

Método Propuesto para Cursos Basados en Proyectos de Ingeniería Mecánica para Mejorar Máquinas

Jose Luis Ordoñez-Fernández, Master en Dirección Empresaria¹,

¹Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Autónoma de Honduras (UNAH), San Pedro Sula, Honduras,

jlordonez@unah.edu.hn

Abstract— El objetivo de este trabajo es presentar un método utilizado en la clase de elementos de máquinas III para el desarrollo de proyectos capstone. Para esto se presentan las rubricas de evaluación de cada una de las etapas, donde se utiliza un software CAD para desarrollar el proyecto. La metodología presenta cuatro etapas donde se evalúan habilidades técnicas como la metrología, ingeniería de procesos, diseño CAD y elementos de máquinas. Además, se evalúan habilidades blandas como la resolución de conflictos, trabajo en equipo, planeación y presentación de resultados. Como principales resultados se presenta un ejemplo de mejora de un vehículo construido y ensamblado por estudiantes. También se valida mediante diferentes indicadores estadísticos el instrumento de medición aplicado para medir el conocimiento adquirido por los estudiantes. Basado en el ejemplo y los resultados se desarrolló una metodología estructurada para el desarrollo de proyectos capstone. Con esto se pretende que otros docentes puedan implementar o adaptar esta metodología a sus clases y medir la percepción de los estudiantes.

Keywords—Estudiantes, Capstone, trabajo en equipo, ingeniería.

I. INTRODUCCIÓN

Un proyecto capstone es una experiencia educativa que permite a los estudiantes integrar, aplicar y demostrar las habilidades y conocimientos adquiridos durante su formación académica. Estos proyectos suelen desarrollarse de forma multidisciplinaria y se centran en la resolución de problemas del mundo real, fomentando la transición del entorno académico al profesional [1]. Además, estas iniciativas suelen estar alineadas con estándares educativos, como los establecidos por ABET, para garantizar que los estudiantes adquieren competencias relevantes en sus campos de estudio [2].

Los proyectos capstone se han convertido en una herramienta multidisciplinaria importante que las universidades están utilizando para desarrollar las competencias técnicas de los estudiantes [1-3]. Los estudiantes en muchas ocasiones tienen ansiedad por saber cómo será su vida profesional, por lo que este enfoque aplicado a la realidad les permite tener un conocimiento preliminar de esas labores [4]. Algunos proyectos capstone incluso se trabajan en conjunto con empresas, esto les da una mejor experiencia a los estudiantes. Esta experiencia los conecta con mayor intensidad al mundo laboral, permitiendo que tenga experiencias reales e incluso les abre puertas a contrataciones [5].

Por otro lado, la asignación de estudiantes a proyectos multidisciplinarios mediante técnicas de optimización discreta ha maximizado la eficiencia en la creación de equipos. Este

enfoque garantiza que los equipos estén equilibrados en términos de habilidades, intereses y necesidades del proyecto, lo que a su vez mejora la experiencia de aprendizaje [6].

Los proyectos capstone se han convertido en una necesidad dentro de los salones de clase. Estos integran metodologías prácticas de aprendizaje, que para el área de Ingeniería mecánica deben desarrollarse de forma presencial. Esta es la metodología que más favorece a los estudiantes para realizar máquinas complejas y prepararlos para ámbito profesional [4-6].

Estos proyectos permiten a los estudiantes a integrar conocimientos teóricos en problemas reales. Estos proyectos deben tener una estructura de aprendizaje que permitan a los estudiantes ir desarrollando paso a paso su proyecto [7]. La integración de recursos digitales como las plataformas e-learning y cursos abiertos son una forma de apoyar en la estructura de una clase basada en proyectos capstone [8]. La combinación de una estructura clara, apoyo con plataformas digitales y una asesoría constante del docente permiten reducir la presión y el estrés generada por el desarrollo de estos proyectos.

La falta de presupuesto para equipamiento de laboratorios dificulta el desarrollo de prácticas técnicas esenciales en los programas de ingeniería. Los proyectos capstone surgen como una solución viable para reducir esta brecha al permitir que los estudiantes realicen trabajos prácticos, utilizando recursos de manera eficiente [9-11]. Sin embargo, la ausencia de metodologías estructuradas y rúbricas claras para evaluar estos proyectos dificulta la estandarización.

