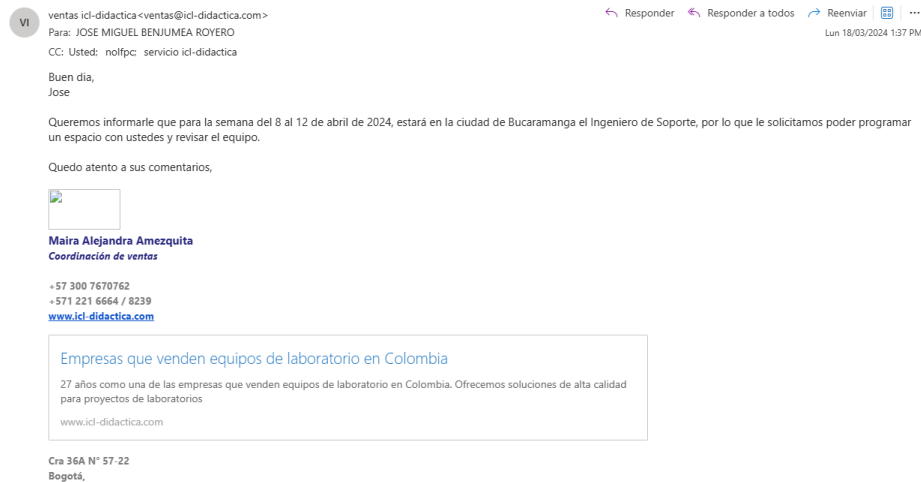
**Figura 3**

*Dispositivo electrónico HDA200*

**Figura 4**

*Dispositivo HDA200 sin carga (izquierda) y con carga (derecha)*



**Figura 5***Evidencia de contacto con la empresa ICL Didáctica*

Lo anterior y el condicionante del tiempo de ejecución de la práctica docente (4 meses) conllevó a que no se pudiesen ejecutar todas las prácticas que se tenían planteadas desde un inicio y sólo se realizaron tres prácticas experimentales, siendo estas la 4, 7 y la 10 (Tabla 2). Las prácticas 4 y 7 fueron las únicas que no requirieron de la medición de las reacciones de los apoyos, pero al ser una minoría en comparación con todas las prácticas, se optó por anexar una práctica más sugerida por el docente, a saber, práctica #10 – Principio de superposición en vigas isostáticas. Estas prácticas son esenciales para comprender los conceptos del módulo de elasticidad, método de integración, flexión pura, principio de superposición en vigas hiperestáticas e isostáticas y deflexión en vigas (Tabla 1), empleando distintos materiales. Las prácticas seleccionadas fueron:

- **Práctica #4 - Flexión pura:** Como objetivo principal de esta práctica se determinó el módulo de elasticidad de materiales en vigas isostáticas en flexión pura. Para esta práctica se montó la viga sobre dos apoyos. Se instaló un deformímetro que fue suficiente para determinar la deformación en el centro de la viga. Luego de calibrar el deformímetro se procedió a aplicar cargas puntuales en sus extremos, incrementando

gradualmente su magnitud y registrando la lectura. Para esta práctica se emplearon aproximadamente 25 minutos de ejecución.

- **Práctica #7 - Deflexiones de una viga continua:** El objetivo de esta práctica fue evidenciar experimentalmente el teorema de Maxwell-Betti y el principio de superposición en vigas continuas hiperestáticas. En este caso, primero se montó la viga sobre tres apoyos en una superficie plana, asegurándose que los apoyos estén bien alineados, se instalaron dos deformímetros. Luego, una vez calibrados los deformímetros se aplicaron cargas puntuales en los puntos designados de la viga. Se registraron las lecturas de deflexión de ambos deformímetros aumentando las magnitudes de carga. Para esta práctica se emplearon aproximadamente 25 minutos de ejecución.
- **Práctica #10 - Superposición:** El objetivo de esta práctica fue aplicar el principio de superposición en vigas isostáticas sometidas a flexión. Como en los dos casos anteriores, para esta práctica se realizó el montaje de una viga sobre dos apoyos en una superficie plana teniendo en cuenta que los apoyos estén bien alineados. Se instalaron dos deformímetros para registrar la lectura de las deflexiones en los puntos designados. Calibrados los deformímetros se le asignaron las cargas puntuales en el centro y sus extremos, y se procedió con la toma de datos. Para esta práctica se emplearon aproximadamente 30 minutos de ejecución.

