



**Innovation in research and engineering education:
key factors for global competitiveness**

*Innovación en investigación y educación en ingeniería:
factores claves para la competitividad global*

UN MODELO DE ASIGNATURA COLECTIVA EN INGENIERÍA: PROYECTO FINAL EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA

María Gabriela Calle

**Universidad del Norte
Barranquilla, Colombia**

Resumen

Todos los estudiantes de ingeniería deben aprender el proceso de diseño y deben emplearlo en diversas asignaturas del currículo. Adicionalmente, los estudiantes de Ingeniería en la Universidad del Norte deben cursar una asignatura específica que se constituya en una experiencia de diseño, de tal manera que cumplan con los lineamientos de la Accreditation Board for Engineering and Technology (ABET); esta es, la asignatura Proyecto Final. En el caso de Ingeniería Electrónica, los estudiantes deben solucionar un problema de ingeniería estudiando diferentes alternativas, escogiendo las mejores y creando una solución que cumpla con una serie de pruebas para demostrar su correcto funcionamiento.

El Comité de Proyecto Final del programa de Ingeniería Electrónica ha desarrollado un modelo de asignatura que permite al estudiante documentar su proceso paso a paso, y ha creado rúbricas para evaluar los hitos más importantes dentro de la asignatura. En Proyecto Final se cuenta con un profesor que administra la cátedra y presenta la temática de la asignatura. Dicho profesor también asume el rol de “asesor administrativo” del proyecto, asegurándose de que todos los estudiantes cumplan con sus obligaciones dentro del curso. Sin embargo, todos los profesores pueden presentar propuestas de diversos proyectos y evaluar el desempeño de los estudiantes durante el semestre, convirtiéndose en “asesores técnicos” de los proyectos.

Como consecuencia de las discusiones en el Comité, se ha logrado establecer una asignatura colectiva, donde todo el profesorado del programa conoce la orientación y las estrategias a emplear, lo que facilita en gran medida la cooperación y administración de todo el proceso. Este artículo muestra el modelo de la asignatura, la participación que tiene cada docente del programa, y los métodos creados para evaluar objetivamente los diferentes procesos. Los resultados obtenidos hasta el momento demuestran que los estudiantes pueden cumplir con estrategias formales de diseño y documentarlas adecuadamente. La clase les permite entonces aplicar y mejorar las habilidades obtenidas a lo largo de su carrera, precisamente en el momento en que van a comenzar su desempeño profesional.

Palabras clave: proyecto de diseño de final de carrera; ABET; asesor técnico; asesor administrativo; proyecto final

Abstract

All engineering students must learn the design process and how to employ it in different stages of the academic curriculum. Additionally, engineering students at Universidad del Norte must take one specific course with a major design experience, in order to fulfill ABET (Accreditation Board for Engineering and Technology) requirements. The course is Proyecto Final (equivalent to Capstone Design). Students at Electronics Engineering program must solve an engineering problem by studying different alternatives, choosing the best ones and creating a correct solution. The final system must be tested using experimental design, in order to show adequate performance.

Final Project Committee at Electronics Engineering program has developed a model for this course. The model allows the student to keep records of every step of the process. The Committee also created rubrics to evaluate the most important stages in the course. Proyecto Final has one professor managing and teaching the contents of the course. The professor has the role of “administrative adviser”, in charge of making all students fulfill the paperwork and requirements of the course. However, all professors can propose different projects and evaluate student performance during the semester. These professors become “technical advisers” within each project.

The Committee has established a collective course where faculty knows all background and teaching strategies, improving cooperation and management of all processes. The paper shows the course model, including the participation of each professor, and the methods created to objectively evaluate different processes. Results show that students can comply with formal design strategies and document them appropriately. The course allows students to employ and improve skills learned during the academic program, just in time to start their professional careers.

