

Tocando, viendo y haciendo: estrategias de enseñanza-aprendizaje activas en la Ingeniería Civil

Touch, see and do: active teaching-learning strategies in Civil Engineering

Fabricio Alejandro Ortiz Morales

fabricio.ortiz@unah.edu.hn

Facultad de Ingeniería

Universidad Nacional Autónoma de Honduras

Resumen

Este artículo describe el diseño e implementación de cuatro innovaciones educativas en formato presencial y virtual destinadas a mejorar las capacidades de visualización espacial y análisis de estructuras de los estudiantes de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras en las asignaturas *Análisis Estructural I, Estructuras de Concreto I y Diseño Estructural*.

Las innovaciones están relacionadas con la corriente metodológica del aprendizaje activo y corresponden a la introducción de modelos físicos y simulaciones por computadora para describir el comportamiento real de las estructuras, la medición experimental de deflexiones en vigas y el

aprendizaje basado en proyectos.

Los resultados finales corresponden a cuatro tipologías diferentes de recursos y más de 100 recursos creados e implementados en el período comprendido de 2019 a 2021. En especial uno de ellos demostró su eficacia al compararse el desempeño de los estudiantes en las evaluaciones antes y después de haberse implementado.

Palabras claves: STEM, aprendizaje activo, modelos físicos, simulaciones por computadora, aprendizaje basado en proyectos.

Abstract

This work describes the design and implementation of four educational innovations in face-to-face and virtual format seeking to improve

the spatial visualization and structural analysis capabilities of UNAH's civil engineering students in the courses of Structural Analysis 1, Concrete Structures 1, and Structural Design. The innovations belong to the of active learning methodology and are the introduction of physical models and computer simulations to describe the real behavior of structures, the experimental measurement of deflections in beams and project-based learning. The results correspond to four different types of resources and more than 100 activities created and implemented in the period 2019 to 2021. Particularly, one of them demonstrated its effectiveness when comparing the performance of students' grades before and after having implemented it.

7
2021

e-Innovación

Keywords: STEM, active learning, physical models, computer simulations, project-based learning.

Introducción

Debido a su naturaleza, el ejercicio profesional de la ingeniería requiere del constante uso de expresiones matemáticas, esquemas, dibujos y planos como lenguaje para comunicar ideas que se traducirán en objetos construidos y en realidades físicas concretas; por su parte, el estudio científico de la ingeniería requiere del desarrollo constante de modelos a escala real o escala reducida de estructuras y/o sus componentes para estudiar fenómenos físicos abstractos y poder así formular teorías que describan y predigan el comportamiento de estos con base en las leyes físicas que los gobiernan.

En tal sentido las habilidades de visualización espacial, pensamiento abstracto y expresión de ideas por medio del lenguaje gráfico y matemático son habilidades fundamentales que todo estudiante de ingeniería debería desarrollar durante su carrera, sin embargo, la carencia de éstas era el denominador común de los estudiantes de tercer y cuarto año de ingeniería civil en las clases de Análisis Estructural I, Estructuras de Concreto I y Diseño Estructural. La solución a este problema se describe a detalle en este artículo, producto del desarrollo de un proyecto de innovación educativa diseñado e implementado por el docente de di-

chas asignaturas en los años 2019, 2020 y 2021, utilizando el enfoque de aprendizaje activo y aprendizaje basado en proyectos.

Fundamentación teórica

La clase magistral ha sido la principal herramienta de transmisión del conocimiento en la formación universitaria, donde el profesor es la figura principal y los alumnos escuchan con atención la exposición, toman notas y en algunos momentos intervienen para formular preguntas, no obstante, hoy en día, nuevas corrientes metodológicas como las constructivistas -que se centran en el alumno- están dando muy buenos resultados especialmente en las áreas STEM (ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas, por sus siglas en inglés). Entiéndase por buenos resultados, el hecho de que los estudiantes tienen una mejor comprensión de lo estudiado y como consecuencia un mejor desempeño en las evaluaciones formales de ese nuevo conocimiento adquirido. Tal es el caso del aprendizaje activo, centrado en el estudiante y que busca promover la participación y reflexión continua de este, captando su atención por medio del estímulo sensorial y actividades motivadoras y retadoras (EduTrends, 2017).