#### 4. Elaboración de las guías de laboratorio

##### 4.1 Guía 1 - Principio de superposición

Para esta práctica, al no estar contemplada dentro del manual del equipo HST11, se tuvo que determinar la carga  $P$  máxima que permitiera ejecutar la práctica sin que se excedieran los límites elásticos de las vigas suministradas con el equipo (acero, aluminio y latón). De esta manera, se puede asegurar que se sigan empleando en futuras prácticas sin ningún problema. El montaje, los cálculos y el procedimiento que se llevó a cabo para realizar este ejercicio se detalla en el Apéndice A.

Inicialmente, se partió de una guía realizada previamente por el docente a cargo del curso de Mecánica de sólidos, sin embargo, se buscaba emplear recursos nuevos que permitieran actualizar la guía y así dar una información clara y precisa.

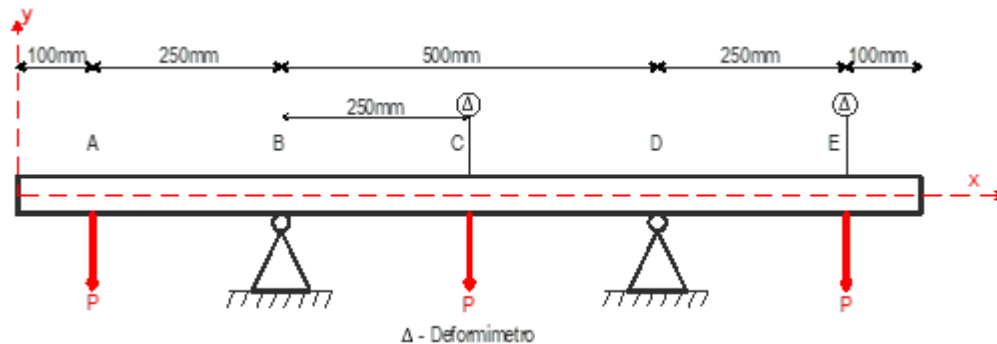
La guía plantea un objetivo principal, este se formula en base a la práctica que se quiere desarrollar, prosigue de una conceptualización del tema en cuestión, acompañado de ilustraciones que facilitan la interpretación del mismo. Para la conceptualización se recurren a fuentes, ya sean revistas, libros o artículos donde se centren en el tema principal de la guía, brinda el alcance del trabajo y establece el enfoque que se le dará al mismo.

Posterior a ello, la guía se divide en dos secciones, un procedimiento experimental y un procedimiento analítico. Antes de comenzar con los procedimientos, se crea una ilustración del montaje completo para que el estudiante pueda visualizar la práctica que va a realizar, la cual enseña una viga isostática sometida a tres cargas ubicadas en los extremos y el centro de la viga (Figura 3). Ahora, al tratarse del principio de superposición se requiere realizar un total de tres montajes los cuales son detallados en el Apéndice B. En este punto los estudiantes deben asignar

las cargas brindadas en la guía y medir las deflexiones que estas provocan en la viga, anotando los resultados para un posterior uso de ellos.

