



## PROGRAMA DEL CURSO

<b>Nombre del Curso:</b>	<b>Circuitos Electrónicos II</b>
<b>Sigla:</b>	EI-0010
<b>Créditos:</b>	4
<b>Requisitos:</b>	EI-0004, EI-0005
<b>Correquisitos:</b>	N/A
<b>Clasificación:</b>	Propio
<b>Ciclo y año:</b>	I Ciclo 2024
<b>Horario:</b>	Virtual: K y V: 19:00 – 20:50 Presencial: S: 8:00 – 10:50
<b>Modalidad:</b>	Bimodal
<b>Profesor:</b>	Oldemar Ramírez, oldemar.ramirez@ucr.ac.cr

### *DESCRIPCIÓN*

La electrónica es la base fundamental para el funcionamiento de toda la tecnología moderna, desde un aparato pequeño y portátil, como un reloj inteligente, hasta el sistema más grande, como una base espacial; están funcionando gracias a las tarjetas electrónicas que los controlan. Estas tarjetas están compuestas por componentes pasivos, semiconductores discretos y tres tipos de circuitos integrados de silicio: analógicos, digitales y mixtos.

Actualmente, la mayoría de integración a gran escala de circuitos electrónicos son mixtos, es decir, que poseen circuitos analógicos y circuitos digitales internamente; ambos tipos de circuitos son complementarios e individualmente cumplen papeles fundamentales para el funcionamiento de la tecnología como la conocemos. Por ejemplo, los circuitos digitales se encargan de procesar la información convertida a bits de forma prácticamente instantánea según el oscilador de reloj, y de almacenar la información, pero también se encargan de controlar el funcionamiento de secciones analógicas; por su parte, los circuitos analógicos se encargan principalmente de interactuar con el mundo físico, como registrar señales, adecuarlas y convertirlas a digital, o convertir señales digitales a analógicas para devolverlas al entorno físico, pero también se encargan de producir y regular fuentes de alimentación, generar oscilaciones de reloj, modular señales para comunicación inalámbrica, entre muchos otros.

El curso Circuitos Electrónicos II de la carrera está enfocado en desarrollar habilidades en circuitos electrónicos analógicos y circuitos electrónicos de señal mixta para funciones de registro de señal, acondicionamiento de señal, generación de señal y modulación de señal de las tarjetas electrónicas de tecnologías. El pilar que fundamenta los circuitos electrónicos analógicos son los amplificadores operacionales, de manera que este será uno de los integrados bases del curso. El amplificador operacional se puede encontrar en su forma individual en las tarjetas, pero en su mayoría, se incluye de forma embebida



en los circuitos integrados mixtos, es decir, los microchips (chips de alta escala de integración microscópica), y es debido a las exigencias de tamaño y costo de las tarjetas modernas.

Durante el semestre, el estudiantado aprenderá no solo habilidades teóricas para el diseño de tarjetas electrónicas, sino también habilidades prácticas para armar prototipos de circuitos y probarlos dentro del laboratorio. El curso será evaluado por proyectos de ingeniería electrónica, de manera que los participantes podrán desarrollar competencias profesionales técnicas y blandas, funcionales para su futura profesión.

**OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar competencias profesionales para la solución de problemas de ingeniería a través de proyectos de electrónica, empleando circuitos integrados analógicos y de señal mixta.

