

Análisis de cursos

EL-3212 Circuitos Discretos y

EL-3213 Circuitos Integrados Lineales

Comisión *ad-hoc* de Escuela de Ing. Electrónica:

Ing. Miguel Hernández Rivera, M.Sc., MAE
Ing. José Alberto Díaz García, MAE
Dr. Johan Carvajal Godínez

Ing. Francisco Navarro Henríquez, M.Sc., MBA
Dr.-Ing. José Pablo Alvarado Moya
Dr.-Ing. Jorge Castro Godínez

Experto invitado:

Dr.-Ing. Juan José Montero Rodríguez

1. Contenido de los cursos

Los dos cursos “EL-3212 Circuitos Discretos” y “EL-3213 Circuitos Integrados Lineales” forman parte del Plan 2100 actual. Se propone una fusión de ambos en el nuevo curso EL-XXXX Circuitos Analógicos.

Para el Plan 809 de Ing. Electrónica el curso EL-3213 fue actualizado resultando en el curso “EL-3216 Circuitos Integrados Analógicos”.

El curso “EL-XXXX Circuitos Analógicos” tendría como requisitos “EL-2207 Elementos Activos” y “EL-2113 Circuitos Eléctricos en Corriente Continua”.

El nuevo curso es requisito del curso CE-4202 Taller de Señales Mixtas. Dicho código del nuevo curso es idéntico al del actual curso CE-4202 Taller de Diseño Analógico y los contenidos son similares.

El curso “CE-2201 Laboratorio de Circuitos Eléctricos” está conceptualmente asociado a este curso.

En cuanto a los atributos a desarrollar en los cursos, se tiene la siguiente comparación.

EL-XXXX Circuitos Analógicos	EL-3212 Circuitos Discretos	EL-3213 Circuitos Integrados Lineales
Conocimiento de Ingeniería (M)	Conocimiento de Ingeniería (M)	Conocimiento de Ingeniería (M)
Herramientas de Ingeniería (M)	Herramientas de Ingeniería (I)	Herramientas de Ingeniería (I)
Análisis de Problemas (M)	Análisis de Problemas (M)	Diseño (I)

La siguiente tabla compara los contenidos de los cursos, donde en **color rojo** se indican los contenidos omitidos.

EL-XXXX Circuitos Analógicos	EL-3212 Circuitos Discretos	EL-3213 Circuitos Integrados Lineales
	Definiciones generales de los amplificadores electrónicos y de los parámetros de caracterización de un amplificador.	
Amplificadores con circuitos discretos (BJT y MOSFET) y sus usos. No incluir espejos de corriente, cascode o diferencial.	Amplificadores electrónicos básicos con transistores de silicio (BJT y MOSFET)	
	Amplificadores avanzados y otras estructuras: Espejos de corriente, Amplificador cascode, Amplificador diferencial.	
	Respuesta de frecuencia: Conceptos fundamentales de respuesta de frecuencia y teorema de Miller, Modelos de alta frecuencia de los transistores BJT y MOSFET y frecuencia de tránsito, Respuesta de frecuencia de configuraciones básicas	
	Realimentación negativa: Consideraciones generales y propiedades básicas de la realimentación negativa, Efectos de la realimentación sobre las características básicas de un amplificador, Técnicas de sensado y retorno, Topologías de realimentación y problemas de estabilidad	
Amplificadores en potencia y etapas de salida.	Etapas de salida y amplificadores de potencia	
Multivibradores.	Multivibradores y Osciladores	
Fundamentos amplificadores operacionales. (parámetros, limitaciones, comerciales)		Fundamentos de los Amplificadores Operacionales. Introducción a los AO y Parámetros.
Topologías de amplificadores operacionales (comparador, seguidor, inversor, no inversor,		Amplificadores Operacionales con realimentación negativa. Circuitos comparadores de

integrador, diferenciador, logaritmo, exponencial, sumador, R-2R, promediador, restador).		voltaje. Circuitos amplificadores sumadores. Circuitos integradores y diferenciadores.
		Limitaciones estáticas y dinámicas de los AO.
		Circuitos de propósito especial con Amplificadores Operacionales: Amplificadores de instrumentación, Amplificadores de aislamiento, Amplificadores Operacionales de Transconductancia (OTA), Convertidores basados en AO (corriente/voltaje o viceversa, voltaje/frecuencia o viceversa)
Filtros pasivos y activos		Filtros Activos: Nociones básicas y diseño de filtros.
Osciladores, entre ellos cristales, 555 o con Amp Op		Circuitos Osciladores: Osciladores con realimentación positiva, Osciladores de relajación y temporizadores.