### Figura 6

*Montaje completo de la guía – Principio de superposición*

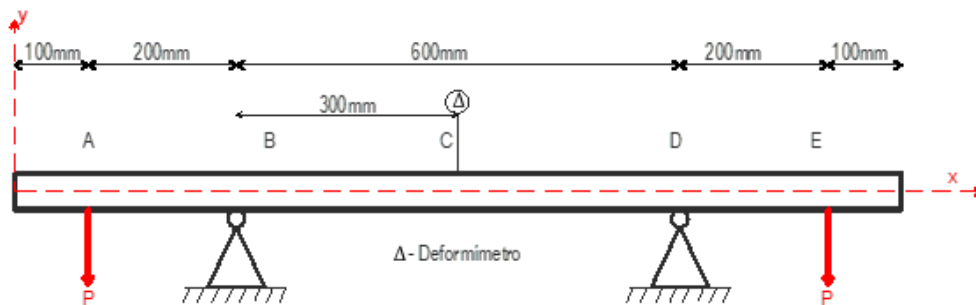


Finalizado este punto, se prosigue al procedimiento analítico, donde se añadieron procedimientos y tablas de recolección de datos basadas en el documento original, pero se estructuraron de forma diferente, siendo estas más eficientes y claras para su manejo. Se deben calcular teóricamente las deflexiones y compararlas con las deflexiones obtenidas en el procedimiento experimental.

#### 4.2 Guía 2 - Flexión pura

Nuevamente se define un objetivo principal junto a su debida conceptualización del tema para tener una información precisa del tema que se quiere abordar.

Teniendo claro el tema a trabajar, se procede con el procedimiento experimental, que en este caso solo requiere de un montaje (Figura 4). En este, se puede evidenciar que se trata de una viga isostática sometida a dos cargas en sus extremos, donde se le asignarán las respectivas cargas otorgadas por la guía y se tabularán los resultados obtenidos para emplearlos en el siguiente paso.

**Figura 7***Montaje de la guía – Flexión pura*

Continuando con el procedimiento analítico, nuevamente se brindaron las tablas de recolección de datos y los procesos a realizar por parte del estudiante, los cuales parten de calcular el momento flector, la fuerza cortante, la curvatura, la rotación, la deflexión teórica y el módulo de elasticidad experimental, el cual posteriormente será comparado con el módulo de elasticidad teórico.

Para finalizar, se deben reportar cálculos y las respectivas conclusiones de la práctica ejecutada, en el Apéndice C se puede evidenciar de manera más detallada el proceso.

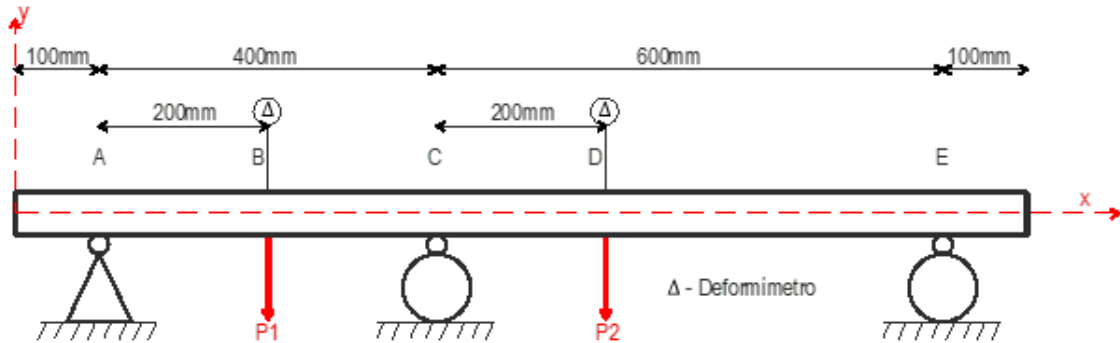
### 4.3 Guía 3 - Deflexión de una viga continua

Al igual que en las guías anteriores se plantea un objetivo seguido de la debida conceptualización del tema a abordar.

En este caso, el montaje varía un poco, ya que se trata de una viga hiperestática sometida a dos cargas en los puntos brindados por la guía (Figura 5).

