



Aprendizaje experiencial de Teoría de Estructuras con K’NEX y SAP2000

Experimental learning of Theory of Structures using K’NEX and SAP2000

V. Albero^a, J. Forner-Escrig^b, M. Roig-Flores^c, E. Moliner^d, J. M. Portolés^e

^aDepartamento de Ingeniería Mecánica y Construcción, Universitat Jaume I, España, valbero@uji.es, 

^bDepartamento de Ingeniería Mecánica y Construcción, Universitat Jaume I, España, jforner@uji.es, 

^cDepartamento de Ingeniería Mecánica y Construcción, Universitat Jaume I, España, roigma@uji.es, 

^dDepartamento de Ingeniería Mecánica y Construcción, Universitat Jaume I, España, molinere@uji.es, 

^eDepartamento de Ingeniería Mecánica y Construcción, Universitat Jaume I, España, jportole@uji.es, 

How to cite: V. Albero, J. Forner-Escrig, M. Roig-Flores, E. Moliner, J. M. Portolés. 2022. Aprendizaje experiencial de Teoría de Estructuras con K’NEX y SAP2000. En libro de actas: *VIII Congreso de Innovación Educativa y Docencia en Red*. Valencia, 6 - 8 de julio de 2022. <https://doi.org/10.4995/INRED2022.2022.15812>

Abstract

This work describes an innovation carried out during the course 2021/22 in the computer sessions of the subject “Theory of Structures”, taught in Mechanical Engineering (third year subject) and Industrial Technologies Engineering (fourth year subject) degrees. The authors proposed a “hands-on” approach with the purpose of designing a truss bridge, combining an experimental part with K’NEX toys and a computer session with the software for Structural Analysis SAP2000. The activity was planned as a group activity and was scheduled in three sessions: 1) a creative experimental session with K’NEX to propose a first design, 2) a modelling session with SAP2000 in order to detect non-efficient elements, and 3) a final experimental session with K’NEX to propose a final design. The efficiency of the proposed truss bridges is evaluated through the ratio between the supported weight and the weight of the structure. The outcomes of this experience are: a higher motivation and participation of the students, highly creative solutions that exceeded the initial expectations, and a better understanding of the behaviour of the models, especially joints, forces, and movement restrictions.

Keywords: *Experiential learning, Hands-on approach, Teamwork, Structural analysis, Numerical simulation, Engineering education*

Resumen

Este trabajo describe una innovación llevada a cabo durante el curso 2021/22 en las sesiones informáticas de la asignatura “Teoría de Estructuras”, impartida en los grados de Ingeniería Mecánica (asignatura de tercer curso) e Ingeniería en Tecnologías Industriales (asignatura de cuarto curso). Los autores proponen un enfoque práctico con el propósito de diseñar un puente de celosía, combinando una parte experimental de construcción de la estructura con juguetes K’NEX y una sesión de ordenador con el software para análisis estructural SAP2000. La actividad se planificó como una actividad grupal y se programó en tres sesiones: 1) una sesión experimental creativa con K’NEX para proponer un primer diseño, 2) una sesión de modelado con SAP2000 para detectar elementos no eficientes, y 3)

una sesión experimental final con K'NEX para proponer un diseño final. La eficiencia de los puentes de celosía propuestos se evaluó mediante la relación entre el peso soportado y el peso de la estructura. Los resultados de esta experiencia son: una mayor motivación y participación de los estudiantes, soluciones muy creativas que superaron las expectativas iniciales y una mejor comprensión del comportamiento de los modelos, especialmente las articulaciones, fuerzas y restricciones de movimiento.

Palabras clave: *Aprendizaje experiencial, Enfoque práctico, Trabajo en equipo, Análisis estructural, Simulación numérica, Educación en ingeniería.*

1. Introducción

Este trabajo describe una innovación en las sesiones de laboratorio de la asignatura “Teoría de Estructuras”. En cursos previos, las sesiones consistían en la resolución de estructuras propuestas por el profesor con el software para análisis estructural SAP2000. No obstante, en los últimos cursos se han detectado tanto dificultades en el aprendizaje de los modelos estructurales como una creciente falta de motivación por parte del alumnado a la hora de abordar estas sesiones, donde se aplican los conceptos teóricos introducidos en las sesiones de teoría. Por ello, se plantea una innovación para iniciar a los estudiantes en el proceso de modelización de estructuras y mejorar su aprendizaje en conceptos relacionados con las estructuras de barras, mediante una actividad que fomente su creatividad e implicación en el desarrollo de las sesiones de laboratorio. La innovación descrita en este trabajo tiene un enfoque práctico basado en el aprendizaje experiencial, combinando una parte experimental de construcción de estructuras con juguetes K'NEX y una sesión de ordenador con SAP2000.

1.1. Aprendizaje experiencial

El aprendizaje experiencial es un modelo de aprendizaje basado en aprender de la experiencia o “aprender haciendo” (Lewis y Williams, 1994). El uso de este método se ha estado expandiendo en las últimas décadas y se considera fundamental para garantizar aprendizaje profundo (Lewis y Williams, 1994; Kolb, 2014). En la educación terciaria se espera que este tipo de aprendizaje revitalice el currículo universitario y sea un apoyo para los cambios que se han producido en el ámbito educativo (Kolb, 2014).

