

# Desarrollo de Competencias Experimentales y de Trabajo Colaborativo en los Estudiantes de Mecánica de Sólidos Integrando un Torsiómetro de Bajo Costo y Correlación de Imágenes Digitales

José M. Benjumea, David Cotes Prieto, Laureen Carvajal Oyaga, Laura Niño Sepúlveda, Samantha Moreno Pulido

**Resumen**— Los componentes teórico y experimental de la asignatura Mecánica de Sólidos de la escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander no están integrados. Esto dificulta la comprensión de los estudiantes de las relaciones entre las cargas aplicadas a los elementos estructurales y sus efectos. Para abordar este problema se propone una experiencia de aprendizaje teórico-experimental aplicada en el tema de torsión pura en vigas elásticas. El experimento también pretende contribuir al desarrollo de las habilidades de trabajo en equipo de los estudiantes y la capacidad de realizar experimentos y obtener conclusiones basadas en los resultados. 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 resultados de una encuesta virtual realizada a los estudiantes después de las pruebas mostraron la efectividad de la experiencia de aprendizaje propuesta para mejorar la comprensión de los fenómenos físicos estudiados, además del impacto positivo en el aprendizaje de los estudiantes.

**Palabras claves**— Trabajo colaborativo, Correlación de imágenes digitales, Experimentación de bajo costo, Trabajo en equipo, Experimentos de estudiantes, Torsiómetro.

## I. INTRODUCCIÓN

Las rápidas transformaciones que toman lugar en los sectores industrial y tecnológico han creado la necesidad de futuros ingenieros civiles dotados de varias competencias blandas y específicas que respondan a dichas necesidades.

Los autores están vinculados a la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 68002, Colombia (autor correspondencia: +57 6344000 Ext. 2930; e-mail: josbenro@uis.edu.co, dscoipri@correo.uis.edu.co, laureen.carvajal1@correo.uis.edu.co, laura.nino@correo.uis.edu.co, samantha.moreno@correo.uis.edu.co).  
(<https://orcid.org/0000-0001-5654-948X>, <https://orcid.org/0000-0001-7761-1617>, <https://orcid.org/0000-0001-8515-3222>, <https://orcid.org/0000-0002-5159-6380>, <https://orcid.org/0000-0003-0911-8876>)

Se espera que la mayoría de esas competencias se obtengan o desarrollen en los programas de pregrado de ingeniería civil y que mejoren la capacidad de los estudiantes para resolver problemas de ingeniería de manera innovadora con base en el análisis teórico y experimental utilizando herramientas de vanguardia.

Adicionalmente, la naturaleza y complejidad de los problemas de ingeniería requieren ensamblar equipos interdisciplinarios; por lo tanto, los estudiantes de ingeniería civil también deben desarrollar la habilidad para trabajar de manera colaborativa. La importancia de lo mencionado anteriormente se evidencia en dos de los siete resultados de aprendizaje de los estudiantes (SOs, por sus siglas en inglés para Student Outcomes) formulados por la Engineering and Technology Accreditation Commission (ABET) [1]. Específicamente, estos dos resultados de los estudiantes son SO-5 ("capacidad para funcionar de manera efectiva en un equipo cuyos miembros juntos brindan liderazgo, crean un entorno colaborativo e inclusivo, establecen metas, planifican tareas y cumplen objetivos") y SO-6 ("capacidad para desarrollar y llevar a cabo experimentación adecuada, analizar e interpretar datos y utilizar el juicio de ingeniería para obtener conclusiones").

En la asignatura mecánica de sólidos del Programa de Ingeniería Civil (PIC) de la Universidad Industrial de Santander (UIS), los estudiantes usualmente tienen dificultades para vincular los componentes teóricos abarcados en el curso con la respuesta real (física) de los elementos estructurales sometidos a cargas externas. Esto se debe principalmente a que las clases teóricas y los cursos experimentales no se enseñan durante el mismo semestre.

Este artículo describe una experiencia de aprendizaje desarrollada durante el segundo período académico del año 2019 como una estrategia para minimizar los efectos del problema mencionado anteriormente. La experiencia fue

implementada para el tema de torsión pura en vigas elásticas y fue formulada para que los estudiantes fortalezcan sus habilidades de trabajo experimental y colaborativo. El artículo está estructurado de la siguiente manera: la Sección II presenta antecedentes bibliográficos sobre las ventajas y desafíos de desarrollar habilidades experimentales y de trabajo colaborativo en estudiantes de ingeniería. Esta sección también ayuda al lector a diferenciar los conceptos de trabajo colaborativo y cooperativo, que son confundidos con frecuencia. La Sección III proporciona información sobre la asignatura mecánica de sólidos y el tema sobre el cual se desarrolló la experiencia. La Sección IV describe la experiencia, incluyendo el desarrollo del equipo de prueba de bajo costo, la implementación de las pruebas, la encuesta formulada para obtener la retroalimentación de los estudiantes y los criterios de evaluación de los informes presentados por los estudiantes. Las secciones V y VI presentan los resultados y su análisis, respectivamente. Las principales conclusiones del trabajo se presentan en la sección VII.

## II. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

Varios autores han reconocido la mejora en la habilidad de los estudiantes para sobresalir como parte de equipos colaborativos y potenciar sus habilidades de liderazgo y comunicación debido a la interacción con sus compañeros. Johnson y Johnson [2] definieron el trabajo cooperativo como una herramienta valiosa en la educación superior, en la que un grupo de estudiantes guiados por un instructor siguen una serie de objetivos de aprendizaje relacionados con una asignatura específica a partir de los siguientes "pilares": (i) interdependencia positiva, (ii) responsabilidad individual, (iii) habilidades interpersonales, (iv) interacción cara a cara y (v) la frecuente discusión del equipo para mejorar la efectividad a futuro del equipo [2]. Lograr resultados satisfactorios en el proceso de aprendizaje de los estudiantes mediante la implementación del trabajo cooperativo depende del nivel de compromiso del profesor, puesto que esto requiere actividades como organizar grupos de trabajo homogéneos, definir y asignar roles a los estudiantes y brindar retroalimentación continua [3]. Macedo y Pinho-Lopes [4] destacaron que el trabajo colaborativo es una versión más ligera del trabajo cooperativo dado que los estudiantes son libres de organizar sus grupos y no requiere la asignación de roles específicos por parte del instructor. Esta noción es apoyada por McKinney y Denton [5], quienes enfatizan la importancia de aplicar el trabajo colaborativo en las primeras etapas del plan de estudio en vista de que aumenta la sensación de seguridad del estudiante. Esto es particularmente importante para evitar que los estudiantes abandonen la disciplina.

