

ENSEÑANZA DE LA ELECTRONICA EN LOS EEUU

VÍCTOR GEREZ

*Profesor Titular de Ingeniería Eléctrica. Montana State University. Bozeman, MT 59715
EEUU*

Profesor Visitante. Universidad Autónoma de Barcelona. E-08193 Bellaterra, España

Se comenta sobre la uniformidad de los planes de estudios de ingeniería causada por los lineamientos de la Agencia de Acreditación de Programas de Ingeniería, ABET en los EEUU. Se describe el contenido temático de cursos obligatorios típicos de Electrónica, los antecedentes académicos para estos cursos así como los experimentos asociados a estas asignaturas y los laboratorios en los que se realizan. Se comenta sobre las limitaciones de este tipo de cursos compartamentalizados y con posibles soluciones a este problema de falta de enfoque de integración.

Introducción

Debido a las reglas relativamente rígidas que hasta 1998 establecía en los EEUU la Agencia de Acreditación de Programas de Ingeniería, ABET (Accreditation Board for Engineering and Technology) casi todos los planes de estudio de las diversas disciplinas de ingeniería a nivel licenciatura, son similares, presentan realmente pocas diferencias. Los cursos en estos planes se agrupan en cursos de ciencias básicas (matemáticas, física y química), humanidades, cursos obligatorios, que varían según la disciplina, y cursos optativos dentro y fuera de una disciplina específica.¹ Aunque la descripción de cursos que se presenta en este trabajo se basa en los cursos que se ofrecen en la Universidad del Estado de Montana, (Montana State University, MSU) en las licenciaturas de Ingeniería Eléctrica e Ingeniería de Computación, puede afirmarse que estos cursos obligatorios no difieren en forma importante en lo que se refiere a su contenido de los que se ofrecen en otras instituciones, como el autor ha podido comprobar, durante su desempeño como "visitador" de ABET. Los lineamientos de ABET han llevado no solo a una uniformidad en el contenido de los cursos, sino como es de esperarse también en el contenido de los libros de texto que se emplean en éstos. Más del 50% de los programas de Ingeniería Eléctrica y de Computación emplean en los cursos de electrónica obligatorios un texto en particular.²

Cursos de Electrónica

Los planes de estudio tradicionales, de la mayoría de las universidades en los EEUU incluyen en general en el ámbito de licenciatura dos cursos obligatorios de Electrónica Lineal I y II. Cada uno de estos cursos semestrales incluye alrededor de 40 horas de instrucción teórica y 13 sesiones de dos horas de laboratorio semanales. En el laboratorio los alumnos realizan experimentos para reforzar la enseñanza teórica y explorar tópicos no cubiertos en las sesiones de teoría. Además a nivel licenciatura, se ofrecen cursos no obligatorios, sobre temas como Dispositivos Electrónicos, Electrónica Analógica Avanzada, Instrumentación Electrónica, Electrónica Digital, y Electrónica de Potencia.

Al empezar el curso los estudiantes reciben información sobre los tópicos que se cubrirán cada clase los problemas a resolver asociados a cada período de instrucción y los temas del laboratorio. En general en cada curso, sobretodo si se trata de cursos obligatorios se emplea un libro de texto, en general seleccionado por los profesores que imparten la asignatura. La calificación de cada curso se basa en un promedio ponderado de los resultados de pruebas parciales y finales, tareas y desempeño en el laboratorio.

Resolver problemas en cursos de ingeniería se considera muy importante, "la practica hace al maestro". Los estudiantes entregan estas tareas en fechas fijas, el propio profesor o un ayudante las califica, y el procedimiento de solución y los resultados se publican. El autor considera que el resolver problemas en un papel, con un lápiz y una calculadora es un ejercicio muy valioso, que le permite al estudiante entender realmente como trabaja un circuito, después de adquirir práctica en resolver problemas paso a paso, se emplean programas de computo como MATHLAB, MATHCAD y PSpice

Electrónica I suele tener como pre-requisito un curso de Circuitos donde se han cubierto los siguientes temas: Leyes de Ohm y Kirchhoff, métodos de análisis de redes, teoremas, capacitores e inductancias y respuesta de sistemas R-L y R-C, circuitos de corriente alterna, monofásicos y trifásicos balanceados. Como es de esperarse por los antecedentes de este curso, los temas de Electrónica I no incluyen temas relacionados con respuesta a la frecuencia.³

Un temario representativo de Electrónica I incluye los siguientes tópicos:

I.- Amplificadores Operacionales

1. Configuraciones
2. Imperfecciones
3. Aplicaciones

II.- Diodo

1. Diodo ideal y sus terminales
2. Física de diodo
3. Operación en punto base
4. Modelos de pequeña señal
5. Diodo Zener
6. Circuitos de rectificación.
7. Circuitos limitadores y otras aplicaciones

