

LA EXPERIENCIA DE DISEÑO REQUERIDA PARA UNA ACREDITACIÓN INTERNACIONAL EN INGENIERÍA

J. A. Cárdenas Galindo¹
L. A. González Murillo²
J. E. González Muñoz³

RESUMEN

ABET es un organismo basado en Estados Unidos que acredita programas de ingeniería fundamentalmente de EUA, pero que actualmente acredita también programas de universidades de diferentes países. Uno de los requisitos establecidos por ABET para acreditar un programa, es la inclusión en el plan de estudios de una experiencia de diseño mayor, basada en conocimientos y habilidades desarrollados en cursos previos. En este artículo se describe la metodología que se sigue en el Área Mecánica y Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, para que los estudiantes tengan esta experiencia de diseño en un curso que cumple con los requerimientos de ABET. En este curso se aplica la metodología de aprendizaje orientado a proyectos, la cual fue modificada con el fin de alcanzar los objetivos planteados y adaptarlo a necesidades específicas. Este curso representó un factor importante en el logro de la acreditación internacional por parte de ABET para los cinco programas académicos del Área Mecánica y Eléctrica.

ANTECEDENTES

El organismo Accreditation Board for Engineering and Technology (ABET) se encarga de acreditar programas de ciencias aplicadas, computación, ingeniería, y tecnología de la ingeniería, en los Estados Unidos y en otros países (ABET, 2013). En el documento que define los criterios de acreditación de los programas de ingeniería, elaborado por la Comisión de Acreditación de Ingeniería (ABET, 2014), se establece lo siguiente: "Los estudiantes deben estar preparados para la práctica de la ingeniería a través de un plan de estudios que culmine en una experiencia de diseño mayor, basada en el conocimiento y las habilidades adquiridas en cursos previos, e incorporando estándares de ingeniería apropiados y múltiples restricciones realistas".

Por otro lado, en el documento "Declaración mundial sobre la educación superior en el siglo veintiuno", la UNESCO (1998) declaró la importancia de que el estudiante sea actor principal del proceso de aprendizaje. Este proceso debería realizarse utilizando enfoques educativos innovadores, desarrollando el pensamiento crítico y la creatividad. Algunas de las características que el estudiante debería adquirir durante su formación, son mencionadas en este reporte en forma de competencias genéricas. De acuerdo a Beneitone, Esquetini, González, Maletá, Siufi, y Wagenaar (2007), "las competencias genéricas identifican los elementos compartidos, comunes a cualquier titulación, tales como la capacidad de aprender, de tomar decisiones, de diseñar proyectos, las habilidades interpersonales, etc.". En el informe final del Proyecto Tuning para América Latina (Beneitone et al., 2007) se reportó un listado de 27 competencias genéricas que se consideran fundamentales para los egresados de instituciones educativas en América Latina.

¹ Secretario General de la Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. antonio.cardenas@uaslp.mx.

² Coordinador de la Carrera de Ingeniería en Mecatrónica. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. luis.murillo@uaslp.mx.

³ Secretario de la Academia de Integración de Proyectos de Ingeniería. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. jorge.gonzalez@uaslp.mx.

Adicionalmente, se han encontrado evidencias que indican que los egresados de programas de ingeniería no cumplen con el nivel de preparación requerido. Baltazar (2014) reportó que en la actualidad las empresas se quejan de que los recién egresados de las universidades carecen de habilidades como: dominio de idiomas, capacidad de toma de decisiones y solución de problemas, conocimientos de nuevas tecnologías, liderazgo, iniciativa y pro actividad, trabajo en equipo, responsabilidad y compromiso, y habilidades de comunicación entre otras.

En el Área Mecánica y Eléctrica (AME) de la Facultad de Ingeniería (FI) de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP), se encontró que los estudiantes mostraban carencias en el desarrollo de varias de las competencias genéricas listadas en Beneitone et al. (2007). Por otro lado, se detectó la necesidad de contar con un curso que integrara los conocimientos de las diferentes disciplinas de la Ingeniería Mecatrónica. Tomando en cuenta lo anterior, se desarrolló el curso Proyecto Mecatrónico, el cual posteriormente se replicó en otros cuatro programas académicos, cambiando su nombre a Proyecto Integrador, y agregando las siglas del programa académico correspondiente al final del nombre.

