



Encuentro Internacional de  
Educación en Ingeniería ACOFI

**GESTIÓN, CALIDAD Y DESARROLLO  
EN LAS FACULTADES DE INGENIERÍA**

Cartagena de Indias, Colombia  
18 al 21 de septiembre de 2018



# **DIFERENCIAS ENTRE LAS EXIGENCIAS DEL PROGRAMA, DE LOS PROFESORES Y LA DEDICACIÓN DE LOS ESTUDIANTES. CASO: DISEÑO DE PLANTAS Y EQUIPOS**

**Óscar Yesid Suárez Palacios, Paulo César Narváez Rincón**

**Universidad Nacional de Colombia  
Bogotá, Colombia**

## **Resumen**

El programa de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá adelanta el proceso de autoevaluación en el marco del Consejo de Acreditación en Ingeniería y Tecnología (ABET) de los Estados Unidos de América. Como parte de las acciones de medición y mejora se preguntó si los créditos (3) de la asignatura Diseño de Plantas y Equipos coinciden con el número de horas que, de acuerdo con estimativos de los profesores, los estudiantes deben dedicar a las diferentes fases del proyecto de la asignatura, y si estas coinciden con el número de horas que los estudiantes utilizan para cumplir con el ejercicio de diseño. Se aplicaron formularios y encuestas y los resultados mostraron que existen esas diferencias. El análisis de la información permitió establecer estrategias para el mejoramiento del aprendizaje, buscando que el proyecto que elaboran los estudiantes tenga mayor calidad y se aproxime cada vez más a los estándares de diseño de plantas de proceso.

**Palabras clave:** diseño de plantas; mejoramiento curricular; ABET

## **Abstract**

*The Chemical Engineering program of the Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, is working in the assessment process for the Accreditation Board of Engineering and Technology (ABET) of the United States of America. As part of the measurement and improvement actions, two questions were formulated: Do the credits (3) of the Design of Plants and Equipment course coincide with the number of hours that students must dedicate to the different phases of the project*

*according to estimatives of professors?, do these values coincide with the number of hours that students use to comply the entire design exercise?. To answer these questions, forms and surveys were applied and the results showed that the differences exist. The analysis of the results allows to propose strategies for the improvement of the learning process, and to approach more the projects to the standards of a plant design process with greater quality.*

**Keywords:** *plant design; curricular improvement; ABET*

## **1. Introducción**

La asignatura Diseño de Plantas y Equipos (DPE) se introdujo en el plan de estudios de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá en la reforma académica de 2008. El objetivo de la asignatura es estudiar las etapas principales de la ingeniería de una planta de procesamiento, definiendo los alcances, características, actividades, documentos principales y especificaciones técnicas aplicables. Se hace énfasis en el alcance de la ingeniería de procesos y en la generación de diagramas de flujo de procesos (PFD) y de tubería e instrumentación (P&ID), documentos clave para el desarrollo de las demás especialidades que participan en el diseño de la planta. Adicionalmente, como en otras asignaturas, se busca que los estudiantes tengan la oportunidad de integrar los conocimientos adquiridos a través del plan de estudios, involucrando aspectos de sostenibilidad para la toma de decisiones. El curso es de tres (3) créditos, lo cual equivale a 144 horas de trabajo por estudiante.

El eje central de la asignatura es la elaboración de un proyecto de ingeniería, en el que además de aplicar los conocimientos propios del curso, los estudiantes deben usar los conceptos de sus compañeros para obtener las respuestas esperadas y generar información que les permita tomar decisiones y expresar los resultados en la documentación propia de este tipo de proyectos. El proyecto se realiza en equipos de cinco estudiantes, buscando generar entre los integrantes un tipo de razonamiento que permita avanzar sobre el mismo objetivo, manteniendo un lenguaje y métodos similares, pero con suficiente diferenciación para que cada uno de ellos se encargue de una tarea específica, con suficiente coordinación y responsabilidad, para que el aporte de cada uno configure el resultado final (Gorman, 2002). La justificación de este tipo de metodología es que para la formación de los ingenieros no basta con indicar cómo se hacen los proyectos, los estudiantes deben realizarlos.