Al revisar todos estos ejemplos de proyectos capstone se puede concluir que estos promueven el aprendizaje basado en la elaboración de proyectos y la resolución de problemas. Los estudiantes están expuestos a conflictos internos lo que los obliga a trabajar en equipo mejorando sus habilidades blandas [12]. La certificación de ABET exige a las carreras de ingeniería tener al menos una clase en la que los estudiantes desarrollen un proyecto capstone con colaboración interdisciplinaria [13]. Por lo que este proyecto propone una metodología basada en [14], agregando rubricas e instrumentos de medición para que puedan aplicarse los proyectos capstone de forma estructurada. Para esto se pretende agregar elementos CAD, simulaciones y conceptos de ingeniería inversa para que los estudiantes puedan desarrollar proyectos reales con presupuestos bajos.

esto es necesario que los alumnos realicen al menos dos simulaciones incluida la simulación estática del ensamble y sus partes. Esta simulación permite seleccionar el mejor material acompañado de los costos de fabricación. También se pueden realizar simulaciones dinámicas para evaluar mecanismos o aerodinámicas para mejorar el rendimiento de la máquina. Esta etapa es crucial ya que las simulaciones sirven para extraer datos y realizar cálculos que permitan la implementación y fabricación del prototipo.

Por último, en la etapa D, los estudiantes realizan pruebas para validar las mejoras, concluyendo con un informe que resume los resultados obtenidos durante todas las etapas del proyecto. Esta metodología promueve el aprendizaje práctico y el desarrollo de competencias técnicas y habilidades blandas. Finalmente se realiza una encuesta utilizando el instrumento propuesto (Tabla IV) para medir la percepción de los alumnos en relación de los conocimientos adquiridos en la clase.

Para demostrar la importancia y los resultados de la implementación de esta metodología en la clase de elementos de máquina III se realizará un estudio de enfoque mixto. Primero se aplicará el *Alpha de Cronbach, Gutman, KMO* y *Barlett* para validar la fiabilidad del instrumento propuesto en la Tabla IV. Para esto se le aplico durante un año la encuesta a todos los estudiantes (n= 28) que cursaron la clase. No se incluye datos demográficos de la muestra ya que no se pretende realizar relaciones entre las diferentes etapas en este trabajo. En el segundo análisis se realiza un estudio cualitativo mostrando imágenes de los resultados obtenidos por los estudiantes y los promedios de notas que se obtuvieron por las secciones cuando se implementaron estas rubricas. Para esto se utilizó como proyecto base mejoras a un vehículo de 4 ruedas.

Tabla I Rúbrica para el diseño de piezas individuales

Solicitudes	Completas todas las piezas necesarias	Completas algunas piezas	Faltan la mayoría de las piezas
Diseño de las piezas	1	0.5	0
Vista lateral	1	0.5	0
Vista Izquierda	1	0.5	0
Vista Frontal	1	0.5	0
Vista Isométrica	1	0.5	0
Vista en corte	1	0.5	0
Material	1	0.5	0
Plano con dimensiones	3	1	0
Total			

Tabla II Rúbrica para el desarrollo del prototipo en CAD

Solicitudes	Ensamble completo	Ensamble completo y malo	Ensamble incompleto
Diseño del ensamble	1	0.5	0
Secuencia de instalación de piezas	1	0.5	0
Vista Isométrica	1	0.5	0
Vista Frontal	1	0.5	0
Vista explosionada	2	1	0
Lista de materiales	2	1	0
Plano con dimensiones	2	1	0
Total			

Tabla III Rúbrica para las simulaciones y mejoras al prototipo real

Solicitudes	Simulación completa	Simulación completa o con errores	Simulación incompleta
Realizo al menos dos tipos	2	1	0
Obtuvo datos	2	1	0
Utilizo los datos para cálculos posteriores	2	1	0

Se implemento en la realidad	4	2	0
Total			

Tabla IV Instrumento de medición de la precepción de los estudiantes sobre la adquisición de conocimientos en la clase basado en escala de Likert (1-5).