El impacto en el aprendizaje de los estudiantes al implementar el trabajo colaborativo se ha evidenciado en varios casos. Los autores en [6] encuestaron a 6435 estudiantes de ingeniería para indagar sobre sus experiencias de trabajo colaborativo dentro de los programas que cursaban. Los autores encontraron correlaciones positivas entre el trabajo colaborativo, el cumplimiento de los objetivos de las

asignaturas y la satisfacción de los estudiantes. Sin embargo, también se encontró que la efectividad del trabajo colaborativo estaba altamente relacionada con la orientación adecuada del profesor, especialmente en las primeras etapas del programa de pregrado donde es probable que algunos estudiantes sean poco cooperativos debido a la falta de madurez o motivación. Esta observación es apoyada por la investigación de Pimmel [7] sobre la efectividad del trabajo colaborativo en un proyecto de clase en un curso de arquitectura y diseño computacional. Pimmel aplicó este enfoque comenzando con una charla durante media clase al comienzo del semestre en la que se discutieron con los estudiantes los aspectos importantes del trabajo colaborativo, el monitoreo continuo y la implementación de cuestionarios de autoevaluación. La experiencia impactó positivamente en la comprensión de los estudiantes sobre la importancia del trabajo colaborativo y el entendimiento de los temas del curso. Pimmel también señaló que implementar actividades de trabajo colaborativo le demandó alrededor de 15 horas de trabajo extra fuera del aula durante el período académico. Esto evidencia que el impacto satisfactorio en la motivación, el intercambio de conocimientos y la realización lograda por el desarrollo del trabajo colaborativo implica un desafío para los profesores, dado que requiere una planificación detallada de las actividades y una constante intervención y seguimiento de los equipos. Mivehchi y Rajabion [8] investigaron el impacto del trabajo colaborativo en la motivación de los estudiantes. El objetivo del estudio fue evaluar la hipótesis nula de que "existe una correlación positiva entre la satisfacción de los estudiantes y el enfoque de trabajo colaborativo" a partir de los resultados de un cuestionario tipo Likert diseñado para 250 estudiantes de la Universidad Islámica Azad. Los resultados de un análisis de bondad de ajuste y confiabilidad de los datos mostraron que los subindicadores de la motivación del trabajo colaborativo (intercambio de conocimientos, mejora de la memoria, aumento de la satisfacción y aumento de la autoestima) se percibieron como aspectos positivos principales del enfoque del trabajo colaborativo. El estudio concluyó que la hipótesis nula propuesta era cierta para  $p=0.01$ , lo que evidencia estadísticamente la importancia del aprendizaje colaborativo.

El trabajo experimental en ingeniería también ha sido reconocido como una habilidad esencial a desarrollar en los estudiantes de ingeniería. Este trabajo tiene como objetivo mejorar el aprendizaje cognitivo, la formulación de hipótesis y metodología, el diseño experimental y la capacidad vocacional para comunicarse a través de la redacción de informes. El estudio de Norrie [9] muestra que los estudiantes de ingeniería se consideran esencialmente prácticos; por lo tanto, el trabajo práctico debe ser un componente indispensable en su educación. Norrie concluyó que es obligatorio mantener el trabajo práctico en los planes de estudios de programas de pregrado de ingeniería. Asimismo, el desarrollo simultáneo de trabajos prácticos y estudios teóricos es central para evitar "la división de la mente del estudiante", como afirma Doughty [10].

Estudios anteriores han destacado las ventajas de integrar las clases de laboratorio y las teóricas. Por ejemplo, en el trabajo realizado por [11], se desarrolló una herramienta de realidad

aumentada para el análisis de elementos finitos (FEA, siglas en inglés para Finite Element Analysis) de estructuras y se utilizó en dos equipos de estudiantes de ingeniería mecánica e ingeniería civil de la Universidad de Singapur. El primer grupo de estudiantes (denominados "principiantes") no había interactuado con el software comercial para FEA y su conocimiento de la teoría era limitado. El segundo grupo ("expertos") tenía un amplio conocimiento de la teoría y uso de software para FEA. La comparación del desempeño de los estudiantes en un cuestionario relacionado con FEA permitió a los autores concluir que la herramienta mejoró la comprensión a los estudiantes "principiantes" en vista de que este grupo casi igualó el desempeño de los "expertos". Chacon y Oller [12] implementaron un laboratorio de dinámica estructural de bajo costo al integrar marcos tridimensionales (3D) a escala, una mesa vibratoria, acelerómetros y una tarjeta Arduino para capturar y procesar los datos. La experiencia fue motivada por la poca frecuente implementación de la experimentación en los cursos de dinámica estructural debido a los altos costos del equipo comercial requerido. El laboratorio tenía como objetivo mejorar la comprensión de los conceptos básicos de la dinámica estructural en un grupo pequeño (14 estudiantes) de estudiantes de ingeniería de la construcción en la Universitat Politècnica de Catalunya. Se pidió a cada estudiante que diseñara y construyera un marco 3D a escala y luego lo probara en la mesa vibratoria para validar los datos medidos usando modelos numéricos. Para entrenar a los estudiantes en el uso de Arduino aplicado a la experimentación de dinámica estructural, los autores ofrecieron a los estudiantes una clase extra de 2 h especializada en este tema. En general, ambas experiencias mejoraron la comprensión de los estudiantes sobre los conceptos fundamentales del tema al permitirles relacionar los fenómenos reales y los modelos analíticos.

### III. CONTEXTO DEL ESTUDIO

A pesar de las ventajas relacionadas con el desarrollo de habilidades experimentales y de trabajo en equipo, algunos programas de pregrado con presupuestos relativamente bajos no cuentan con laboratorios bien equipados que ayuden a los estudiantes a relacionar los temas teóricos abordados en clases con las observaciones físicas. Este problema se agudiza cuando las horas de laboratorio son escasas o se alejan del curso teórico, lo que lleva a que las actividades teoría-laboratorio no estén sincronizadas. Esta última situación se presenta en el PIC de la UIS en Colombia. En este programa, una reforma al plan de estudios del año 2007 [13] llevó a la separación de las clases de laboratorio en tres cursos teóricos-experimentales (mecánica de sólidos, mecánica de suelos y diseño de pavimentos) para ser reagrupadas en dos cursos de laboratorio. El objetivo de los dos nuevos cursos (caracterización de materiales I y II) es "familiarizar al alumno con la ejecución de ensayos de laboratorio y la comprensión del comportamiento de diferentes materiales de construcción a través de la ejecución de ensayos". Sin embargo, los nuevos cursos de laboratorio no se enseñan durante el mismo período académico que los tres cursos teóricos, lo que dificulta que los estudiantes comprendan algunas respuestas de los elementos dadas las dificultades para

relacionar las leyes físicas y matemáticas (tratadas en los cursos teóricos) y la evidencia física (expuesta en los cursos de laboratorio).

Considerando los resultados positivos que se pueden lograr mediante la implementación de experimentos de bajo costo y trabajo colaborativo, este artículo presenta la formulación e implementación de una experiencia de aprendizaje que combina componentes teóricos y experimentales en el curso de mecánica de sólidos. Este curso es de carácter teórico y se enseña en el cuarto semestre del plan de estudios, que tiene diez semestres. El objetivo de aprendizaje del curso es que los estudiantes comprendan las relaciones entre cargas externas (como fuerzas, momentos flectores y torques) aplicadas sobre cuerpos deformables y los efectos (esfuerzos y deformaciones). Una versión compacta del plan de estudios del curso se muestra en la Tabla I. Más detalles del plan de estudios están disponibles en [14]. La experiencia descrita en este trabajo se desarrolló dentro del tema 4 (Torsión). Cabe señalar que esta es la primera vez que la experiencia es implementada, lo que limita la posibilidad de comparar cuantitativamente el desempeño de los estudiantes que participaron de la experiencia con el de semestres anteriores.