**Figura 8**

*Montaje experimental de la guía – Deflexiones de una viga continua*



En el procedimiento experimental se realiza el respectivo montaje y se toman las deflexiones que provocan las cargas, estas son tabuladas en las tablas proveídas en las guías. Terminado ese proceso, se continuó con el procedimiento analítico en donde se calcularán las deflexiones teóricas y serán comparadas con los datos experimentales. Lo anterior está detallado en el Apéndice D.

Finalmente se deben reportar los cálculos, las conclusiones y las observaciones hechas durante la práctica.

#### 4.4 Digitalización de las guías de laboratorio

El objetivo principal de las guías de laboratorio es proveer una ruta de trabajo que brinde información clara y concisa para el desarrollo de estas. La digitalización de las guías de laboratorio fue realizada con ayuda de la herramienta de Microsoft Word © (licencia UIS). En este proceso se incluyeron o actualizaron las figuras y tablas que así lo necesitaron. En las guías de laboratorio se incluyeron también las hojas de cálculo para el análisis de los datos de las prácticas. Recuerde que todas las guías se encuentran en los Apéndices B, C y D.

## **5. Implementación de las prácticas experimentales en el aula virtual de aprendizaje**

El aporte hecho mediante esta práctica docente a la creación del futuro laboratorio de Mecánica de sólidos en el aula virtual (AVA) incluyó: (1) la creación y digitalización de las guías de laboratorio junto con las hojas de cálculo para un correcto análisis de datos, (2) el montaje de estas en el AVA del director de este proyecto y (3) el desarrollo de recursos y guías audiovisuales.

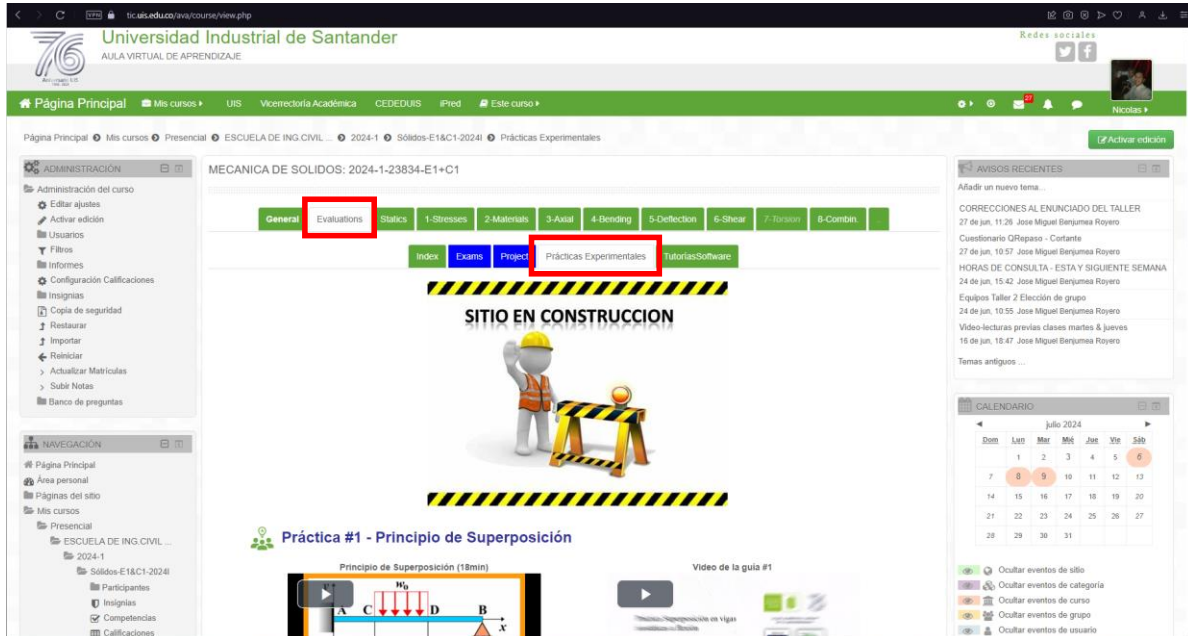
### **5.1 Adecuación del aula virtual de aprendizaje**

