

# UNA ALTERNATIVA PARA LA REALIZACIÓN DE LABORATORIOS DOCENTES EN INGENIERÍA

Mauricio Duque<sup>1</sup> Dr

Alain Gauthier Dr<sup>2</sup>

Alba Cristina Martínez I.E.<sup>3</sup>

## Abstract

*This work describes the accomplishment of a practical laboratory of support to a theoretical course in which the student must accomplish most of the work, included the assembly of the elements he will work with. In this way, stimulating the student to be more ingenious, smarter, more creative, difficult aspects to be achieved in conventional laboratory practices. The preliminary evaluation of this experience is shown in this article.*

## Palabras Claves

*Docencia, laboratorios ingeniería, control, evaluación.*

## INTRODUCCIÓN

En el contexto de la educación superior es común encontrarse con laboratorios diseñados más como complemento obligado de ciertos cursos que como verdaderos espacios de aprendizaje pensados para propiciar el desarrollo de la iniciativa, de la creatividad, del sentido de observación y del "sentido común", donde el estudiante se relacione con lo práctico de su futura profesión.

También es corriente encontrar que uno de los papeles asumidos por estos laboratorios, es el de "verificar" la teoría ya verificada, como si este hecho ayudara de forma importante al estudiante en su proceso de aprendizaje.

Son comunes los laboratorios "todo hecho", donde el estudiante se limita a seguir una guía, que le cuenta en detalle qué debe hacer, qué debe conectar a que, qué medidas debe tomar, qué tablas debe diligenciar. Lo único que se le deja libre al estudiante son las conclusiones, las cuales resultan usualmente poco trascendentes y poco originales.

La calidad de un laboratorio docente y en consecuencia de las prácticas asociadas, usual y erróneamente se tiende a asociar al costo de los equipos, al tamaño de las instalaciones. Poca atención se presta a la metodología docente, a los objetivos perseguidos, a los esquemas de prueba y evaluación, a las actividades propuestas.

---

<sup>1</sup> Profesor titular, Universidad de los Andes

<sup>2</sup> Profesor titular, Universidad de los Andes

<sup>3</sup> Estudiante de Magister, Universidad de los Andes

Igualmente es común que el curso anteceda al laboratorio en los temas tratados. No es apreciada una práctica que aborde temas que no han sido vistos en el curso. Sin embargo, que mejor motivación para abordar la teoría, que conocer el problema que se pretende resolver.

En este trabajo se presenta el desarrollo y evaluación preliminar del laboratorio asociado a la materia Análisis de Sistemas de control que se dicta como parte del programa de ingeniería eléctrica y electrónica de la Universidad de los Andes. Dicha práctica se realizó durante el segundo semestre de 1998 (concepción) y el primer semestre de 1999 (realización y evaluación). El laboratorio propuesto se sustenta en un enfoque pedagógico basado en el método inductivo, con objetivos orientados a propiciar el desarrollo de la creatividad, la reactividad y el sentido de lo concreto. Claramente no es un nuevo camino, pues este tipo de enfoques pedagógicos han sido utilizados por diferentes culturas en diferentes momentos. Es simplemente un redescubrimiento del método inductivo, con una aplicación bien definida.

El trabajo presentado se inspiró en el proyecto APA (Aprendizaje par l'Action) desarrollado por un grupo de profesores de la Ecole de Mines de Nantes, Francia y en el método pedagógico inductivo propuesto por el físico Jerry Pine del Instituto Tecnológico de California (CALTECH).

De gran importancia resultó el apoyo del Decano de la Facultad de Ingeniería Tiberio Hernández quien ha sido el impulsor y motivador del proyecto, así como el apoyo del Profesor Carl Rauch, responsable del proyecto en la Ecole de Mines de Nantes, quien ha suministrado todo el apoyo e información necesaria.

## MARCO CONCEPTUAL

La razón de un laboratorio debe buscarse en los objetivos del curso al que se encuentra asociado y en los objetivos del programa plasmados en su currículum y su proyecto pedagógico. Cada programa deberá encontrar el lugar que ocupan sus prácticas de laboratorio dentro del currículum que desarrolla. Lo que si debería ser común es que las prácticas de laboratorio deben ser integradas y sincronizadas en forma coherente con el programa en general y el curso en particular, en su metodología, sus actividades programadas, los objetivos buscados y el sistema de evaluación seleccionado.

Sin embargo, es necesario resaltar que si bien una práctica de laboratorio representa una actividad más de

las muchas que pueden ser realizadas en el contexto de un proceso de aprendizaje, tiene características muy particulares por el hecho de dar la oportunidad al alumno de estar en contacto con la "realidad", con elementos tecnológicos y de alguna forma con el que hacer de su profesión.