Una de las principales aplicaciones que definen Lewis y Williams es el aprendizaje experiencial en clase (“*classroom-based experiential learning*”), que busca activar a los estudiantes mediante el uso de juegos de rol, juegos, o simulaciones entre otros. Para que este aprendizaje se considere activo, debe conseguir que los estudiantes estén involucrados en “hacer” y “reflexionar” sobre lo que están haciendo. Al ser un proceso que se realiza en el aula, los estudiantes pueden recibir feedback en un ambiente seguro (Lewis y Williams, 1994). De hecho, varios autores (Wolf y Byrne, 1975; Gentry, 1990) resaltan que el aprendizaje puede resultar erróneo si no se garantiza que se dan las condiciones adecuadas para el aprendizaje. Sin una guía adecuada y preparación, no se dará el aprendizaje experiencial. Así, el aprendizaje dependerá de la etapa de feedback, ya que ésta condiciona cómo los estudiantes valoran las decisiones tomadas (Gentry, 1990).

1.2. Aprendizaje experiencial en equipos

El trabajo en equipo tiene cada vez más importancia en la educación y el ámbito laboral. Actualmente se considera que el conocimiento es el principal factor de producción, y un factor crucial como motor de la competitividad (Tejedor y Aguirre, 1998). Tejedor y Aguirre clasifican los factores que condicionan la capacidad de aprender de una empresa en bloques. Uno de estos bloques contiene los comportamientos y mecanismos de aprendizaje, entre los que consideran fundamental el trabajo en equipo para generar equipos eficaces. El estudio de Conchado y Carot (2013) muestra unos cuestionarios realizados a los graduados españoles, donde el trabajo en equipo es la competencia que más titulados consideran como punto fuerte de su titulación. Sin embargo, los autores resaltan que, aunque los estudiantes realicen trabajos en grupo de forma habitual, al resolverse frecuentemente mediante la asignación de subtareas entre los compañeros, no se estarían desarrollando las sinergias adecuadas para considerar la competencia de trabajo en equipo. El aprendizaje en equipos no está exento de críticas. Kayes et al. (2005) recogen una lista de las quejas más habituales en este tipo de aprendizaje, entre ellas: i) pérdida de tiempo en reuniones sin resultados, ii) estudiantes que no se implican y afectan a la nota del equipo, iii) sobredependencia de un líder dominante, iv) conformismo en el “pensamiento de grupo”, v) tomar decisiones con las que la mayoría del grupo no está de acuerdo por no expresar sus pensamientos, etc. Kayes et al. (2005) defienden que el aprendizaje experiencial en equipos puede salvar estas dificultades cuando los equipos están enfocados en el aprendizaje de forma intencionada y proponen el método KTLE (*Kolb Team Learning Experience*), basado en los 6 aspectos: propósito, pertenencia, liderazgo, contexto, proceso y acción.

1.3. Antecedentes

En el área de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras de la UJI existen precedentes en aprendizaje experiencial con proyectos “hands-on” (Romero y Museros, 2002). En los cursos 1998-99 y 2000-01 se realizaron actividades de aprendizaje con K’NEX y madera de balsa, respectivamente, que en ambos casos fueron modelizados posteriormente con SAP2000. Tras esta breve experiencia, realizada por otros docentes y que tuvo feedback positivo por parte de los estudiantes, dicha actividad no se volvió a repetir en los cursos posteriores.

La innovación docente propuesta en este trabajo tiene como inspiración dichas actividades, pero con estructura y contenidos diferentes. En las actividades realizadas hace 20 años, los grupos de alumnos realizaban estructuras completamente diferentes (puentes, aeropuertos, etc.) con las piezas K’NEX, mientras que la actividad propuesta en este trabajo, se centra en un tipo de estructura concreta, un puente o pasarela, y se realiza una competición para conseguir la estructura más eficiente, así como fomentar la reflexión sobre las opciones de mejora de la estructura y sobre el proceso de modelización del ingeniero.

1.4. La asignatura: Teoría de Estructuras

La asignatura de Teoría de Estructuras, objeto de la innovación docente que se describe en este artículo, es una materia de 6 créditos que se imparte en varios grados del ámbito de la Ingeniería Industrial, como es el grado de Ingeniería Mecánica y el grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales. En la Universitat Jaume I de Castellón (UJI) ésta se imparte en tercer curso y primer semestre, mientras que en el segundo título se imparte en cuarto curso y primer semestre. El número total de matriculados suele ascender a 120-130, y se distribuyen en dos grupos de teoría (uno por titulación). A su vez, cada grupo de teoría se divide en varios grupos de problemas y laboratorio, con un tamaño máximo de 40 y 20, respectivamente.

De acuerdo al plan de estudios, los contenidos básicos que se abordan en la asignatura son: cálculo de esfuerzos y desplazamientos en estructuras de barras articuladas isostáticas e hiperestáticas, cálculo

matricial de estructuras de barras de nudos rígidos, sistemas estructurales en edificación industrial, acciones en edificación industrial y normativa vigente, introducción al proyecto de estructuras industriales e introducción al manejo de herramientas informáticas comerciales de cálculo de estructuras. Las memorias de verificación de los títulos donde se imparte señalan como requisitos previos para cursarla que los estudiantes cuenten con los conocimientos básicos adquiridos en las asignaturas de (i) Elasticidad y Resistencia de Materiales, y (ii) Mecánica de Máquinas y Estructuras, ambas de segundo curso. Sin embargo, en comparación con estas dos últimas materias citadas, la asignatura de Teoría de Estructuras goza de una mejor aceptación por parte de los estudiantes, debido a su carácter más aplicado y por ser conceptualmente más sencilla que las anteriores. Por tanto, la motivación y participación en el aula es más elevada, una circunstancia que viene también propiciada por un tamaño de grupo muy razonable que facilita emprender acciones innovadoras como la que se presenta en esta contribución.