Se creó un módulo de “prácticas experimentales” en la sección de “Evaluaciones” que hace parte del AVA del curso de mecánica de sólidos del profesor José Miguel Benjumea Royero (Figura 6), donde se planteó la estructura empleada normalmente en los laboratorios: introducción, objetivos y recursos. Se trabajó en la generación de información apropiada para cada práctica. A su vez, el docente a cargo aportó sus ideas para el enriquecimiento de los módulos.

Cada una de las prácticas tiene el documento que guía a los estudiantes en el proceso del análisis de datos. Las plantillas están estructuradas de manera que el estudiante pueda llevar un orden con respecto a sus cálculos y donde tenga claridad de los datos de entrada, procedimientos y datos de salida, siendo a su vez, más sencillo de evaluar para el docente a cargo del laboratorio.

Figura 9

*Ruta de acceso al módulo de las prácticas experimentales*



## 5.2 Recursos audiovisuales

Se incluyó un video introductorio del tema de la práctica del laboratorio para cada una de las prácticas, que da una breve conceptualización de las mismas a ejecutar. Seguido de ello, se continuó con la edición de guías audiovisuales con ayuda de la versión gratuita del software Filmora 13 (Wondershare Technology Co., Ltd., 2023) para hacerlos llamativos y concisos.

La estructura de cada video fue organizada de la siguiente forma: presentación de la práctica (título y autores), elementos a emplear en el desarrollo de la misma y, por último, el procedimiento o pasos a seguir para el desarrollo del laboratorio.

Cabe resaltar que se creó un video adicional indicando como se debería realizar el respectivo montaje del equipo para ejecutar cada práctica, en el video se menciona las herramientas a emplear y se indica el procedimiento a seguir para la toma de datos de las deflexiones, todos estos recursos se pueden apreciar en los Apéndices del E al H.

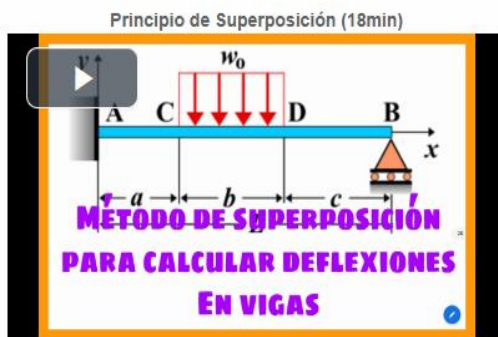
### 5.3 Resultados del montaje en el AVA

Como se mencionó anteriormente, el espacio en el AVA fue seccionado de tal forma que se enseñe un video introductorio al tema de la práctica, la guía audiovisual del laboratorio y, finalmente, se brinda el documento guía que da mayor detalle al objetivo, la toma de datos y los cálculos a realizar en la práctica (Figura 7).

#### Figura 10

Presentación de la primera práctica en el AVA

#### Práctica #1 - Principio de Superposición



 Guía Principio de superposición

Ocultado a los estudiantes

**Figura 11**

*Presentación de la segunda práctica en el AVA*

 **Práctica #2 - Flexión Circular**



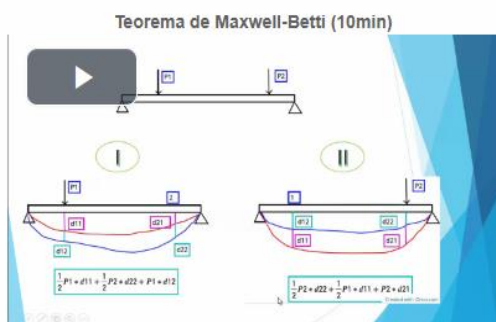
 Guía Flexión Circular


Ocultado a los estudiantes

**Figura 12**

*Presentación de la tercera práctica en el AVA*

 **Práctica #3 - Deflexiones de una viga continua**



 Guía Deflexiones de una viga continua

Ocultado a los estudiantes

A los estudiantes se les brinda una guía en formato pdf, y al docente o a los encargados del laboratorio se les brinda una guía en formato Word y Excel para que puedan realizar cambios a las guías a conveniencia.

