



I. IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO

- 1.1. **Nombre del proyecto:** Incorporación de Modelos Mecánicos y Software SAP2000 en la enseñanza del comportamiento de las estructuras.
- 1.2. **Modalidad de participación:**
Individual
Grupal
- 1.3. **Centro Regional al que pertenece el autor o autores:** Ciudad Universitaria
- 1.4. **Campo de acción en el que se enmarca el proyecto:** Tecnología Educativa
- 1.5. **Nombre del autor o autores:** Fabricio Alejandro Ortíz Morales
- 1.6. **Facultad/Escuela y Departamento Académico al que pertenecen los autores:** Facultad de Ingeniería / Departamento de Ingeniería Civil.
- 1.7. **Asignatura (s), disciplina o área del conocimiento a la que está dirigida el proyecto:** Análisis Estructural 1, Diseño Estructural y Estructuras de Concreto 1.
- 1.8. **Fecha de inicio y de finalización del proyecto:** del 30 de octubre del 2019 al 30 de junio del 2020.

II. DESARROLLO DEL PROYECTO

2.1. Resumen del proyecto (media página):

Este proyecto nació como una iniciativa para mejorar la comprensión y visualización de las fuerzas internas que se desarrollan en las estructuras producto de las fuerzas externas aplicadas y la relación subyacente que existe entre deflexiones o deformaciones, condiciones de extremidad o apoyos y las fuerzas internas que se desarrollan en cada elemento estructural. A su vez, busca cambiar el paradigma educativo de ingeniería de las clases magistrales únicamente con pizarrón y conceptos abstractos por un nuevo paradigma que utiliza modelos mecánicos y visualizaciones por computadora para mostrar de forma física conceptos abstractos difíciles de entender sin una experiencia sensorial como la vista o el tacto. Otro de los objetivos planteados y alcanzados fue un mayor grado de involucramiento del estudiante al orientar todos los problemas de la clase a un enfoque basado en proyectos, en los cuáles el estudiante puede ver cómo conceptos teóricos se aplican de manera práctica en la vida profesional. También, por medio de los laboratorios en clase en estudiante desarrolló una mayor capacidad de análisis y dominio de los temas estudiados al contrastar teorías de cálculo con datos experimentales reales.

La metodología que se utilizó para el diseño de los recursos está fundamentada en el aprendizaje activo y el aprendizaje basado en proyecto, los cuales, según lo investigadores logran un mayor compromiso en los estudiantes en el proceso de enseñanza – aprendizaje y por consiguiente una mejoría en sus calificaciones finales y dominio de conocimientos.

Por medio de este proyecto se pudo comprobar tanto cualitativamente como cuantitativamente la eficacia de las innovaciones propuestas, según lo demuestran los datos. Sin embargo, la irregularidad en las clases presenciales en el 2019 producto de las huelgas estudiantiles y le emergencia sanitaria



ocasionada por el COVID-19 en 2020 han mermado en cierta forma el impacto final de este proyecto, ya que pudo haber sido mucho mayor.

2.2. Palabras Clave:

Aprendizaje activo, Modelos mecánicos, Visualizaciones por computadora, Análisis estructural, Comportamiento estructural.

2.3. Problema identificado:

Los estudiantes de las clases de Análisis Estructural 1 y Diseño Estructural tienen dificultades para construir e interpretar correctamente los diagramas de fuerza cortante y momento flector en las estructuras, así como también relacionar la relación intrínseca que existe entre la conectividad, las deformaciones y las fuerzas internas (fuerzas axiales, cortantes y momentos) que se desarrollan en las estructuras.

2.4. Hipótesis de acción o solución propuesta

Con la utilización de los modelos mecánicos: Mola Structural Kit y viga del laboratorio en clase, además del Software SAP2000 en los temas de: cálculo de fuerzas laterales (viento y sismo), idealización de las estructuras, tipos de sistemas estructurales, fuerzas internas desarrolladas en estructuras (diagramas de fuerza cortante y momento flector), cálculo de deflexiones y factores de longitud efectiva de columnas, los estudiantes desarrollaron las destrezas que les permitan idealizar y analizar correctamente sistemas estructurales básicos.