Este curso está basado en la metodología Aprendizaje Orientado a Proyectos (Project Oriented Learning, POL). La metodología POL fue propuesta inicialmente en las universidades de Twente, en Holanda, y de Aalborg, en Dinamarca (Theuss, Noguez, & Tapia, 2002), como una manera de superar algunos de los problemas de la educación tradicional (Nielsen, 2004). De acuerdo con Theuss et al. (2002), esta técnica ayuda a desarrollar algunas de las competencias genéricas, como son la comunicación, la organización, y el trabajo en equipo.

Inicialmente, uno de los objetivos de este curso fue desarrollar varias de las competencias genéricas establecidas en el informe final del Proyecto Tuning. Posteriormente, cuando se tomó la decisión de someter a los programas académicos del AME a la evaluación de la Comisión de Acreditación de Ingeniería de ABET, se redirigió este objetivo hacia la consecución de los resultados definidos por ABET.

ABET define 11 resultados que se deben lograr en los egresados (ABET, 2014), los cuales están expresados en forma de competencias. Estos han sido agregados recientemente a marco de referencia de CACEI, en su versión 2014 (CACEI, 2014). Después de analizarlos, se encontró un alto índice de coincidencia entre las competencias definidas por el informe final del Proyecto Tuning, y los resultados definidos por ABET y CACEI.

A los resultados mencionados anteriormente se les conoce comúnmente por las letras (a)-(k). Adicionalmente, en los programas educativos del AME se agregó un resultado más a alcanzar, al cual se le asignó la letra (l). Estos resultados son: (a) capacidad de aplicar conocimientos de matemáticas, ciencias e ingeniería; (b) capacidad de diseñar y conducir experimentos; así como analizar e interpretar datos; (c) capacidad de diseñar un sistema, componente o proceso para satisfacer necesidades considerando restricciones reales tales como las económicas, ambientales, sociales, políticas, éticas, de salud y seguridad, de manufactura y de sostenibilidad; (d) capacidad para trabajar en equipos multidisciplinares; (e) capacidad para identificar, formular y resolver problemas de ingeniería; (f) comprensión

de la responsabilidad profesional y ética; (g) capacidad de comunicarse efectivamente; (h) la educación general necesaria para comprender el impacto de las soluciones de ingeniería en un contexto global, económico, ambiental y social; (i) reconocer la necesidad y tener la capacidad de aprender durante toda la vida; (j) conocimientos de temas de actualidad; (k) capacidad de utilizar técnicas, habilidades y herramientas modernas de la ingeniería necesarias para la práctica; y (l) disposición a asumir papeles y responsabilidades de liderazgo.

La metodología POL, se consideró como una buena opción para mejorar las competencias de los estudiantes, tendientes a alcanzar los resultados definidos por ABET y CACEI. La propuesta original de la metodología POL se modificó, adaptándola de acuerdo a las necesidades de los programas de la Facultad de Ingeniería y a la cultura local.

En esta metodología se busca colocar al alumno en un ambiente similar al que podría enfrentarse en su vida profesional, en donde varias de las competencias a desarrollar estén involucradas. A lo largo del proceso de desarrollo del proyecto, las competencias mencionados se potencian, al mismo tiempo que el estudiante vive la experiencia de trabajar en un ambiente cercano al laboral.

METODOLOGÍA

La metodología descrita en esta sección, como se mencionó anteriormente, fue modificada con respecto a la propuesta original de POL. Esta metodología comprende varias etapas, las cuales se describen en las siguientes subsecciones.

Definición de proyectos

Se cuenta con un Comité de Aceptación de Proyectos, el cual recibe propuestas de proyectos de la academia, la industria, y los mismos estudiantes. Además, los miembros pueden proponer otros proyectos.