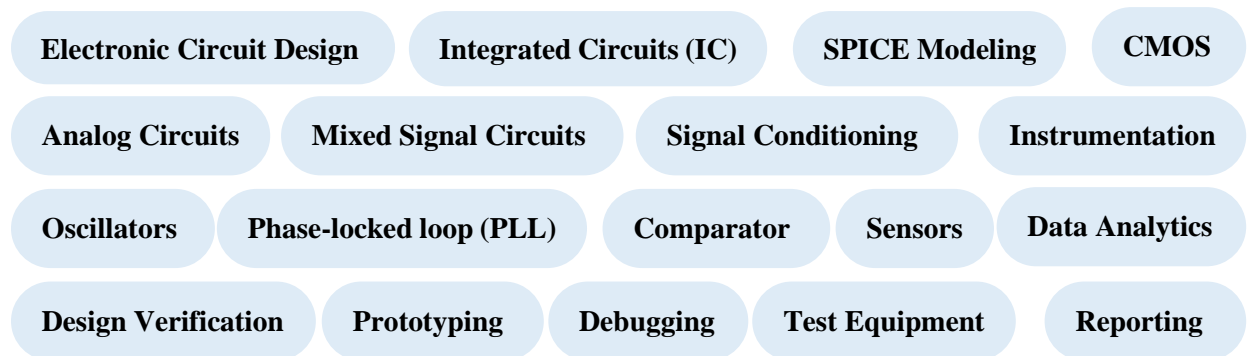
**OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Adquirir habilidades de análisis de circuitos electrónicos aplicados a señales analógicas.
- Desarrollar técnicas de diseño de tarjetas electrónicas para la solución de problemas de ingeniería.
- Practicar la investigación de ingeniería para la fundamentación de proyectos.
- Aprender el uso de software computacional para el análisis, diseño y simulación de sistemas electrónicos.
- Construir competencias de ensamblado de circuitos y uso de aparatos de generación y medición de laboratorio para la experimentación con prototipos.
- Fomentar el crecimiento de habilidades blandas del currículo profesional necesarias para el desarrollo de proyectos de ingeniería.

**COMPETENCIAS**

El currículo del curso les brinda a los estudiantes habilidades funcionales para su futura profesión, en el currículum vitae profesional, las habilidades (skills) se suelen listar como palabra clave, y a su vez este documento se debe redactar en inglés debido a que las ingenierías son carreras de desarrollo de proyectos no solo nacionales, si no también internacionales a través de empleos para compañías extranjeras.

Las habilidades técnicas (hard skills) que desarrolla este curso son,





Las habilidades blandas (soft skills) que potencia este curso son,



### **CONTENIDOS**

El curso está subdividido por 6 temas de la ingeniería electrónica, que a su vez corresponden a cada uno de los proyectos por desarrollar. Además, el curso incluye un breve repaso de los conceptos o competencias básicos que el estudiantado necesitará para comenzar.

#### **Conceptos básicos:**

Dispositivos semiconductores, componentes pasivos, filtros pasivos, señales y sistemas, régimen de frecuencia de circuitos y señales, analógico y digital, pequeña y gran señal, linealidad y relación entrada-salida, acople de impedancias, consumo de energía y potencia.

#### **Proyecto 1, amplificadores de señal:**

Circuito integrado amplificador operacional y sus características, configuraciones de amplificadores, acople de impedancias de circuitos, convertidor digital a analógico.

#### **Proyecto 2, compensación para estabilidad de amplificadores:**

Respuesta de lazo abierto del circuito integrado, función de transferencia del amplificador, diagrama de Bode, análisis de estabilidad de amplificadores, técnicas de compensación.

#### **Proyecto 3, amplificadores de instrumentación y amplificadores de conversión:**

Amplificador de instrumentación, registro de señales, sensores, configuraciones de amplificador convertidor de variable, comunicación inalámbrica infrarroja de señal.

#### **Proyecto 4, comparadores de señal y rectificadores de precisión:**

Comparador simple y de ventana, convertidor analógico a digital, rectificador de precisión, recortador de señal y otros circuitos no lineales.

#### **Proyecto 5, filtros activos de señal:**

Configuraciones de filtros activos, aproximaciones de la respuesta en frecuencia, técnicas de diseño de filtros activos de orden superior.

#### **Proyecto 6, generadores de señal y modulación:**

Osciladores senoidales, osciladores de relajación y multivibradores, modulación por ancho de pulso, osciladores controlados por tensión, lazos de seguimiento de fase, síntesis de frecuencia, demodulación RF.



### **Proyecto 7, aplicación de las competencias de ingeniería electrónica:**

El estudiantado propone y desarrolla un proyecto de ingeniería electrónica básico, a partir de todos los conceptos aprendidos y todas las competencias adquiridas durante el curso.