2.5. Justificación del proyecto:

Durante mi primer y segundo período académico (1 PAC y 2 PAC 2019) como docente en la UNAH, me di cuenta de que los alumnos tenían mucha dificultad para visualizar las fuerzas internas (diagramas de cortante y momento) en sistemas estructurales, trasladar una naturaleza constructiva a su idealización para su posterior análisis estructural y asociar las deflexiones o deformada de una estructura con las fuerzas internas que se generan. De estas observaciones cualitativas, también pude apreciar que los alumnos que tenían el mayor déficit en estas competencias eran los alumnos avanzados, o sea, alumnos de 4 años de ingeniería que están llevando clases como Estructuras de Concreto 1 y Diseño Estructural.

Ante tales observaciones cualitativas, decidí incorporar recursos didácticos que le permitieran a los estudiantes visualizar de una forma más digerible dichos conceptos abstractos utilizando dos corrientes pedagógicas llamadas: aprendizaje activo y aprendizaje basado en proyectos. Según *Freeman et al, (2014)*, a través del aprendizaje activo se logra un mayor involucramiento del estudiante en el proceso de enseñanza-aprendizaje y por consiguiente estos logran tener un mayor desempeño en las evaluaciones de la clase. Según *Vrontissi (2015)* el uso de modelos mecánicos o físicos para la enseñanza de conceptos ha probado ser un instrumento efectivo para cambiar el modo enseñanza conductual a constructivista, cambiando el paradigma con el cual se ha enseñado ingeniería durante



años que es: auditorio, abstracto (intuitivo), deductivo, pasivo y secuencial, por un nuevo enfoque dónde el estudiante se más motivado a la resolución práctica problemas y a la experimentación.

En este sentido, este proyecto de innovación educativa viene a beneficiar al estudiantado de ingeniería civil en general ya que le permite comprender conceptos estructurales abstractos mediante la visualización directa, la experimentación y la contrastación de lo teórico con lo práctico. A su vez viene a beneficiar a los profesores en general ya que marca un referente o inicio para un cambio de paradigma en la enseñanza de la ingeniería en general, a la vez que motiva a la sana competencia por crear recursos educacionales de gran valor.

A su vez, por medio de la difusión de este tipo de contenidos de valor en redes sociales, ayudará crear una imagen de innovación educativa en la UNAH, a la vez que potenciará una mejoría en la impresión pública sobre la UNAH y contribuirá con la reputación local y regional de la UNAH en cuanto a su calidad educativa.

2.6. Objetivos del proyecto:

Objetivo General:

- Lograr que los estudiantes de las clases de Análisis Estructural 1 y Diseño Estructural mejoren sus competencias en el cálculo de cargas, trazado de los diagramas de fuerzas internas en marcos (fuerza cortante y momento flector) y una mejor comprensión de la relación existente entre condiciones de apoyo, deflexiones y fuerzas internas.

Objetivos Específicos:

- Diseñar la propuesta pedagógica – didáctica para incluir el modelo mecánico *Mola Structural Kit* el software SAP2000 y un laboratorio en clase para medición experimental de deflexiones. Dichas propuestas cubren los temas de: Cálculo de cargas laterales (viento y sismo), Idealización de Estructuras, Deformaciones en estructuras y diagramas de cortante y momento. Este objetivo se mide por medio de los recursos didácticos generados para cada tema.
- Diseñar y aplicar una evaluación preliminar que servirá de línea base para la medición de la evolución de los estudiantes y de los resultados esperados de este proyecto. Este objetivo se mide a través de dos (2) evaluaciones específicas para este fin.
- Desarrollar 7 horas clase en donde se utilice el Mola Structural Kit (modelo físico) y el SAP2000 (modelo computacional) como herramienta para presentar conceptos de deformaciones y fuerzas internas (diagramas de fuerza cortante y momento flector). Este objetivo se mide a través de la programación didáctica del curso y fotografías.
- Diseñar y aplicar una evaluación final para medir el avance que tuvo el estudiante utilizando estas herramientas. Este objetivo se mide a través de la comparación del antes y del después en las pruebas de inicio y final aplicadas a los estudiantes.