Antes de iniciar el semestre, el comité realiza la selección de proyectos que se pueden realizar, indica los programas académicos para los cuales es adecuado cada proyecto, y determina la cantidad de estudiantes que pueden conformar el equipo que realizará cada uno de los proyectos, en base a un análisis de su complejidad y a un estimado del esfuerzo que se requerirá para realizarlo. Las propuestas de proyectos son posteriormente aprobadas también por los coordinadores de los programas académicos.

Inducción a la metodología y a las herramientas

Al inicio del curso, el profesor expone la metodología que se seguirá durante el desarrollo del proyecto, y los diferentes roles que juegan los participantes en el proyecto. La intención es que los estudiantes entiendan la forma de trabajo, y lo que se espera de ellos. Después, los estudiantes seleccionan el proyecto a realizar de entre las opciones disponibles. Se otorga esta libertad de selección, buscando que los alumnos se involucren en proyectos que despierten su interés.

Anteproyecto

El desarrollo del anteproyecto tiene la intención de que el alumno defina las características y los alcances del proyecto con base a los requerimientos. En esta etapa, el profesor expone conceptos y herramientas útiles para el desarrollo del anteproyecto y el proyecto. Algunos de los temas que se imparten son:

- 1) QFD (“Quality Function Deployment”, o despliegue de la función de calidad).
- 2) Etapas del diseño.
- 3) Conceptualización y generación creativa de ideas.
- 4) Protocolo del proyecto.
- 5) Análisis de viabilidad y sensibilidad.
- 6) Propiedad intelectual.

Se busca que los estudiantes apliquen algunas de estas herramientas en el desarrollo del anteproyecto, conforme se van cubriendo en el aula. Los estudiantes hacen una propuesta de solución preliminar, una calendarización de actividades, y un estimado de costos, tomando en cuenta las restricciones de tiempo, presupuesto, y otras que se relacionen con el proyecto específico. En esta primera etapa, los equipos también seleccionan a un profesor que funge como su asesor principal a lo largo del proyecto. Los equipos deben tener un asesor principal, y opcionalmente uno o más consultores. La descripción de estos roles se describe posteriormente.

El anteproyecto se evalúa tomando en cuenta los siguientes puntos:

- 1) Se entienden claramente los requerimientos del proyecto y se plasman por escrito en forma clara y precisa.
- 2) Se acotan claramente los alcances del proyecto (usando la técnica del QFD).
- 3) Se ofrecen alternativas de solución viables.
- 4) Los criterios de selección de la alternativa de solución son coherentes con los requerimientos del proyecto y los límites o cotas especificados.
- 5) Se presenta la solución propuesta en forma clara (con descripciones técnicas), con estimaciones de costos (presupuesto) y tiempo de entrega realista (estimado) del producto final.

Desarrollo del proyecto

A partir de la cuarta semana, los estudiantes desarrollan el proyecto. En esta etapa, cambian los roles, de acuerdo a lo que se ilustra en la Figura 1. Estos roles se describen brevemente a continuación:

- Supervisor. El rol del profesor cambia al de supervisor del proyecto. El supervisor es el encargado de verificar que el proyecto se realice de acuerdo al calendario de actividades planeado inicialmente, y que se realice apegado a principios de ingeniería. En este rol, el profesor no brinda asesoría técnica a los estudiantes.
- Asesor. Apoya al equipo, dirigiendo a los estudiantes hacia fuentes de información que les sean útiles. La asesoría técnica la proporciona solamente en aspectos que considere no son factibles para que estudiantes de nivel licenciatura los aprendan por sí mismos, dentro del tiempo de desarrollo del proyecto.
- Consultor interno. Es un asesor que forma parte del personal de los programas educativos, que proporciona guía de manera esporádica.

- Consultor externo. Su papel es similar al del consultor interno, pero no forma parte del personal de los programas educativos.
- Encargado del proyecto. En caso de proyectos realizados para entidades ajenas a los programas educativos, es la persona que define los requerimientos del proyecto, y acepta o rechaza las soluciones propuestas. En la Figura 1 se indica con líneas punteadas, debido a que solamente en algunos proyectos se cuenta con este rol.
- Equipo. Es el grupo de estudiantes encarado de desarrollar el proyecto.

