

Programa del curso CE 5303

## **Introducción a los Sistemas Embebidos**

Área Académica de Ingeniería en Computadores  
Licenciatura en Ingeniería en Computadores

[Última revisión del programa: 25 de julio de 2022]

## I parte: Aspectos relativos al plan de estudios

### 1 Datos generales

<b>Nombre del curso:</b>	Introducción a los Sistemas Embebidos
<b>Código:</b>	CE 5303
<b>Tipo de curso:</b>	Teórico-Práctico
<b>Electivo:</b>	Sí
<b>N.º Créditos:</b>	4
<b>N.º horas clase/semana:</b>	4 h
<b>N.º horas extraclase/semana:</b>	8 h
<b>% de las áreas curriculares:</b>	30 % Diseño en Ingeniería 70 % Ciencias de Ingeniería
<b>Ubicación en plan de estudios:</b>	Curso del 8º semestre del Programa de Licenciatura en Ingeniería en Computadores
<b>Requisitos:</b>	CE 4301 – Arquitectura de Computadores I
<b>Correquisitos:</b>	Ninguno
<b>El curso es requisito de:</b>	CE 5600 – Trabajo Final de Graduación
<b>Asistencia:</b>	Libre
<b>Suficiencia:</b>	No
<b>Posibilidad de reconocimiento:</b>	Sí
<b>Vigencia del programa:</b>	II Semestre 2022

## 2. Descripción General

En este curso, se introducirá al estudiante al diseño de sistemas embebidos, elemento fundamental en la formación académico – profesional en ingeniería en computadores. Se abarcan las características de software y de hardware de dichos diseños, que deben considerarse en la realización de una tarea específica, con énfasis en el estudio sistemas basados en microprocesadores y sistemas en chip (SoC), que pueden incluir un sistema operativo embebido. También se describirán las herramientas de hardware y software necesarias para el diseño de sistemas embebidos. Además, se describirán sistemas operativos en tiempo real en sistemas embebidos, en particular Linux. La programación de los sistemas se realizará en el lenguaje C.

La metodología del curso busca además reforzar ciertas habilidades no técnicas como el trabajo en equipo y la creatividad, así como los valores de responsabilidad, respeto y tolerancia. El desarrollo de estas habilidades y valores permitirá una ejecución óptima de los diferentes proyectos de manera individual y grupal. Adicionalmente se espera reforzar la creación de documentación técnica como artículos científicos, informes y bitácoras de trabajo.

Se espera que el estudiante haya desarrollado las habilidades y conocimientos necesarios en el dominio de las arquitecturas de computadores, de cursos predecesores como Arquitectura de Computadores I (CE-4301) y Taller de Diseño Digital (CE-3201). Los conocimientos adquiridos en este curso servirán como complemento a los cursos de Proyecto de Diseño de Ingeniería en Computadores (CE-5302) y Trabajo Final de graduación (CE-5600).

En este curso, se pretenden desarrollar, a nivel intermedio (M), los atributos de trabajo individual y en equipo (TE) y diseño (DI), así como la ética y equidad (EE), a nivel inicial (I), según estipulados por la agencia CEAB, correspondientes a los establecidos de acuerdo con el proceso de mapeo de atributos, de la carrera de Ingeniería en Computadores.

Se atenderá caso a caso cualquier necesidad educativa especial, con apoyo del Departamento de Orientación y Psicología y Trabajo Social y Salud de acuerdo con la particularidad de cada caso.

## 3. Objetivos

Objetivo	Atrib.	Nivel*
1. Al finalizar el curso el estudiante estará en capacidad de comprender, aplicar y extender los principios de diseño utilizados en sistemas embebidos modernos, mediante el uso y la creación de herramientas de software y hardware, para tal fin.	• DI	• M

Objetivo	Atrib.	Nivel*
2. Durante el curso, se desarrollarán en el estudiante habilidades de trabajo individual y en equipo, así como de elaboración de documentación técnica, de manera colaborativa, ordenada y concisa, haciendo uso de principios y valores como la ética, equidad, responsabilidad, respeto y tolerancia.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TE</li> <li>• EE</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M</li> <li>• I</li> </ul>

\* Nivel de desarrollo de cada atributo: Inicial, InterMedio o Avanzado.