Pasemos ahora a caracterizar la actividad de laboratorio en el marco de referencia que nos ocupa. La reflexión adelantada en torno a los laboratorios se realiza en el marco de un programa de ingeniería. La palabra ingeniero está íntimamente ligada desde su origen a la palabra ingenio. De un ingeniero se espera alguien con la competencia para proponer soluciones ingeniosas a problemas relacionados con la manipulación de objetos y magnitudes físicas. Para ello evidentemente necesita capacidad de manipulación de objetos físicos, competencia para realizar mediciones, para montar experiencias y soluciones, validar y evaluar sus resultados.

Ello implica que el ingeniero en su formación debe estar "expuesto" a actividades que lo lleven a manipular equipos y procesos, a involucrar el ingenio en la solución de problemas, a ser creativo, a ser reactivo. Examinando las diferentes posibilidades que un alumno de ingeniería tiene, rápidamente se llega a la conclusión que un lugar más que apropiado para el logro de estos objetivos son las prácticas de laboratorio.

Si nos enmarcamos en esta observación, ¿por qué pensar en los laboratorios como un complemento a posteriori de los cursos teóricos?

Una alternativa es utilizar el laboratorio para aprender haciendo. Así se reduce considerablemente la necesidad de mantener la relación de precedencia del curso respecto a la práctica de laboratorio. El laboratorio en este marco puede incluso ser desacoplado de una materia específica, pero particular atención debe prestarse para evitar que se convierta en una rueda suelta del programa, lo cual se logra manteniendo en mente los objetivos y realizando evaluaciones formales y rigurosas del cumplimiento de éstos.

Esta orientación pedagógica de las prácticas de laboratorio permite, al menos en teoría, propiciar el desarrollo en el estudiante de la creatividad, del sentido de lo concreto, de la iniciativa, de la reactividad, del ingenio, del sentido de observación entre otros. Adicionalmente puede llevar al alumno a tener un diálogo mucho más interesante con el profesor, con preguntas pertinentes originadas en problemas reales y relativamente abiertos, así como a desarrollar su capacidad de interacción y trabajo en grupo.

## EL LABORATORIO DISEÑADO Y EL DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA

El laboratorio del curso Análisis de sistemas de control se dicta en dos modalidades:

### Modalidad Clásica:

basada en la realización de 4 prácticas durante el semestre encaminadas a llevar al estudiante a aplicar y contrastar sus conocimientos en la solución de 4 problemas más o menos clásicos y relativamente cerrados. El estudiante cuenta con todas las herramientas para desarrollar la práctica y las guías le informan sobre el trabajo a realizar. La teoría en general presenta primero el tema y el laboratorio busca desarrollo de competencia en la aplicación de los conocimientos. El tipo de equipo utilizado es el adecuado para las prácticas. El trabajo del estudiante se resume en la realización de un montaje, la realización de un diseño y su desarrollo configurando adecuadamente los equipos, la toma de datos y el planteamiento de conclusiones.

### Modalidad aprendizaje haciendo:

el estudiante aborda durante el semestre la realización de un proyecto en 12 etapas. La parte sustancial del trabajo es realizada por el estudiante en su casa o en espacios de libre servicio del laboratorio. Las reuniones con el profesor o el instructor se encaminan a evaluar el trabajo realizado y a discutir la teoría alrededor del trabajo desarrollado. Esta reunión puede realizarse en un salón de clases típico. Los elementos y equipos utilizados son de bajo costo y en lo posible desarrollados por el estudiante mismo. El trabajo es evidenciado en un portafolio y su evaluación se basa en una matriz de evaluación (anexo 1). Se busca que el estudiante desarrolle el ingenio y la competencia en la manipulación de elementos para integrar una solución al problema planteado.

Primero unas palabras sobre el objeto del laboratorio:

Por control del proceso se entiende la medición de la magnitud física a controlar y actuar sobre el proceso de tal forma que la magnitud seleccionada se encuentre en un valor especificado a pesar de los diferentes aspectos que puedan alterarla (Perturbaciones, errores, cambios de punto de operación, entre otros). Por ejemplo, si deseamos controlar la temperatura de un horno significa colocar un automatismo que garantice que la temperatura permanecerá dentro de un rango, a pesar

de lo que coloquemos dentro del horno o de los cambios de temperatura del medio ambiente.

Para el primer semestre, dentro de la segunda modalidad, se escogió controlar temperatura. Para ello, los estudiantes construyeron un "horno" constituido por una pequeña caja de icopor y un bombillo dentro de ella. Un sensor de temperatura debería ser colocado dentro para medir la temperatura. El objetivo es simple: utilizando el bombillo como fuente de calor, se debe mantener la temperatura interna de la caja en un valor definido. El estudiante debió montar el sistema físico completo, incluyendo los accionamientos y los sensores.