III.- Transistor Bipolar (BJT)

1. Estructura y modos de operación
2. Análisis de corriente continua
3. Circuitos equivalentes de pequeña señal
4. Amplificadores básicos
5. Inversores lógicos

IV.- Transistores de efecto de campo (MOSFET)

1. Tipos
2. Análisis de corriente continua
3. Circuitos equivalentes de pequeña señal
4. Amplificadores básicos

Electrónica II tiene como prerequisites un segundo curso de Circuitos (último curso requerido sobre el tema) y Electrónica I. En Circuitos II se cubren los siguientes tópicos: Respuesta transitoria, inductancias mutuas, series de Fourier, transformadas de Laplace y Fourier y filtros.

Electrónica II incluye típicamente los siguientes tópicos:

I.- Amplificadores diferenciales y de etapa múltiple

1. Amplificador de diferencias
2. Establecimiento del punto de operación
3. Amplificador de diferencias con carga activa
4. Implementación con BJT y MOSFETS

II.- Respuesta en el dominio de la frecuencia

1. Diagramas de Bode
2. Funciones de transferencia
3. Respuesta a baja frecuencia
4. Respuesta a alta frecuencia

III.-Filtros y generadores de señales

1. Filtros de primer orden
2. Filtros de segundo orden
3. Circuitos para simular inductancias
4. Osciladores
5. Generación de ondas rectangulares y triangulares

IV.-Retroalimentación y estabilidad

1. Retroalimentación positiva
2. Diversas topologías de retroalimentación
3. Estabilidad
4. Criterios de Nyquist

V.-Etapa de salidas y amplificadores de potencia

1. Clase A
2. Clase B
3. Clase AB
4. Establecimiento de los puntos de operación

Laboratorios de electrónica

El trabajo experimental es muy importante en la ingeniería, no solamente complementan la enseñanza teórica sino ilustran también aplicaciones de circuitos electrónicos. Los estudiantes reciben para cada sesión de laboratorio un instructivo que lista el objetivo del experimento, describe el experimento, incluye diagramas que muestran como deben de conectarse en general componentes discretas, para realizar el trabajo experimental, describe como debe de realizarse el experimento y que mediciones deben de efectuarse. En la mayoría de los experimentos, antes de presentarse al laboratorio, los estudiantes tienen que analizar los circuitos y calcular sus respuestas con frecuencia empleando paquetes de simulación como PSpice. En el laboratorio, tienen que armar los circuitos y llevar a cabo mediciones bajo diversas condiciones de excitación o configuración de los circuitos. Tienen que cotejar los resultados de la simulación con las mediciones realizadas en el laboratorio sobre circuitos físicos y comentar sobre posibles diferencias en un reporte de laboratorio. Se considera en los EEUU que una de las deficiencias más generales de los egresados de programas de ingeniería es su capacidad de comunicación verbal y escrita. Los reportes de laboratorio les permite seguir desarrollando la habilidad de comunicación.

Para el curso de Electrónica I la siguiente es una lista representativa de experimentos:

1. Principios básicos de amplificadores operacionales
2. Aplicaciones de amplificadores operacionales

- | | |
|---|---|
| 3. Circuitos de rectificación | 8. Fotodiodos y fototransistores, operación del BJT como interruptor |
| 4. Regulación de voltaje y diodos Zener | 9. Mediciones en circuitos con MOSFET |
| 5. Aplicaciones diversas de diodos | 10. Circuitos con cargas activas |
| 6. Establecimiento de punto de operación en circuitos con BJT | 11. Retroalimentación positiva, multivibradores y generadores de onda |
| 7. Circuitos básicos de amplificación | |

Los experimentos ilustran la operación de circuitos electrónicos básicos estudiados en las sesiones teóricas. También se presentan algunas aplicaciones de la teoría (experimentos 3, 4, 5 y 8) o inclusive se introducen tópicos no cubiertos en las clases de teoría (experimento 11). En el curso de Electrónica II se realizan los siguientes experimentos:

- | | |
|--|--|
| 1. Amplificador de diferencias BJT | 7. Filtros básicos |
| 2. Operación de pequeña señal del amplificador de diferencias | 8. El amplificador operacional como filtro y circuitos de defasaje |
| 3. Resistencia de entrada y operación de modo común | 9. Simulación de inductancias y filtros R-L-C |
| 4. Espejos de corriente | 10. Retroalimentación negativa |
| 5. Operación del amplificador de emisor común a baja y alta frecuencia | 11. Retroalimentación, polos múltiples y estabilidad |
| 6. Operación del amplificador de base común a baja y alta frecuencia | 12. Etapas de salida |