Keywords: senior design project; ABET; technical adviser; administrative adviser; capstone design

1. Introducción

Los estudiantes de Ingeniería Electrónica deben desarrollar sus habilidades de diseño y construcción de sistemas durante toda su carrera. En muchas de las asignaturas se realizan proyectos finales de asignatura, los cuales proporcionan experiencia en el manejo de componentes, herramientas de prueba y en técnicas de diseño. Sin embargo, en la mayoría de las asignaturas dichos proyectos se realizan como complemento a los temas teóricos vistos en la clase. Las asignaturas enfocadas a diseño electrónico propiamente dichas, permiten que el estudiante realice una o varias experiencias de diseño durante el semestre. Sin embargo, la asignatura Proyecto Final es el último paso que tienen los estudiantes antes de comenzar su carrera profesional. En esta asignatura se espera que los estudiantes apliquen los conocimientos que obtuvieron durante la carrera, para diseñar e implementar una solución práctica a un problema concreto. Otra gran diferencia entre Proyecto Final y los proyectos de las demás asignaturas es que se requiere una sección formal de pruebas específicas, con validación estadística, que permita a los estudiantes afirmar que su sistema funciona y bajo qué condiciones. En este artículo se describe el modelo de la asignatura implementada en Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad del Norte, junto con el desempeño de los estudiantes al diseñar, implementar y probar su sistema.

2. Trabajos Relacionados

Si bien los criterios de ABET no son comunes en Colombia, en otros países están presentes en los programas de ingeniería acreditados. Franchetti, Hefzy, Pourazady, & Smallman (2012) presentan un modelo para la asignatura equivalente a Proyecto Final en la Universidad de Toledo, donde se siguen procedimientos similares a los presentados en este artículo. Sin embargo, los equipos son de cuatro o más estudiantes y cada profesor utiliza un esquema de calificación diferente, por lo tanto se requieren procesos adicionales como grupos focales, para evaluar completamente la asignatura.

Saad (2007) presenta un resumen de los procedimientos de la asignatura en el Instituto Tecnológico de Georgia en el campus de Savannah, Estados Unidos. El curso se desarrolla en un solo semestre y se trabaja en grupos entre 2 y 4 estudiantes para resolver problemas relacionados con diferentes temas. Sin embargo, no se proporciona información cuantitativa sobre el desempeño de los estudiantes.

Kin Fun Li, Zielinski, & Gebali (2012) se enfocan más en las partes administrativa y de contenidos del curso. El artículo describe la situación en la Universidad de Victoria, en Canadá, y tampoco presenta evaluaciones cuantitativas del desempeño.

3. Descripción del Modelo

En la asignatura se evalúan las siguientes competencias que el programa de Ingeniería Electrónica debe formar en sus estudiantes, que corresponden a los siguientes Student Outcomes de ABET (2011):

- “b an ability to design and conduct experiments, as well as to analyze and interpret data” (habilidad para diseñar y ejecutar experimentos, analizar e interpretar datos)
- “c an ability to design a system, component, or process to meet desired needs within realistic constraints such as economic, environmental, social, political, ethical, health and safety, manufacturability, and sustainability” (habilidad para diseñar un sistema, componente o proceso para cumplir con requerimientos establecidos, con restricciones realistas de tipo económico, ambiental, social, político, ético, de salud y seguridad, de manufactura y de sostenibilidad).
- “f an understanding of professional and ethical responsibility” (entendimiento de la responsabilidad ética y profesional).
- “g an ability to communicate effectively” (habilidad para comunicarse efectivamente).

De común acuerdo con todos los profesores del programa, se definieron las siguientes prioridades para la asignatura:

- Los estudiantes deben tener una experiencia de diseño significativa durante la asignatura.
- Los estudiantes deben cumplir con los objetivos del proyecto, lo cual implica, en primer lugar, que el sistema funcione adecuadamente. El cumplimiento se debe demostrar a través de experimentos, con resultados cuantitativos.
- Los estudiantes deben documentar claramente todos los criterios de diseño, alternativas de selección consideradas durante el proceso, pruebas y resultados.

- En su documentación, los estudiantes deben utilizar adecuadamente el idioma Español y referenciar las ideas que están en la literatura. Para clarificar su presentación del sistema, los estudiantes deben usar tablas, gráficas y fórmulas donde sea necesario.