La experiencia fue desarrollada durante el segundo período académico del 2019 y fue ideada para que los estudiantes determinen el módulo de cortante de diferentes materiales de construcción. Se integraron un torsiómetro de bajo costo diseñado por los autores y datos de desplazamiento obtenidos de fotografías capturadas por estudiantes y procesadas utilizando la versión gratuita del software de correlación de imágenes digitales (CID) GOM Correlate [15]. Ochenta y un (81) estudiantes agrupados en 23 equipos realizaron las actividades. Los profesores evaluaron el objetivo de aprendizaje de la experiencia a partir de los informes entregados por los estudiantes. Además, las percepciones de los estudiantes sobre el desarrollo de habilidades de trabajo en equipo y experimentación se recolectaron a través de una encuesta realizada después de las pruebas. Los detalles de la formulación y aplicación de la experiencia, el torsiómetro y la incorporación de la técnica CID, el desempeño del estudiante y los resultados de la encuesta se discuten a continuación.

### IV. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA

#### A. Diseño y fabricación del torsiómetro

El torsiómetro fue diseñado para realizar los experimentos utilizando probetas fácilmente accesibles. Además, se pretendió que la respuesta de los materiales a lo largo de la prueba estuviese en el rango lineal-elástico. Este criterio de diseño se basó en el alcance del contenido teórico de la asignatura mecánica de sólidos, que se limita al estudio de esfuerzos y deformaciones en elementos con comportamiento lineal-elástico (Tabla I). Después de analizar varias configuraciones para el torsiómetro, se decidió diseñarlo para ensayar probetas circulares (tubulares o sólidos) de madera, PVC, aluminio o acero, con un diámetro de 25.4 mm y longitudes entre 300 y

TABLA I

CURSO DE MECÁNICA DE SOLIDOS DEL PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL UIS.	
Créditos: 4	Requisitos: Cálculo 3 y Estática
Intensidad Horaria: 4	Hora de consulta: 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, and 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: Angulo 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 elástica. 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 de 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.

La Fig. 1 muestra un esquema tridimensional del torsiómetro y una vista del equipo de prueba luego de fabricarlo. Como se ilustra en la Fig. 1-a, el torsiómetro es un marco tipo Z compuesto por tubos de acero inoxidable ASTM (American Society for Testing and Materials) A312, de 25.4 mm de diámetro y 3.38 mm de espesor. La probeta por ensayar se instala en el torsiómetro fijándola a una mordaza situada en el extremo superior. Luego, una placa de acero de 700 mm de longitud con una mordaza soldada en su centro se une al extremo inferior de la probeta. En adelante, la placa de acero se denominará placa-palanca. Un par de alambres de acero se conectan a cada extremo de la placa-palanca y pasan a través de poleas instaladas en las barras horizontales del marco. Los dos cables deben cargarse cuidadosamente con pesos iguales para producir un par de fuerzas en la placa-palanca, lo que se traduce en un torque que actúa sobre la probeta. Las barras horizontales antes mencionadas fueron provistas de guías deslizantes en sus

extremos que permiten su desplazamiento vertical para ensayar probetas de diferentes longitudes.

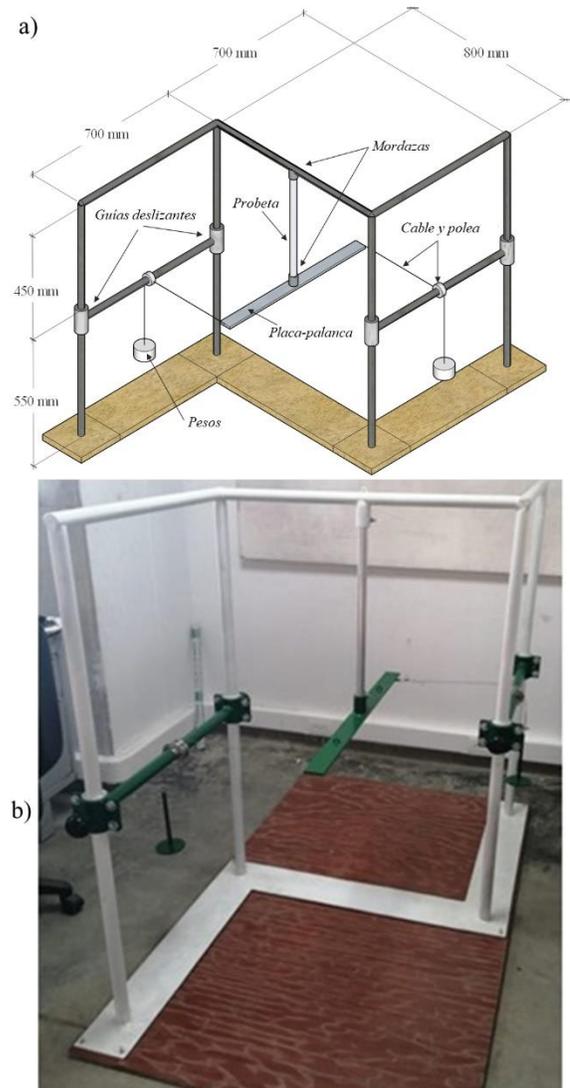


Fig. 1. Torsiómetro de bajo costo: (a) modelo conceptual y (b) torsiómetro real.

La forma en Z del torsiómetro facilitó la recopilación de datos por parte de los estudiantes, como se explica en la siguiente sección. La Fig. 1-b muestra el torsiómetro después de la fabricación por parte de una empresa local. Su costo total fue de USD 848, incluyendo impuestos (facturado el 3 de febrero de 2019). Este es un costo relativamente bajo y, por lo tanto, el torsiómetro puede considerarse un equipo de ensayo de bajo costo.

**B. Uso de la Técnica de Correlación de Imágenes Digitales**

El objetivo principal de la experiencia fue que cada equipo determinara el módulo de corte del espécimen que ensayaron. En una máquina de prueba de torsión típica, la muestra se dispone horizontalmente y se somete a un torque creciente aplicado por un dispositivo giratorio en el extremo libre de la muestra. Al mismo tiempo, el ángulo de torsión se mide

mediante un codificador rotatorio que muestra los datos en un indicador o en un sensor digital. Luego, las propiedades geométricas de la muestra y el torque y el ángulo de torsión medidos se utilizan para determinar el módulo de corte.

En el torsiómetro de bajo costo, el torque aplicado a la muestra resulta del par de fuerzas actuando en la placa-palanca, generado por los pesos colocados en los cables. Para determinar el ángulo de torsión, los estudiantes deben medir el desplazamiento horizontal en al menos un extremo de la placa del brazo de momento y luego calcular el ángulo en función del movimiento de cuerpo rígido de la placa. Debido a su viabilidad económica en comparación con los sensores de medición clásicos como los extensómetros o los sensores de posición lineal, se seleccionó la técnica de correlación de imagen digital (CID) para integrarla en la experiencia. Esta técnica fue más innovadora tecnológicamente que los otros dispositivos, lo que beneficiaría a los estudiantes y evitaba el desarrollo o la compra de un sistema de adquisición de datos.

Para aplicar la técnica CID, los estudiantes deben colocar sus teléfonos debajo de uno o ambos extremos de la placa del brazo de palanca usando un trípode (Fig. 2) y capturar fotografías al comienzo de la prueba (es decir, en la posición no deformada de la placa-palanca) y después de colocar los pesos. Teniendo en cuenta que para que las imágenes capturadas sean reconocidas, procesadas y transformadas en datos de desplazamiento por el software GOM Correlate, las fotos debían capturar superficies únicas, llamadas patrones, que se pegaron en el extremo de la placa-palanca. El software permite el uso de dos tipos de patrones, discretos y estocásticos (Fig. 2), proporcionados a los estudiantes por los profesores y auxiliares docentes.