N	Pregunta	Habilidad	Etapas
1	¿Han mejorado sus habilidades de dibujo técnico?	Técnica	A
2	¿Han mejorado sus habilidades de diseño 3D?	Técnica	A
3	¿Han mejorado sus habilidades de metrología?	Técnica	A
4	¿Han mejorado sus habilidades de trabajo en equipo?	Blanda	A
5	¿Han mejorado sus habilidades de desarrollo de simulaciones?	Técnica	B
6	¿Han mejorado sus habilidades de liderazgo?	Blanda	B
7	¿Han mejorado sus habilidades analíticas en diseño de máquinas?	Técnica	B
8	¿Han mejorado sus habilidades analíticas en la toma de decisión?	Blanda	B
9	¿Han mejorado sus habilidades de selección de materiales?	Técnica	C
10	¿Han mejorado sus habilidades de fabricación de máquinas?	Técnica	C
11	¿Han mejorado sus habilidades de comunicación?	Blanda	C
12	¿Han mejorado sus habilidades de resolución de conflictos?	Blanda	C
13	¿Han mejorado sus habilidades en control de calidad?	Técnica	D
14	¿Han mejorado sus habilidades de planeación?	Blanda	D
15	¿Han mejorado sus habilidades de presentación de proyectos?	Blanda	D
16	¿Han mejorado sus habilidades de operación de máquinas?	Técnica	D

III. RESULTADOS

En esta sección se muestran ejemplos de la implementación de esta metodología a la clase de Elementos de Máquinas III, donde los estudiantes han realizado mejoras a un vehículo de cuatro ruedas y un pasajero llamado buggy. Este buggy ha sido construido desde cero en los laboratorios de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Cortes. Los ejemplos se basan en cambio del suelo del vehículo, el cual presentaba deformaciones por el peso.

A Etapa I: Diseño CAD

En esta etapa los estudiantes tomaron medidas del buggy y dibujaron las piezas en el software CAD. La Figura 2 muestra un ejemplo de las piezas dibujadas, además los estudiantes deben realizar los planos basados en las vistas solicitadas en la Tabla I. El diseño de cada pieza es importante para que el proyecto se pueda realizar de la mejor forma. Los planos permitirán que posteriormente se realicen las simulaciones y fabriquen las piezas.

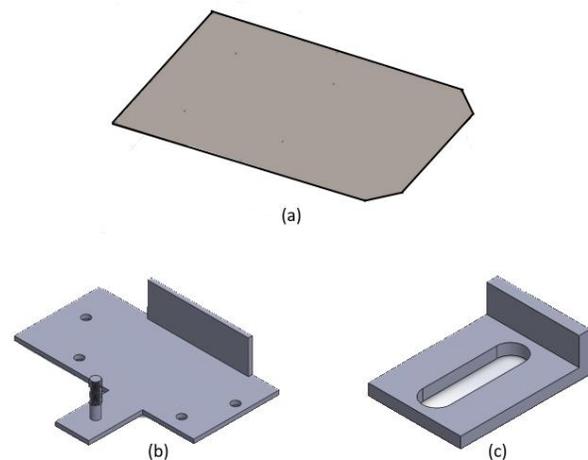


Fig. 2 (a) Piso del buggy; (b) Portador de batería; (c) Sujetador de batería;

B Etapa II: Ensamble

En esta etapa los estudiantes realizan el ensamble completo incluyendo los cambios que se realizaran al proyecto. Esto permite que los estudiantes estén seguros de

que las piezas que fabricaran estarán acorde a la realidad. La Figura 3 muestra el ejemplo del buggy ensamblado por los estudiantes.



Fig. 3 Ensamble completo del buggy

C Etapa III: Simulación y fabricación

En esta etapa los estudiantes realizan simulaciones para validar los materiales y dimensiones de las partes. La Figura 4 muestra la simulación de tensión y los resultados de la prueba de von Mises para la instalación del piso. En muchas ocasiones es necesario que se rediseñen las piezas para lograr los resultados necesarios. En este caso se utiliza una lámina de aluminio anti-derrapante para la implementación del suelo como se muestra en la Figura 5.

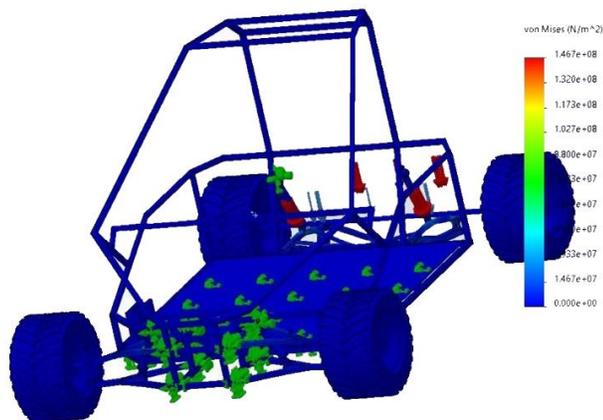


Fig. 4 Simulación de esfuerzos para la implementación del piso del buggy.