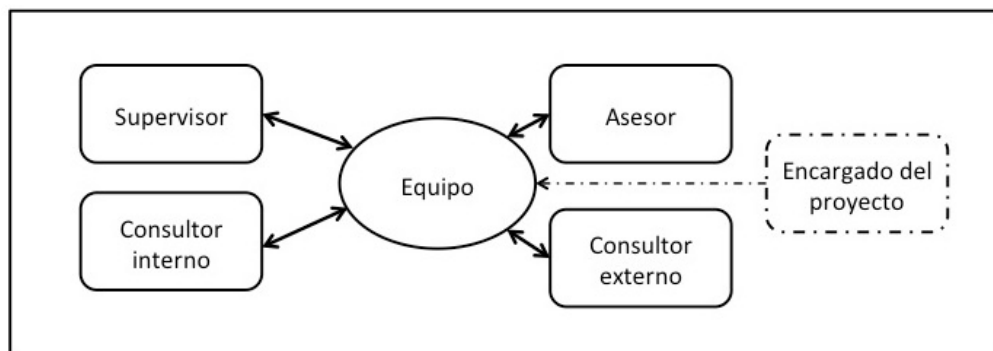


Figura 1. Roles en la metodología propuesta

Durante esta etapa, se hace una revisión semanal de avances de proyecto. En estas sesiones, los estudiantes hacen una presentación ante el profesor, mostrando evidencia del trabajo desarrollado. Estas sesiones constituyen el punto de encuentro en el cual el profesor evalúa si en el proyecto se aplican los principios de ingeniería correspondientes. Los estudiantes entregan cada semana una aportación a los portafolios individuales y de equipo.

En el portafolio individual se incluye una reflexión sobre el trabajo realizado, tanto personal, como del resto del equipo. Adicionalmente, los estudiantes deben incluir evidencia del trabajo personal realizado.

En el portafolio de equipo se plasman los avances del proyecto. En la presentación se incluye el avance representado en un diagrama de Gantt, un resumen de las actividades realizadas, los problemas enfrentados y las soluciones encontradas, así como los compromisos para la siguiente semana.

Además, se realizan dos presentaciones plenarias. En la primera sesión plenaria, realizada al inicio de esta etapa, los estudiantes presentan el anteproyecto. Esta es la primera vez que se enfrentan a un público grande y a un grupo de sinodales que evalúan su trabajo previo al desarrollo. Esta actividad es muy importante porque permite detectar deficiencias en el anteproyecto antes de avanzar en la etapa de desarrollo.

En la segunda sesión plenaria los alumnos presentan los avances de su proyecto a la fecha de la misma. En esta etapa ya se debe evidenciar ingeniería de detalle (cálculos, diagramas, listas de materiales preliminares, formatos de pruebas, etc.), un análisis del gasto contra el presupuesto, análisis de problemas encontrados y sus soluciones, y las expectativas para el término del proyecto.

Las presentaciones plenarias se evalúan por medio de un comité. Este comité evalúa los siguientes aspectos:

- 1) Técnico: los conocimientos que se tienen en disciplinas propias de la ingeniería.
- 2) Profesional: presentación de la información, lenguaje corporal, vestimenta, y la forma de transmitir las ideas al público.
- 3) Complementario: temas adicionales a las disciplinas principales de ingeniería, tales como sustentabilidad, ergonomía, cumplimiento de normas y estética.

Las presentaciones plenarias se evalúan dentro del curso como un avance semanal de proyecto. En la Figura 2 se muestra una imagen de una presentación plenaria.



Figura 2. Presentación plenaria

La etapa de desarrollo del proyecto comprende 12 de las 16 semanas del curso.

Evaluación final

Al final del semestre los equipos entregan los siguientes productos:

- 1) Reporte final del proyecto, que incluye los fundamentos teóricos aplicados en el proyecto, y la forma de aplicación de los mismos.
- 2) Manual de operación y mantenimiento del prototipo.
- 3) Prototipo, el cual deberá funcionar adecuadamente.
- 4) Cartel con la descripción del prototipo.