Teniendo en cuenta estas características, los profesores proponen proyectos antes del inicio del semestre. Los proyectos comprenden todas las áreas de experiencia de los diferentes profesores del programa y pueden incluir software, hardware o ambos. Esta es la primera participación de los docentes en la asignatura colectiva. El Comité de Proyecto Final, conformado por varios profesores, evalúa los proyectos y, si es del caso, propone cambios para que el proyecto tenga un alcance adecuado para un semestre en la Universidad del Norte (16 semanas). Como resultado, en un mismo semestre se desarrollan proyectos en las áreas de Control, Comunicaciones, Robótica, Microprocesadores y Electrónica Analógica.

Los proyectos se presentan a los estudiantes durante la primera clase. Todos los estudiantes deben escoger un proyecto al final de la primera semana de clase. Los grupos pueden formarse con una o dos personas, quienes trabajarán con su profesor (asesor técnico) durante todo el semestre. Los grupos deben reunirse con su asesor técnico de manera periódica para mostrarle los avances del proyecto y consultar dudas.

Durante el semestre, el docente a cargo del curso (asesor administrativo) presenta temas como Metodología para realizar proyectos de Investigación y Desarrollo, Creación de Presupuestos, Diseño de Experimentos, Presentación de resultados y otros temas relevantes para ejecutar y documentar correctamente el proyecto. El asesor administrativo asigna tareas escritas que permitan a los estudiantes adelantar su proyecto. Si dichas tareas están bien elaboradas, se puede tomar gran parte de ellas como base para redactar el Informe Final.

El primer reporte importante se da en la semana 10 del semestre académico. Allí, los estudiantes entregan un Informe de Avance, de ocho páginas de extensión. Este informe contiene una descripción detallada y rigurosa del porcentaje de avance de cada uno de los objetivos del proyecto. También debe mostrar las actividades realizadas hasta el momento, las dificultades encontradas y la planeación de actividades futuras, con el fin de cumplir con los objetivos del proyecto.

Los estudiantes hacen socializaciones orales preliminares frente a sus compañeros y al asesor administrativo, con el fin de recibir retroalimentación para mejorar sus habilidades de expresión o para solucionar problemas técnicos. La retroalimentación de sus pares ayuda a los estudiantes a darse cuenta de sus errores y a poder solucionarlos. Solamente las sugerencias de personas que no están metidas de lleno en el problema, suelen ayudar a los estudiantes a ver la situación desde diferentes perspectivas; dándoles luces para plantear y ejecutar soluciones.

En la semana 16, los estudiantes entregan su proyecto completo, una vez tenga el aval de su asesor técnico. Deben entregar un Informe Final, en el que presentan un resumen del estado del arte, todos los criterios de diseño, de selección, pruebas realizadas, análisis de resultados y conclusiones.

Además deben entregar el mismo día las diapositivas que van a utilizar para sustentar su proyecto, y todo el hardware y software que hayan desarrollado. A partir de este momento, no se permite realizar ningún cambio en el material entregado.

Durante los siguientes días hábiles se realiza la sustentación, la cual es pública y calificada por el asesor técnico y un profesor del programa; este último no debe haber tenido relación con el proyecto. De esta forma, se trata de determinar si la exposición es lo suficiente clara como para que otro ingeniero entienda, sin necesidad de conocer el proyecto previamente. Los estudiantes entregan adicionalmente un afiche, en el

que resumen los aspectos más importantes de su trabajo, resultados obtenidos y conclusiones. Los afiches son calificados como mínimo por dos profesores del programa que no hayan participado en las sustentaciones. Los estudiantes no están presentes durante dicha calificación, ya que los afiches deben explicarse por sí solos.

4. Herramientas de Evaluación

Desde el principio del semestre se establece la estructura de asignaciones con sus ponderaciones dentro de la asignatura y los responsables de evaluarlas. La Tabla 1 muestra el modelo que se sigue en la asignatura.

Tabla 1. Esquema de Evaluación empleado

Asignaciones a Evaluar	Valor porcentual (%)	Nota a cargo de
Informe de Avance	25	Asesor Administrativo y Asesor Técnico
Tareas	15	Asesor Administrativo
Informe Final	25	Asesor Administrativo y Asesor Técnico
Sustentación Final.	30	Profesor del Programa y Asesor Técnico
Afiche	5	Docentes del Programa

Cada uno de los evaluadores asigna una calificación y luego se promedian los valores. En el caso de las tareas, el docente de la asignatura es el único que evalúa los documentos entregados por los estudiantes. La Tabla 1 muestra una de las características de la asignatura colectiva: la mayoría de las evaluaciones las realiza más de un docente.