2.7. Fundamentación del proyecto

Luego de las observaciones cualitativas hechas en los estudiantes durante el 1 PAC 2019 y parte del 2 PAC 2019, procedí a desarrollar una prueba diagnóstica para determinar el dominio de dichos temas en los estudiantes de las clases de análisis estructural 1, diseño estructural y estructuras de concreto. La prueba consistió en 15 preguntas de selección múltiple con 3 minutos para responder a cada una. La prueba fue proyectada en la sala de audiovisuales y fue programada para que al cabo de 3 minutos la pregunta cambiara. Dicha evaluación diagnóstica se muestra en el Anexo 1, y en el Anexo 2 se muestran algunas hojas de respuestas llenadas por los estudiantes. Con la evaluación diagnóstica se construyeron las curvas de distribución normal de los resultados obtenidos por los estudiantes. Cabe aclarar que la gráfica sólo se muestran los resultados obtenidos en 2 clases ya que el restante de evaluaciones aplicadas se quedó en mi cubículo en el Departamento de Ingeniería Civil y por motivos de la pandemia no he podido ingresar a ese espacio físico para tabular y analizar esos datos.

Ilustración 1. Aplicación de la prueba diagnóstica a un grupo de estudiantes.

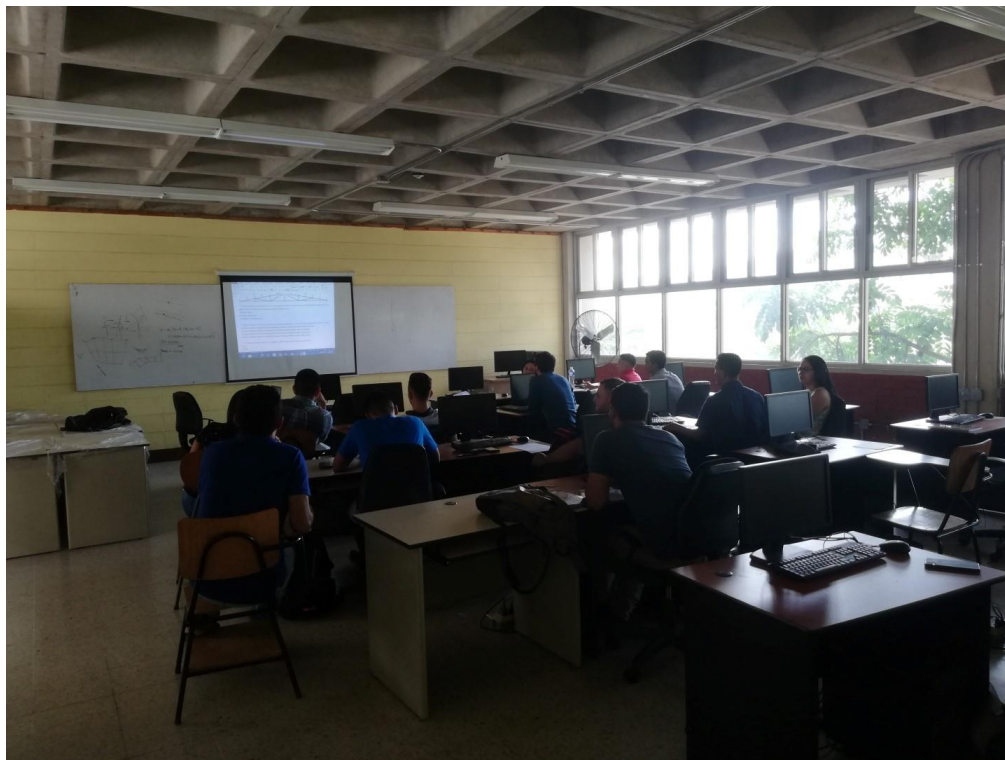
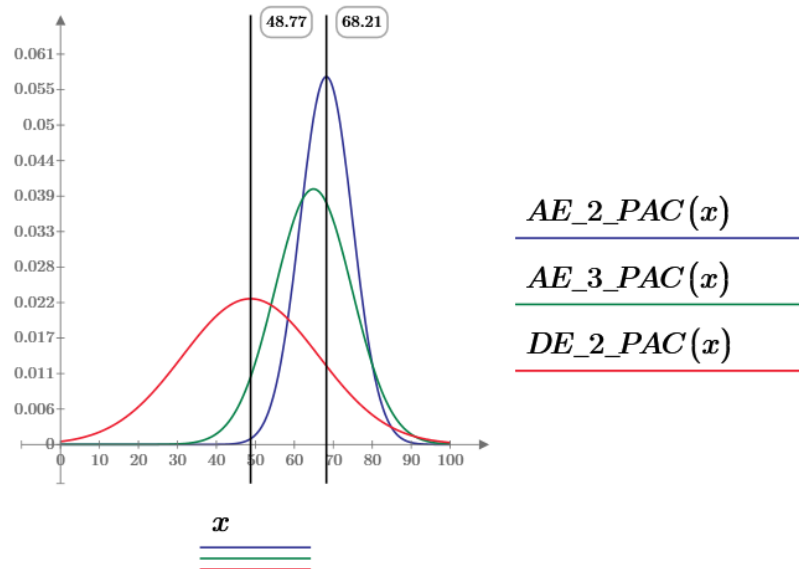