Fredman et al (2014) realizaron un estudio para comprobar científicamente el nivel de eficacia de las metodologías activas sobre las convencionales, para ello realizaron un metaanálisis de 255 estudios que

contenían resultados de evaluaciones o calificaciones de estudiantes de las áreas STEM y la descripción de los métodos de enseñanza-aprendizaje empleados. En sus análisis observaron que la desviación estándar del aprovechamiento académico medido por las calificaciones finales de los estudiantes era de 0.47 entre las metodologías activas y las convencionales. También, observaron que la tasa de aprobación era del 6 % mayor en las metodologías activas respecto de las tradicionales como la clase magistral. La justificación y significancia de este estudio recae sobre el llamado que hizo el Consejo de Asesoría Presidencial para la Educación en STEM de los Estados Unidos para incrementar en un 33 % por año el número de egresados de estas áreas sin que ello conllevara un deterioro de la calidad educativa. Basados en la premisa de que al tener mayores porcentajes de aprobación se obtendrían más egresados por año, este Consejo recomendaba a las universidades adoptar prácticas de enseñanza-aprendizaje validadas empíricamente que condujeran a este resultado. Con los resultados de este estudio, existe ahora una validación científica de que las metodologías activas consiguen mejores desempeños de los estudiantes que las tradicionales.

En la enseñanza de la ingeniería ha sido muy común además de la clase magistral el uso del método de resolución de ejercicios y problemas, que

tiene como finalidad poner en práctica conocimientos previos. Según Díaz (2006), otros métodos de enseñanza-aprendizaje que pueden utilizarse y que a su vez son activos son las metodologías de aprendizaje basadas en problemas y el aprendizaje orientado a proyectos, los cuales, como verá el lector más adelante forman parte del abanico de estrategias implementadas y descritas en este trabajo.

¿Y qué hay de los modelos físicos para explicar conceptos? Vrontissi (2015) abordó esta cuestión desde la perspectiva de la educación en la arquitectura y la ingeniería estructural. A pesar de ser concebidos como campos de estudio diferentes, siendo la primera más enfocada en lo artístico-creativo y la segunda más técnico-científica, ambas se complementan para diseñar y construir los edificios e infraestructuras que nos rodean. Dicha separación proviene del momento histórico en que las escuelas de bellas artes y ciencias de ingeniería se separaron.

En su historia reciente, las escuelas de ingeniería estructural han utilizado el enfoque analítico como método de enseñanza, basado principalmente en la formulación fisicomatemática de los componentes que conforman una estructura -por ejemplo, el cálculo de los esfuerzos internos de una viga de un edificio- con el objetivo de diseñarla, es decir, definir su materialidad y dimensiones de sección transversal. Esta metodología tiene la desventaja de pasar por alto la observación

del comportamiento estructural global de la estructura, y restringe la posibilidad de saber cómo se comportaría haciendo pequeñas variaciones en su configuración estructural. Esta limitación solo pudo superarse con el advenimiento y amplia difusión de las computadoras digitales para el cálculo estructural.

La ingeniería estructural utiliza modelos a escala real para ensayos controlados de laboratorio, que tienen como objetivo verificar teorías o investigar sobre tópicos muy específicos sobre los cuáles se tienen ciertas ideas o hipótesis, para producir teorías físicas fiables que describan el comportamiento real de las estructuras.

Por su parte, la arquitectura hace uso de los modelos a escala real o escala reducida para explorar conceptos de diseño o procesos constructivos. Es bastante común que los estudiantes de arquitectura realicen maquetas y exploren conceptos de diseño, pero no ideas sobre el comportamiento estructural de esas configuraciones.

Al igual que los modelos en la arquitectura, los modelos estructurales a escala son un vehículo fabuloso para explorar el diseño conceptual y desarrollar en los educandos un *sentido común ingenieril* ya que a través de la experimentación sensorial con la vista y el tacto se puede observar el comportamiento global para una cierta configuración o sus variaciones. Sin embargo, surge la interrogante de ¿hasta qué punto, el com-

portamiento estructural de un modelo de palillos de madera, cartón o cualquier otro material fácilmente manipulable se corresponde con la realidad física y materialidad de los edificios reales?