La iniciativa propuesta se ha implantado en las sesiones de laboratorio de Teoría de Estructuras, con el objetivo de cubrir de forma integradora varios de los contenidos de la asignatura de manera simultánea. Específicamente, va orientada a reforzar los conocimientos adquiridos en la asignatura sobre cálculo de estructuras de barras articuladas y a aprender el manejo de software comercial de análisis estructural. Con esta iniciativa el estudiante además se enfrenta, en un ambiente controlado, a diversas etapas del proceso de diseño de una estructura como son: la concepción de una tipología estructural en base a unos condicionantes funcionales o dimensionales impuestos, la definición de un modelo matemático capaz de reproducir la realidad con suficiente fiabilidad, el predimensionado de la estructura y, por último, su análisis estructural y optimización.

Hasta la fecha las prácticas de laboratorio de Teoría de Estructuras consistían en un total de 5 sesiones que se desarrollaban exclusivamente en aula informática con una duración de 2 horas cada una. En ellas los estudiantes resolvían problemas propuestos por el profesorado mediante herramientas numéricas para el análisis estructural, tales como el software SAP 2000, hojas de cálculo implementadas en Excel o scripts implementados en entornos de programación como el Matlab. Los problemas propuestos durante estas sesiones se trabajaban en grupos de dos y se evaluaban a través de la entrega de una memoria de laboratorio, que los estudiantes debían elaborar y presentar con posterioridad a la sesión informática.

La nueva actividad docente ha permitido dotar de un mayor dinamismo y creatividad a las sesiones de laboratorio de la asignatura, cuyo formato era bastante rígido y daba poco lugar a la búsqueda de soluciones innovadoras. Como se describirá en detalle a lo largo de este artículo, esta nueva actividad experiencial se ha desarrollado a lo largo de tres sesiones de laboratorio, durante las cuales los estudiantes trabajan en grupos constituidos por 4 o 5 miembros. A lo largo de la primera sesión, que no requiere ordenador y, por tanto, se desarrolla en el laboratorio, los estudiantes disponen de un tiempo bastante limitado para construir una estructura a partir de unos condicionantes de diseño que indica el profesorado. En esta primera fase, prima la intuición y el aprendizaje experiencial: los diferentes grupos construyen diferentes soluciones que son puestas en carga hasta alcanzar el fallo, generándose una cierta competitividad entre los grupos ya que todos aspiran a construir la estructura más resistente, lo cual aumenta la motivación en el aula. Durante esta primera sesión los estudiantes observan ciertos modos de fallo de los que son poco conscientes durante las sesiones teóricas, como es el caso del pandeo lateral, y toman conciencia de la importancia de los arriostramientos para su prevención. En la siguiente sesión de laboratorio, que tiene lugar en aula informática, los estudiantes introducen su diseño inicial en un software de cálculo con el objetivo de tratar de optimizarlo. Dicha optimización se realiza a nivel cualitativo, y consiste mayoritariamente en la eliminación de barras sobrantes para reducir peso y una mejor redistribución de las mismas para lograr un mejor reparto de las cargas y aumentar el aprovechamiento. Finalmente, durante la última sesión se vuelve al laboratorio y los diferentes grupos construyen nuevamente su diseño optimizado. Se elabora un ranking de las mejores estructuras, en función de su ratio de carga soportada frente a peso de la misma, y se evalúa

el grado de adecuación del comportamiento real al de la simulación por ordenador, razonando las discrepancias con ayuda del profesorado.

2. Objetivos

Los objetivos de la presente innovación educativa en las sesiones de prácticas de laboratorio de la asignatura de Teoría de Estructuras se pueden concretar en:

- Objetivo 1: Promover el aprendizaje experiencial en equipos mediante el diseño estructural de puentes en celosía para contribuir al desarrollo de un mayor grado de intuición mecánica por parte del alumnado de ingeniería.
- Objetivo 2: Confrontar a los estudiantes a un trabajo de modelado numérico y optimización de una estructura a partir de un diseño experimental para que tomen conciencia de las ventajas y limitaciones que ofrecen las simulaciones con ordenador en la predicción del comportamiento de un determinado sistema.
- Objetivo 3: Aumentar el grado de implicación y participación de los estudiantes en las prácticas de laboratorio.
- Objetivo 4: Fomentar la creatividad de los estudiantes a la hora de resolver un problema técnico y guiar sus competencias en análisis estructural, adquiridas tanto en esta asignatura como en anteriores del ámbito mecánico, para dar solución a dicho caso de estudio.

3. Desarrollo de la innovación

Como se ha introducido anteriormente, la propuesta de innovación se basa en la construcción de una maqueta de puente en celosía mediante piezas de K'NEX con el fin de comprobar la capacidad portante de la estructura. Posteriormente, el diseño de la estructura se mejora mediante su estudio con el software de análisis estructural SAP2000. De esta manera, se pretende que, a través del aprendizaje experiencial y el trabajo en equipo, los estudiantes adquieran un mayor grado de intuición mecánica a la hora de realizar un diseño estructural al mismo tiempo que aprenden a usar un programa de análisis de estructuras.