Como se observa en la Tabla 1, las asignaciones con más ponderación son el Informe de Avance, el Informe Final y la Sustentación Final. Desde el principio del semestre, se entregan a los estudiantes las rúbricas utilizadas para evaluar su desempeño en estas tres actividades. Dichas rúbricas están diseñadas de acuerdo con las prioridades de la asignatura. La Tabla 2 muestra los criterios que se tienen en cuenta en las rúbricas.

Tabla 2. Criterios de Evaluación de las Rúbricas

Criterio	Descripción
Cumplimiento de Objetivos	El proyecto cumple con los objetivos planteados al principio del curso
Contenido	Criterios de Diseño Criterios de Selección de Tecnologías Plan de Pruebas y Experimentos Análisis de Resultados
Expresión Escrita y Oral	Para documentos: Lenguaje Español, Lenguaje Gráfico, Lenguaje Matemático, Referencias Para presentación oral: Lenguaje Español, Argumentación, Actitud, Capacidad de Responder preguntas
Estructura / Formato	Los documentos escritos deben contener secciones preestablecidas Las presentaciones orales deben tener adecuado balance de gráficos y texto

Cabe anotar que todos los profesores del programa evalúan las rúbricas antes de empezar a usarlas en la asignatura y cualquier cambio que se haga en ellas debe presentarse al Comité. Esta es otra característica de una asignatura colectiva.

Por otro lado, los estudiantes cuentan con dos profesores de apoyo, quienes pueden ayudarles revisando y dando retroalimentación de todas las asignaciones antes de ser calificadas: el asesor administrativo y el

asesor técnico. Con esto, se enseña a los estudiantes las ventajas que representa el hecho de que su trabajo sea revisado dos veces antes de entregarlo, lo cual motiva a muchos de ellos a consultar a los dos asesores.

5. Resultados Obtenidos

El modelo de asignatura colectiva para Proyecto Final en Ingeniería Electrónica se ha venido ajustando durante varios años. Sin embargo, se considera que las rúbricas y procedimientos de la asignatura se han mantenido estables a partir del primer semestre del año 2011.

Las rúbricas permiten evaluar el desempeño de los estudiantes con respecto a cada uno de los criterios presentados en la Tabla 2. Sin embargo, el propósito principal de este artículo se refiere a la capacidad del estudiante de realizar formalmente un proceso de diseño y documentarlo. Por eso, la Figura 1 muestra los resultados de evaluación para la sección de “Contenido” de la rúbrica de la sustentación. Aquí se tienen el promedio de las calificaciones asignadas a los criterios de selección de tecnologías, criterios de diseño, pruebas y análisis de resultados, para todos los estudiantes de la asignatura.

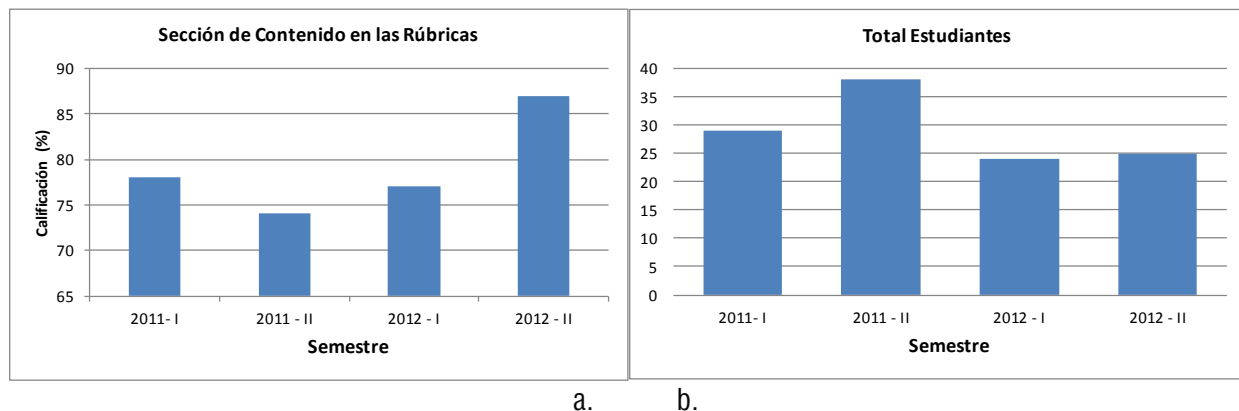


Figura 1. a. Promedio de Evaluación de los criterios de diseño, selección, pruebas y análisis de resultados en cada semestre. b. Número de estudiantes evaluados. Se presentan resultados a partir del momento en que la asignatura se considera estable.