Ilustración 2. Distribución normal por curso en el desempeño de los estudiantes en la prueba para determinar la línea base del proyecto. AE: Análisis Estructural, DE: Diseño Estructural.

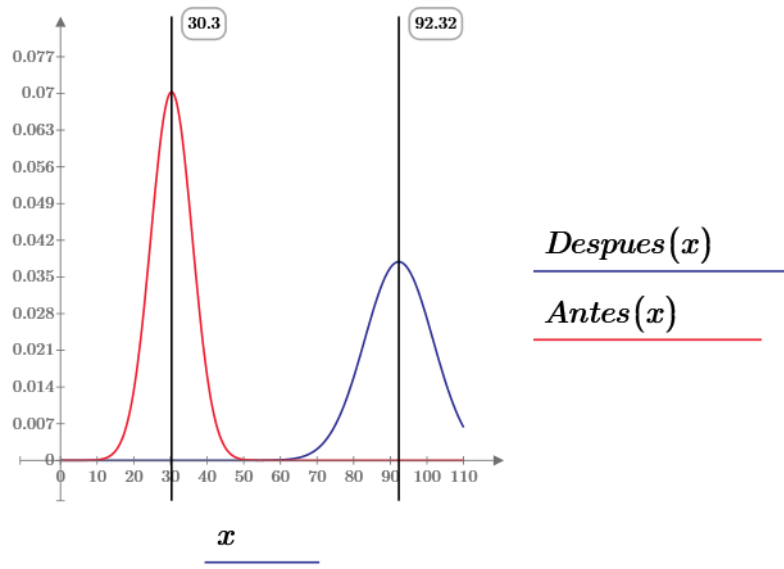


Curvas utilizando la ecuación matemática de la curva y los valores de media y desviación estándar de la situación antes y después.

De la ilustración 2 se observa que los estudiantes de la clase de Análisis Estructural 1 tanto en 2 PAC 2019 como en el 3 PAC 2019 tuvieron un mejor desempeño que los alumnos de Diseño Estructural, ya que las curvas de distribución de los dos primeros cursos tienen menos dispersión la media de calificaciones está entre 65% y 70%. Por su parte, los alumnos de Diseño Estructural tienen una calificación promedio de 48% y una dispersión bastante grande. Lo curioso y a la vez preocupante de esta situación es que Diseño Estructural es una clase de cuarto año de ingeniería, en donde los estudiantes ya casi son profesionales y por tanto se espera que tuviesen un mejor dominio de esos conceptos. Por otro lado, Análisis Estructural 1 es una clase de tercer año de ingeniería civil, es se encuentra dentro de la secuencia de clases dentro de la subrama de estructuras.