Fig. 1. Barras y uniones K'NEX.

K'NEX es un juego de construcción formado por pequeñas barras de plástico que pueden unirse entre sí para la construcción de diferentes objetos (Fig. 1), alcanzando geometrías que pueden ser realmente complejas. Cada equipo de estudiantes formado por 4-5 integrantes dispondrá de un maletín completo K'NEX para la realización de las sesiones de prácticas. Cada maletín consta de las piezas que se describen en la Tabla 1.

Tabla 1. Contenido maletín K'NEX.

Pieza	nº
Barra gris de 190 mm de longitud	35
Barra roja de 130 mm de longitud	90
Barra amarilla de 85 mm de longitud	175
Barra azul de 55 mm de longitud	375
Barra blanca de 33 mm de longitud	375
Uniones en ángulo (pasos de 45°)	800

La nueva innovación docente se desarrolla a lo largo de 3 sesiones de laboratorio. El contenido de las mismas se describe a continuación:

Sesión 1: Diseño inicial de la celosía (2h)

En primer lugar, se presenta una visión de conjunto del trabajo a realizar durante las tres sesiones dedicadas a la construcción y mejora del puente en celosía.

En esta primera sesión, se establecen dos requisitos de diseño para la estructura, que son:

- Luz del puente no inferior a 80 cm.
- La zona superior de la celosía del puente debe estar diseñada formando una superficie horizontal para poder aplicar la carga de manera distribuida sobre la estructura.

Para la construcción del diseño inicial de la celosía se establece un tiempo máximo de ejecución de 60 minutos. En la Fig. 2 se muestran varias imágenes tomadas durante el desarrollo de esta primera sesión de laboratorio.

Una vez realizado el diseño estructural inicial, con ayuda del profesor, cada diseño se carga hasta alcanzar la rotura. Posteriormente, se pide a los estudiantes que anoten para el informe final las siguientes características de su diseño estructural:

- Masa de la estructura.
- La capacidad portante de la celosía hasta el fallo.
- El número y tipo de barras empleadas para la construcción.

La masa de la estructura se mide previo a su puesta en carga, empleando una balanza de precisión que los alumnos tienen a su disposición en el laboratorio. Esta medida de masa es un indicador del material empleado en cada diseño.

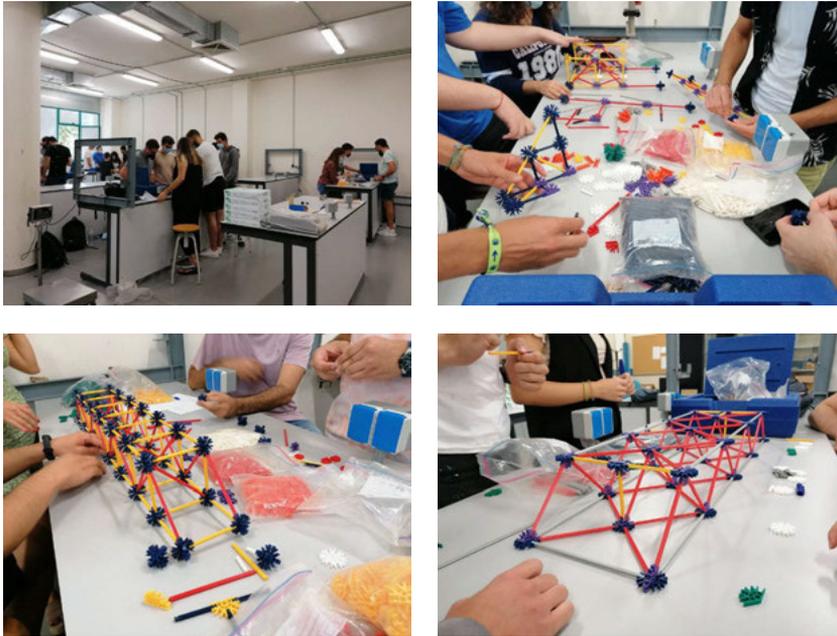


Fig. 2. Diseño inicial (Fotos tomadas en la sesión 1)

En el caso de la capacidad portante, la celosía se lleva hasta rotura o fallo cargándola de manera manual. Para la carga se emplean paquetes de folios y diversos libros que transfieren la carga a través de una chapa central de transmisión (ver Fig. 3). Previa a la aplicación de la carga, el profesor se asegura de que la celosía se encuentra correctamente apoyada y nivelada horizontalmente.



Fig. 3. Diseño inicial en posición de carga (Foto tomada en sesión 1)

Una vez se alcanza el fallo, todo el material empleado para su carga se pesa en una báscula para así evaluar la carga máxima de cada diseño estructural.

Con los datos de masa y capacidad de carga obtenidos, se indica a los alumnos que calculen el ratio de carga/masa medido en kg/kg de su diseño estructural. Este ratio muestra la eficacia del diseño inicial propuesto y será empleado para la comparación del diseño mejorado final. Además, los alumnos deben adjuntar un croquis acotado de su diseño donde quede identificada la geometría propuesta, así como el número y tipo de barras empleadas en cada diseño.