Para que los estudiantes puedan elaborar el proyecto, reciben información de las tres fases típicas de un proyecto de diseño de una planta de proceso: ingeniería conceptual, básica y de detalle, por parte de los profesores responsables de la asignatura. Así, el curso se estructura en tres módulos, cada uno correspondiente a una de las fases mencionadas, en los que se presentan los conceptos y contenidos propios y se realizan talleres para afianzarlos. Paralelamente, los equipos desarrollan el proyecto y, al finalizar cada módulo, los equipos entregan los documentos propios de cada fase, que se revisan y sustentan frente a un equipo de evaluadores que incluye profesores adicionales a los responsables de la asignatura. La participación de otros profesores facilita la identificación de aciertos y aspectos por mejorar en los cursos previos, y la planeación de estrategias de mejoramiento.

Desde la creación del curso, cinco profesores han participado, todos ellos con experiencia profesional en ejecución de proyectos y labores de diseño. Generalmente, se programan tres grupos de la asignatura por semestre. A cada grupo se le asigna un proyecto diferente y se divide en cinco equipos. A lo largo de los 19 semestres en los que se ha impartido la asignatura, los estudiantes han entregado diseños, planos y especificaciones que se aproximan a los que requieren los proyectos industriales, en temas tan diversos como plantas de proceso para la producción de metanol, biodiésel, acetato de vinilo, acrilonitrilo, ácido sulfúrico, amoníaco, etc. Los estudiantes reconocen en esta asignatura un nivel de exigencia elevado, tanto por la integración de conocimientos, como por la necesidad de traducir los resultados de decisiones y cálculos en especificaciones, planos, listados y memorias de cálculo, y, particularmente, por el volumen de trabajo requerido para los entregables.

En el plan de estudios el curso es clave, tanto por los contenidos como por las competencias complementarias, entre las que se incluyen toma de decisiones en contextos locales, nacionales y globales involucrando aspectos económicos, ambientales y sociales, trabajo en equipo, análisis de datos, uso de herramientas modernas de ingeniería, entre otros, que son precisamente las que más valoran los recién egresados de Ingeniería Química y las que son más relevantes a medida que avanza la vida profesional (Passow, 2012). Estas competencias corresponden a algunos resultados de formación del plan de estudios, que no pueden enseñarse con el formato tradicional de clase magistral, esto se logra con la experiencia en proyectos que se acerquen más a la experiencia real en el mundo profesional (Shuman *et. al.* 2005).

La primera entrega del proyecto hace referencia a la ingeniería conceptual de un proyecto de ingeniería de una planta de procesos. En ella, los estudiantes deben entregar un PFD completamente desarrollado, la selección de la ubicación geográfica de la planta, una propuesta de distribución de áreas generales de planta, cálculo del costo de equipos y de infraestructura, evaluación de inversión total de planta, estimación del costo de producción del producto y estimación del riesgo de la inversión. En promedio una primera entrega consta de 40 páginas y 2 planos. Para la segunda entrega, ingeniería básica, a cada equipo de un grupo de la asignatura se le asigna una sección diferente de la planta para que elaboren la ingeniería básica. A pesar de haber dividido el proyecto (la planta), el grupo debe entregar un diseño consistente, lo que implica que haya permanente comunicación entre los equipos y que las decisiones de diseño sean conocidas por todos. En esta entrega cada equipo debe dimensionar los equipos mayores y generar sus hojas de especificación, dimensionar las líneas de tubería, y elaborar los diagramas P&ID, plano de distribución general de planta (plot plan) y los listados de equipos, de líneas y de instrumentos. En promedio una segunda entrega tiene 25 páginas y 4 planos. En la sustentación de esta segunda entrega se evalúa uno de los resultados de formación del proceso de autoevaluación. Para la tercera entrega, ingeniería de detalle, cada equipo realiza las correcciones que hayan surgido y elabora el plano de distribución general de tuberías (mayor piping layout), las planimetrías, elevaciones e isométricos de la sección de la planta asignada, el piping class, las hojas de especificación de equipos actualizadas con diseño mecánico y el análisis HAZOP. En promedio la tercera entrega tiene 30 páginas y 15 planos.