Otra experiencia que sirvió como método de medición cuantitativa de la comprensión de conceptos abstractos de los estudiantes fue el segundo examen parcial del curso de Análisis Estructural 1 en el 2 PAC, en donde se estudia el cálculo de deflexiones en estructuras. La Ilustración 3 muestra la distribución normal de las calificaciones del segundo parcial de todos los estudiantes vs la calificación del examen de reposición de los mismos estudiantes después de haber interactuado y realizado una actividad con un nuevo recurso de aprendizaje activo, que fue el laboratorio de medición experimental de deflexiones. Cabe mencionar que todos los estudiantes repusieron el examen del segundo parcial y por tanto ambas evaluaciones proporcionan un parámetro de comparación confiable ya que ambos exámenes evaluaron los mismos contenidos y con tipologías de problemas similares.

Ilustración 3. Comparación del desempeño de los estudiantes y del dominio de los conceptos de deflexiones en estructuras antes y después de haber realizado e interactuado con un nuevo recurso de aprendizaje diseñado por el profesor.



Curvas utilizando la ecuación matemática de la curva y los valores de media y desviación estándar de la situación antes y después.

Las corrientes metodológicas en las cuáles se enmarcaron las actividades diseñadas dentro de este proyecto son: aprendizaje activo y aprendizaje en base a proyectos. Según *Freeman, et al (2014)*, y *Vrontissi (2015)*, por medio de ellas se logra que el estudiante se motive y se involucre más resolviendo problemas prácticos y experimentando, logrando así experiencias sensoriales más vividas que se traducen en mejor comprensión de conocimientos abstractos. También, este tipo de actividades diseñadas y recursos utilizados poseen validez científica ya que reflejan a una menor escala (apreciable al ojo humano y al tacto) los mismos fenómenos físicos que experimentan las estructuras reales como los edificios (Sequeira, 2008).

2.8. Metodología:

Habiendo establecido la línea base, y recabada información sobre las corrientes metodológicas que dan sustento a este tipo de actividades se procedió a hacer a realizar las siguientes etapas dentro de cada una de las subfases:

Fase de diseño o preparación

- Planeación de los ejemplos de cada tema en los que se usó el Mola Structural Kit y Software SAP2000.
- Redacción y preparación de la actividad de laboratorio en clase.
- Preparación y redacción de la evaluación para medir la situación antes y después de la implementación de los recursos didácticos que contemplaba este proyecto.



Fase de implementación

- Aplicación de evaluación para medir el nivel inicial (línea base) de los estudiantes, o sea, antes de la implementación del proyecto.
- Desarrollo de los temas de las clases utilizando los recursos Mola Structural Kit y el software SAP2000.
- Desarrollo de la actividad de laboratorio en clase.

Fase de evaluación o medición

- Corrección de las pruebas aplicadas a los estudiantes para medir el antes y el después.
- Análisis de los datos obtenidos.

Dada la irregularidad e inestabilidad del 2PAC 2019, acortamiento del 3 PAC 2019 y la situación especial generada por la pandemia del COVID-19 en el 1 PAC 2020, no fue posible aplicar la prueba de medición final a los estudiantes a los que se les aplicó la prueba para determinar la línea base. Además, parte de la información recolectada no pudo ser analizada ya que debido a la emergencia del COVID-19 el profesor no pudo acceder a todas las pruebas aplicadas ya que se encuentran en su cubículo en el edificio D1 de la UNAH y no se ha tenido acceso desde el 12 de marzo.

2.9. Productos y Resultados

Productos (tangibles):

Los productos tangibles de este proyecto son:

- Una (1) Actividad de laboratorio de clase para la medición experimental de deflexiones.
- Dos (2) recursos didácticos para la utilización del Mola Structural Kit y el Software SAP2000 en las Clases de Análisis Estructural 1 y Diseño Estructural.
- Tres (3) Videos Explicando la relación entre los conceptos de: sistemas estructurales, deformaciones en estructuras, restricciones en los apoyos y fuerzas internas que se desarrollan en las estructuras.
- Cuarenta y siete (47) problemas numéricos de clase basados en el enfoque de aprendizaje basado en proyectos.