Las guías presentan con el detalle supuestamente necesario, los objetivos de cada práctica, los elementos a conseguir, los diferentes montajes a realizar y las mediciones a tomar. Los detalles de las guías deben ser adecuadamente seleccionados para darle al estudiante espacio para la creatividad, el desarrollo del ingenio y de la competencia en la manipulación de componentes y equipos. Debido al tipo de actividades programadas, el estudiante tiene adicionalmente la oportunidad de integrar los conocimientos en control a otras áreas como circuitos, filtros y sensores, por ejemplo.

Por último, vale la pena mencionar que la modalidad clásica viene de ser sometida a un proceso de "reingeniería", con nuevas prácticas, nuevas guías y nuevos equipos, por lo que sus condiciones son óptimas. No se trata de la comparación de una experiencia nueva donde se han colocado los mejores esfuerzos, contra una vieja experiencia desgastada.

Una buena parte del laboratorio en su modalidad "aprender haciendo" relaciona conocimientos y habilidades que el estudiante debe haber logrado en otros cursos: manejo de circuitos eléctricos, fuentes, amplificadores operacionales, transistores de potencia, entre otros. Esta característica hace que el laboratorio además de cumplir con los objetivos respecto a la materia, tiene un carácter transversal en la formación y de integración de conocimientos y habilidades.

## EVALUACIÓN DE LA EXPERIENCIA

Para evaluar la experiencia se usaron tres fuentes diferentes:

- 1) Encuesta directa a los estudiantes participantes en la nueva modalidad.
- 2) Análisis de la encuesta estándar para laboratorios comparando las encuestas de las dos modalidades de laboratorio
- 3) Resultados académicos de los estudiantes para ambas modalidades.

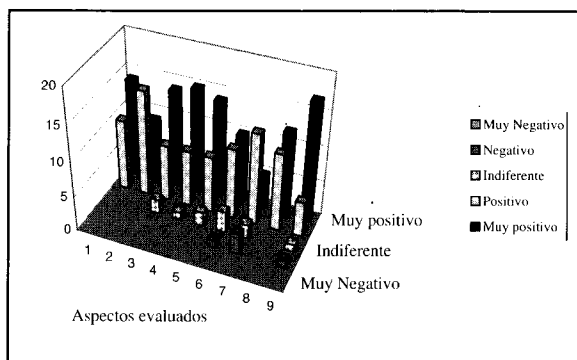
Los resultados obtenidos deben observarse con gran cautela, pues la experiencia no controló todas las variables que pueden explicar de otra forma dichos resultados. Por ejemplo, la selección de la población de estudiantes que tomó cada una de las modalidades de laboratorio no fue realizada en forma tal que se garantizará una composición similar de estudiantes en cada laboratorio con relación a su rendimiento académico típico.

La ficha de la experiencia es:

CURSO TEÓRICO:	SISTEMAS DE CONTROL
Secciones curso teórico:	2
Número total estudiantes:	95 estudiantes
Laboratorio clásico:	60 estudiantes
Laboratorio APA:	35 estudiantes

Cada estudiante seleccionó la modalidad de laboratorio según sus posibilidades de horario y los cupos disponibles.

Encuesta directa: La encuesta directa, aplicada a 24 de los 35 estudiantes arrojó los siguientes resultados:



Los aspectos evaluados fueron:

- 1) La modalidad generó motivación con respecto a los temas del curso.
- 2) La modalidad contribuyó a comprender el curso.
- 3) Interés para que esta modalidad se extienda a otros laboratorios
- 4) Aportó esta modalidad a otras competencias y conocimientos no directamente relacionados con el curso.
- 5) Ayudó la modalidad a comprender el papel del sensor y del actuador.
- 6) Encontró relación entre el laboratorio y el curso.
- 7) El material disponible para las prácticas fue suficiente.
- 8) El apoyo brindado por el profesor y el instructor fue el adecuado
- 9) Recomendaría a sus compañeros tomar esta modalidad de laboratorio.

Puede observarse una percepción más bien positiva de la modalidad de laboratorio. Es de anotar que esta modalidad requiere del estudiante un poco mas de trabajo que la modalidad denominada clásica.

Adicionalmente la encuesta realizaba tres preguntas abiertas centradas en el tiempo dedicado al laboratorio y en los aspectos positivos y negativos encontrados en la experiencia

Para la pregunta sobre cuánto tiempo dedicó en total en el semestre a trabajar en el laboratorio, se encontró que el 50% de los estudiantes dedicaron 3 horas semanales a la implementación de la práctica respectiva; el otro 50% dedicaron de 4 a 10 horas semanales, este aumento es debido fundamentalmente a problemas en los montajes, por soldadura y dispositivos dañados.