En este trabajo se presentará un resumen de la metodología utilizada para establecer el nivel de los estudiantes y la percepción sobre el número de horas que los estudiantes y profesores consideran necesarios para las entregas. Posteriormente se presentarán los resultados de las mediciones y de las encuestas, análisis de estos y finalmente algunas propuestas que se están ejecutando para el mejoramiento tanto de los resultados de la asignatura como del programa curricular.

## **2. Métodos**

Para la evaluación del resultado de la formación “Habilidad para diseñar sistemas, componentes, productos y/o procesos para satisfacer necesidades teniendo en cuenta restricciones económicas, ambientales y sociales (de sostenibilidad), políticas, éticas, de salud ocupacional, seguridad y manufactura”, a la sustentación de la segunda entrega, además de los profesores del curso, asisten dos o tres profesores de otras asignaturas que tiene a cargo aplicar una rúbrica que consiste de seis partes. Durante 40 minutos los profesores del curso realizan las preguntas necesarias para evaluar los diseños y, con base en los documentos y en las respuestas, los profesores invitados diligencian la rúbrica diseñada para el resultado de formación a través de indicadores de desempeño en cuatro niveles: novato, aprendiz, competente y experto.

En el curso también se realizó la medición del resultado de formación “Habilidad para trabajar en equipo”. La herramienta utilizada fue un formulario con 12 preguntas, que fue diligenciado el último día de clase de la asignatura y ha sido aplicada en dos ocasiones, en los periodos académicos 2017-2 y 2018-1.

Para establecer la valoración de los estudiantes con respecto a los contenidos del curso y de su desempeño, se consultó si la nota obtenida en la primera y segunda entrega reflejaba la calidad de su trabajo. Por otra parte, se preguntó qué tan útil consideraban el curso para su futura vida profesional, empleando una escala con cinco niveles, y cuál, entre las materias del plan de estudios que tienen de tres créditos y que están relacionadas con diseñar, requiere más tiempo.

Por otra parte, se preguntó a los estudiantes por el número de horas utilizadas para todas las actividades del curso y para la tercera entrega se realizó un seguimiento diario de las horas dedicadas por cada grupo, datos que se correlacionaron con la calificación obtenida. Por último, lo cinco profesores que han participado en el curso fueron consultados con respecto al tiempo que debería dedicar cada equipo de cinco estudiantes para cada entrega.

## **3. Resultados y discusión**

La Figura 1 presenta los resultados de la evaluación del nivel de cumplimiento del resultado de formación “Habilidad para diseñar sistemas, componentes, productos y/o procesos para satisfacer necesidades teniendo en cuenta restricciones económicas, ambientales y sociales (de sostenibilidad), políticas, éticas, de salud ocupacional, seguridad y manufactura”.

## DIFERENCIAS ENTRE LAS EXIGENCIAS DEL PROGRAMA, DE LOS PROFESORES Y LA DEDICACIÓN DE LOS ESTUDIANTES. CASO: DISEÑO DE PLANTAS Y EQUIPOS