Resultados (intangibles pero medibles):

Resultados esperados planteados	Resultados obtenidos (totales o parciales) sobre el proceso de enseñanza aprendizaje	Colocar evidencias (o anexarlas)
Los estudiantes vieron de forma real cómo se comportan las estructuras bajo cargas gravitacionales	157 alumnos que vieron de forma física o por medio de video cómo se deforman las estructuras bajo cargas gravitacionales.	La evidencia de este resultado son fotos de los videos presenciales de esa clase explicando estos temas. Ver Anexo 1.
Los estudiantes comprendieron de forma práctica, visual y lúdica las relaciones existentes entre: conectividad, deformaciones y fuerzas internas desarrolladas en las estructuras.	157 alumnos que vieron de forma física o por medio de video cómo se deforman las estructuras bajo cargas gravitacionales.	La evidencia de este resultado son fotos de los momentos presenciales donde los alumnos jugaron con el Mola Structural Kit o al momento que realizaban el laboratorio. Otro medio de verificación son los laboratorios de clase entregados por los estudiantes, para efectos de esta métrica se muestra únicamente el mejor trabajo de cada PAC. Ver Anexo 4
Los estudiantes identificaron cómo se distribuyen las fuerzas internas en las estructuras (diagramas de cortante y momento) en base a la geometría y tipos de apoyo que tiene la estructura.	157 alumnos que vieron de forma física o por medio de video cómo se deforman las estructuras bajo cargas gravitacionales.	La evidencia de este resultado son fotos de los videos presenciales de esa clase explicando estos temas. Ver Anexo 1.
Los estudiantes fueron capaces de transformar una realidad física de un sistema estructural en un modelo matemático correcto para resolverlo.	43 estudiantes lograron resolver de forma correcta el laboratorio de clase.	El medio de verificación son los laboratorios de clase entregados por los estudiantes, para efectos de esta métrica se muestra únicamente el mejor trabajo de cada PAC. Ver Anexo 4



Análisis de resultados y reflexión

Tras analizar las calificaciones finales de los estudiantes de análisis estructural 1 antes y después de realizar el laboratorio virtual, analizar de forma cualitativa la calidad de los trabajos finales entregados por los estudiantes y la reacción que los estudiantes tuvieron al exponerse a todos los recursos se puede decir que este proyecto logró su objetivo de ayudar a los estudiantes a comprender mejor la relación subyacente entre apoyos, deflexiones y fuerzas internas en las estructuras. La comprobación cuantitativa de esta hipótesis no puede probarse de momento porque pocas evaluaciones aplicadas en una etapa posterior a los estudiantes no pudo evaluarse ya que dichas pruebas se encuentran en las instalaciones físicas de la UNAH y el momento de realizar este informe no se cuenta con estos datos.

A su vez, el proyecto crea un impacto educativo grandísimo en los estudiantes, ya que pudieron ver, tocar la forma en que se deforman las estructuras bajo cargas, asociar sus deformaciones o deflexiones según la configuración del sistema estructural y de las cargas aplicadas. También pudieron contrastar las metodologías de cálculo con valores experimentales reales. Este proceso de enseñar aprendizaje crea una experiencia vívida en los estudiantes, la cual será muy difícil de olvidar ya que tiene un componente emocional.

El proyecto a su vez me ayudó a mi como profesor a mejorar mi práctica docente y a reafirmar mi compromiso por producir recursos educativos de calidad para los futuros estudiantes.

Continuidad del proyecto

Tengo intención de refinar los contenidos desarrollados en este proyecto e implementarlos en mis futuros espacios de aprendizaje y a la vez incorporar nuevos contenidos que me encuentro desarrollando actualmente.