2. Antecedentes

En el documento de propuesta de modificación del plan se mencionan las universidades en el ranking estadounidense de U.S.News de 2019. Las estructuras de los planes de estudio en esas universidades difieren del modelo estructurado seguido por las carreras de ingeniería en el TEC y en el país. En esos programas se tienen grupos de cursos (centrales, electivos, especialización, etc.). Cada uno de esos grupos contiene un amplio número de cursos, de los cuales cada estudiante debe elegir varios, hasta acumular un determinado número de créditos por grupo. Es importante rescatar que dichos cursos son compartidos entre planes de estudio, tanto de ciencias de la computación como de ingenierías eléctrica/electrónica. Esta es una práctica usual pues, no solo es la mejor opción en cuanto a la utilización de recursos institucionales, sino que el hecho de ser cursos compartidos permite asegurar suficiente población estudiantil que, con intereses variados y de distintas disciplinas, interactúan constantemente a nivel técnico. Esto es un elemento central en la conformación de perfiles interdisciplinarios, lo que es además coherente con el Modelo Académico del ITCR (6.1.g).

3. Observaciones

En cuanto al contenido, se hacen las siguientes observaciones:

1. El programa del curso propuesto EL-XXXX Circuitos Analógicos tiene contenidos que corresponden enteramente al área disciplinar de la Escuela de Ingeniería Electrónica; sin

embargo, la Escuela de Ingeniería Electrónica y su experiencia con esta materia no ha sido tomada en cuenta en la preparación de dicho curso.

2. Por no contar con la información del perfil ocupacional concreta, solo se puede hacer un análisis con la información entregada, sin conocer el contexto que justifica la propuesta de fusión de dos cursos ya densos en uno solo, y sin conocer el objetivo concreto que se desea alcanzar en el perfil en la rama de electrónica analógica. La información presentada hasta el momento parece indicar que el conocimiento en electrónica analógica es bien visto.
3. El programa del curso propuesto EL-XXXX Circuitos Analógicos, indica que no se incluye el tema “amplificador diferencial”, que constituye un fundamento básico para el estudio y comprensión de los circuitos integrados analógicos, tales como el amplificador operacional. El amplificador operacional es cubierto el programa del curso, pero sin haber considerado los conceptos básicos del amplificador diferencial. Esto limita la utilización del amplificador operacional a un nivel muy básico idealizado, e impide abordar apropiadamente aspectos de la aplicación práctica de dichos elementos, que se pretenden cubrir en el curso, lo que es contradictorio.
4. Es bastante extraño colocar en el programa del curso temas que *no* se deben abordar, en vez de los temas que sí se abordan. Más extraño aun es colocar como parte de la censura, contenido que es fundamento de otros temas del mismo curso. Es necesario contar con los datos que justifiquen o sustenten tan inusual práctica.
5. El programa del curso propuesto EL-XXXX Circuitos Analógicos, no incluye los fundamentos clave de repuesta de frecuencia y realimentación negativa, necesarios para el análisis, valoración del desempeño, estabilidad y comprensión del funcionamiento de circuitos analógicos.
6. El programa del curso propuesto EL-XXXX Circuitos Analógicos, no incluye los métodos de compensación de las limitaciones estáticas y dinámicas de los amplificadores operaciones, que representan consideraciones fundamentales para entender el comportamiento real de los circuitos integrados analógicos físicos, y sus implicaciones en aplicaciones reales.
7. El programa del curso propuesto EL-XXXX Circuitos Analógicos, no incluye los temas de amplificadores de instrumentación, amplificadores de aislamiento y convertidores, todos estos componentes esenciales de los sistemas de adquisición de datos, en los procesos de conversión de señales analógico–digital, de digital–analógico y de tratamiento de señales en circuitos mixtos. Sin estos temas no puede realizarse un adecuado abordaje del “acondicionamiento de señales”, y “sistemas de adquisición de datos” propuestos para el siguiente curso CE4202 Taller de Señales Mixtas, en la malla curricular propuesta.
8. El curso EL-XXXX Circuitos Analógicos depende fuertemente de los contenidos del curso EL-2114 Circuitos Eléctricos en Corriente Alterna. La línea de requisitos abre un portillo de matricular el curso sin los fundamentos necesarios en el análisis de circuitos analógicos.
9. El curso CE-XXXX Análisis de Señales Mixtas incluye el tema de diseño de filtros digitales, que al nivel que puede cubrirse en ese curso requiere, como punto de partida, las bases de diseño de filtros analógicos. Sin embargo, ambos cursos no tienen asegurada la sucesión temporal que eso supone. Ni tan siquiera se puede asegurar que los temas se vean secuencialmente en ambos cursos durante el mismo semestre.
10. Las guías curriculares de la IEEE/ACM para el área de conocimiento “Circuitos y Electrónica”, en la unidad de conocimiento CE-CAE-9 Amplificadores Operacionales se indica:
 - 10.1. Resultados de aprendizaje básicos:
 - 10.1.1. Interpretar las propiedades de un amplificador operacional ideal (op-amp).