Sesión 2: Optimización del diseño estructural (2h)

Esta sesión se desarrolla en un aula de informática, donde los estudiantes modelizan la estructura de puente en celosía propuesta en la sesión 1. Para modelizar la estructura se emplea el software de análisis y diseño de estructuras SAP2000, desarrollado por la empresa *CSI Computer & Structures Inc.* y empleado a nivel mundial por las empresas del sector de la construcción. Concretamente se va a emplear un modelo de barras articuladas para el análisis de los diseños de celosía tridimensional propuestos inicialmente por los alumnos. Todas las barras se considerarán circulares de 5 mm de diámetro y con un material perfectamente elástico con módulo de elasticidad $E = 4.132E+05$ Pa, según información recabada en laboratorio por el profesorado anterior (Romero y Museros, 2002).

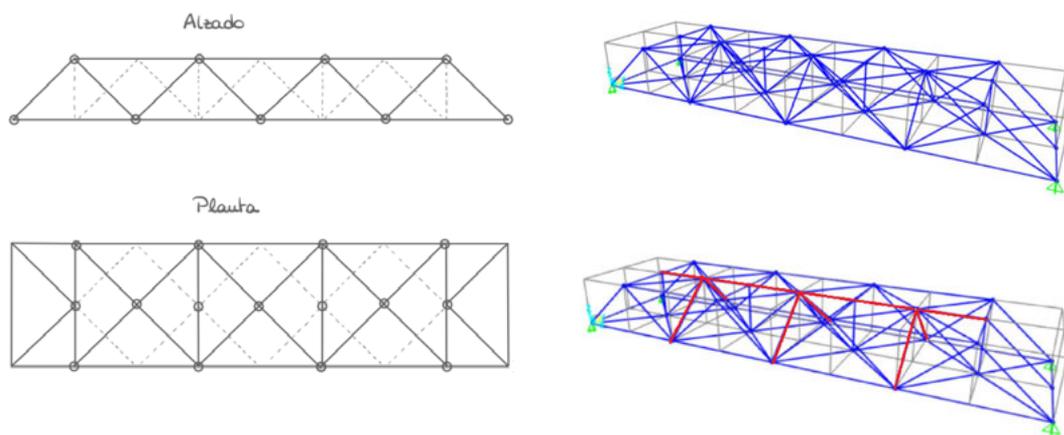


Fig. 4. Croquis y modelos de barras SAP2000.

Cada grupo deberá modelizar el diseño inicial propuesto, empleando como información de partida el croquis geométrico que han realizado en la sesión 1 (Fig. 4). A través de este ejercicio se pretende también que los alumnos tomen conciencia de la importancia de una buena toma de datos para la elaboración de modelos numéricos de análisis de estructuras. Como herramienta de apoyo y consulta, el profesor/a en la sesión 2 dispondrá de un maletín K'NEX completo y diversas herramientas de medida para la libre consulta por parte del alumnado, con el objeto de resolver posibles problemas de falta de concreción e información en el croquis realizado por los propios estudiantes.

Una vez analizado el diseño inicial, cada grupo debe proponer una mejora en el diseño de la celosía de modo que mejore el ratio carga/masa obtenido en la sesión anterior. Esta mejora puede consistir por ejemplo en añadir, reducir barras o modificar aspectos geométricos del diseño. El análisis para la mejora del diseño estructural se debe realizar de forma cualitativa y no cuantitativa, a través del programa. La no linealidad de las uniones empleadas en K'NEX hace que los valores obtenidos en el análisis elástico y lineal realizado en SAP2000, en cuanto a esfuerzos y desplazamientos, no puedan ser interpretados de forma directa. Pese a esta limitación, se pueden realizar perfectamente estudios comparativos donde se compare, por ejemplo, el nivel de deformación central de la celosía entre los diseños iniciales y finales permitiendo así una evaluación efectiva de la mejora implementada en la estructura.

Además, debe destacarse que esta sesión de laboratorio sirve a los alumnos también para afianzar su manejo del software SAP2000. De hecho, para el uso del programa los alumnos pueden apoyarse en el manual básico de uso, desarrollado por los profesores de la asignatura, que se les ha facilitado en una sesión previa y sobre el que ya han trabajado y desarrollado casos de ejemplo.

Sesión 3: Ejecución del diseño optimizado (2h)

En la última sesión de laboratorio los alumnos deben de nuevo construir la celosía con las piezas K'NEX, implementando las mejoras que han planificado en la sesión 2 a través del software SAP2000. De nuevo se evalúa su masa y la carga máxima hasta fallo para así obtener el nuevo ratio carga/masa, que se comparará con el ratio obtenido en el diseño inicial.



Fig. 5 Carga de algunos diseños finales (Fotos tomadas en la sesión 3)

Por último, los alumnos deben elaborar un informe con formato libre donde se detalle la propuesta inicial y final del puente en celosía y se desarrolle un análisis crítico de la estructura inicial y la mejora implementada en la estructura final. El análisis crítico debe basarse en la comparativa realizada a través del software SAP2000 durante la sesión 2.

4. Evaluación y análisis de resultados

4.1. Evaluación de la actividad

La evaluación de la actividad realizada durante las sesiones descritas anteriormente se ha llevado a cabo a través de la rúbrica que se muestra en la Tabla 2.

Los índices relativos a la calidad y formato de la presentación (20 %) y el análisis crítico de la mejora estructural (45 %) se realizan a través del informe entregado por cada grupo tras la sesión 3. No obstante, la participación e implicación en las sesiones (20 %) y la mejora del ratio carga/masa (15 %) se evalúa por observación directa durante la realización de las sesiones.

Tras la evaluación del trabajo, la calificación numérica media obtenida por los alumnos es de 8.8, observándose la distribución por índices indicada en la figura 6.