La respuesta a esta pregunta la ofrece Sequeira (2008) con su tesis titulada “*Modelo estructural cualitativo para la pre-evaluación del comportamiento de estructuras metálicas*”. En este trabajo el autor desarrolló un sistema de piezas y conexiones estandarizadas que sirven de base para la construcción de diversos sistemas estructurales a escala. Luego, comparó el comportamiento estructural global de los modelos estructurales físicos con el comportamiento global del modelo digital calculado por medio de un *software* profesional de análisis y diseño estructural. El sistema desarrollado por Sequeira (llamado *Mola Structural Kit*) reproduce con fidelidad las deformaciones y comportamiento general de las estructuras y componentes tal como lo describen las teorías generalizadas de cálculo estructural, así como también los modelos matemáticos realizados por computadora. Con este hito, se concluye que el modelo estructural de Sequeira tiene validez científica para el estudio cualitativo del comportamiento estructural, y, dicho sea de paso, es uno de los modelos utilizados en el desarrollo de este proyecto de innovación educativa.

Adicionalmente, dentro de las metodologías activas para el

aprendizaje destaca el *aprendizaje basado en proyectos* que según Díaz (2006) el proyecto es el fin mismo del método y para poder realizarlo el estudiante necesita integrar el aprendizaje de varios saberes previos con los nuevos.

Al exponer a los alumnos a un proyecto, el abanico de posibilidades y soluciones dependerá únicamente de la imaginación y creatividad de los estudiantes, esto permite poner en práctica y desarrollar diferentes competencias, así como también contextualizar su realidad socioeconómica y los conocimientos adquiridos en la universidad. A su vez, este tipo de experiencias activas se basan en el principio psicológico de que el conocimiento más emocional se traduce en memoria a largo plazo. Es decir, que lo aprendido quedará mejor guardado en sus memorias.

10

Desarrollo de la experiencia de innovación educativa

Identificación de las áreas de mejora en los estudiantes

Durante el primer período académico de 2019 el profesor identificó de forma cualitativa varias deficiencias en los estudiantes, principalmente en la visualización de esfuerzos internos en las estructuras y su relación con las deformaciones y conectividad global de las estructuras, así como también las dificultades de visualización espacial. Seguidamente se diseñó una evaluación cronometrada con 15 preguntas de selección

múltiple que pretendían determinar la línea base.

Diseño de las actividades y recursos de aprendizaje

La evaluación aplicada confirmó que las deficiencias en los estudiantes eran las previamente identificadas cualitativamente por el profesor, por ello se diseñaron estas 4 actividades con el objetivo de fortalecer esas deficiencias:

- Introducción del *kit estructural Mola* y el *software SAP2000* para construir modelos físicos de estructuras y mostrarles de forma visual y táctil cómo las deformaciones globales se corresponden con la conectividad de la estructura y los esfuerzos internos (fuerzas cortantes y momentos flectores). El *Kit Mola* proporcionaba el modelo físico con las deformaciones según la conectividad y configuración estructural de cada modelo y el *software SAP2000* mostraba los diagramas de las fuerzas internas desarrolladas en esos modelos. Estos recursos se introdujeron en las 3 clases, Análisis Estructural I, Estructuras de Concreto I y Diseño Estructural. Con la llegada de la pandemia de la COVID-19 esta actividad (que era presencial) se adaptó a formato virtual a través de grabaciones utilizando el *Kit Mola* y ofreciendo una explicación por video.

- Medición experimental de deflexiones en vigas. Consiste en el montaje físico de una viga metálica a la cual se le aplican

diferentes configuraciones de carga y se mide la deflexión ocasionada por las cargas en cualquier punto de la viga. Con esa práctica los estudiantes manipulan físicamente una viga, las cargas y los instrumentos de laboratorio para la medición de las deflexiones. Seguidamente deben contrastar la deflexión medida experimentalmente con las deflexiones calculadas por dos métodos de análisis estructural clásicos. Con esta actividad los estudiantes adquieren la confianza al ver que los cálculos teóricos describen de forma muy precisa la realidad física de las deflexiones en vigas. También este mismo montaje se utilizó para que comprobarán los valores de las reacciones en los apoyos de las vigas. Durante la pandemia de la COVID-19 esta actividad se adaptó a formato virtual grabando un video, explicando los principios de la medición experimental de deflexiones en vigas y realizando diversos montajes para los diferentes equipos de cada clase.