### **METODOLOGÍA**

El curso está basado en la metodología: **evaluación auténtica por competencias** (authentic assessment based on skills), la cual se enfoca en que los estudiantes usen y apliquen conocimientos y habilidades en entornos de la vida real, es decir, que los estudiantes participen en la realización de tareas del mundo profesional. Por lo tanto, las actividades del curso están enfocadas en el desarrollo de proyectos de ingeniería electrónica de la misma manera en la que se desarrollan estos proyectos en una empresa o compañía, fomentando las habilidades para la investigación, el planeamiento, el trabajo en equipo, revisión entre pares, revisión progresiva de avances, solución de problemas y autonomía del aprendizaje.

Para llevar a cabo este tipo de evaluación, el aprendizaje se divide en tres categorías: **modelado, práctica guiada y práctica autónoma**. Las clases virtuales sincrónicas se clasifican en modelado y práctica guiada, mientras que las clases presenciales son de práctica guiada. Ahora bien, la práctica autónoma se subdivide en grupal e individual; y esta se lleva a cabo fuera de las horas de clase, sujetas a las horas de carga académica que requiere el curso, es decir, la cantidad de créditos.

El estudiantado se subdividirá por grupos de máximo 3 integrantes para llevar a cabo los proyectos del curso, y los proyectos estarán constituidos por 4 módulos diferentes. Cada miembro del equipo debe ser el dueño de un módulo, por lo que el equipo designará de forma autónoma la propiedad de los módulos basados en las fortalezas individuales de los colaboradores, así al menos un módulo puede evitarse. Cada uno de los proyectos tiene una duración de dos semanas, todas las instrucciones, evaluación y detalles de módulo se deben consultar en la guía de proyecto.

#### **Modelado:**

Durante la clase de cada martes, el profesor imparte los contenidos teóricos para el análisis de los circuitos electrónicos y las técnicas de diseño de tarjetas electrónicas de aplicación, y resuelve ejemplos para que los estudiantes aprendan las bases que utilizarán en su práctica autónoma.

#### **Práctica guiada:**

Durante la clase de cada viernes, la sesión se separa por salas según la cantidad grupos de trabajo. En cada sala los estudiantes trabajarán tareas de diseño de circuitos y simulación computacional del módulo seleccionado. El profesor se unirá a las salas para realizar la guía y retroalimentación.

Durante la clase presencial, los estudiantes deberán armar el o los módulos indicados por el profesor en la tarjeta de prototipos, haciendo uso del inventario de componentes del laboratorio, los equipos de alimentación, equipos de generación de señal y equipos de medición; según las instrucciones de la guía de proyecto y del profesor. Con los resultados experimentales, los estudiantes completarán el reporte con sus resultados y el análisis.



**Práctica autónoma:**

Fuera del horario de clases, los miembros del equipo deberán reunirse, virtual o presencialmente, para avanzar colaborativamente con las tareas requeridas de la semana. Y, por otra parte, cada miembro deberá trabajar en su módulo de forma individual. Las tareas incluyen investigación teórica, modelado matemático y redacción del reporte de proyecto.

Para evaluar los proyectos, y, por tanto, asignar la nota individual del curso a los estudiantes, el profesor utilizará dos mecanismos: el uso de herramientas de rastreo de tareas diarias (tracking tools) y la revisión de las entregas semanales de los estudiantes. Las tareas diarias serán evaluadas durante las prácticas guiadas, una **ausencia** a las clases conlleva a pérdida de puntos en evaluación de la semana, y **no se permite** adelantar tareas de práctica guiada fuera de clases. Las entregas semanales de equipo son los avances del reporte de proyecto, minuta de la semana, y coevaluación entre pares (peer review).