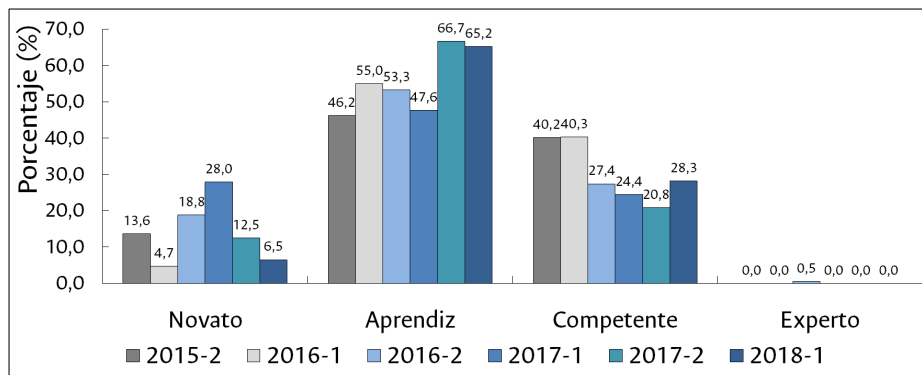


Figura 1. Resultados de las mediciones del resultado de formación: Habilidad para diseñar sistemas, componentes, productos y/o procesos para satisfacer necesidades teniendo en cuenta restricciones económicas, ambientales y sociales (de sostenibilidad), políticas, éticas, de salud ocupacional, seguridad y manufactura. Mediciones realizadas en el curso Diseño de Plantas y Equipos.

Los resultados muestran que el mayor porcentaje de los estudiantes se encuentran en el nivel aprendiz, entre el 46 y el 65%, lo cual ha sido consistente en las seis evaluaciones realizadas. Con base en la experiencia de los profesores, se analizó que en el ámbito profesional un recién egresado de ingeniería química que se desempeñe en labores de diseño se dedicará a tareas poco complejas como: selección de bombas, selección de válvulas, cálculos sencillos para tuberías, elaboración de planos, elaboración de balances sencillos, participación en análisis HAZOP, etc. Estas labores no tienen la complejidad que se exige en el curso, razón por la cual el nivel "aprendiz" es suficiente en este nivel. Considerando el mejoramiento, es deseable tener estudiantes en nivel "competente", será particularmente difícil tener estudiantes en nivel "experto" y será deseable no tener estudiantes en el nivel "novato".

A pesar de lo anterior, para establecer un nivel adecuado de exigencia se establece como estrategia consultar a egresados que laboren en compañías de diseño y recolectar información respecto a: (i) un inventario de conceptos básicos que debe tener un ingeniero químico que ingresa a una compañía de este tipo para desempeñarse con éxito; (ii) listado de labores en las que se desempeña un ingeniero químico recién graduado en la compañía. Se seguirá un esquema similar al utilizado por Lang *et. al.* (1999) y un enfoque similar al utilizado por Passow (2012). En todo caso, se estableció que el curso no debe modificar su nivel de exigencia.

La Figura 2 muestra los resultados de las mediciones del nivel de cumplimiento del trabajo en equipo. El formulario que se usó para obtener estos resultados también se aplicó en el curso Taller 2 (sexto semestre), con el fin de tener una evaluación en dos momentos del plan de estudios y así poder identificar cambios en el desempeño de los estudiantes, pero los resultados no se muestran en este documento. Los resultados del resultado de formación Habilidad para trabajar en equipo son satisfactorios, con casi el 70% de los estudiantes en los niveles "competente" y "experto" (ver Figura 2).

**DIFERENCIAS ENTRE LAS EXIGENCIAS DEL PROGRAMA, DE LOS PROFESORES Y LA DEDICACIÓN DE LOS ESTUDIANTES. CASO: DISEÑO DE PLANTAS Y EQUIPOS**