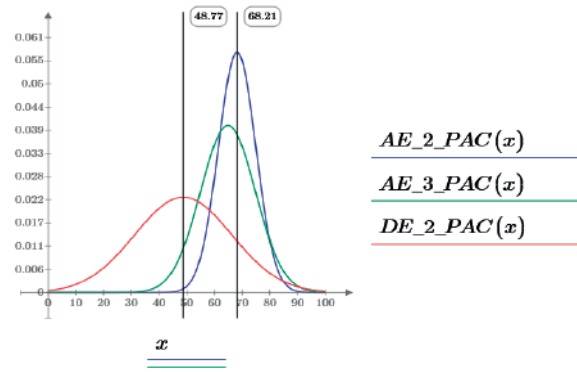
- Desarrollo de un proyecto real en conjunto con la unidad de vinculación. Esta actividad consistió en el diseño y cálculo estructural de una cancha techada para la Escuela Monseñor Jacobo Cáceres de la aldea de Suyapa, realizado por los estudiantes de la clase de análisis estructural. La Escuela Monseñor Jacobo Cáceres solicitó apoyo a la Coordinación de vinculación universidad-sociedad de la Carrera de Ingeniería

Figura 1. Aplicación de prueba cronometrada para determinar la línea base.



Fuente: archivo personal

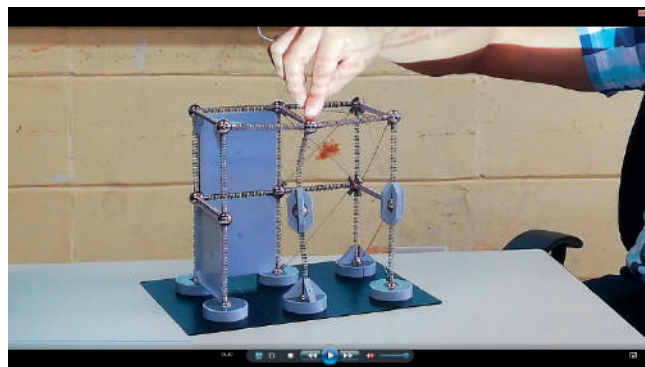
Figura 2. Curvas de distribución normal de los resultados obtenidos por 3 secciones y cursos diferentes.



Fuente: elaboración propia

- Diseño y aplicación de una prueba para medir la línea base del dominio que los estudiantes tienen sobre los conceptos de fuerzas internas y su relación con las deflexiones y conectividad en las estructuras. La prueba se aplicó a 96 estudiantes de 3 cursos diferentes (Figuras 1 y 2).

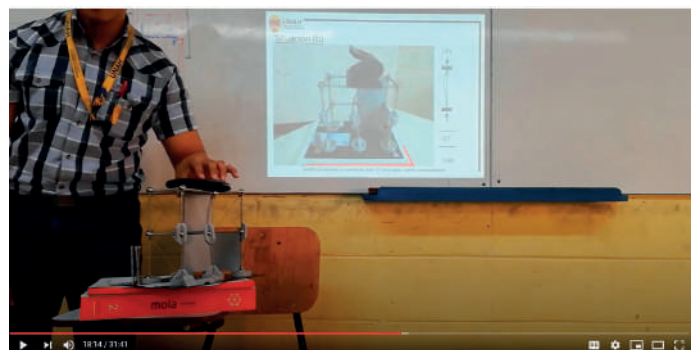
Figura 3. Explicación de los factores de longitud efectiva utilizando modelo físico/mecánico en el I PAC 2020.



Fuente: Archivo personal

- Diseño, producción e implementación de 4 recursos donde se utilizaron modelos físicos y simulaciones por computadora para explicar conceptos. Dichos recursos se utilizaron en formato presencial durante el II y III PAC 2019 y en el I, II y III PAC 2020. Dichos recursos fueron grabados y editados para su implementación en formato de clases en línea en el campus virtual de la UNAH (Figuras 3 a 10).

Figura 4. Demostración en clase de los factores de longitud efectiva para columnas utilizando modelo físico (Kit Estructural Mola) en el II PAC 2019 en la clase de Diseño Estructural.



Fuente: Archivo personal disponible en Youtube: https://www.youtube.com/watch?v=iC_y7Wo4tao&ct=1315s

Figura 5. Explicación de deflexiones y fuerzas internas en estructuras utilizando el Kit Mola y simulaciones por computadora del SAP2000 en el III PAC 2019 en la clase de Análisis Estructural I.



Fuente: archivo personal

Figura 6. Explicación de deflexiones y fuerzas internas en estructuras utilizando el Kit Mola y simulaciones por computadora del SAP2000 en el I PAC 2020 en la clase de Análisis Estructural I.