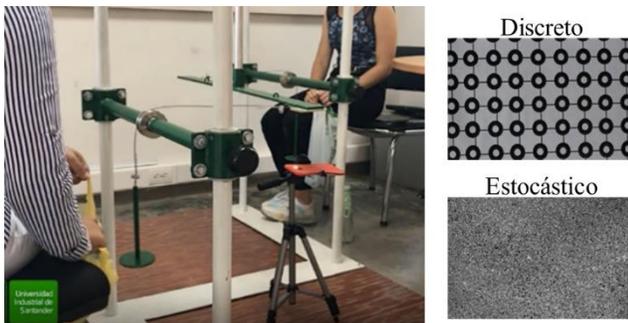


Fig. 2. Vista en primer plano del trípode y el teléfono celular utilizados para capturar las fotos (izquierda) y ejemplos de patrones discretos y estocásticos (derecha).

### C. Entrenamiento de los estudiantes

Antes de asignar la actividad a los alumnos, los auxiliares docentes realizaron los ensayos de torsión usando una probeta de aluminio con el fin de verificar el funcionamiento del torsiómetro, detectar posibles dificultades y proponer una guía paso a paso para los alumnos. Este ejercicio mostró que la prueba podía realizarse durante una hora si existía un buen ajuste entre la muestra y las mordazas. Para familiarizar a los estudiantes con la configuración experimental, se grabó un

video explicativo mostrando los aspectos generales y los pasos del experimento y se compartió a través de YouTube [16].

Los auxiliares docentes dictaron a los estudiantes un curso presencial de dos horas titulado "Introducción a la correlación de imágenes digitales (CID) utilizando el software GOM Correlate". El curso abarcó los conceptos básicos y las aplicaciones de las imágenes digitales y los pasos básicos de la técnica de correlación de imágenes digitales. Además, se utilizó la versión libre del software GOM Correlate 2019 para resolver dos ejercicios, uno con fotografías capturadas en un patrón discreto y otro en un patrón estocástico. Los alumnos resolvieron los ejercicios durante el curso para despejar dudas. Luego, el tutorial de estos ejercicios se puso a disposición de los estudiantes como un archivo digital para su estudio independiente.

### D. Implementación de los ensayos

Para la ejecución de la experiencia se conformaron 23 equipos de tres a cuatro estudiantes. Los estudiantes formaron los equipos en lugar de los profesores. Este enfoque se consideró adecuado porque la experiencia sería aplicada por primera vez; por lo tanto, se deseaba un comienzo rápido como resultado de que los estudiantes dentro de un equipo se conocieran entre sí [17]. Cabe señalar que no se asignaron roles específicos a los estudiantes, pero los profesores actuaron como facilitadores para la acción sinérgica de los equipos. Para esto último, se animó a cada equipo a asistir en los horarios de consulta para presentar sus avances y resolver dudas o problemas de interacción.

Cada estudiante recibió una guía paso a paso para desarrollar el experimento, pero se asignaron diferentes materiales y longitudes de probetas a cada equipo. Los equipos ensayaron las probetas utilizando el torsiómetro y el peso máximo que calcularon antes del ensayo para que no se superara el límite lineal-elástico de los materiales. El peso máximo se determinó aplicando los conceptos teóricos tratados en las clases y utilizando las propiedades teóricas de los materiales. Para tener datos suficientes y así calcular el módulo de corte del material, se pidió a los estudiantes que aplicaran el peso máximo en tres incrementos.

Los estudiantes capturaron las fotos usando teléfonos inteligentes con cámaras de definición moderada a alta (Fig. 3). Considerando el tiempo estimado para el desarrollo del experimento, la disponibilidad de los profesores y de los auxiliares docentes, y el requerimiento de un haz de luz uniforme en los patrones, se decidió programar tres pruebas por día (de 6 a 9 pm). Estas horas tardías fueron acordadas con cada equipo.

Cada equipo realizó los ensayos utilizando ambos patrones (discreto y estocástico), por lo que se necesitaron cuatro fotos por patrón, una en la etapa inicial y tres adicionales, cada una después de colocar los incrementos de peso. Como se ilustra en la Fig. 3, el flash del teléfono celular se utilizó como fuente de iluminación para reducir el error causado por la iluminación no uniforme.

Después de las pruebas, los estudiantes procesaron las imágenes usando la técnica CID implementando el software GOM Correlate (Fig. 4) y determinaron el módulo de corte y el porcentaje de error entre los valores experimentales y teóricos. Un informe con los datos medidos, ejemplos de cálculos, resultados y observaciones experimentales y conclusiones debía ser presentado a los profesores dos semanas después de completar los ensayos.



Fig. 3. Estudiantes realizando los ensayos.

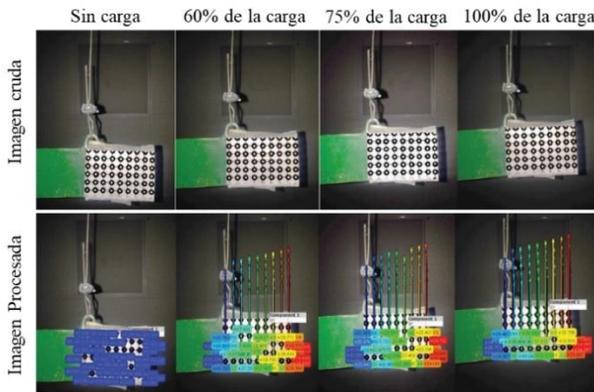


Fig. 4. Ejemplo de imagen cruda y procesada en GOM Correlate.

### E. Informe de evaluación

Los profesores evaluaron los informes para determinar si los estudiantes lograron el objetivo del experimento trabajando en equipos. Se evaluaron los siguientes aspectos del informe: 1) generalidades (descripción del problema, objetivos y referencias); 2) metodología (protocolo de carga, cálculos teóricos, descripción del modelo matemático y su aplicación al problema, y procedimiento utilizado para calcular el módulo de corte a partir de los datos medidos); 3) resultados y análisis (errores entre el módulo de corte teórico y medido, explicación de posibles fuentes de error); 4) conclusiones; y 5) otros

aspectos (puntualidad, calidad del informe, referencias y anexos con fotos). En la UIS, las calificaciones se realizan de 0.0 a 5.0, siendo la calificación aprobatoria igual a 3.0.