El equipo trabajará en roles de liderazgo de proyecto, trabajo colaborativo entre módulos y trabajo individual de módulo propio, y será responsable de reunirse fuera de horario de clase para realizar su práctica autónoma grupal, y completar el avance en el reporte, minuta y revisión de equipo. Además, cada colaborador será responsable de realizar su práctica autónoma individual para completar sus acciones pendientes (action required) de la semana. Todos los archivos entregables se trabajarán en plataformas de edición colaborativo en línea para que todos los miembros puedan editarlo simultáneamente y se pueda exportar fácilmente, las plantillas con el formato requerido serán otorgadas por el profesor.

El equipo entrega el reporte de avance de proyecto, con la investigación, diseños, resultados, y análisis, según aplique, para todos los módulos seleccionados del proyecto, con fecha límite el día de la siguiente práctica guiada virtual. Como la evaluación se realiza individualmente por dueño de módulo, cuando un estudiante incumple con la entrega completa de su módulo, los otros miembros del equipo no se verán afectados, pero deberán incluir el bloqueo de avance en su minuta de la semana y en la revisión entre pares.

Todo el material del curso y espacio para entrega de evaluaciones estarán disponibles a través del sitio de Mediación Virtual, uno de los miembros de equipo se encargará de subir las entregas antes de la fecha establecida. Además, en el sitio virtual se evaluará un quiz rápido semanal, que evalúa el aprendizaje individual de los contenidos.

<https://mv1.mediacionvirtual.ucr.ac.cr/login/index.php>

Sede Regional del Pacífico, Ingeniería Electromecánica Industrial

I - S - 2024 - PPU - Circuitos Electrónicos II – 001

Los comunicados entre el profesor y estudiantes se realizarán a través de esta plataforma, por ello se recomienda sincronizar sus correos institucionales con sus cuentas personales como Gmail. Cuando el equipo de trabajo o un estudiante requiera espacios de consulta con el profesor, deberá solicitar una cita con anticipación a través del chat de la plataforma o correo electrónico, posteriormente se conectará al mismo link de la sesión Zoom de clase. El horario normal de atención es,

K y V: 12:00 – 12:50

S: 15:00 – 16:50



Según el reglamento universitario, cada crédito equivale a 3 horas de trabajo por semana, por lo tanto, el curso EI-0010 requiere de 12 horas de trabajo por semana, la distribución será la siguiente:

<i>Modalidad</i>	<i>Actividad</i>	<i>Horas</i>
<i>Virtual sincrónica</i>	Modelado	2
	Práctica guiada en salas	2
<i>Presencial</i>	Práctica guiada en laboratorio	3
<i>A conveniencia del equipo</i>	Práctica autónoma grupal	2
	Práctica autónoma individual	3

### CRONOGRAMA

Semana		Día	Actividad por tema o proyecto
#	Fecha		
1	11/03-17/03	K	CB0.1 Introducción al curso
		J	CB0.2 Conceptos básicos
		S	CB0.3 Introducción al laboratorio
2	18/03-24/03	K	CM1.1 Circuito integrado amplificador operacional G01 Introducción al simulador de circuitos
		J	PG1.1 Diseño y simulación de amplificador
		S	PL1.1 Ensamblado de amplificador
-	25/03-31/03	S	Semana Santa
3	01/04-07/04	K	CM1.2 Características del circuito integrado G02 Introducción a la documentación de proyectos
		J	PG1.2 Caracterización del circuito en simulador
		S	PL1.2 Recolección de datos
4	08/04-14/04	K	CM2.1 Estabilidad del amplificador
		J	PG2.1 Simulación de estabilidad
		S	PL2.1 Recolección de datos estabilidad
5	15/04-21/04	K	CM2.2 Técnicas de compensación
		J	PG2.2 Diseño y simulación de red de compensación
		S	PL2.2 Recolección de datos circuito compensado
6	22/04-28/04	K	CM3.1 Amplificadores de instrumentación
		J	CM3.1 Amplificadores de instrumentación (continuación)
		S	-
7	29/04-05/05	K	CM3.2 Amplificadores convertidores de variable
		J	PG3.2 Diseño y simulación de amplificador
		S	PL3.2 Ensamblado y recolección de datos
8	06/05-12/05	K	CM4.1 Comparadores
		J	PG4.1 Diseño y simulación del circuito
		S	PL4.1 Ensamblado de circuito
9	13/05-19/05	K	CM4.2 Rectificadores de precisión y otros no lineales
		J	PG4.2 Verificación del diseño
		S	PL4.2 Recolección de datos
10	20/05-26/05	K	CM5.1 Filtros activos