- 10.1.2. Analizar y diseñar circuitos que contengan amplificadores operacionales ideales para incluir amplificadores inversores y no inversores, amplificadores sumadores y diferenciales, integradores y filtros de paso bajo.
- 10.2. Resultados de aprendizaje electivos:
 - 10.2.1. Contrastar las propiedades de los amplificadores operacionales no ideales para incluir los errores de CC, la relación de rechazo en modo común (CMRR), las resistencias de entrada y salida, la respuesta en frecuencia, la tensión de salida, y las limitaciones de corriente.
 - 10.2.2. Analizar y diseñar circuitos sencillos que contengan op-amps no ideales.
 - 10.2.3. Contrastar y diseñar circuitos de op-amps multietapa.
- 11. Con lo anterior queda en evidencia que la propuesta de modificación según la guía de la IEEE/ACM está dejando esta unidad de conocimiento en un nivel básico, y no se han presentado hasta ahora razones fundamentadas que justifiquen dicho cambio. La información de justificación se solicitó desde noviembre con el oficio EE-522-2021 y no se ha recibido.
- 12. El curso CE-2201 Laboratorio de Circuitos Eléctricos debería ser parte de la línea de requisitos del curso CE-XXXX Circuitos Analógicos, para asegurar una experiencia de laboratorio esencial para la comprensión de circuitos analógicos. El contenido de ese curso CE-2201 es parte del área disciplinar que maneja la Escuela de Ing. Electrónica desde 1975, y debería ser un curso código EL. Ese curso fue impartido por profesores de la Escuela de Ingeniería Electrónica, tal y como se concibió inicialmente la operación del Plan de Estudios 2100.
- 13. El curso CE-4202 Taller de Señales Mixtas en su contenido aparenta complementar al curso CE-XXXX Circuitos Analógicos propuesto, aunque por ser “taller” no queda claro cómo se manejará la cobertura adecuada del contenido teórico necesario para una aplicación con nivel de ingeniería de teoría en la práctica.
- 14. El nombre del nuevo curso CE-4202 “Taller de Señales Mixtas” es semánticamente incorrecto, pues no son las “señales” las que son mixtas, sino los circuitos que manejan señales de los dos tipos (digitales y analógicas). Un nombre más apropiado es “Taller de Circuitos de Señal Mixta”, aunque el contenido claramente difiere de lo especificado en la unidad de conocimiento CE-CAE-10 Mixed-signal circuit design en las guías curriculares de la ACM/IEEE. El nombre del actual “CE-4202 Taller de Circuitos Analógicos” es más coherente con el contenido propuesto para ese curso, en donde un gran porcentaje de los temas están asociados a circuitos analógicos únicamente.
- 15. El contenido tanto del nuevo curso CE-4202 como del anterior es evidentemente parte del área disciplinar que ha cubierto la Escuela de Ingeniería Electrónica desde 1975, y por tanto debe ser un curso código EL. Dicho curso también fue impartido desde los inicios del Área Académica por la Escuela de Ingeniería Electrónica y por Ingenieros en Electrónica.
- 16. Algunos contenidos del nuevo curso CE-XXXX Circuitos Analógicos, por el reducido tiempo disponible para estos, solo podrán ser introducidos de forma general, eventualmente superficial, y sin una continuidad en la presentación de conceptos fundamentales, progresiva, necesaria para el aprendizaje correcto. Esto contradice el nivel indicado para el atributo “Herramientas de Ingeniería”, que podrá abordarse solo con un nivel inicial debido a la menor disponibilidad de tiempo para los temas a cubrir, en comparación con dos cursos separados.
- 17. La condensación de la materia de dos cursos en uno solo obliga a una cobertura superficial de la materia, lo que es contrario al argumento de crear un plan de estudios con un enfoque más práctico: con el tiempo disponible y con las indicaciones de no cubrir los fundamentos prácticos, solo se puede manejar la materia a nivel ideal, alejándolo de la preparación para el análisis de circuitos analógicos reales.