Con relación a la calificación, se brinda una rúbrica de evaluación (Tabla 4), también colgada en Moodle, para que el auxiliar si así lo desea, asigne una calificación en base a los logros alcanzados por los estudiantes en cada uno de los aspectos evaluados. Esta rúbrica es utilizada para evaluar a los estudiantes en Estados Unidos por Association of American Colleges & Universities (AAC&U, 2009). Se adecuó a una calificación desde el nivel bajo hasta el nivel alto ya que en Estados Unidos se emplea una calificación distinta.

**Tabla 3**

*Rúbrica sugerida para evaluación del laboratorio modificada de (AAC&U, 2009)*

	Nivel de Desempeño			
	Insatisfactorio [<=2,9]	En desarrollo [>=3,0 -3,5]	Satisfactorio [>3,5 -4,5]	Ejemplar [>4,5]
<b>Interpretación</b> Capacidad para explicar información presentada en formas matemáticas (por ejemplo, ecuaciones, gráficos, diagramas, tablas, palabras)	Intenta explicar información presentada de forma matemática, pero extrae conclusiones incorrectas sobre el significado de la información. Por ejemplo, intenta explicar la tendencia de los datos mostrados en un gráfico, pero con frecuencia interpreta erróneamente la naturaleza de esa tendencia, quizás confundiendo tendencias positivas y negativas.	Proporciona explicaciones algo precisas de la información presentada en formas matemáticas, pero ocasionalmente comete errores menores relacionados con cálculos o unidades. Por ejemplo, explica con precisión los datos de tendencia mostrados en un gráfico, pero puede calcular mal la pendiente de la línea de tendencia.	Proporciona explicaciones precisas de la información presentada en forma matemática. Por ejemplo, explica con precisión los datos de tendencia mostrados en un gráfico.	Proporciona explicaciones de información presentada en formas matemáticas. Realiza deducciones basadas en esa información. Por ejemplo, explica con precisión la tendencia de los datos mostrados en un gráfico y realiza predicciones sobre lo que los datos sugieren acerca de acontecimientos futuros.
<b>Representación</b> Capacidad para convertir información relevante en varias formas matemáticas (por ejemplo,	Completa la conversión de la información, pero la representación matemática resultante es inapropiada o inexacta.	Completa la conversión de la información, pero la representación matemática resultante es sólo parcialmente apropiada o precisa.	Convierte competentemente la información relevante en una representación matemática apropiada y deseada.	Convierte hábilmente la información relevante en una representación matemática ingeniosa contribuyendo a una comprensión mayor o más profunda.