		J	PG5.1 Diseño y simulación del filtro
		S	PL5.1 Ensamblado del filtro
11	27/05-02/06	K	CM5.2 Diseño de filtros activos de orden superior
		J	PG5.2 Verificación del diseño
		S	PL5.2 Recolección de datos del filtro
12	03/06-09/06	K	CM6.1 Generadores de señal
		J	PG6.1 Diseño y simulación oscilador
		S	PL6.1 Recolección de datos oscilador
13	10/06-16/06	K	CM6.2 Circuitos integrados osciladores
		J	PG6.1 Diseño y simulación multivibrador
		S	PL6.1 Recolección de datos multivibrador
14	17/06-23/06	K	CM6.3 Modulación y control de señal
		J	PG7.1 Diseño y simulación de proyecto
		S	PL7.1 Ensamblado de proyecto
15	24/06-30/06	K	CM6.4 Lazos de seguimiento de fase
		J	PG7.2 Diseño y simulación de proyecto
		S	PG7.2 Recolección de datos proyecto
16	01/07-07/07	K	-
		J	-
		S	Exposición proyecto

## EVALUACIÓN

Durante cada una de las 14 semanas de proyectos, se evalúan el desempeño en clase, las entregas y el quiz. El peso evaluativo de los primeros 6 proyectos será uniforme, mientras que para el proyecto final será diferido. La distribución en escala porcentual será:

	Valor unitario	Cantidad	Total
<i>Desempeño en clase</i>	1.1%	12	13.2%
<i>Desempeño en laboratorio</i>	1.1%	12	13.2%
<i>Entregas de avance</i>	3.4%	12	40.8%
<i>Desempeño en clase P7</i>	1.5%	2	3.0%
<i>Desempeño en laboratorio P7</i>	1.5%	2	3.0%
<i>Entregas de avance P7</i>	4.0%	2	8.0%
<i>Quiz</i>	1.1%	14	15.4%
<i>Exposición P7</i>	3.4%	1	3.4%

La rúbrica de evaluación detallada del desempeño en clase y los requisitos de entrega se deben consultar en la guía de proyecto.

El curso se aprueba con una nota mínima de 7.0 en escala base 10. Cuando el estudiante obtiene una nota inferior a 6.75 pero mayor que 5.75, podrá realizar un examen de ampliación de manera presencial, que incluye todos los contenidos del curso y cuya nota mínima aprobatoria es de 70%. En caso de aprobar el



examen, se asignará la nota mínima de 7.0 en el expediente, en caso contrario, se mantiene la nota obtenida en la evaluación del curso.

### **REFERENCIAS**

Franco, S. (2015). *Design With Operational Amplifiers and Analog Integrated Circuits*. Cuarta edición. McGraw Hill.

Carter, B. y Mancini, R. (2018). *Op Amps for Everyone*. Quinta Edición. Elsevier.

Fiore, J. (2018). *Operational Amplifiers & Linear Integrated Circuits: Theory and Application*. Tercera edición. Mohawk Valley Community College.

Razavi, B. (2017). *Design of Analog CMOS Integrated Circuits*. Segunda edición. McGraw-Hill.

Razavi, B. (2020). *Design of CMOS Phase-Locked Loops*. Primera edición. Cambridge University Press.

### **EXTRAS**

Cursos equivalentes en otras universidades:

**Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT):** universidad con ranking #1 del mundo  
6.6000 CMOS Analog and Mixed-Signal Circuit Design

**Tecnológico de Costa Rica (TEC):** universidad con ranking #2 de Costa Rica  
EL3216 Circuitos Integrados Analógicos

**Universidad Nacional del Rosario (UNR):** universidad con ranking #6 de Argentina  
A15 Dispositivos y Circuitos Electrónicos II