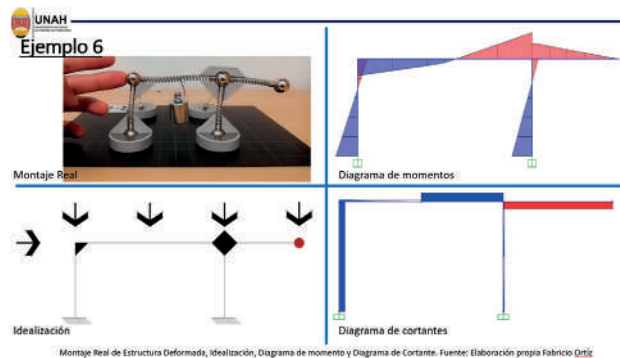
Fuente: archivo personal

12

Civil de la UNAH con el diseño y elaboración de presupuesto. Para ello se realizó el levantamiento topográfico y se organizaron equipos integrados por 5 estudiantes; cada equipo propuso el diseño de la cancha y de la solución estructural para el techado, desarrollando los documentos de memoria de cálculo estructural, planos estructurales y presupuesto. Con este proyecto estudiantes aplicaron lo aprendido en su carrera y también los conocimientos adquiridos en la clase de Diseño Estructural. Fue hasta el segundo período académico que uno de los tantos equipos logró el nivel profesional de ingeniería requerido, para entregar ese proyecto a las autoridades de la escuela solicitante, gracias a la aplicación de esta metodología.

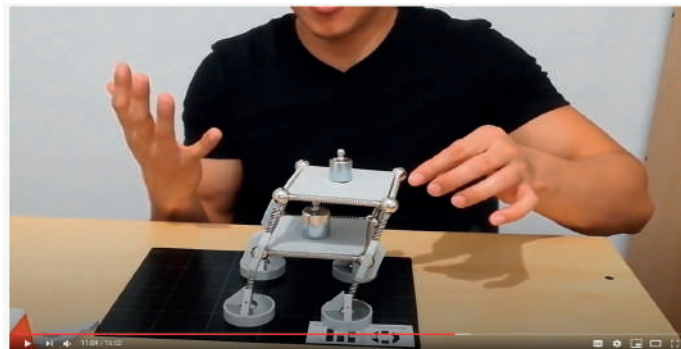
- *Problemas tipo* orientados a proyectos. Consistió en escoger 3 tipologías de estructuras comunes en Honduras que son: un edificio de concreto de

Figura 7. Adaptación a formato virtual de la demostración con modelos físicos y simulaciones por computadora.



Fuente: elaboración propia

Figura 8. Explicación de comportamiento de sistemas estructurales con modelos físicos.



Fuente: archivo personal. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=nVhyaNww7Oo&xt=297s>

Figura 9. Explicación de armaduras utilizando modelos físicos en la clase de análisis estructural I, III PAC 2019



Fuente: archivo personal

Figura 10. Estudiantes jugando y experimentando con el Kit Estructural Mola.



Fuente: archivo personal

3 pisos, una bodega metálica y un edificio de 3 pisos en acero. Con base en estas 3 tipologías se desarrolló su diseño completo, desde su idealización, modelado estructural, cálculo de cargas, análisis y diseño estructural, así como también la elaboración de los planos de detalles. Con ese desarrollo paso a paso se cubrían los temas de los sílabos de las tres clases. Para cada tema estudiado en la clase existía un *problema tipo* relacionado con el diseño de cualquiera de esas tres estructuras, de esta forma el estudiante aprendía nuevos conceptos insertados en el contexto del desarrollo de un proyecto real. Los materiales desarrollados en estos problemas tipo involucraban imágenes en 3D y herramientas computacionales para el cálculo simbólico.

Resultados

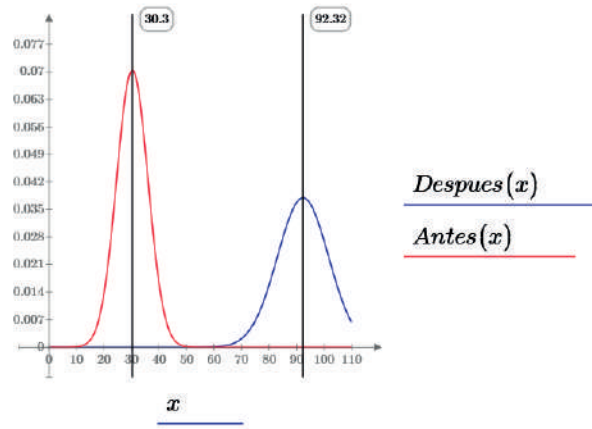
Enmarcado en las estrategias metodológicas explicadas y los recursos desarrollados, este proyecto produjo los siguientes resultados tangibles:

Figura 11. Alumnos de Análisis Estructural I del III PAC 2019 realizando la actividad de medición experimental de deflexiones en vigas.