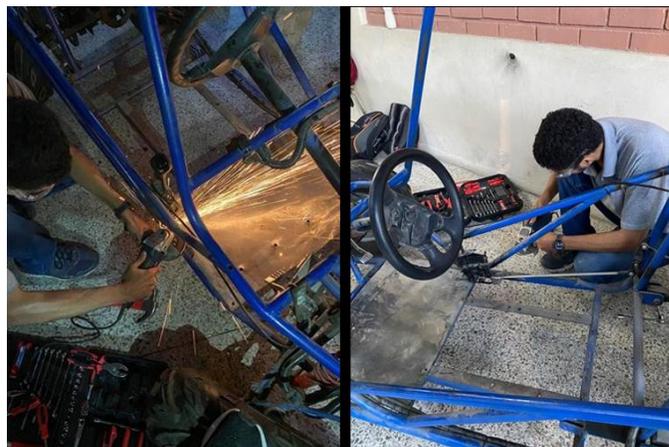


Fig. 5 Implementación del diseño según las simulaciones y piezas realizadas al buggy.

D Etapa IV: Pruebas finales

Finalmente, los estudiantes realizan pruebas con el prototipo revisando que siga funcional y listo para nuevas implementaciones con futuras secciones. Además, hacen un informe donde colocan todos los detalles de construcción del proyecto. La Figura 6 muestra la implementación fina en el robot del piso, el protector de la caja de cambios y la porta baterías.



Fig. Resultado final de la implementación de los cambios al buggy.

E Validación del instrumento propuesto

Después de aplicar el instrumento de medición de percepción a 28 estudiantes se procede a realizar un estudio de fiabilidad para validar el instrumento. La Tabla V muestra las estadísticas descriptivas por cada una de las preguntas. Se realizó la prueba de Alfa de Cronbach, obteniéndose un coeficiente de 0.96 y 0.88 el coeficiente de dos mitades de gutman lo que indica una alta fiabilidad del instrumento, sugiriendo que sus ítems son coherentes entre sí y pueden utilizarse en futuros estudios. Finalmente se realizaron las pruebas de KMO y Bartlett obteniendo 0.796 y 0.000 respectivamente por lo que los datos respaldan la estructura subyacente de las preguntas del cuestionario.

Tabla V Estadísticas descriptivas con N=28

Pregunta	Media	Desviación
P1	4.6071	0.73733
P2	4.5	0.74536
P3	4.5714	0.7418
P4	4.5357	0.74447
P5	4.4286	0.79015
P6	4.75	0.51819
P7	4.7857	0.56811
P8	4.75	0.6455
P9	4.6786	0.61183
P10	4.4643	1.0709
P11	4.6429	0.78004
P12	4.75	0.70053
P13	4.5714	0.92009
P14	4.6429	0.78004
P15	4.7143	0.59982
P16	4.6786	0.61183

III. CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó una metodología propuesta para el desarrollo de cursos capstone. Esta metodología se ha utilizado por más de un año en la clase de elementos de máquinas III. La metodología se basa en el uso de rubricas para evaluar cuatro etapas de aprendizaje que tratan la parte técnica y las habilidades blandas. Se presento un ejemplo de los resultados obtenidos por un grupo de estudiantes los cuales realizaron mejoras a un proyecto llamado buggy. Finalmente se presentó un instrumento con el que se mide la percepción de los estudiantes a lo largo del curso. Este mostro varios estadísticos con coeficientes aceptables para tenerlo como fiable. Basado en el ejemplo y los resultados se desarrolló una metodología estructurada para el desarrollo de proyectos capstone. Con esto se pretende que otros docentes puedan implementar o adaptar esta metodología a sus clases y medir la percepción de los estudiantes.

REFERENCES

[1] J. Zhang, Z. Zhang, S. P. Philbin, H. Huijser, Q. Wang, y R. Jin, «Toward next-generation engineering education: A case study of an engineering capstone project based on BIM technology in MEP systems», *Comput. Appl. Eng. Educ.*, ago. 2021, doi: 10.1002/cae.22448.