Todos los documentos deben ser avalados por el asesor del proyecto antes de ser entregados.

Los estudiantes realizan una presentación final de su proyecto, la cual tiene una duración de dos horas por cada proyecto. Durante esta presentación, hecha ante tres sinodales, los estudiantes describen los temas más importantes del trabajo realizado, y muestran la operación del prototipo realizado. Para su evaluación se utilizan rúbricas que evalúan los documentos, el prototipo y la presentación.

Cada uno de los componentes del curso se evalúa, de acuerdo a lo mostrado en la Tabla 1. Todos los componentes, con excepción del examen escrito, se evalúan por medio de rúbricas diseñadas específicamente para este curso. Los resultados de los diferentes conceptos se conjuntan para obtener el resultado final.

Tabla 1. Porcentajes de Evaluación

	Elaboración y/o presentación de:	Ponderación	Tipo
Anteproyecto	Análisis de requerimientos y programación de actividades	10%	Equipo
Proyecto	Evaluación del portafolio individual	15%	Individual
Proyecto	Evaluación del portafolio de equipo (Avances del proyecto)	15%	Equipo
Examen	Examen de conocimientos sobre temas iniciales	10%	Individual
Evaluación	Evaluación final del proyecto	50%	Equipo

Exposición de proyectos

Al inicio del semestre posterior a la culminación del proyecto, se hace una exposición de los prototipos y los carteles elaborados por los estudiantes. Esta exposición está abierta al público en general, y se le denomina Expo Proyecto Integrador. Uno de los objetivos de esta exposición es que los estudiantes que están por inscribir este curso, tengan una referencia de los requerimientos de los prototipos y documentos a entregar.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A la fecha se han desarrollado 71 proyectos en tres semestres (50 terminados y 21 en proceso), y han cursado la asignatura 191 estudiantes, más 81 que la están cursando, para un total de 272.

En diferentes foros se han recibido comentarios positivos de los estudiantes y egresados que cursaron Proyecto Integrador (o Proyecto Mecatrónico, en su caso). La mayoría de los comentarios han sido positivos, aunque también se han recibido algunos comentarios negativos. Algunos de estos comentarios hacen referencia a Proyecto Mecatrónico, ya sea porque ese era el nombre que tenía la materia cuando ellos la cursaron, o porque algunos aún tienen la costumbre de usar ese nombre, en lugar del nuevo nombre Proyecto Integrador. Se ha decidido no editar los comentarios para evitar cambiar el sentido. Algunos de estos comentarios se hicieron de forma oral, lo cual se refleja en el orden y repetición de ideas y frases.

En general, quienes han expresado más comentarios positivos, son los egresados, quienes han tenido oportunidad de trabajar en proyectos reales en la industria. Algunos de estos comentarios son los siguientes:

"Así tal cual está muy bien, sí te sirve mucho... la verdad cuando estábamos en el proyecto estábamos con el estrés hasta arriba, se nos venía el tiempo encima fue muy útil Proyecto Mecatrónico, y son de las cosas que están muy bien."

"Proyecto Mecatrónico para mí fue una experiencia que me sirvió bastante para poder llegar a la industria, porque desarrollé un proyecto como tal. Llegué ya sabiendo que

tenía que tener un cronograma de actividades, que tenía que definir tiempos, que tenía que definir costos, que tenía que definir qué iba a hacer, cómo lo iba a hacer, un plan de acción. Lo primero que me dijeron... aquí está tu proyecto, define tus objetivos, haznos un Diagrama de Gantt. Me acerco con mi gerente y me dijo 'Eres el primer alumno, que tengo yo como practicante, que sabe hacer un Diagrama de Gantt'".