Tabla 2. Rúbrica de evaluación.

Índice	A (4 puntos)	B (6 puntos)	C (8 puntos)	D (10 puntos)
Calidad de la presentación y formato del informe (20 %)	<i>Presenta una calidad y formato inadecuados</i>	<i>Presenta un formato ordenado pero de calidad mejorable.</i>	<i>Presenta un formato ordenado con suficiente calidad en cuanto a tablas, figuras, etc.</i>	<i>Presenta un formato ordenado con calidad excelente en cuanto a tablas, figuras, etc.</i>
Análisis crítico de la mejora en la estructura (45 %)	<i>No realiza ningún análisis crítico sobre la estructura</i>	<i>Realiza un análisis crítico básico no suficientemente justificado</i>	<i>Realiza un análisis crítico correcto y bien justificado</i>	<i>Realiza un análisis crítico excelente profusamente justificado</i>
Participación e implicación en las sesiones (20 %)	<i>No participa</i>	<i>Plantea alguna idea puntual</i>	<i>Aporta ideas propias bien elaboradas y trabaja de forma coordinada</i>	<i>Lleva la iniciativa del grupo en cuanto a planificación y fomenta la colaboración del resto</i>
Mejora del ratio carga/masa (15 %)	<i>No mejora</i>	<i>Mejora <10 %</i>	<i>Mejora 10-20 %</i>	<i>Mejora >20 %</i>

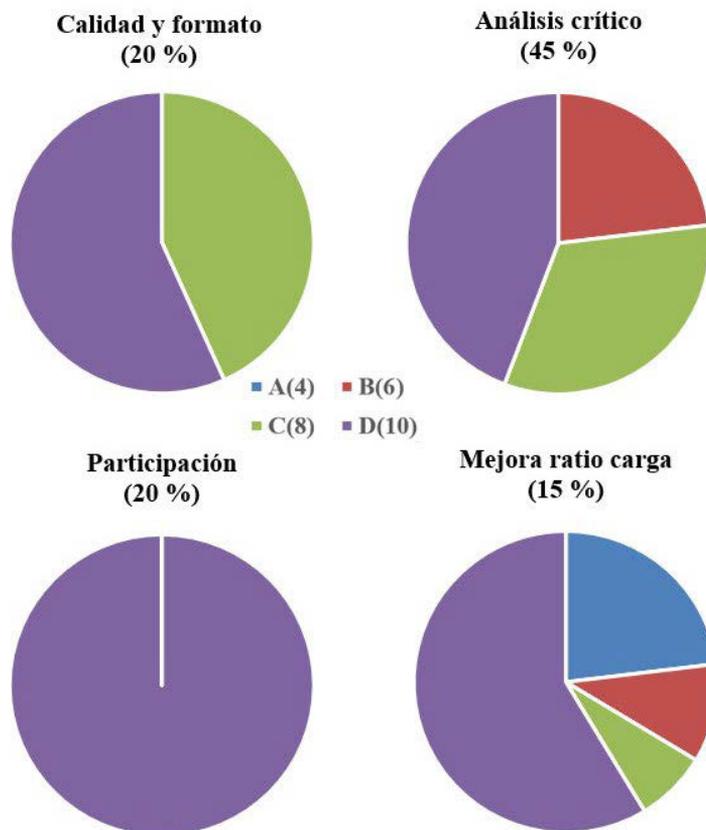


Fig. 6 Resultado de la evaluación por índices.

La evaluación mostrada en la figura ha sido realizada para un total de 104 alumnos que participaron en las sesiones de prácticas. En general, la valoración mayoritaria es tipo D (excelente), con un índice de participación del 100 %. Además, debe destacarse que la evolución del ratio carga/masa desde el diseño inicial de la sesión 1 hasta el final de la sesión 3 ha sido muy significativo (>20 %) en casi todos los grupos, tal y como se recoge en la Fig. 7. Esto ejemplifica el buen desarrollo de las sesiones que han alcanzado los objetivos marcados de forma satisfactoria.

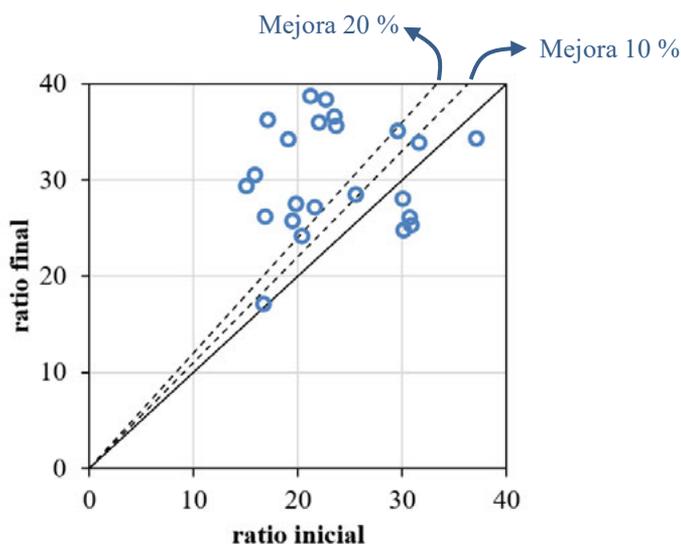


Fig. 7 Mejora del ratio carga/masa.