Los experimentos se realizan en estaciones de pruebas, donde trabajan dos estudiantes. Cada estación esta equipada con:

- un osciloscopio digital de dos canales dos estaciones (ancho de banda 500 Mhz)
- Un multímetro
- Una fuente de poder con tres salidas (5V, 2A; 0 ~ 20 V 0.5 A, 0 ~ 20 V 0.5 A)
- Un generador de funciones, 0.2 Hz – 2 MHz, 0-2 Vpp, 0-20Vpp
- Un trazador de curvas

Los laboratorios de enseñanza en MSU cuentan con instrumentación automatizada. Se descartó su empleo en cursos introductorios. Se consideró más pedagógico aplicar las señales de entrada, conectar los instrumentos, realizar los ajustes necesarios para realizar las mediciones que leer instrumentación automatizada. También se encontró que no es fácil implementar el software de automatización. Posiblemente en el futuro esta situación cambie.

Equipar y mantener laboratorios es caro, el equipo no solo sufre el desgaste acelerado con frecuencia por su uso inadecuado, además la tecnología evoluciona, como las empresas que contratan a los graduados esperan que estos conozcan equipo moderno, los laboratorios tienen que ser vueltos a equipar con frecuencia. Afortunadamente las leyes fiscales consideran como donativo deducible de impuestos, contabilizado a precios de lista, el equipo que donan los fabricantes. Esta generosidad empresarial tiene además la ventaja de promover ciertas marcas de equipo. Con frecuencia estas donaciones solas cubren una fracción del costo del equipo, el resto tiene que ser cubierto por el departamento de fondos propios de la institución o de donativos de ex alumnos fundamentalmente. Equipar y mantener laboratorios no deja por lo tanto de presentar un importante costo.

Recientemente se ha promovido el empleo de laboratorios virtuales empleando paquetes como LABVIEW. En MSU sin embargo pensamos que la experiencia de conectar circuitos, verlos operar inclusive fallar es una experiencia educativa valiosa. Así lo piensan también las empresas que contratan a nuestros egresados.

Retener estudiantes en las diferentes carreras es administrativamente muy importante, el presupuesto asignado a cada departamento depende del número de estudiantes-hora que éste "genere". Puede argumentarse que consideraciones administrativas no deberían determinar políticas académicas, pero resulta inevitable que así sea con mucha frecuencia. La retención de estudiantes en la carrera de ingeniería es en general baja. Estudios han mostrado que una razón importante de esta deserción es la pérdida de interés en la ingeniería de muchos estudiantes durante los primeros años de la carrera. Desafortunadamente en planes de estudios tradicionales, (la mayoría) los estudiantes no cursan materias de ingeniería antes del cuarto semestre. Durante los tres primeros semestres cursan materias de ciencias básicas como matemática y física y materias humanísticas, que ABET requiere estén incluidas en el plan de estudio. Durante estos tres primeros semestres de la carrera, muchos estudiantes pierden interés en la ingeniería, concluyen que las materias que cursan tienen poca relación con sus intereses.

Relacionar conceptos de ciencias básicas (física y matemática) y ciencias de la ingeniería como circuitos con aplicaciones como electrónica aumenta el interés de los estudiantes en los conceptos teóricos básicos y les permite retenerlos mejor al verlos ligados directamente a la teoría. Es muy frecuente oír a estudiantes afirmar que nunca han oído hablar o en el mejor de los casos que ya se olvidaron de una técnica específica de análisis de redes que el instructor está empleando para analizar un circuito electrónico. Este problema de retención de principios y técnicas básicas sería menos marcado, si se emplease el principio de "justamente a tiempo", que ha tenido tanto éxito en el sector de manufacturas. Los principios y técnicas básicas se estudiarán cuando se las necesitare para analizar un problema específico. La física y las matemáticas deberían enseñarse como una materia, introducir un fenómeno físico y luego las técnicas matemáticas para analizarlo, de esta manera el estudiante inmediatamente queda expuesto a una aplicación de una técnica matemática a un fenómeno físico, aumentando su interés por las matemáticas, al percibir su utilidad para estudiar el mundo físico. Hace algún tiempo el autor propuso este enfoque a la enseñanza de la física y de las matemáticas, pero problemas administrativos, coordinación entre los instructores de las disciplinas y problemas de protección territorial no permitieron implementar esta idea.