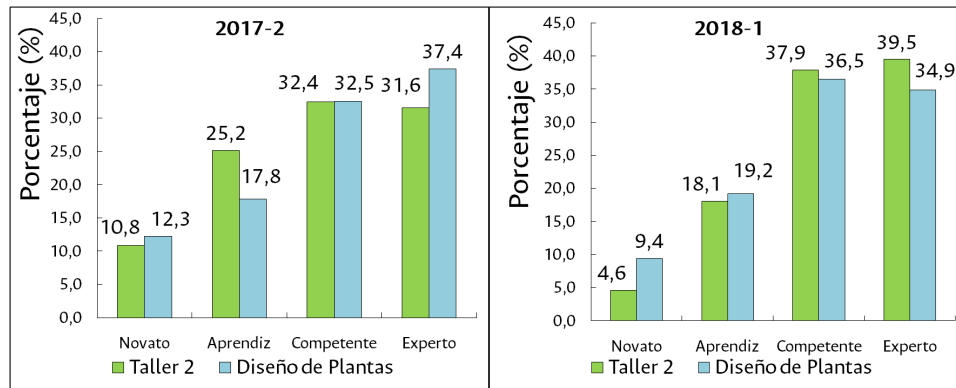


Figura 2. Resultados de las mediciones del resultado de formación: Trabajo en equipo. Medición realizada en dos semestres en los cursos Taller 2 (sexto semestre) y Diseño de Plantas y Equipos (noveno semestre).

La Figura 3 presenta la valoración del curso por parte de los estudiantes. De acuerdo con los resultados, se considera que los estudiantes tienen una percepción adecuada del curso tanto desde el punto de vista de la utilidad para la vida profesional como del nivel de exigencia y de las notas obtenidas.

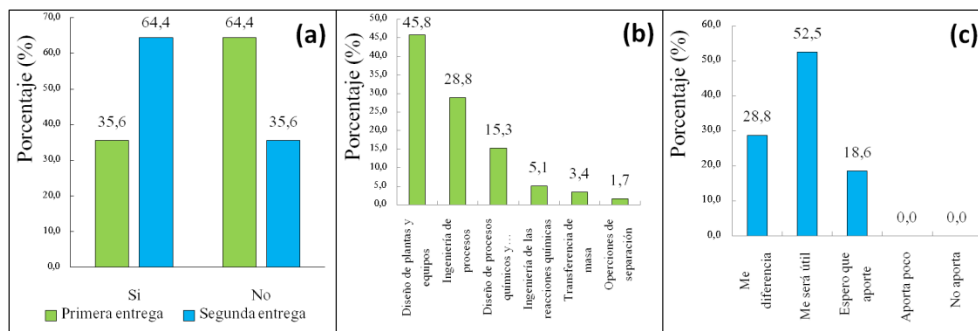


Figura 3. Resultados para establecer la valoración del curso por parte de los estudiantes. (a) Conformidad con su calificación en dos entregas. (b) Percepción de mayor trabajo entre otras materias del plan de estudios. (c) Percepción de la utilidad del curso para su vida profesional.

Las horas diarias dedicadas por cada equipo a la elaboración de la tercera entrega, incluido el momento en que las dedicaron (día a día) se presentan en la Figura 4. En la Figura 5 se presentan las horas dedicadas por cada grupo en cada entrega y las calificaciones respectivas. En dicha Figura puede observarse que no hay correlación entre las horas dedicadas a la elaboración del proyecto y la calificación obtenida, tampoco hay correlación entre la nota y la estrategia de trabajo. Concretamente, aunque hubo grupos que trabajaron todos los días en el proyecto, otros que lo hicieron solo los fines de semana y otros que solo trabajaron en los días previos a la fecha de entrega (ver Figura 4), la nota es independiente de la estrategia trabajo. Por lo anterior, no se decidió realizar esfuerzos para que las entregas se realicen con una dedicación específica por periodos.

## DIFERENCIAS ENTRE LAS EXIGENCIAS DEL PROGRAMA, DE LOS PROFESORES Y LA DEDICACIÓN DE LOS ESTUDIANTES. CASO: DISEÑO DE PLANTAS Y EQUIPOS