Es conveniente aclarar que el estudiante cumple con los criterios de la sección de “Contenido” cuando su evaluación promedio supera el 70%. La Figura 1a muestra que en promedio todos los grupos están cumpliendo con estos criterios. Se evidencia también que hay semestres en los que los estudiantes tienen mejor desempeño que en otros, pero puede notarse una tendencia creciente en los últimos tres semestres de evaluación de una cohorte de estudiantes a otra. Esto puede deberse, principalmente, a dos factores. El primero de ellos se relaciona con la calidad de los estudiantes que llegan a la asignatura. El segundo factor que puede influir es la experiencia que ha adquirido todo el cuerpo docente en la administración de la asignatura. En este sentido, los profesores han aprendido diferentes técnicas para motivar y hacer un mejor seguimiento a los estudiantes y, de esta manera, los estudiantes pueden realizar y documentar sus diseños de forma rigurosa, detallada y clara.

6. Conclusiones

El artículo presentó el modelo que se sigue en Ingeniería Electrónica en la Universidad del Norte para la asignatura Proyecto Final, que convierte a ésta en una asignatura colectiva. El modelo sigue los lineamientos de ABET para programas de ingeniería y tiene varios métodos en común con asignaturas de Capstone Design o Senior Design, que se enseñan en universidades de otros países.

Los estudiantes en la Universidad del Norte logran los objetivos de su proyecto y demuestran el cumplimiento de los mismos a través de una serie de pruebas formales. Desde que la estructura de la asignatura se ha mantenido estable, se ve una tendencia de los estudiantes a mejorar su desempeño en las áreas relacionadas con el diseño, que son las más importantes para la asignatura.

Para aplicar y gestionar el modelo de asignatura colectiva, se requiere de la cooperación y el compromiso de todos los profesores del programa. La cooperación empieza desde antes que inicie el semestre, al proponerse ideas de proyecto a los estudiantes; continúa con la asesoría durante el semestre y finaliza al evaluarse Sustentación e Informe Final. La gestión del Comité de Proyecto Final ha sido definitiva para la evolución de la asignatura y para mantener los estándares de calidad en los proyectos desarrollados.

7. Referencias

- ABET (Accreditation Board for Engineering and Technology). (2011). *Criteria for accrediting engineering programs: Effective for reviews during the 2012-2013 accreditation cycle*. Baltimore, MD, USA: ABET.
- Franchetti, M., Hefzy, M. S., Pourazady, M., & Smallman, C. (2012). Framework for implementing engineering senior design capstone courses and design clinics. *Journal of STEM Education: Innovations and Research*, 13(3), 30-45.
- Kin Fun Li, Zielinski, A., & Gebali, F. (2012). Capstone team design projects in engineering curriculum: Content and management. *Teaching, Assessment and Learning for Engineering (TALE), 2012 IEEE International Conference on*, T1C-1-T1C-6. doi:10.1109/TALE.2012.6360372
- Saad, A. (2007). Senior capstone design experiences for ABET accredited undergraduate electrical and computer engineering education. *SoutheastCon, 2007. Proceedings. IEEE*, 294-299. doi:10.1109/SECON.2007.342905

Sobre la autora

- **María Gabriela Calle**, Ingeniera Electrónica, Máster en Telecomunicaciones, Doctora en Filosofía de la Escuela de Ciencias de la Información, Universidad de Pittsburgh, Estados Unidos, 2009. Docente Investigadora de la Universidad del Norte. mcalle@uninorte.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería y de la International Federation of Engineering Education Societies

Copyright © 2013 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI), International Federation of Engineering Education Societies (IFEES)