Algunos alumnos, con poca o nula experiencia en la industria, muestran comentarios en otro sentido:

"Siempre nos presionó y es bueno para la materia y el equipo"

"La materia me gustó mucho, sí hay mucha presión pero aprendes cosas que en un principio no sabías, además que te enseña a crecer como persona, es en la que tu mismo descubres lo que sabes hasta ahora y lo puedes demostrar tanto a ti mismo como a los demás y conoces mucha gente."

Los comentarios negativos que se han recibido, han sido por parte de alumnos que tomaron el curso recientemente. Estos comentarios han sido pocos, han sido en el mismo sentido, y reflejan que en ocasiones no se ha logrado que algunos estudiantes entiendan el rol del profesor como supervisor, interpretando la falta de asesoría técnica como desconocimiento:

"Siempre que se querían aclarar dudas no sabía cómo responder"

Estos últimos comentarios indican que hace falta hacer énfasis a los estudiantes sobre el rol del profesor durante el desarrollo del proyecto. En general, los comentarios anteriores reflejan que los estudiantes se han visto beneficiados con el curso Proyecto Integrador.

Las actividades implementadas que no están relacionadas directamente con aspectos técnicos, como son la negociación con el asesor, las exposiciones semanales, las exposiciones plenarias, la exposición final, y el trabajo autónomo, han permitido que los estudiantes fortalezcan varias de las competencias establecidas por CACEI y ABET.

Sin embargo, el principal resultado ha sido la obtención de la acreditación por parte de ABET de los programas educativos de Ingeniería. A la fecha, la UASLP tiene ocho programas acreditados por ABET, lo que la hace la universidad pública con más programas acreditados por este organismo en México (ABET, 2013). De estos ocho programas, cinco pertenecen al AME de la Facultad de Ingeniería, y son los en los que se aplica la propuesta descrita anteriormente.

CONCLUSIONES

De acuerdo a la retroalimentación recibida y la información disponible, se concluye que el curso Proyecto Integrador ha permitido en general que los estudiantes tengan la experiencia de diseño de tipo integrador que pide ABET.

Hay varios puntos por mejorar, pero en general los resultados obtenidos han sido favorables. Como trabajo a futuro se plantea la mejora de la metodología para asegurar la calidad de todos los proyectos, y la simplificación del proceso de evaluación con el fin de disminuir la sobrecarga de trabajo para el profesor y los estudiantes.

BIBLIOGRAFÍA

- ABET (2013). ABET website. Obtenida el 25 de marzo de 2015, de <http://abet.org>
- ABET (2014). *Criteria for Accrediting Engineering Programs: Effective for reviews during the 2015-2016 accreditation cycle*. Baltimore, MD: ABET.
- Baltazar, G. (2014). Ingenieros con Perfil Holístico. *Manufactura*, 20(226), 36-48.
- Beneitone, P., Esquetini, C., González, J., Maletá, M. M., Siufi, G., Wagenaar, R. (2007). *Reflexiones y perspectivas de la educación superior en América Latina: Informe final, Proyecto Tuning, América Latina 2004-2007*. Bilbao, ES: Publicaciones de la Universidad de Deusto.
- CACEI (2014). *Marco de Referencia para los Programas de Licenciatura (versión 2014)*. Obtenida el 20 de marzo de 2015, de <http://cacei.org/index.php/2014-12-30-13-01-24/2014-12-30-13-12-34/manual-del-marco-de-referencia-2014>
- Gutiérrez, M. G. (2014). A la Caza de Talento. *Manufactura*, 20(226), 23-24.
- Kjersdam, F., Enemark, S. (1994). *The Aalborg experiment: Project innovation in university education*. Aalborg, DK: Aalborg University Press.
- Nielsen, S. H. (2004). The Aalborg experiment, university - industry interaction: A means for stimulating engineering excellence in technology and learning systems. *Proceedings of the 2004 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition*.
- Theuss, T., Noguez, J., Tapia, F. (2002). Project oriented learning as a didactic strategy. *VIII Congreso Anual de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica*. Monterrey, MX.
- UNESCO (1998). World declaration on higher education for the twenty-first century: vision and action. Obtenida el 20 de marzo de 2015, de http://www.unesco.org/education/educprog/wche/declaration_eng.htm