[2] K. Meah, D. Hake II, y S. D. Wilkerson, «A Multidisciplinary Capstone Design Project to Satisfy ABET Student Outcomes», *Educ. Res. Int.*, vol. 2020, n.o 1, p. 9563782, 2020, doi: 10.1155/2020/9563782.

[3] C. Gomez y C. Hernandez, «Proyecto Multidisciplinario de Diseño en Ingeniería - PMDI: un espacio para la reflexión curricular», en *Proceedings of the 18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: Engineering, Integration, And Alliances for A Sustainable Development* "Hemispheric Cooperation for Competitiveness and Prosperity on A Knowledge-Based Economy", Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions, 2020. doi: 10.18687/LACCEI2020.1.1.429.

[4] T. Ju y J. Zhu, «Exploring senior engineering students' engineering identity: the impact of practice-oriented learning experiences», *Int. J.*

STEM Educ., vol. 10, n.o 1, p. 48, jul. 2023, doi: 10.1186/s40594-023-00439-2.

[5] G. Gill y M. Mullarkey, «Taking a Case Method Capstone Course Online: A Comparative Case Study», *J. Inf. Technol. Educ. Res.*, vol. 14, pp. 189-218, 2015, doi: 10.28945/2171.

[6] T. L. Magnanti y K. Natarajan, «Allocating Students to Multidisciplinary Capstone Projects Using Discrete Optimization», *Interfaces*, vol. 48, n.o 3, pp. 204-216, jun. 2018, doi: 10.1287/inte.2017.0940.

[7] R. Pawar y S. Patil, «Structured Approach to Enhance the Quality of Undergraduate Capstone Project: A Case Study», *J. Eng. Educ. Transform.*, vol. 34, n.o Special Issue, mar. 2020, doi: 10.16920/jeet/2021/v34i0/157229.

[8] J. Leinonen et al., «Admitting Students through an Open Online Course in Programming: A Multi-year Analysis of Study Success», en *Proceedings of the 2019 ACM Conference on International Computing Education Research*, en ICER '19. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, jul. 2019, pp. 279-287. doi: 10.1145/3291279.3339417.

[9] M. E. Perdomo, R. Chang López, y J. L. Ordoñez-Avila, «Students level of trust in robotic systems», en *Proceedings of the 2024 9th International Conference on Information and Education Innovations*, en ICIEI '24. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, jul. 2024, pp. 14-19. doi: 10.1145/3664934.3664953.

[10] K. M. R. Leiva, M. E. Perdomo, y J. L. Ordoñez-Avila, «Implementing Research-Based Teaching Methodology, a Multi-disciplinary Case Study», en *New Technology in Education and Training*, J.-C. Hong, Ed., Singapore: Springer Nature, 2024, pp. 295-302. doi: 10.1007/978-981-97-3883-0_25.

[11] M. E. Perdomo y J. L. Ordoñez Avila, «Simulación con robots colaborativos para prácticas de sistemas de información logística con estudiantes de ingeniería», *INNOVARE Rev. Cienc. Tecnol.*, vol. 8, n.o 2, Art. n.o 2, 2019.

[12] M. D. L. Á. Ortega Del Rosario, A. A. Jaén Ortega, D. Del Rosario, G. Ducreux, R. Chane, y E. Ortega, «Roles and challenges of innovation, industry 4.0, and sustainability competencies development in engineering students», en *Proceedings of the 21th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology (LACCEI 2023): "Leadership in Education and Innovation in Engineering in the Framework of Global Transformations: Integration and Alliances for Integral Development"*, Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions, 2023. doi: 10.18687/LACCEI2023.1.1.1440.

[13] L. Delgado Barra, F. Gonzales Saji, K. Guevara Puente De La Vega, O. Sharhorodska, y C. Baluarte Araya, «Experiencia en el desarrollo del curso CAPSTONE bajo los lineamientos de ABET en la Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas», en *Proceedings of the 18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: Engineering, Integration, And Alliances for A Sustainable Development* "Hemispheric Cooperation for Competitiveness and Prosperity on A Knowledge-Based Economy", Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions, 2020. doi: 10.18687/LACCEI2020.1.1.215.

[14] J. L. Ordoñez-Fernandez, «Work in Progress: A Proposed Method for Mechanical Engineering Students with CAD Simulations for Real Machines», en *2024 IEEE World Engineering Education Conference (EDUNINE)*, mar. 2024, pp. 1-4. doi: 10.1109/EDUNINE60625.2024.10500604.