ecuaciones, gráficos, diagramas, tablas, palabras)				
<b>Cálculo</b>	Los cálculos se intentan, pero no tienen éxito ni son exhaustivos.	Los cálculos intentados no son correctos o representan sólo una parte del trabajo necesario para resolver el problema de forma integral.	Los cálculos desarrollados son exitosos y lo suficientemente exhaustivos para resolver el problema.	Los cálculos desarrollados son exitosos y lo suficientemente exhaustivos para resolver el problema. Los cálculos también se presentan elegantemente (de forma clara, concisa, etc.)
<b>Aplicación / Análisis</b> Capacidad para emitir juicios y extraer conclusiones adecuadas basándose en el análisis cuantitativo de los datos, reconociendo al mismo tiempo los límites de este análisis	Utiliza el análisis cuantitativo de los datos como base para juicios tentativos básicos, aunque duda o no está seguro de sacar conclusiones de este trabajo.	Utiliza el análisis cuantitativo de los datos como base para juicios prácticos básicos, sacando conclusiones probables de este trabajo.	Utiliza el análisis cuantitativo de datos como base para emitir juicios competentes, extrae de ellos conclusiones razonables y debidamente calificadas.	Utiliza el análisis cuantitativo de los datos como base de juicios profundos y reflexivos, extrayendo conclusiones cuidadosamente calificadas.
<b>Supuestos</b> Capacidad de hacer y de evaluar supuestos importantes en la valoración, modelado, y análisis de datos	Intenta describir las consideraciones del caso.	Describe explícitamente las consideraciones del caso.	Describe explícitamente las consideraciones del caso y proporciona una justificación convincente de por qué son apropiadas.	Describe explícitamente las consideraciones del caso y proporciona una justificación convincente de por qué son apropiadas. Resalta que la confianza en las conclusiones está limitada por la precisión de los supuestos asumidos.
<b>Comunicación</b> Expresión de evidencia cuantitativa en apoyo del argumento o propósito del trabajo (debe estar en consecuencia con el tipo de evidencia usada, e incluye cómo se formatea, se presenta y se contextualiza).	Presenta un argumento para el cual la evidencia cuantitativa es pertinente, pero no proporciona un apoyo numérico explícito adecuado. (Utiliza calificadores como "muchos", "pocos", "aumentando", "pequeño" y similares en lugar de cantidades reales).	Utiliza información cuantitativa, pero no la conecta eficazmente con el argumento o el propósito del trabajo.	Utiliza información cuantitativa relacionada con el argumento o propósito del trabajo, aunque la manera de presentar la información no es eficiente o algunas partes de la explicación pueden ser incongruentes.	Utiliza información cuantitativa relacionada con el argumento o propósito del trabajo, la presenta en un formato efectivo y la explica consistentemente con alta calidad.

## 6. Conclusiones

Este trabajo generó nuevo material docente para el curso teórico de Mecánica de sólidos de la Escuela de Ingeniería Civil de la UIS. Las principales conclusiones obtenidas a partir de la ejecución de la mismo son:

Las prácticas de laboratorio que se escogieron durante el proyecto se basaron en las temáticas del módulo de elasticidad, método de integración, flexión pura, principio de superposición en vigas hiperestáticas e isostáticas y deflexión en vigas del curso, y se espera que fortalezcan el proceso de aprendizaje de los estudiantes. Debido a los problemas técnicos que se presentaron, el equipo no permitió la ejecución de todas las prácticas y, por ende, el tiempo dejó de ser una prioridad.

El material audiovisual que se desarrolló con ayuda de recursos previamente disponibles, ofrece información clara y llamativa para el estudiante. El objetivo de dicho material es darle una idea previa y preparar al estudiante para la realización de la práctica experimental y mostrar un procedimiento completo para que le sea más sencillo la ejecución de esta.

La rúbrica de evaluación sugerida indica a los estudiantes claramente sobre los criterios y escalas de evaluación en sus informes de laboratorio. Esta le permitirá al docente evaluar el trabajo del estudiante de manera justa y puede alinearse con la rúbrica de evaluación ABET que se usa para el resultado de aprendizaje de experimentación.

## 7. Recomendaciones

Se recomienda realizar un mantenimiento a los instrumentos de medición de reacción en los apoyos que van conectados al dispositivo HDA200, para poder ejecutar el resto de las prácticas, o en su defecto, modificar las guías para que no sea necesario medir las reacciones.

Se sugiere que la Escuela de Ingeniería Civil prevea el mantenimiento constante de los equipos empleados para que se puedan realizar a lo largo del tiempo, y así evitar que estos se dañen o dejen de funcionar.

Esta experiencia se puede emplear en otros temas de la asignatura, es decir, realizar laboratorios empleando la misma maquinaria (HST1) ya que este cuenta con más equipos los cuales pueden ser adecuados al marco.