TABLA II  
PREGUNTAS TIPO LIKERT RELACIONADA CON ABET SO-5

1. La implementación de la metodología de trabajo colaborativo me ayuda a comprender los conceptos teóricos de la asignatura	2. El desarrollo de la experiencia me ayuda a entender la importancia del trabajo colaborativo y la comunicación efectiva para cumplir los objetivos
3. La implementación de la metodología de trabajo colaborativo me ayuda a entender la importancia de desarrollar habilidades de liderazgo	4. La implementación de la metodología de trabajo colaborativo me ayuda a entender la importancia de la solidaridad, tolerancia y respeto con mis pares.
5. La implementación de la metodología de trabajo colaborativo me ayuda a entender la importancia de la responsabilidad individual en la consecución de los objetivos colectivos	

TABLA III  
PREGUNTAS TIPO LIKERT RELACIONADA CON ABET SO-6

6. El experimento guarda relación con la teoría vista en clase	7. La actividad experimental contribuye a la comprensión del fenómeno de torsión en barras
8. El acompañamiento durante la ejecución del experimento, por parte de los docentes y auxiliares, es suficiente para el correcto desarrollo de la actividad	9. La guía paso a paso del trabajo sirve de apoyo para el correcto desarrollo de la actividad
10. El video explicativo sirve de apoyo para el correcto desarrollo de la actividad	11. La clase del uso del software GOM Correlate sirve de apoyo para el correcto desarrollo de la actividad
12. La implementación de este tipo de actividad promueve mi interés por los temas del curso Mecánica de Sólidos	13. La metodología implementada en la actividad es una alternativa válida para determinar propiedades mecánicas de los materiales
14. Considero que la integración de CID en el desarrollo de la actividad contribuye a mi formación científica, tecnológica y empresarial	15. La experiencia me ayudó a desarrollar habilidades en la formulación de conclusiones relacionadas con el cálculo de propiedades de materiales con base a resultados experimentales y modelos teóricos.

TABLA IV  
PREGUNTAS TIPO RESPUESTA ABIERTA

16. ¿Qué dificultades tuvo con la planificación del experimento?	17. ¿Qué dificultades tuvo durante la ejecución del experimento?
18. ¿Qué dificultades tuvo relacionando el experimento con los conceptos teóricos vistos en clase?	19. ¿Qué aspectos mejoraría de la actividad?

### F. Percepción de los estudiantes

Las percepciones de los estudiantes fueron utilizadas para evaluar el impacto de la experiencia en el desarrollo de los resultados de aprendizaje de los estudiantes SO-5 y SO-6 formulados por ABET. Para ello, se diseñó e implementó una encuesta compuesta por 15 preguntas de escala tipo Likert de cuatro puntos. Seis de las preguntas estaban asociadas al resultado SO-5 y las restantes al SO-6. Las respuestas disponibles para cada pregunta tipo Likert fueron "muy de acuerdo", "algo de acuerdo", "algo en desacuerdo" y "en desacuerdo". Además, en la encuesta se incluyeron cuatro preguntas abiertas para identificar las principales dificultades

encontradas por los estudiantes durante las pruebas para proponer mejoras adicionales a la experiencia. Todas las preguntas se presentan en las Tablas II a IV. La encuesta se aplicó a los estudiantes a través de Google Forms una vez finalizado el curso, y su participación fue voluntaria e individual. El análisis de los resultados de las encuestas de Likert se realizó mediante estadística descriptiva, como recomienda Bone and Bone [18].

### V. RESULTADOS

La Fig. 5 muestra las calificaciones otorgadas a los informes de los equipos, la media ( $\bar{X}$ ) y la desviación estándar ( $\sigma$ ). Recuerde que las notas van de 0.0 a 5.0 y que la nota de aprobación es 3.0.

La encuesta de percepción fue respondida por 44 estudiantes, lo que representa el 54% de los estudiantes que realizaron los experimentos. Este porcentaje es superior al rango típico de participación (10% a 30%) en encuestas voluntarias entre estudiantes, como lo reportado por [6]. Las respuestas a las preguntas en escala de Likert se muestran en las Figs. 6 y 7. El eje vertical en esas figuras indica el porcentaje de estudiantes que seleccionaron cada escala de Likert, mostradas en el eje horizontal. También se incluyen la media ( $\bar{X}$ ) y la desviación estándar ( $\sigma$ ).

Las respuestas promedio de las preguntas tipo Likert asociadas a los resultados de aprendizaje SO-5 y SO-6 se calcularon para tener una idea global del impacto de la experiencia en el desarrollo de dichas competencias. Los resultados globales se muestran en la Fig. 7.

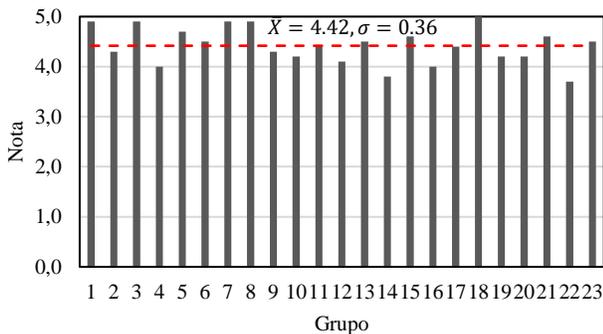


Fig. 5. Calificaciones asignadas a los informes presentados por los equipos.

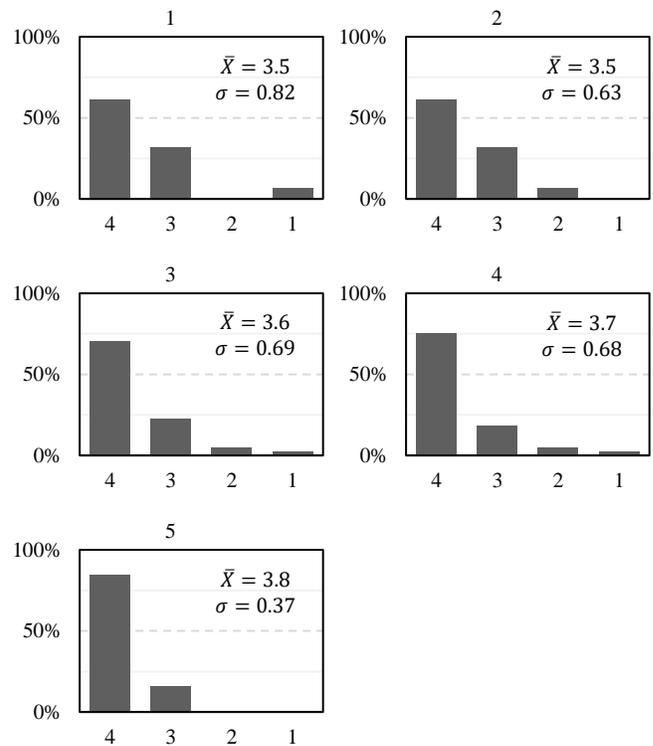
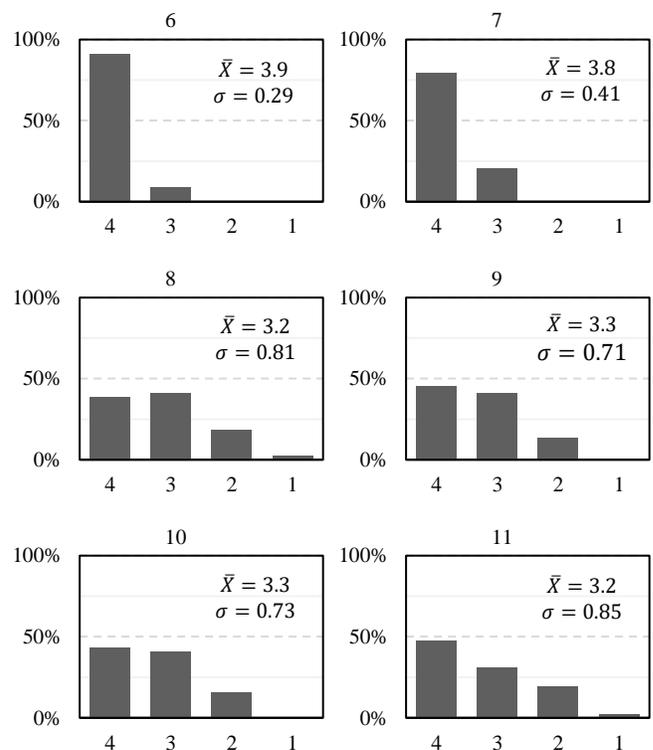


Fig. 6. Resultados de la encuesta de percepción de preguntas relacionadas con la competencia SO-5 (preguntas 1-5).