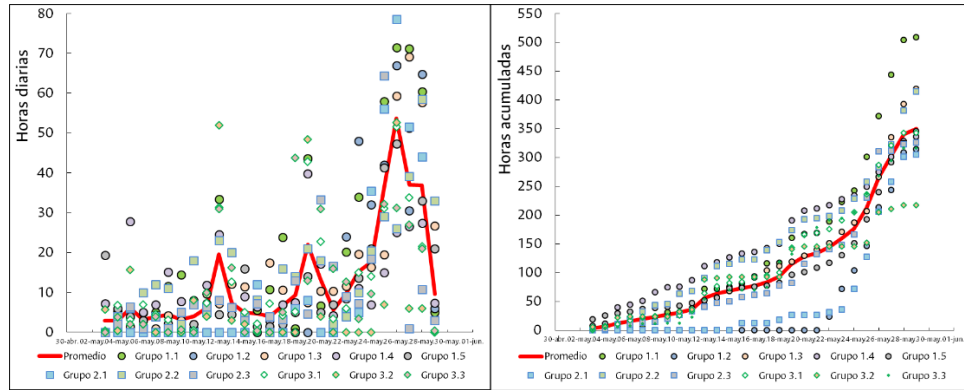


Figura 4. Resultados del seguimiento de horas diarias dedicadas por el grupo a la tercera entrega de acuerdo con la información de los estudiantes. Derecha: valores diarios. Izquierda: Horas acumuladas.

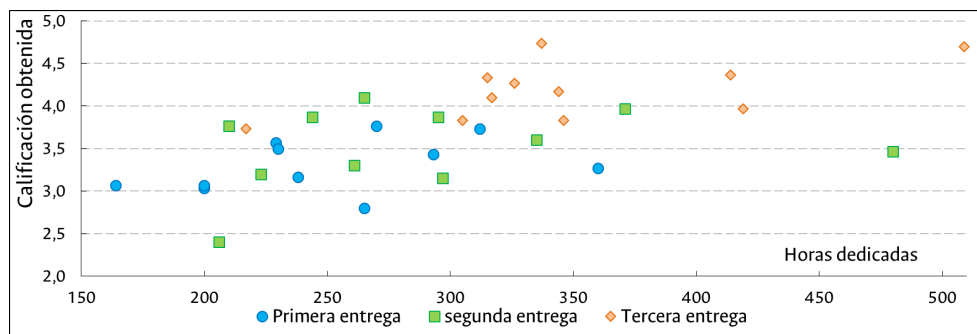


Figura 5. Horas dedicadas a las entregas por los estudiantes (datos entregados por cada grupo) y calificación obtenida en cada entrega.

Finalmente, las horas que según los profesores deberían dedicarse para completar cada una de las entregas se muestran en la Figura 6.

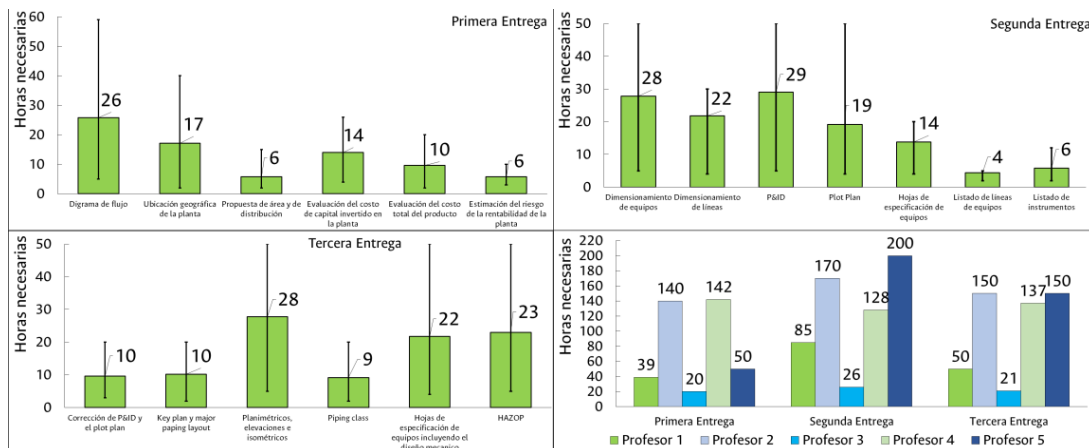


Figura 6. Horas necesarias para completar cada una de las partes de los entregables. Las barras indican los valores mayores y menores de horas declaradas. En la parte inferior derecha se presentan los totales considerados por cada profesor.