Fuente: archivo personal

Figura 12. Mejoría del desempeño y dominio de competencias en el cálculo de deflexiones después de haber realizado la actividad.



Fuente: elaboración propia

Figura 13. Adaptación a formato virtual de la actividad de medición experimental de deflexiones en vigas como consecuencia de la pandemia de la COVID-19. Marzo del 2020.



Fuente: archivo personal. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=H4RfWWyKR1s&t=234s>

Figura 14. Virtualización del laboratorio en clase para el I y III PAC 2020.



Fuente: archivo personal. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=mKX3i_alfsM&t=62s

14

• Diseño, producción e implementación de una actividad práctica para la medición experimental de deflexiones en vigas. Esta se desarrolló en formato presencial en el II y III PAC 2019 y también se adaptó al formato virtual tras la llegada de la pandemia por la COVID-19. La actividad en formato virtual se desarrolló desde el II PAC 2020 hasta el III PAC del 2021. Para desarrollarla en formato virtual se grabó una explicación general de la actividad y de las bases teóricas, seguidamente se produjeron y grabaron 10 diferentes configuraciones de cargas.

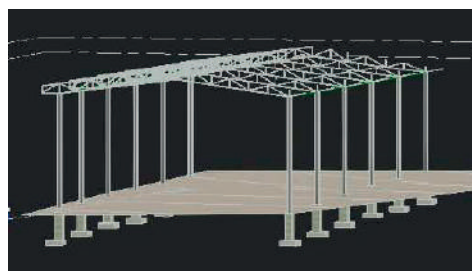
Esta actividad le permite al estudiante desarrollar su pensamiento crítico y ganar confianza, al comparar los valores de las deflexiones medidas en las vigas con los valores teóricos de esas deflexiones por el método de la viga conjugada y

Figura 15. Imagen del documento de memoria de cálculo producido por los estudiantes.



Fuente: memoria de cálculo de los estudiantes de Diseño Estructural I PAC 2021.

Figura 16. Visualización del modelo 3D del diseño producido por los estudiantes.



Fuente: memoria de cálculo de los estudiantes de Diseño Estructural I PAC 2021.

Figura 17. Ejemplo de problema tipo orientado a proyectos para la clase de Estructuras de Concreto I.

PROBLEMA 3.15. Diseño de vigas T.
Para el edificio mostrado a continuación diseñe el sistema de entropio asumiéndolo como una sección de vigas T interconectadas por las alas. Las vigas T van orientadas en el sentido vertical y para efectos de este problema calcule únicamente el acero de refuerzo por tensión de las vigas T en el panel delimitado por A-B-1-4. La ocupación del área es de tipo residencial. Finalmente realice el detallado de la viga. Las propiedades de los materiales son ($f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$, $f_y = 4,200 \text{ Kg/cm}^2$). Las dimensiones de las columnas son 50x50cm.

DATOS:
 $f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$, $\delta = 0.9$
 $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$, $f_{cr} = 0.65$
 $\rho_{min} = 0.1\%$, $\rho_{max} = 0.11\%$

ÁREAS DE BARRAS DE ACERO
 $A_{s1} = 0.71$, $A_{s2} = 1.98$, $A_{s3} = 0.38$, $A_{s4} = 6.45$
 $A_{s5} = 1.37$, $A_{s6} = 2.85$, $A_{s7} = 5.87$, $A_{s8} = 8.17$
 $A_{s9} = 11.68$

PASO 1: Pre-dimensionar la viga T
Para que la viga se comporte como una viga viga ancho efectivo más que el ancho físico de esta, se debe atender los límites dimensionales prescritos por el ACI 318-11. Por tanto, debemos dar unos valores iniciales (h_w , h_f y A_g) y así plantear una primera estimación para verificar las dimensiones de nuestra viga T.

$h_w = 15$ Valor arbitrario (modulación)
 $h_f = \frac{100h_w - 25}{4} = 15 = 141.25$ Valor arbitrario, considerando que queremos que ocupen 3 pisos y completo dentro del panel A-B-1-4.
 $A_g = 10$ Valor arbitrario (modulación)
 $h_w = 15$ Valor arbitrario (modulación)
 $h_f = 141.25$ Valor arbitrario (modulación)
 $A_g = 10$ Valor arbitrario (modulación)

Tabla 6.3.2.1 — Límites dimensionales del ancho sobreesaliente del ala para vigas T

6.3.2.3 En vigas T se prescriben además, en los centros de las alas, la altura T para proporcionar un ancho tal de ala como mínimo de concreto, el ala debe tener un espesor mínimo o igual a $h_w/4$, 7.62 mm (0.30 in) de concreto o $h_w/8$.