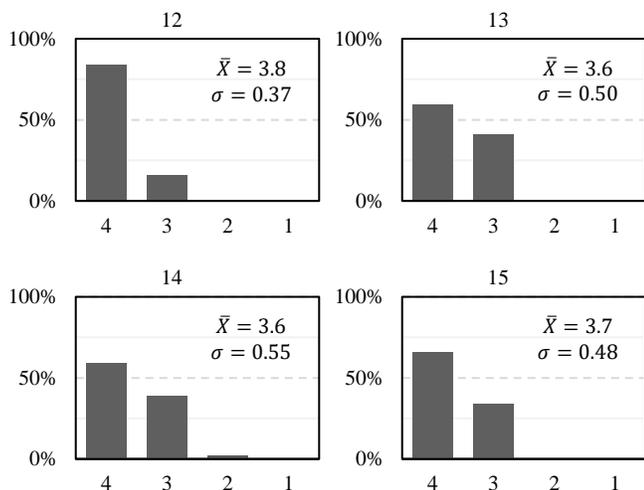


Fig. 7. Resultados de la encuesta de percepción de preguntas relacionadas con la competencia SO-6 (preguntas 1-15).

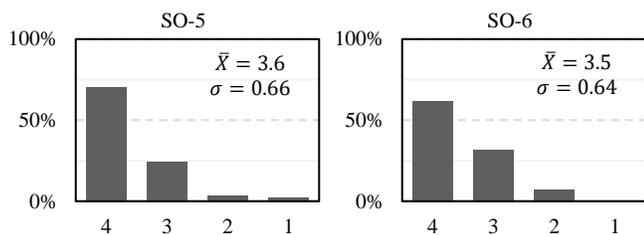


Fig. 8. Resultados promediados de la encuesta de percepción a preguntas relacionadas con las competencias SO-5 (izquierda) y SO-6 (derecha).

## VI. DISCUSIÓN

En esta sección se analiza el desarrollo del experimento de torsión y los resultados presentados en la sección V. El lector debe ser consciente de que esta es la primera vez que la experiencia es implementada; por lo tanto, los hallazgos no deben generalizarse. Aunque la experiencia exigió un esfuerzo significativo por parte de los profesores y auxiliares docentes, todavía existen limitaciones que deben abordarse en el futuro. Algunos ejemplos de estas limitaciones incluyen la aplicación de la experiencia en un solo período académico y en una sola escuela, el número de estudiantes que respondieron la encuesta y el hecho de que la encuesta no está validada. Además, como se señaló anteriormente, la satisfacción de los estudiantes se obtuvo de la encuesta utilizando estadísticas descriptivas. Algunas variables que no fueron controladas o rastreadas en el estudio (por ejemplo, distribución de género, edad, conocimiento previo, motivación de los estudiantes de la muestra y antecedentes académicos previos y resultados de los estudiantes) pueden afectar los hallazgos discutidos aquí.

### A. Desarrollo de la experiencia.

Las pruebas se realizaron entre el 2 y el 14 de marzo de 2020, en el Laboratorio de Caracterización de Materiales de la Escuela de Ingeniería Civil de la UIS. Cabe señalar que, al momento de completarse las pruebas, el número de casos

confirmados de personas infectadas en Colombia con COVID-19 no era grande (total de 57), y no había casos confirmados en Bucaramanga, ciudad donde se encuentra la UIS. Las medidas nacionales obligatorias de aislamiento preventivo, incluida la obligatoriedad de instrucción a distancia en universidades y escuelas, comenzaron el 24 de marzo de 2020.

En general, los estudiantes completaron las pruebas, procesaron los datos y presentaron el informe final dentro del tiempo esperado. Sin embargo, los profesores y los auxiliares docentes notamos que los primeros equipos tuvieron problemas para realizar el experimento porque el diámetro de algunas probetas era ligeramente menor o mayor que el orificio en las abrazaderas del torsiómetro o porque no determinaron el peso máximo que se debía colocar. El cálculo del peso máximo era un requisito previo a la prueba.

Los problemas se discutieron con los equipos que no habían realizado las pruebas para evitar su recurrencia. Además, se instruyó a cada equipo para que verificara el ajuste de la muestra en las abrazaderas uno o dos días antes de la fecha de la prueba y así decidir si cambiaban la muestra o reducían su diámetro lijándola hasta que se lograra el ajuste deseado. A medida que las pruebas se desarrollaron, se encontró que los estudiantes compartieron sus experiencias con otros equipos que no habían hecho los ensayos, mostrando un aprendizaje colaborativo entre diferentes equipos. Además, también se observó que el tiempo de prueba de los últimos equipos fue cinco minutos más corto que el de los primeros equipos.

### B. Calificaciones de los reportes

Como se muestra en la Fig. 5, todos los equipos tuvieron un desempeño satisfactorio en el desarrollo de la experiencia. Las dos calificaciones más bajas fueron 3.7 y 3.8, que son mayores que la calificación aprobatoria (3.0). Estos equipos tuvieron esas calificaciones porque realizaron las pruebas de torsión utilizando solo uno de los patrones. Como resultado, la metodología, los cálculos del módulo de corte y las conclusiones (especialmente las relativas al efecto del patrón) estaban incompletas.

Un resultado interesante del desempeño de los estudiantes fue que los dos equipos con las calificaciones más altas fueron seleccionados por los profesores para participar en la sección de estudiantes del congreso virtual "Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería ACOFI 2020". Bajo la dirección de los profesores, los estudiantes de los dos equipos prepararon un artículo de conferencia [19] y presentaron el procedimiento y los resultados obtenidos para las muestras de madera y PVC.

### C. Resultados de la encuesta.

Como se muestra en la Fig. 8, la media de las respuestas a las preguntas Likert de cuatro puntos asociadas con el trabajo en equipo (SO-5) y la experimentación (SO-6) fueron 3.6 y 3.5, respectivamente, y las respectivas desviaciones estándar fueron aproximadamente el 19% y el 18% de las medias. Así, los alumnos percibieron la actividad como una experiencia positiva para desarrollar sus capacidades para trabajar en equipo y para realizar experimentos y analizar los resultados, siendo

ligeramente mayor la contribución a potenciar la competencia SO-6.