## DIFERENCIAS ENTRE LAS EXIGENCIAS DEL PROGRAMA, DE LOS PROFESORES Y LA DEDICACIÓN DE LOS ESTUDIANTES. CASO: DISEÑO DE PLANTAS Y EQUIPOS

La comparación entre estos valores y las horas de trabajo declaradas por los estudiantes y las horas que los profesores indican que son suficientes, se presenta en la Figura 7.

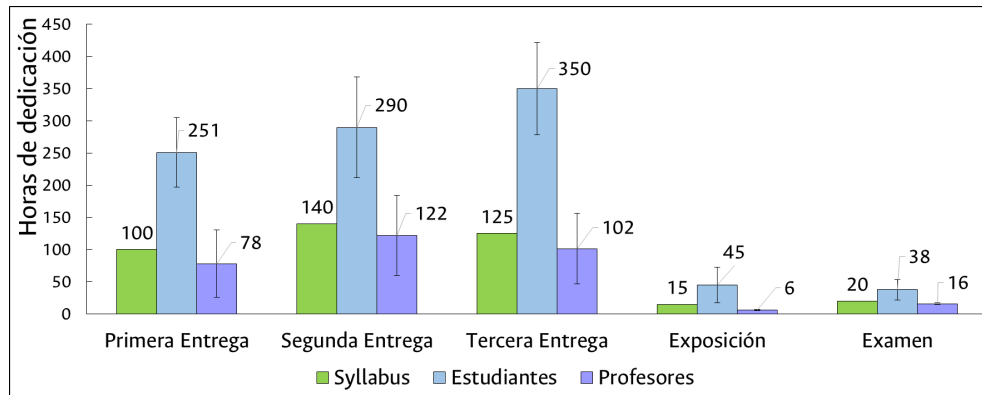


Figura 7. Comparación de las horas de dedicación al curso. Las barras indican la desviación estándar.

Como se mencionó al inicio de este documento, el curso es de tres (3) créditos, que equivalen a 144 horas de trabajo por estudiante de las cuales 64 son presenciales. En consecuencia, al conformar equipos de cinco estudiantes se disponen 400 horas de trabajo autónomo, de las cuales, de acuerdo con el diseño de la asignatura por parte de los profesores, 15 deben dedicarse a preparar una exposición sobre un tema del contexto industrial o normativo del país, 100 horas a la primera entrega, 140 para la segunda, 125 a la tercera y 20 a un examen final.

Los resultados muestran que los estudiantes utilizan aproximadamente tres veces el tiempo estimado por los profesores para la elaboración de las entregas (ver Figura 7). Los profesores consideraron que esto reflejaría una eficiencia en el trabajo de los estudiantes de un 30% aproximadamente. Si se compara la dinámica propia de los estudiantes en el nivel de la carrera en la que se ubica la materia, se consideró que esa eficiencia refleja adecuadamente el nivel que ellos deben tener dado que los entregables del curso son de alta exigencia. Sin embargo, con el objetivo de que el trabajo sea más efectivo, se consultó a otros profesores de la Facultad que tienen experiencia en el uso de metodologías de trabajo efectivo en equipo, para implementar o adaptar dichas metodologías. También se indicará a los estudiantes que para la programación y seguimiento de tareas y en general como herramienta de gestión del trabajo en equipo, utilicen aplicaciones web de uso gratuito. Esta ayuda ya se usó con éxito en el curso Diseño de Procesos Químicos y Bioquímicos que es prerrequisito de DPE.

También se concluyó que en la primera entrega los estudiantes están dedicando mucho tiempo (ver Figura 7) en tareas que deben ser de ejecución rápida sin un proceso profundo de reflexión. Para mejorar este aspecto se decidió que el profesor que tenga a cargo ese módulo debe insistir para que los estudiantes utilicen métodos rápidos tanto para el costeo de equipos como para la evaluación financiera.