#### 4. Contenido y Cronograma

Las 16 semanas que abarcan el curso se distribuyen en los siguientes temas:

1. Introducción a los sistemas embebidos. (0,5 Semanas)
  - 1.1. Definición de sistema embebido
  - 1.2. Historia y avances de los sistemas embebidos
  - 1.3. Requisitos para el diseño de sistemas embebidos
  - 1.4. Clasificación de los sistemas embebidos
  - 1.5. Aplicaciones de los sistemas embebidos
  - 1.6. Mercado de los sistemas embebidos
2. Características de los sistemas embebidos (0,5 Semanas)
  - 2.1. Componentes de hardware y software de un sistema embebido
  - 2.2. Compromiso entre el hardware y el software
3. Herramientas para el diseño de sistemas embebidos (2 Semanas)
  - 3.1. Herramientas de software
    - 3.1.1 Toolchains y cross-toolchains
    - 3.1.2 Simuladores
    - 3.1.3 Kits de desarrollo de software (SDKs)
    - 3.1.4 Herramientas de construcción automatizada
  - 3.2. Herramientas de hardware
    - 3.2.1 Estaciones de trabajo (Host machines)
    - 3.2.2 Módulos de evaluación de diseños (EVMs)
    - 3.2.3 Interfaces para la programación y prueba (RS-232, Ethernet, USB, I2C, SPI)
    - 3.2.4 Depuradores y emuladores (On-chip debugging, JTAG, In-circuit emulators)
    - 3.2.5 Analizadores de protocolo.
4. Programación y arranque de sistemas embebidos (2 Semanas)
  - 4.1. Preprocesadores, compiladores y enlazadores en lenguaje C
  - 4.2. Desarrollo cruzado (cross development)
  - 4.3. Optimización de código
  - 4.4. Carga de software en el sistema embebido (Image transfer)
  - 4.5. Escenarios de arranque de un sistema embebido
  - 4.6. Secuencia de software para la inicialización de un sistema embebido
  - 4.7. Programación de sistema operativo y *Bare-metal*
5. Unidades de procesamiento en sistemas embebidos (2 Semanas)
  - 5.1. Descripción de diferentes arquitecturas (ARM, MIPS, etc.)
  - 5.2. Procesadores RISC y Procesadores de Señales Digitales (DSPs)

- 6. Metodología de diseño de sistemas embebidos (2 Semanas)
  - 6.1. Metodologías tradicionales de diseño
  - 6.2. Metodología de co-diseño hardware/software
  - 6.3. Metodologías de diseño basadas en estándares
  - 6.4. El ciclo de vida del diseño de sistemas embebidos
  - 6.5. Exploración del espacio de diseño
- 7. Sistemas en chip (SoC) (4 Semanas)
  - 7.1. Fundamentos de SoC
  - 7.2. Diseño de SoC a nivel de sistema
  - 7.3. Modelado de especificación
  - 7.4. Modelos de Computación (MoC)
  - 7.5. Síntesis de alto nivel (HLS)
  - 7.6. Síntesis de Hardware
  - 7.7. Síntesis de Software
  - 7.8. MPSoC
- 8. Sistemas operativos para sistemas embebidos (2 Semanas)
  - 8.1. Utilización de procesadores de 32 y 64 bits en el diseño de sistemas
  - 8.2. Sistemas operativos en tiempo real (RTOS)
  - 8.3. Sistemas operativos para sistemas embebidos
  - 8.4. Controladores de dispositivos de hardware (*device drivers*)
- 9. Diseño de sistemas confiables (0,5 Semanas)
  - 9.1. Fallas típicas en sistemas embebidos.
  - 9.2. Fuentes de error en el software y el hardware.
  - 9.3. Seguridad y protección
- 10. Sistemas embebidos de baja potencia (0,5 Semanas)
  - 10.1. Fuentes de consumo de energía en los sistemas embebidos.
  - 10.2. Herramientas de perfilado en sistemas embebidos.
  - 10.3. Técnicas de reducción de consumo de energía por hardware y software.