4.2. Análisis crítico de la innovación

A continuación, se efectúa una reflexión crítica sobre cada una de las sesiones que conforman esta nueva experiencia docente, con el objeto de analizar sus deficiencias y fortalezas, aspectos críticos y realizar propuestas de mejora:

Sesión 1. Diseño inicial de la celosía

En esta sesión, se observa una incertidumbre inicial por parte del alumnado frente al problema planteado. La mayoría de grupos presentan dudas sobre cómo abordar el diseño desde cero y no es hasta pasados los 15-20 minutos iniciales cuando empiezan a elaborar diseños de forma coherente.

Ciertamente, cabe destacar que la falta de información preliminar con respecto al desarrollo de la primera sesión fue un aspecto intencionado para fomentar la creatividad y evitar que algún diseño previo indicado por el profesorado condicionara los diseños de los alumnos. No obstante, para evitar la incertidumbre inicial podría ser positiva una introducción sobre el diseño histórico de celosías y sus aspectos más relevantes.

El rol desarrollado por el profesorado en esta sesión es de guía y asesoramiento durante el planteamiento inicial del diseño y de asistencia en el proceso de medida y carga. El tiempo de 60 minutos para la realización del diseño inicial puede considerarse suficiente y también las 2 h totales para la realización de la sesión, incluyendo la puesta en carga, para tamaños de grupo de 25 alumnos en equipos de 5.

Sesión 2. Optimización del diseño estructural.

En esta segunda sesión se observa un correcto desempeño en el manejo del software SAP2000 por parte de los alumnos, uno de los objetivos planteados para esta práctica. Cabe mencionar que con carácter previo se ha realizado una sesión introductoria donde se ha presentado el manejo del programa SAP2000 y se ha facilitado un manual básico. En general, se ha observado que el hecho de tener que modelizar una estructura que ellos mismo han diseñado (no ‘impuesta’ por el profesorado) resulta un aspecto motivador. Los alumnos desarrollan sus propias iniciativas en cuanto al diseño de la estructura, ampliando así sus habilidades en el manejo del programa.

Un aspecto importante a tener en cuenta en esta sesión es el trabajo en equipo. En general, las sesiones en laboratorio informático tienden a volverse individuales ya que el manejo conjunto del software informático es complejo en la práctica. Para evitar la inacción de parte de los miembros del grupo se ha fomentado que cada grupo desarrolle un único modelo de barras para la estructura inicial sobre el que más tarde trabajarán todos los miembros del grupo en paralelo, aportando así posibles ideas de mejora de forma conjunta que se deben debatir en grupo.

Ante la falta de definición de algunos croquis desarrollados por los alumnos en la sesión 1, es importante destacar la necesidad de disponer de un maletín de piezas K'NEX y algún instrumental de medida para facilitar que el alumnado pueda consultar la longitud de algunas piezas. Puntualmente, es posible que el profesorado deba asistir a los alumnos en el manejo de algunas opciones avanzadas del software. El tiempo de 2h para la realización de la sesión puede considerarse suficiente.

Sesión 3. Ejecución del diseño optimizado.

El desarrollo de esta sesión es muy similar al de la sesión 1 pero con un desarrollo más rápido debido al aprendizaje realizado ya por los alumnos sobre el manejo de piezas K'NEX durante la primera sesión. Al desarrollarse en el laboratorio (no informático) los alumnos no disponen de herramientas para elaborar el informe final y por tanto queda como tarea pendiente. Una posible mejora sería disponer también de equipamiento informático para que el alumnado pueda elaborar el informe durante la propia sesión.

Finalmente, tras la última sesión se realizó una encuesta de satisfacción, voluntaria y anónima, entre el alumnado participante de estas prácticas. En la encuesta se preguntó por el nivel de satisfacción general con el desarrollo y diseño de las prácticas (siendo 5 muy favorable y 1 muy desfavorable) con el siguiente resultado.

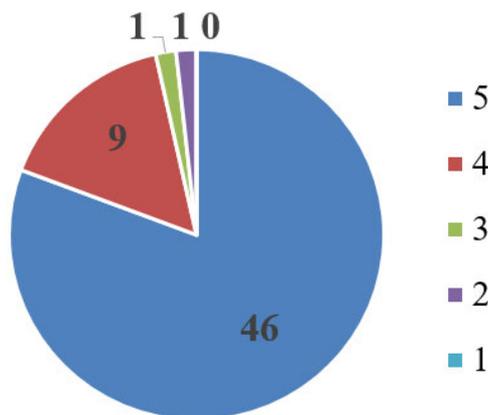


Fig. 8 Resultados de la encuesta de satisfacción general.

La encuesta voluntaria fue realizada por un total de 57 participantes, de los 104 alumnos, con un resultado claramente positivo. Un 80.7 % de los alumnos que han participado en la encuesta consideran muy favorable esta experiencia.