En la segunda entrega, que tiene un mayor nivel de exigencia en cuanto a reflexión y toma de decisiones, hay dificultades en la elaboración de los diagramas P&ID. Se consideró recomendable que en materias de toda la carrera a medida que los estudiantes aprenden los



tipos de equipos, su función y dimensionamiento también aprendan cuál es su representación gráfica en planos de diseño y cuál es la instrumentación asociada. Para ello, con base en un material previamente preparado se pedirá a los profesores de materias del componente disciplinar que utilicen la simbología apropiada. En los laboratorios se pedirá que los profesores trabajen en la narrativa de la operación y control de un equipo.

La tercera entrega implica una cantidad importante de planos, y dado que en el currículo no hay un curso en el que los estudiantes aprendan a usar un software para dibujo técnico, consumen bastante tiempo en la elaboración de dichos entregables. Para enfrentar esta dificultad, los profesores gestionarán tener un estudiante monitor que tenga conocimientos sobre uso de Autocad y otras herramientas informáticas de dibujo para que los estudiantes puedan consultarlo y avanzar más rápido en sus entregables.

#### **4. Conclusiones**

El proceso de acreditación ABET exige la medición continua de los resultados de formación declarados por el programa, con el fin de plantear estrategias de mejoramiento continuo. El programa de Ingeniería Química de la Universidad Nacional sede Bogotá está trabajando en esta vía y particularmente en el curso DPE, que se considera estratégico para la formación de los ingenieros, ha realizado varios seguimientos que han llevado a cambiar el nivel de exigencia y mejorar el desempeño de los estudiantes.

En los cursos finales que involucran proyectos de gran alcance, se considera exitoso implementar sustentaciones estilo interventoría e invitar a profesores de otras asignaturas no solo para evaluar aspectos diferentes a los de curso, también para que ellos puedan ver como lo que enseñan se inserta en las exigencias de los proyectos finales.

La dedicación de los estudiantes a los entregables es sensiblemente mayor a la esperada y la cantidad de horas diarias varía entre grupos, con algunos que trabajan constantemente a otros que solo lo hacen cuando la entrega está cercana. A pesar de esto, las formas de dedicación al trabajo no están relacionadas con la calidad del resultado final.

Se recomienda que otros programas de ingeniería realicen mediciones de sus resultados de formación y seguimientos a la dedicación de sus estudiantes para poder establecer la calidad requerida y límites en la cantidad de trabajo exigida.

#### **5. Referencias**

- Gorman, M. E. (2002). Turning Students into Professionals: Types of Knowledge and ABET Engineering Criteria. *Journal of Engineering Education*, Vol. 91, No. 3, pp. 327-332.
- Lang, J. D.; Cruse, S.; McVey, F. D.; and McMasters, J. (1999). Industry Expectations of New Engineers: A Survey to Assist Curriculum Designers. *Journal of Engineering Education*, Vol. 88, No. 1, pp. 43-51.

## DIFERENCIAS ENTRE LAS EXIGENCIAS DEL PROGRAMA, DE LOS PROFESORES Y LA DEDICACIÓN DE LOS ESTUDIANTES. CASO: DISEÑO DE PLANTAS Y EQUIPOS

- Passow, H. (2012). Which ABET Competencies Do Engineering Graduates Find Most Important in their Work?. Journal of Engineering Education, Vol. 101, No. 1, pp. 95–118.
- Shuman, L. J.; Besterfield-Sacre, M. and McGourty, J. (2005). The ABET “Professional Skills” - Can They Be Taught? Can They Be Assessed?. Journal of Engineering Education, Vol. 94, No. 1, pp. 41-55.

### Sobre los autores

- **Óscar Yesid Suárez Palacios:** Ingeniero Químico, Magíster en Ingeniería Química, Doctor en Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia. Profesor asistente. [oysuarezp@unal.edu.co](mailto:oysuarezp@unal.edu.co)
- **Paulo César Narváez Rincón:** Ingeniero Químico, Magíster en Ingeniería Química, Doctor en Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia. Profesor titular. [pcnarvaezr@unal.edu.co](mailto:pcnarvaezr@unal.edu.co)

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2018 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)