2.10. Conclusiones o aprendizajes (proceso enseñanza y aprendizaje):

1. Los estudiantes mejoraron su comprensión del cálculo de deflexiones a través del laboratorio en clase, ya que pudieron contrastar metodologías de cálculos teóricos con datos experimentales reales.
2. Los estudiantes mejoraron su comprensión de la relación existente entre fuerzas internas, deflexiones y tipos de apoyo de las estructuras, a través del uso de modelos mecánicos y visualizaciones por computadora.
3. Los estudiantes se involucraron más en el proceso de enseñanza-aprendizaje con el desarrollo de problema tipo proyecto, desarrollados a lo largo de la clase. De esa manera pudieron apreciar de forma práctica cómo se aplican conocimientos teóricos de cálculo estructural a proyectos reales.



4. La continua inestabilidad de la actividad docente ocasionada por las huelgas estudiantiles en 2019 y por la pandemia del COVID-19 en 2020 limitaron en gran medida el alcance final de este proyecto, ya que no fue posible evaluar cualitativamente el estado final de todos los alumnos.

2.11. Referencias bibliográficas

ITESM (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 Qualitativo para Pré-Avaliação 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*.

2.12. Anexos

Anexo 1: Álbum fotográfico de actividades y clases presenciales utilizando el Mola Structural Kit y/o el Software Sap2000.

Anexo 2: Prueba diagnóstica aplicada a los estudiantes.

Anexo 3: Scan de las algunas hojas de respuestas de las pruebas aplicadas a los estudiantes.

Anexo 4: Reportes de laboratorio de clase presentados por los estudiantes (los mejores de cada PAC)



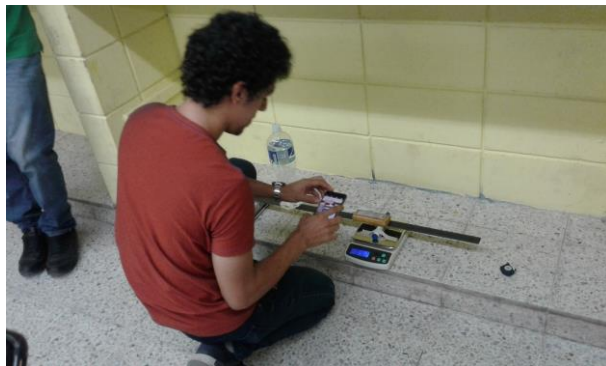
Anexo 1: Álbum Fotográfico de la implementación de las innovaciones.



Alumnos del 2 PAC en evaluación



Alumnos del 2 PAC en evaluación



Alumnos realizando laboratorio en clase 2 PAC



Alumnos del 2 PAC jugando con modelo mecánico



Alumnos del 3 PAC realizando evaluación



Alumnos del 2 PAC realizando laboratorio en clase



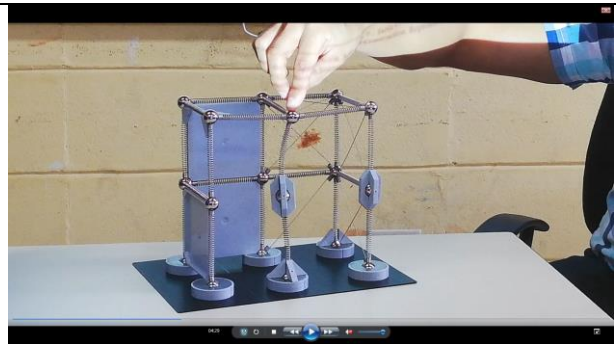
Alumnos del 3 PAC realizando laboratorio



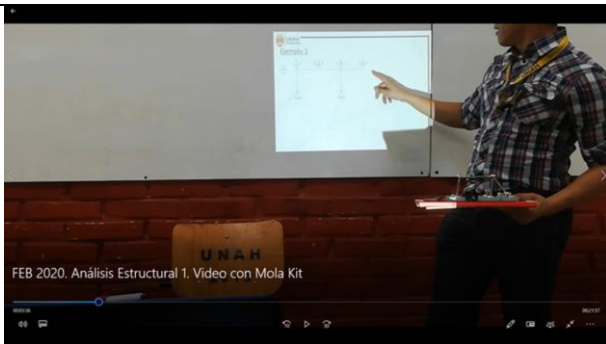
Alumnos del 3 PAC realizando laboratorio