Además, es importante realizar modificaciones en los montajes brindados (por ejemplo, cambios en distancias entre apoyos) en este proyecto con el fin de evitar que se repitan los montajes en semestres posteriores. En todo caso, no se debe exceder el límite elástico con la carga que se establezca.

Se sugiere integrar la rúbrica de evaluación a Moodle, de modo tal que la nota emitida por el docente pueda ser integrada directamente al sistema de evaluación del estudiante.

Se sugiere implementar una prueba piloto en semestres posteriores para saber cómo funcionarían las prácticas. Para esto, podrían conformarse grupos mínimo de cuatro estudiantes, sin embargo, esto puede ser modificado a preferencia del docente o auxiliar a cargo.

Con relación a lo anterior, es ideal contar con un espacio en que los estudiantes puedan asistir al laboratorio sin afectación de las clases teóricas. Este espacio puede ser parte de las horas de trabajo independiente de los estudiantes.

### Referencias Bibliográficas

- De Jesús Domínguez Rodríguez, H., Limón, J. A. G., Pisfil, M. L., Torres, D. V., & Exume, J. C. D. (2015). Estilos de aprendizaje: un estudio diagnóstico en el centro universitario de ciencias económico-administrativas de la U de G\*. *Revista de la Educación Superior*, 44(175), 121-140. <https://doi.org/10.1016/j.resu.2015.09.005>
- Espinosa-Ríos, E. A., González-López, K. D., & Hernández-Ramírez, L. T. (2016). Las prácticas de laboratorio. *Entramado*, 12(1), 266–281. <https://doi.org/10.18041/entramado.2016v12n1.23125>
- Filmora 13, «[Oficial] Wondershare Filmora -editor de video potente y completo». <https://filmora.wondershare.es/>
- Guerrero, L. F., Pizano, D. G., & Thomson, P. (2018). Development of a virtual earthquake engineering lab and its impact on education. *Dyna*, 85(204), 9-17. <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n204.66957>
- Guerrero Ugalde, C. (2009). Diseño arquitectónico del laboratorio de estructuras y diseño estructural del muro de reacción de la Facultad de Ingeniería U.A.Q. <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/4896>
- J. M. Benjumea, D. C. Prieto, L. C. Oyaga, L. N. Sepúlveda and S. M. Pulido, "Development of Experimental and Collaborative Work Skills in the Students of Mechanics of Solids by Implementing a Low-Cost Torsiometer and Digital Image Correlation," in *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, vol. 18, no. 1, pp. 10-18, Feb. 2023, doi: 10.1109/RITA.2023.3249560.
- Kolb, D. (2015). *Experimental learning experiences as the source of learning development*. (2a. ed) Pearson Education. Obtenido de

<https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=jpbeBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7>

&ots=Voa

QtR-

0Sd&sig=wRgnIcphza4KxGkodksVwfAEuY&redir\_esc=y#v=onepage&q&f=false

Lopez, D. (2015). Model for the implementation of a laboratory of simulation academic practices focused on industrial engineering.

López Rúa, A. M., & Tamayo Alzate, Ó. E. (2012). LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS NATURALES. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos (Colombia)*, 8(1), 145-166.

Macedo, J., & Pinho-Lopes, M. (2018). Using Different and Complementary Teaching Tools in Project-Based Learning Application to Civil Engineering-courses on Soil Mechanics.

Microsoft, «Microsoft Office es parte de Microsoft 365». <https://www.microsoft.com/es-co/microsoft-365/microsoft-office>

«Quantitative Literacy VALUE Rubric», Association of American Colleges & Universities, Value@aacu.org, [https://oira.unc.edu/wp-content/uploads/sites/297/2017/07/AACU\\_QL\\_ValueRubric.pdf](https://oira.unc.edu/wp-content/uploads/sites/297/2017/07/AACU_QL_ValueRubric.pdf)

Wyatt, T. R., Arduino, P., & Macari, J. (1999). Assessment of a Virtual Laboratory for Geotechnical Engineering.