Algunos de los aspectos positivos que resaltaron los estudiantes:

- Se centra en un solo proyecto
- Se adquiere mayor destreza en temas diferentes a la materia
- Se comprende en un contexto más amplio la teoría aplicada

- Se tiene contacto con los problemas por los que un ingeniero tiene que afrontar en la vida real
- Como cada práctica depende del anterior hay un compromiso más serio de los estudiantes
- Proporciona una mejor formación como ingeniero que los laboratorios clásicos
- Creó una necesidad de trabajar en grupo y hacer buen uso de los elementos que tenemos a la mano
- La práctica afianza los conocimientos teóricos
- Cada persona realiza y monta las prácticas y no se trabaja sobre algo ya montado.

Encuesta estándar de laboratorios: Esta encuesta incluye un gran número de preguntas, de las cuales sólo se seleccionaron las relativas a la práctica de laboratorio, porque las demás no son pertinentes para este breve análisis:

- 1) ¿La práctica aportó a la comprensión de la materia?
- 2) ¿El trabajo a realizar en las prácticas está claramente definido?
- 3) ¿Los objetivos de las prácticas están claramente definidos?
- 4) ¿Encontró una coordinación adecuada entre el curso y el laboratorio?
- 5) ¿Calificación global del laboratorio.

La siguiente tabla resume los resultados de la encuesta para estas preguntas en las dos modalidades. Para cada pregunta se presenta el promedio de nota siendo 1 la menor y 5 la mayor:

PREGUNTA	CLASICO	AH
1	3,91	4,37
2	3,23	4,16
3	3,66	4,26
4	3,51	3,84
5	3,71	4,05

Como puede observarse, la diferencia entre los resultados a la encuesta en las dos modalidades resulta palpable en todos los aspectos evaluados.

## Resultados académicos en el curso:

por último, se realizó una comparación de los resultados académicos de los estudiantes en la prueba final del curso, la cual fue conjunta para las dos secciones y los criterios de calificación similares. Debe recordarse que en cada una de las dos secciones teóricas del curso existieron estudiantes en las dos modalidades de laboratorio.

La diferencia en dicho examen final es de 3 décimas sobre una calificación 05 a favor de los estudiantes que tomaron la opción del laboratorio "Aprender Haciendo". La diferencia es significativa. Sin embargo, las condiciones en que se realizó la experiencia no permiten garantizar características similares en las dos poblaciones (rendimiento académico por ejemplo), por lo que los resultados deben ser tomados con cautela. Lo que sí es factible afirmar es que la modalidad alterna de laboratorio es interesante, por cuanto además de aparentemente propiciar mejores resultados en las pruebas finales, indudablemente motiva más al estudiante y contribuye a desarrollar los diferentes aspectos ya mencionados.

## CONCLUSIONES DE ESTA PRIMERA EXPERIENCIA Y ACCIONES A SEGUIR

El trabajo realizado entre 1998 y 1999 en esta modalidad alterna de laboratorio arrojó resultados positivos, pues no mostró problemas importantes a resaltar respecto a la modalidad clásica y en cambio sí parece mostrar beneficios interesantes.

Esta modalidad de laboratorio requiere una menor inversión en equipos e instalaciones de laboratorio. En contrapartida requiere una mayor inversión en recurso humano para su concepción y manejo. Es de anotar que para que la modalidad de laboratorio funcione y mantenga el espíritu de proponerle al estudiante un reto nuevo, la experiencia debe ser modificada de semestre a semestre, probablemente con una rotación de un par de años.

Examinando en particular las prácticas de laboratorios del programa de ingeniería eléctrica se encuentra que no todas pueden ser colocadas en este formato, pues algunas requieren el manejo de equipos sofisticados de ingeniería.

En la facultad de ingeniería de la Universidad de los Andes, se vienen realizando esfuerzos aislados en diferentes modalidades de laboratorio, algunas muy simi-

lares en su concepción a la que se presentó en este trabajo. En todos los casos parece ser evidente el éxito que logran al menos en términos de motivación del estudiante. Infortunadamente, no se ha realizado una evaluación rigurosa ni una difusión de la experiencia.

El trabajo evaluó la experiencia en el corto plazo. Aspectos como el desarrollo del ingenio, de la creatividad, del contacto con lo concreto, de la reactividad, sin duda requieren de una aproximación diferente para la evaluación de resultados y probablemente en una escala de tiempo mayor.

## REFERENCIAS

[Germinet, R.] L'apprendissage de l'incertain, Editions Odile Jacob, 1997.

[EMN] Apprendissage par l'action, document de l'élève, Ecole de Mines de Nantes, 19981999.

[CIAP] Guías de laboratorio del curso de análisis de sistemas de control. <http://www.ciap.uniandes.edu.co/labos/ansisctrl>