6.3.2.5 En viga T pre-dimensionada, se permite usar la siguiente notación en 6.3.2.1 y 6.3.2.2.

El menor ancho sobreesaliente a cada lado del alma es $\frac{h_w}{4}$
 $\frac{h_w}{4} = \frac{15}{4} = 3.75$
 $\frac{h_w}{8} = \frac{15}{8} = 1.875$
 $A_{s1} = 0.71$, $A_{s2} = 1.98$, $A_{s3} = 0.38$, $A_{s4} = 6.45$
 $A_{s5} = 1.37$, $A_{s6} = 2.85$, $A_{s7} = 5.87$, $A_{s8} = 8.17$
 $A_{s9} = 11.68$

Calcedificio: Fabricio Ortiz Morales, Ing. M.Sc. **Página 1**

Fuente: elaboración propia

Figura 18. Ejemplo de problema tipo orientado a proyectos en la clase de Diseño Estructural.

PROBLEMA 4.2 Diseño de miembros a compresión Asimétricos
Se pide diseñar la torre para un tanque elevado de una vivienda en la ciudad de Tegucigalpa. Como solución estructural se propone una torre construida con ángulos de acero. En el pre-dimensionamiento se determinan utilizar ángulos de 2"x4"x1/4" para los elementos principales y ángulo de 2"x4"x1/8" para los elementos secundarios. Sabiendo que la capacidad de amarreamiento del tanque es de 1,100 litros y que la torre está cimentada sobre un suelo tipo S2, diseñe la torre del tanque elevado. (para efectos de este problema únicamente se diseñarán los elementos verticales)

DATOS:
 $f'_c = 1000$, $f_y = 70.2$, $f_{cr} = 0.65$
 $f'_c = 1000$, $f_y = 70.2$, $f_{cr} = 0.65$
 $f'_c = 1000$, $f_y = 70.2$, $f_{cr} = 0.65$

PRELIMINARES—cálculo de la carga de sismo (fuerza lateral)
 $I = 1.25$, $I = 1$
 $W = 1436$, $W = 1436$
 $C = 0.125 - 5.602$
 $V = X \cdot I \cdot C \cdot W = 23.27$

PASO 1.- Pre-dimensionamiento (Proponer una sección transversal tal que la esbeltez K/r sea menor que 200)
 $K_{x1} = 27.66$ Como $27.66 < 200$, entonces OK!
 $K_{x2} = 42.23$ Como $42.23 < 200$, entonces OK!
 $K_{x3} = 60.36$ Como $60.36 < 200$, entonces OK!

PASO 2.- Cálculo de las propiedades de la sección transversal
Las propiedades de la sección transversal fueron tomadas de la base de datos AISC-15. Es por ese motivo que ya se proporcionan como "datos". También, el estudiante puede calcularlos una por una, si así lo desea.

PASO 3.- Análisis Estructural
El análisis estructural se realizó mediante software, de dónde se obtuvieron las fuerzas axiales de tensión y compresión en toda la torre, así como su deformada, para la combinación de cargas $(U = 0.9D + E)$. Así, se obtuvieron las siguientes fuerzas axiales de compresión en los elementos más solicitados (valores en kN).

Fuente: elaboración propia

del trabajo virtual. Una prueba de la efectividad de esta actividad se muestra en la figura 12, dónde se comparan las calificaciones obtenidas por los estudiantes antes y después de realizada la actividad. El escenario del antes corresponde al segundo examen parcial donde se evaluaban los contenidos del cálculo de deflexiones por los métodos del trabajo virtual y la viga conjugada. El escenario del después corresponde al examen de reposición (todos los estudiantes repusieron el segundo examen parcial ya que era la calificación más baja) que evaluaba los mismos contenidos, con la única diferencia de que para ese momento ya habían desarrollado

y entregado la actividad de la medición experimental de deflexiones en vigas. En la gráfica se observa la notable mejoría de la media de las calificaciones de todos los estudiantes, que paso de 30.3/100 a 92.32/100. Esto se le atribuye a una mejor comprensión de los temas después de haber realizado la actividad, lo que se tradujo en un mejor desempeño en las evaluaciones.