Las materias de Circuitos y Electrónica se prestan a una integración similar, los conceptos de circuitos se introducirían al irse necesitando para analizar determinados circuitos electrónicos. Los circuitos pasarían de ser una materia del tipo que se clasifica como de ciencias de la ingeniería a una de aplicación. En MSU por varios semestres se impartieron una secuencia de cuatro cursos denominados: Circuitos y Electrónica I, II, III y IV, aplicando este enfoque. A pesar de que los estudiantes estaban contentos con los cursos, hubo sin embargo una fuerte oposición a este enfoque principalmente por los profesores, pocos se sentían capacitados para impartir ambas materias, la mayoría estaba familiarizado con Circuitos, pero no con Electrónica. Se argumentó también que no existían libros de texto con este enfoque. Efectivamente los alumnos empleaban simultáneamente dos textos, uno de Circuitos y otro de Electrónica, teniendo que estudiar de uno u otro, según lo requería el tópico. El autor consideraba esto un aspecto positivo, los ingenieros tienen que consultar más de un libro durante el ejercicio de su profesión para resolver problemas de su práctica profesional. Durante una ausencia del autor durante un año sabático se decidió cambiar este enfoque por el tradicional, dos materias separadas. Lo anterior resulta paradójico, se considera que la integración del conocimiento es un tema muy discutido en los medios académicos. Desdichadamente son pocos los ejemplos de planes de estudio que en lugar de compartimentalizar la enseñanza la integran. Entre las excepciones destaca el plan de estudios de la Universidad de Drexel.^{4,5}

Este novedoso programa tiene por objetivo preparar estudiante:

- con un sólido conocimiento de los fundamentos de ciencias, matemáticas e ingeniería y que puedan aplicarlos a una amplia gama de problemas,
- con conocimientos de métodos experimentales
- con excelentes capacidad de comunicación
- hábiles en el uso de computadoras
- hábiles para pensar en términos del impacto social, ético y político del trabajo de los ingenieros
- familiarizados con principios y la práctica comercial
- conscientes de la necesidad de actualización profesional permanente

La tabla muestra este plan de estudios que en lugar de seguir disciplinas tradicionales enfatiza conceptos básicos y relaciones. Profesores de ingeniería, ciencias y matemáticas y estudiantes discuten conjuntamente cursos interdisciplinarios. Hay que notar que los estudiantes son expuestos a temas de ingeniería desde el primer semestre en un curso denominado "Diseño de Ingeniería y Laboratorio". En este curso los estudiantes trabajan en grupo, mantienen un diario, realizan mediciones de laboratorio, y emplean técnicas analíticas. A medida que avanza el semestre los temas se vuelven más complejos. Durante los dos primeros años de la carrera todos los estudiantes toman los mismos cursos y aprenden los fundamentos que todo ingeniero debe saber.

Tabla Plan de Estudios de Ingeniería de la Universidad de Drexel

Plan de Estudios							
Año	Término						
1	1	Matemáticas y fundamentos físicos de la ingeniería		Fundamentos químicos y biológicos de la ingeniería		Diseño de ingeniería y laboratorio	Estudios de artes liberales
	2						
	3						
2	4	Sistemas	Energía	Materiales	Cursos profesionales	Laboratorio de ingeniería	Estudios de artes liberales
	5						
3	6	Cursos interdisciplinarios	Cursos profesionales del tercer y cuarto año 12 cursos de tres créditos			Laboratorio de ingeniería	Estudios de artes liberales
	7						
4	8	Cursos interdisciplinarios				Cursos profesionales del tercer y cuarto año 12 cursos de tres créditos	
	9						
5	10	Diseño	Optativas técnicas	Optativas profesionales	Optativas libres		
	11						
	12						

Conclusiones

El enfoque "tradicional" en la enseñanza de la electrónica, cursos de electrónica precedidos de cursos de circuitos y complementados con trabajo de laboratorio sigue siendo el empleado con mucha frecuencia, a pesar de sus limitaciones, en particular la falta de un enfoque de integración del conocimiento en lugar de compartimentalización. Con frecuencia, por motivos no académicos, intentos de modificar planes de estudios para eliminar estas deficiencias no tienen éxito. Es de esperarse que en el futuro programas novedosos como el de la Universidad de Drexel, resuelvan estos problemas.

Referencias

- [1] "Criteria for Accrediting Programs in Engineering in the United States", Accreditation Board for Engineering and Technology, Inc. New York, NY, 1992-1993
- [2] A. S. Sedra and K. C. Smith, "Microelectronic Circuits", Fourth Edition, Oxford University Press, New York, Oxford, 1998
- [3] "Montana State University" 1998-2000 Graduate and Undergraduate Bulletin, Bozeman, Montana
- [4] "The Drexel Engineering Curriculum", Drexel University, College of Engineering, Philadelphia, Pennsylvania, 1994
- [5] <http://www.tdec.drexel.edu/default.html>