Profesor explicando con modelo mecánico y computadora



Profesor explicando con modelo mecánico y computadora



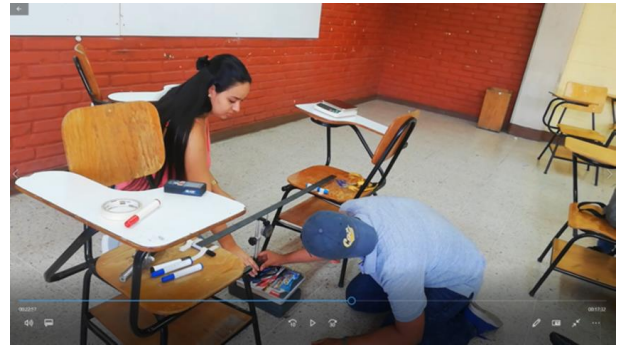
Profesor explicando con modelo mecánico y computadora



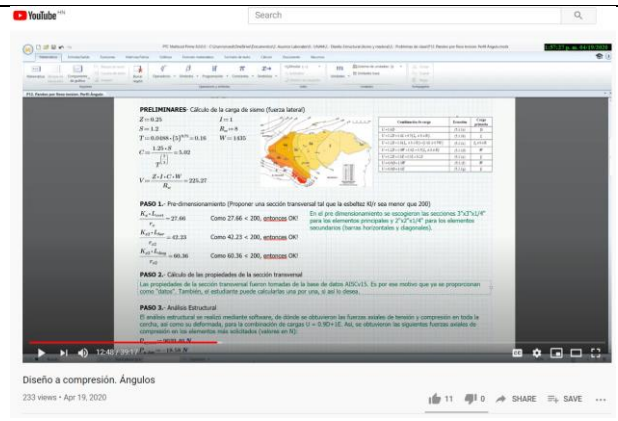
Profesor explicando con modelo mecánico y computadora



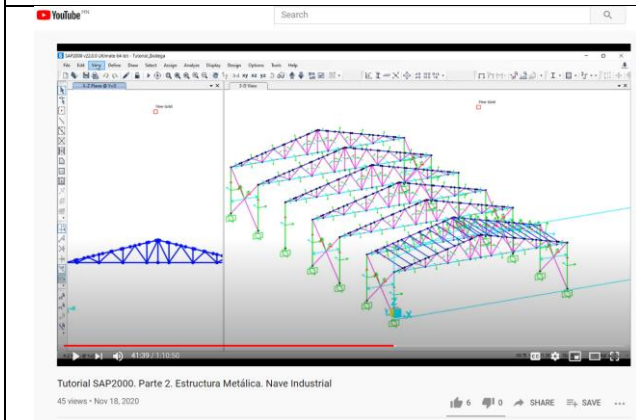
Videos demostrativos utilizando modelos mecánicos



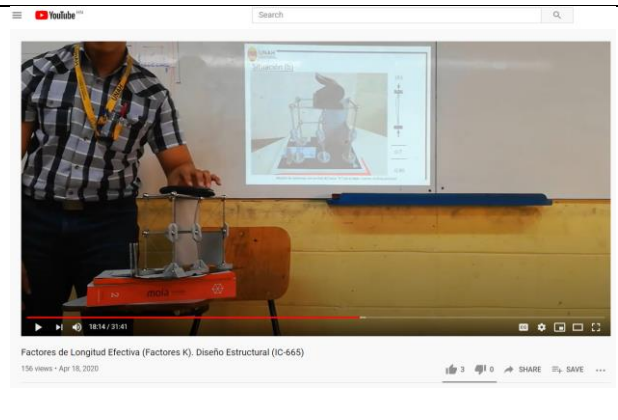
Actividad de laboratorio virtual



Recurso de problemas de clase tipo proyecto



Video tutoriales para el uso de programas



Virtualización del uso de modelos mecánicos para explicar conceptos.