El análisis de las respuestas a cada pregunta tipo Likert (Figs. 6 y 7) reveló que la media fue mayor que 3.0 en todos los casos, correspondiendo a la percepción "algo de acuerdo". Las desviaciones estándar fueron menores que la mitad de la media. Sin embargo, algunas preguntas mostraron respuestas con dispersión moderada (p. ej.,  $\sigma > 0.7$ ), lo que indica cierto grado de insatisfacción por parte de un pequeño grupo de estudiantes. Por ejemplo, las respuestas a la pregunta 8 tuvieron la media más baja ( $\bar{X} = 3.2$ ) de todas las preguntas y una dispersión moderada ( $\sigma = 0.81$ ). Esta pregunta indagó sobre la suficiencia de la orientación proporcionada por los profesores y los auxiliares docentes para desarrollar la experiencia. Este resultado fue algo inesperado porque los alumnos siempre estuvieron acompañados durante los ensayos y además se programaron horas de consulta para resolver dudas antes y después de las pruebas. El hecho de que no se hayan dado roles específicos a los estudiantes de cada equipo pudo haber contribuido a este resultado. Por lo tanto, el resultado puede reflejar la necesidad de los estudiantes de orientación dedicada después de realizar los experimentos. Para experiencias futuras, se cree que enseñar principios de trabajo en equipo durante períodos cortos de las clases puede ayudar a lograr una experiencia más exitosa. Esos espacios también se pueden utilizar para crear conciencia en los estudiantes para comprender la importancia del trabajo independiente y el aprendizaje autónomo y activo como parte de su proceso de aprendizaje.

Las preguntas 5, 6 y 12 tuvieron la media más alta, cercana a 4 (percepción "totalmente de acuerdo"). Estos resultados sugieren que la implementación del experimento en sincronía con los contenidos teóricos del curso fue fundamental para estimular el interés de los estudiantes en el tema del curso y contribuyó a comprender la importancia de la responsabilidad individual dentro de un equipo.

La Tabla V presenta las respuestas de algunos estudiantes a las preguntas abiertas (Tabla III). Para la pregunta 16, los comentarios más comunes (43.2% de los estudiantes) se relacionaron con la dificultad para obtener el diámetro exacto de la muestra para un correcto ajuste en las abrazaderas. Como se señaló anteriormente, este problema también fue detectado por los profesores y auxiliares docentes. En cuanto a la pregunta 17, que indagó sobre las dificultades encontradas durante la ejecución de las pruebas, la mayoría de los comentarios se relacionaron con el ajuste de la muestra en la mordaza del torsiómetro (31.8%), incluso cuando las desviaciones del diámetro requerido eran relativamente pequeñas. Este problema fue el resultado de la baja tolerancia proporcionada por el tipo de mordazas en el torsiómetro. Otra dificultad reportada con una frecuencia relativamente alta (22.7%) fue el desgaste de los patrones discretos y estocásticos unidos a la placa del brazo de palanca debido al uso continuo. El daño en los patrones afectó el procesamiento de las imágenes de algunos equipos, contribuyendo a errores porcentuales significativos entre el

módulo de corte medido y teórico. Como propuesta de mejora, se rediseñarán las mordazas del torsiómetro para facilitar el ajuste de las muestras, y se pedirá a los estudiantes que fabriquen los patrones discretos y estocásticos (bajo la guía de los profesores) y que cada equipo los use para evitar el desgaste acumulativo.

Con respecto a la pregunta 18, la mayoría de los estudiantes (77.2%) estuvieron de acuerdo en que no había dificultades para relacionar los conceptos teóricos discutidos en clase con el experimento. Finalmente, para la pregunta 19, la mayoría de los estudiantes señalaron que el tiempo dado para el desarrollo del experimento no era suficiente (52.3%). En relación con los comentarios de los alumnos, el tiempo que se le dará a un equipo para desarrollar la actividad será de 1.5 h en otras pruebas, limitando el número de pruebas por día a dos. Además, será obligatorio que los alumnos verifiquen el ajuste de la muestra en las mordazas al menos una semana antes de la prueba.

TABLA V  
RESPUESTAS DE LOS ESTUDIANTES A LAS PREGUNTAS ABIERTAS.

Pregunta	Respuestas de los estudiantes
16	"La barra que habíamos comprado tenía una pulgada de diámetro y no encajaba, así que tuvimos que lijarla." "Obtener el material con las medidas exactas para el ensamblaje."
17	"Ajuste de la muestra en la abrazadera." "El patrón discreto estaba un poco desgastado, por lo que al tomar las fotografías e importarlas al software, no podía reconocer los puntos, por lo cual tuvimos que realizar el procedimiento varias veces."
18	"No hubo ninguna dificultad." "Creo que no tuvimos ninguna dificultad en esta parte; tratamos de investigar lo más posible sobre el material que teníamos."
19	"Es obligatorio asistir al laboratorio una semana antes para comprobar si la muestra se ajusta correctamente al sistema." "Creo que ellos (los profesores) deberían darnos más de una hora porque siempre nos retrasamos un poco, y no tenemos tiempo para verificar si el software lee las imágenes o si están borrosas."

## VII. CONCLUSIONES

Este trabajo presenta la formulación y aplicación de una experiencia de aprendizaje que combinó componentes teóricos y experimentales en el curso de mecánica de sólidos del programa de ingeniería civil de la Universidad Industrial de Santander, en Colombia. Un torsiómetro de bajo costo diseñado por los autores y la técnica de correlación de imágenes digitales fueron combinados para que los estudiantes pudieran determinar el módulo de corte de materiales accesibles. Se esperaba que la experiencia, aplicada por primera vez en el curso, ayudara a los estudiantes a comprender las relaciones entre el torque aplicado a las probetas y las deformaciones y esfuerzos resultantes en el rango lineal-elástico. Teniendo en cuenta las limitaciones del estudio, discutidas en el artículo y más específicamente en la sección V, las principales conclusiones extraídas del diseño e implementación de la

experiencia de aprendizaje son:

- La integración del torsiómetro de bajo costo y la técnica de correlación de imágenes digitales permitió la posibilidad de enseñar y aprender a través de la experimentación en un curso de carácter teórico. Esta oportunidad se mejoró mediante el uso de teléfonos celulares accesibles y software de acceso gratuito.

- Aunque el estudio se limita a los resultados medidos en un solo curso y se detectaron mejoras adicionales en el torsiómetro y en toda la experiencia, los autores creen que este tipo de configuración experimental comprende una alternativa adecuada para programas de ingeniería con presupuestos limitados.

- Con base en los resultados de la encuesta, se concluye que la experiencia de enseñanza-aprendizaje promovió el interés de los estudiantes en el tema del curso. Por lo tanto, puede ser aconsejable implementar una estrategia similar al desarrollar otros temas del plan de estudios del curso.

- Con base en el desempeño de los estudiantes en la experiencia y la retroalimentación de aproximadamente la mitad de los estudiantes que desarrollaron la experiencia se observó que la implementación sincrónica del experimento y el contenido teórico impactaron positivamente la comprensión de los estudiantes del tema de la torsión pura. La sincronización promovió el desarrollo de las habilidades necesarias para realizar juicios de ingeniería basados en la interpretación y análisis de datos experimentales.

- En general, los estudiantes percibieron que la experiencia discutida en este trabajo fortaleció su capacidad para trabajar colaborativamente y su sentido de responsabilidad dentro de un equipo. Debido a que el desarrollo de estas habilidades es fundamental para garantizar el desempeño exitoso de los graduados, se propusieron refinamientos adicionales en la conformación de los equipos y la asignación de roles para futuras aplicaciones de la experiencia.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Escuela de Ingeniería Civil de la UIS por el apoyo financiero para construir el torsiómetro. Se agradece al Grupo de Investigación INME por el espacio habilitado en el Laboratorio de Caracterización de Materiales para realizar los ensayos de torsión. También se reconoce el apoyo del Centro de Desarrollo Docente de la UIS (CEDEDUIS) en la creación de la encuesta de percepción. Los estudiantes anónimos que participaron en la encuesta son sinceramente agradecidos. Por último, también se agradece a los revisores anónimos de este artículo por sus comentarios constructivos.