Además, se planteó una respuesta abierta de valoración general, a la pregunta: *¿Qué crees que has aprendido con la realización de estas prácticas?*, de donde se han extraído comentarios como los siguientes:

- *“La aplicación práctica de la teoría aplicada en clase. Se obliga al alumno a investigar y comprender el temario para poder hacer la mejora de la estructura.”*
- *“Trabajar en equipo viendo diferentes propuestas entre los integrantes, utilización del SAP 2000 de una maqueta hecha por ti, afianzar conceptos aprendidos en clase y sobre todo desarrollar estructuras de forma práctica. Me parece una idea muy buena haber planteado estas prácticas de esta forma.”*
- *“Creo que he mejorado la intuición mecánica a la hora de diseñar una estructura, aparte de aprender a usar el SAP aunque sea a un nivel básico. También diría que he aprendido un poco a detectar y reforzar los puntos débiles del sistema.”*
- *“He aprendido más sobre cómo se distribuyen las cargas de una forma más divertida.”*
- *“Muchísimo, soy repetidor y se aprende mucho más que en los años pasados haciendo los ejercicios aburridos de SAP, ya que en estos experimentas y es un ejercicio de prueba-error que sirve mucho para mejorar y aprender.”*

En general, los comentarios han sido muy positivos, destacando la mejora en la motivación del alumnado de cara a la realización de las prácticas. La principal conclusión que se extrae tras leer los comentarios consiste en la mejora motivacional que experimentan los alumnos en el proceso de aprendizaje del uso de un software de análisis de estructuras como SAP2000 cuando modelizan estructuras que ellos mismos han diseñado y pretenden mejorar.

5. Conclusiones

El presente trabajo presenta una innovación educativa desarrollada en las prácticas de laboratorio de la asignatura “Teoría de Estructuras”, que se imparte en diferentes grados del ámbito industrial en la Universitat Jaume I. Esta propuesta pretende iniciar a los estudiantes en el proceso de modelización de estructuras a través del diseño de un puente de celosía, a la vez que se fomenta la creatividad en el planteamiento de soluciones estructurales. Con este fin, la innovación propuesta combina una parte experimental de construcción de la estructura con elementos K’NEX y una sesión de ordenador con el software para análisis estructural SAP2000.

Las principales conclusiones fruto de esta actividad de innovación educativa se describen a continuación, agrupadas en torno a los cuatro objetivos fundamentales que se plantearon en la concepción de esta actividad y que han logrado alcanzarse tras su implantación:

- El desarrollo de las prácticas descritas con anterioridad ha promovido el aprendizaje experiencial de Teoría de Estructuras mediante el diseño de celosías, contribuyendo a un mayor grado de intuición mecánica por parte del alumnado. Esto se ejemplifica en el buen ratio de mejora carga/masa que han alcanzado la mayoría de grupos (Objetivo 1).

- Además, se ha corroborado que los alumnos han alcanzado una mayor conciencia sobre las ventajas y también limitaciones del proceso de modelado por ordenador de estructuras reales, uno de los objetivos que se había marcado para el desarrollo de esta innovación (Objetivo 2). También, se han enfrentado por primera vez a la experiencia de trasladar un sistema real a un modelo por ordenador, lo que obliga a tomar decisiones que condicionan el resultado final en lo que respecta a la introducción de simplificaciones en la aplicación de las cargas, la modelización de las condiciones de contorno, geometría y las uniones entre barras (Objetivo 2).
- Se ha notado un claro incremento en la motivación e implicación del alumnado en el desarrollo de las prácticas lo que se ha visto reflejado en una mayor participación en clase, además de una muy buena valoración final de las sesiones (Objetivo 3).
- Por último, aunque algunas soluciones propuestas por los alumnos estaban basadas en las estructuras trianguladas clásicas, muchas de las soluciones propuestas superaron con creces las expectativas de los profesores consiguiendo soluciones tanto creativas como eficientes, llegando a resistir cargas superiores a las previstas por los profesores durante las sesiones de preparación de las sesiones (Objetivo 4).

En resumen, en vista del feedback positivo expresado por parte del alumnado y la percepción de un mayor grado de implicación y participación en la propuesta y diseño estructural en comparación con las sesiones informáticas de simulación de cursos anteriores, se pretende seguir llevando a cabo y actualizando progresivamente la presente innovación educativa en las sesiones de prácticas de laboratorio de la asignatura de “Teoría de Estructuras” durante los siguientes cursos académicos.

6. Referencias

- Conchado, A. y Carot, J.M. (2013). Puntos fuertes y débiles en la formación por competencias según los graduados universitarios españoles. *REDU. Revista de Docencia Universitaria*, 11(1), 429-446. <https://doi.org/10.4995/redu.2013.5608>
- Gentry, J. W. (1990). *Guide to business gaming and experiential learning*. East Brunswick: Nichols/GP Pub. ISBN: 978-0-89-397369-8.
- Kayes, A.B., Kayes, D.C. y Kolb, D.A. (2005). Experiential learning in teams. *Simulation & Gaming*, 36(3), 330-354. <https://doi.org/10.1177/1046878105279012>
- Kolb, D.A. (2014) *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Second edition. New Jersey, USA. Pearson Education Inc. ISBN: 978-0-13-389240-6.
- Lewis, L.H. y Williams, C.J. (1994). Experiential learning: Past and present. *New Directions for Adult and Continuing Education*, 1994(62), 5-16. <https://doi.org/10.1002/ace.36719946203>
- Romero, M.L. y Museros, P. (2002). Structural Analysis through Model Experiments and Computer Simulation. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 128(4), 170-175. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1052-3928\(2002\)128:4\(170\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1052-3928(2002)128:4(170))
- Tejedor, B. y Aguirre, A. (1998). Proyecto logos: Investigación relativa a la capacidad de aprender de las empresas españolas. *Boletín de Estudios Económicos*, 53(164), 231-249.
- Wolf, D.E. y Byrne E.T. (1975). Research on experiential learning: Enhancing the process. *Business Games and Experiential Learning in Action*, 2, 325-336.