18. En cuanto a las referencias bibliográficas se debe indicar que no se encuentran actualizadas, incluso hace referencia a una empresa que ya no existe, como lo es “National Semiconductor”.
19. La modificación de los cursos tiene implicaciones en plazas y recursos de espacio que no se encuentran detallados en la propuesta. Debido a las implicaciones de la Regla Fiscal en los siguientes lustros, es necesario contar con un análisis completo de las implicaciones en cuanto a recursos de espacio, equipo, y recurso humano que los cambios propuestos implican tanto para el Área Académica, para la Escuela de Ingeniería Electrónica y para el TEC en general.
20. No comprendemos por qué el programa de este y otros cursos considera semestres de 15 semanas, en vez de las 15,5 semanas para impartir contenido que a nivel de acreditación se ha establecido, o 16 semanas que establece la reglamentación del TEC.

4. Propuestas

Para que la Escuela de Ingeniería Electrónica pueda hacer propuestas concretas de mejora, hace falta aún recibir la información solicitada desde noviembre de 2021, en donde se cuente con el detalle de los rasgos del perfil ocupacional. Dependiendo entonces de los objetivos concretos que se persigan con el curso, se visualizan dos posibles caminos de mejora:

1. Como expertos en la materia, la Escuela de Ing. Electrónica recomienda vehementemente mantener el curso ya existente EL-3212 y cambiar el curso EL-3213 por EL-3216, pues esto no solo conduce a una presentación coherente y sólida de los temas asociados a circuitos analógicos, sino que también optimiza el uso de recursos institucionales, brindando además una mejor oferta de horarios para los estudiantes. Se fomenta además la interacción con estudiantes de ingeniería electrónica, lo que es adecuado para la conformación del perfil interdisciplinario de un ingeniero en computadores, tal como fue expuesto por el Ing. Marco Hernández en la contextualización de la propuesta de las modificaciones del plan, y la importancia de visualizar planes interdisciplinarios, que precisamente uno de los aspectos que impulsó la creación del Área Académica de Ingeniería en Computadores.
2. Si existiesen razones de peso para fusionar los dos cursos, debe existir un replanteamiento en la selección y el orden de los temas, y de las líneas de requisitos anteriores y posteriores, para asegurar la continuidad en la presentación de la materia de modo que sea progresiva y acumulativa. Eso se puede hacer únicamente teniendo muy claro el objetivo que se desea alcanzar con el curso, lo que se extrae del perfil ocupacional. Actualmente el contenido del curso CE-XXXX Circuitos Analógicos omite bases necesarias, y presenta temas en un orden sujeto a mejoras para facilitar la comprensión de materia ya de por sí compleja. La Escuela de Ing. Electrónica está anuente a colaborar en el diseño de un curso código EL similar al propuesto, siempre y cuando se cuente con los insumos necesarios, solicitados desde noviembre de 2021 con el oficio EE-522-2021.

Así mismo, para agregar coherencia con el planteamiento de hacer un plan de estudios con orientación más práctica, el curso temáticamente asociado CE-2201 Laboratorio de Circuitos Eléctricos debería estar en la línea de requisitos, y por cubrir temática del área disciplinar de la Escuela de Ingeniería Electrónica, ese curso debería ser sustituido por el curso EL-2111 Laboratorio de Circuitos Eléctricos para optimizar recursos del erario. Además, se sugiere sustituir el curso FI-1202 Laboratorio de Física General II por el curso EL-2110 Laboratorio de Mediciones Eléctricas, para homologar cursos y asegurar el dominio de principios básicos de medición eléctrica y el manejo adecuado del equipo de laboratorio, que tiene elevados costos de adquisición y mantenimiento para la institución.

5. Bibliografía

[1] Joined Task Force on Computer Engineering Curricula. *Computer Engineering Curricula 2016 CE2016 Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Computer Engineering*, ACM/IEEE. Diciembre, 2016.