## II parte: Aspectos operativos

**5. Metodología** En este curso, se plantean estrategias de aprendizaje activo, individual, grupal y significativo, por medio de resolución y análisis de problemas, desarrollo de proyectos de diseño y optimización, tareas de investigación, entre otras técnicas.

Los contenidos del curso serán desarrollados por medio de clases magistrales teóricas, realizadas por el profesor, así como talleres prácticos. Durante las clases, el profesor presentará material teórico y demostraciones, en la primera mitad de la lección, y en la segunda parte, los estudiantes realizarán ejercicios individuales y grupales guiados en el taller, empleando herramientas de hardware y de software de código abierto. En periodo extraclase el estudiante deberá desarrollar tareas teóricas y prácticas, de manera individual

y grupal. Asimismo, el estudiante deberá desarrollar los proyectos en forma grupal y colaborativa. El contenido práctico se desarrolla paralelamente con el contenido teórico.

Los requerimientos de los talleres y proyectos, así como materiales adicionales serán ubicados en el TEC Digital. Además, al inicio del curso se asignará a cada grupo un kit de desarrollo embebido para el desarrollo de proyectos y tareas. Cualquier dispositivo extra podrá ser dado en préstamo de acuerdo a los proyectos a desarrollar. Cada estudiante y grupo de trabajo requerirá acceso a un computador de escritorio o portátil, con una distribución de GNU Linux.

## 6. Evaluación

La evaluación del curso se basará en tareas y talleres individuales y en grupo, proyectos grupales y un examen final individual.

Durante el curso se deberán realizar 3 proyectos prácticos de diseño. Se desarrollarán al menos 8 tareas y talleres que complementen los conceptos desarrollados en la clase. Los puntos se distribuirán equitativamente dependiendo del número de trabajos por ítem. Dada la naturaleza práctica del curso, no se podrá optar por un examen de reposición.

En resumen, la evaluación se compone de:

Rubro	Valor (%)	Tiempo estimado entrega
I proyecto	20	Semana 7
II proyecto	15	Semana 11
III proyecto	25	Semana 17
Tareas y talleres	20	1 por semana
Examen Final	20	Semana 16

## 7. Bibliografía

### Obligatoria:

- [1] Daniel D Gajski, Samar Abdi, Andreas Gerstlauer y Gunar Schirner. *Embedded system design: modeling, synthesis and verification*. Springer Science & Business Media, 2009.
- [2] Peter Barry y Patrick Crowley. *Modern embedded computing: designing connected, pervasive, media-rich systems*. Elsevier, 2012.

### Complementaria:

- [3] Tammy Noergaard. *Embedded systems architecture: a comprehensive guide for engineers and programmers*. Newnes, 2012.

- [4] Marilyn Wolf. *High-performance embedded computing: applications in cyber-physical systems and mobile computing*. Newnes, 2014.
- [5] Michael Barr. *Programming embedded systems in C and C++*. O'Reilly Media, Inc., 1999.

## 8. Profesor

MSc. Luis Alberto Chavarría Zamora.

Licenciado en Ingeniería Electrónica, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica (2017).

Maestría en Ingeniería Electrónica con énfasis en Procesamiento Digital de Señales, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica (2019).

Ha trabajado como investigador en el área de integridad de señales en el laboratorio de comunicaciones eléctricas y el laboratorio de computación de alto rendimiento (HPC). También ha trabajado en procesamiento de imágenes en el laboratorio UAS-TEC.

Correo-e [lachavarria@tec.ac.cr](mailto:lachavarria@tec.ac.cr)

Consulta Martes de 2:00pm-3:00pm

Jueves de 2:00pm-3:00pm

Consulta virtual Foros en tecDigital

Oficina F2-Of.20

Teléfono 2550-2565

**Lecciones:** [Enlace](#) - Canal: Lecciones / Quiz

**Consultas:** [Enlace](#) - Canal: Consultas

Colocar apodo: NombreApellido1. [Enlace para cambiar apodo.](#)