#### REFERENCIAS

- [1] Accreditation Board for Engineering and Technology, "Criteria for Accrediting Engineering Programs 2020-2021." <https://www.abet.org/accreditation/accreditation-criteria/criteria-for-accrediting-engineering-programs-2020-2021/> (accessed Feb. 17, 2022).
- [2] D. W. Johnson and R. T. Johnson, "An overview of cooperative

- learning," in *Creativity and collaborative learning*, J. Thousand, A. Villa, and A. Nevin, Eds. Brookes Press, pp. 31–44, 1994.
- [3] K. A. Jones and J. L. Jones, "Making cooperative learning work in the college classroom: an application of the 'five pillars' of cooperative learning to post-secondary instruction," *J. of Effective Teaching*, vol. 8, no. 2, pp. 61–76, 2008.
- [4] J. Macedo and M. Pinho-lobes, "Using different and complementary teaching tools in project-based learning," in *Proc. 3rd Int. Conf. of the Portuguese Society for Engineering Education*, June 2008, pp. 1–6, doi: 10.1109/CISPEE.2018.8593494.
- [5] D. Mckinney and L. F. Denton, "Developing collaborative skills early in the CS curriculum in a laboratory environment," *ACM SIGCSE Bulletin*, vol. 38, no. 1, pp. 138–142, March, 2006, doi: 10.1145/1124706.1121387.
- [6] B. A. Oakley, D. M. Hanna, Z. Kuzmyn, and R. M. Felder, "Best practices involving teamwork in the classroom: results from a survey of 6435 engineering student respondents," *IEEE Trans. Educ.*, vol. 50, no. 3, pp. 266–272, Aug., 2007, doi: 10.1109/TE.2007.901982.
- [7] R. L. Pimmel, "A practical approach for converting group assignments into team projects," *IEEE Trans. Educ.*, vol. 46, no. 2, pp. 273–282, May, 2003, doi: 10.1109/TE.2003.808913.
- [8] L. Mivehchi and L. Rajabion, "A framework for evaluating the impact of mobile games, technological innovation and collaborative learning on students' motivation," *Hum. Syst. Manag.*, vol. 39, no. 1, pp. 93–103, Feb., 2020, doi: 10.3233/HSM-190543.
- [9] N. S. Edward, "The role of laboratory work in engineering education: students and staff perceptions," *Int. J. Electr. Eng. Educ.*, pp. 11–19, Jan., 2015, doi: 10.7227/IJEEE.39.1.2.
- [10] G. Doughty, "Experimentation: how it reinforces self-learning," *Innov. Methods Eng. Educ.*, vol. 43, pp. 264–269, 1992.
- [11] J. Huang, S. K. Ong, and A. Y. C. Nee, "An approach for augmented learning of finite element analysis," *Comput. Appl. Eng. Educ.*, vol. 27, no. 4, pp. 921–933, June, 2019, doi: 10.1002/cae.22125.
- [12] R. Chacón and S. Oller, "Designing experiments using digital fabrication in structural dynamics," *J. Prof. Issues Eng. Educ. Pract.*, vol. 143, no. 3, pp. 1–9, July, 2017, doi: 10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000315.
- [13] Universidad Industrial de Santander, "Proyecto educativo del programa de ingeniería civil." Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia, p. 58, 2013.
- [14] Escuela de Ingeniería Civil. "Escuela de Ingeniería Civil." Plan de Estudios. <http://ingenieriacivil.uis.edu.co/eisi/eisi.jsp?IdServicio=S74> (Accessed Sep. 18, 2021).
- [15] *GOM Correlate*. (2019), GOM Metrology.
- [16] J. M. Benjumea, Colombia. *Ensayo de torsión - mecánica de sólidos @ UIS, Colombia*. (Feb. 23, 2020). Available <https://youtu.be/tCVMLEOrBAE>.
- [17] S. Hilton and F. Phillips, "Instructor-assigned and student-selected groups: a view from inside," *Issues Account. Educ.*, vol. 25, no. 1, pp. 15–33, March, 2010, doi: 10.2139/ssrn.1151815.
- [18] H. N. Boone and D. A. Boone, "Analyzing likert data," *J. Ext.*, vol. 50, no. 2, p. 30, 2012.
- [19] J. Guerrero *et al.*, "Estimación del módulo de rigidez del balsa y PVC usando un torsiómetro de bajo costo y correlación de imágenes digitales," in *Encuentro Int. de Ed. en Ing. ACOFI*, 2020, pp. 1–9, [Online]. Available: <https://acofipapers.org/index.php/eiei/article/view/859/863>



**José Benjumea** recibió su título de pregrado y Maestría en Ciencias en Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander (UIS) en Bucaramanga, Colombia, y el título de Doctor en Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad de Nevada, Reno, Estados Unidos. Actualmente es Profesor Asociado en la escuela de ingeniería civil de la UIS. Sus intereses de investigación incluyen el análisis, diseño y ensayos de estructuras de concreto, y el desarrollo de estrategias de enseñanza-aprendizaje en ingeniería.



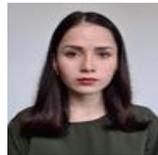
**David Cotes** recibió su título de pregrado y Maestría en Ciencias en Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander (UIS) en Bucaramanga, Colombia. Actualmente es Profesor Adjunto en la escuela de ingeniería civil de la UIS. Sus intereses de investigación incluyen la implementación de la optimización heurística y las redes neuronales artificiales para el análisis y diseño de elementos de concreto, el análisis sísmico no lineal y de confiabilidad estructural de edificios de concreto y el desarrollo de estrategias de enseñanza-aprendizaje en ingeniería.



**Laureen Carvajal Oyaga** recibió el título de pregrado en Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander (UIS) en Bucaramanga, Colombia en 2021. De 2019 a 2020, trabajó como auxiliar docente del curso de mecánica de sólidos en la UIS. Sus intereses de investigación incluyen análisis, diseño, optimización y confiabilidad de estructuras de concreto, y estrategias de enseñanza-aprendizaje en ingeniería.



**Laura Niño Sepúlveda** recibió el título de pregrado en Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander (UIS) en Bucaramanga, Colombia en 2021. De 2019 a 2020, trabajó como auxiliar docente del curso de mecánica de sólidos en la UIS. Sus intereses de investigación incluyen análisis, diseño, optimización y confiabilidad de estructuras de concreto, y estrategias de enseñanza-aprendizaje en ingeniería.



**Samantha Moreno** recibió el título de pregrado en Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander (UIS) en Bucaramanga, Colombia en 2020. De 2019 a 2020, trabajó como auxiliar docente del curso de mecánica de sólidos en la UIS. Actualmente trabaja como ingeniera de diseño en ECOSI en Bucaramanga. Sus intereses de investigación incluyen análisis sísmico, diseño y respuesta de puentes y estrategias de enseñanza-aprendizaje en ingeniería.