- Desarrollo de un proyecto real relacionado con la vinculación universidad- sociedad. En el III PAC 2020 y I PAC 2021 se desarrolló con los estudiantes de la clase de Diseño Estructural un proyecto real

que consistió en el diseño de una cancha techada polideportiva y de usos múltiples para la Escuela Monseñor Jacobo Cáceres de la Aldea de Suyapa en Tegucigalpa. Fue hasta el segundo intento que uno de los equipos de estudiantes logró la calidad necesaria para que el proyecto fuese entregado a los solicitantes. Las figuras 15 y 16 muestran algunas capturas de pantalla de la memoria de cálculo del diseño final producido por los estudiantes.

- Diseño y producción de más de cuarenta y cinco (45) *problemas tipo* orientados a proyectos. Las figuras 17 y 18 son ejemplos de los *problemas tipo* orientados a proyectos con los

cuales se daba clases a los estudiantes de las clases de Análisis Estructural I, Estructuras de Concreto I y Diseño Estructural. Como se observan son documentos ricos en ayudas visuales, procedimientos comentados y cálculos simbólicos como si de un cuaderno interactivo se tratase. Estos *problemas tipo* fueron elaborados utilizando diversas herramientas tecnológicas, siendo la más importante de ellas, el *software MathCad*. La mayoría de los *problemas tipo*, son extensos y cada uno abarca más de una página o folio.

Conclusiones

Los modelos físicos para demostrar conceptos son una herramienta muy valiosa para el desarrollo de la intuición, el criterio ingenieril y el pensamiento espacial de los estudiantes de ingeniería, ya que, a través de los sentidos de la vista y el tacto se puede tener una apreciación más cercana y vívida sobre el comportamiento real de una estructura o de un fenómeno físico en una escala perceptible al ojo humano y al tacto, con un bajo costo y sin riesgo para la seguridad. Por otro lado, las simulaciones computacionales proporcionan validez científica a los modelos físicos y permite visualizar aquellas cantidades físicas no perceptibles por los sentidos humanos, como por ejemplo los esfuerzos internos (fuerzas cortantes y momentos flectores) desarrollados en una estructura.

La actividad de medición experimental de deflexiones

en vigas, que también puede identificarse como una especie de laboratorio dentro de la clase, mostró ser una técnica muy efectiva para mejorar la comprensión del estudiante en un tema usualmente árido. La experiencia de poder comprobar personalmente que los valores teóricos de deflexiones concuerdan con las mediciones en un montaje real, le proporciona al estudiante la confianza y entendimiento de que la tarea ingenieril se traduce en objetos observables, medibles y comprobables.

Los proyectos de vinculación universidad-sociedad son un medio valioso para que los estudiantes pongan en práctica los conocimientos adquiridos en la carrera y de la clase en específico dónde se desarrollan. Además, representa una relación ganar-ganar ya que los requerientes obtienen un anteproyecto a costo cero y los estudiantes aprenden haciendo en proyectos reales. A la vez son un medio de formación integral pues no solo ponen en práctica conocimientos técnicos, sino que también se les permite contribuir con el desarrollo y bienestar socioeconómico de sus comunidades, lo que a su vez refuerza el sentido de pertenencia y sentimiento de logro personal.

Los *problemas tipo* orientados a proyectos le proporcionan al estudiante un contexto más vívido de cómo los conocimientos adquiridos en la clase se relacionan con el ejercicio profesional de la ingeniería.

También, el uso de figuras en 3D y cálculos simbólicos ofrecen un estímulo visual que les ayuda a entender conceptos y visualizar de forma más amena el trasfondo fisicomatemático en cada operación.

Referencias

- Díaz, M. (2006) Modalidades de enseñanza centradas en el desarrollo de las competencias, Ediciones Universidad de Oviedo.
- EduTrends. (2017) *Observatorio de Innovación Educativa del Instituto Tecnológico de Monterrey*. Revista Edutrends, mayo 2017.
- Freeman, S, *et Al.* (2014) Active Learning increases student performance in science, engineering and mathematics, proceedings of the National Academy of Sciences, 111(23), 8410-8415.
- Sequeira, M. (2008) Modelo estructural cualitativo para pré-avaliacao do comportamento de estruturas metálicas, *Tese de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto*.
- Vrontissi, M. (2015) The physical model in structural studies within architecture education: paradigms of an analytic rationale. Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS), August 2015.