

Programa del curso EE-8807

Aplicaciones de sistemas embebidos

Escuela de Ingeniería Electromecánica
Carrera de Ingeniería Electromecánica con énfasis en Sistemas Ciberfísicos

I parte: Aspectos relativos al plan de estudios

1. Datos generales

Nombre del curso:	Aplicaciones de sistemas embebidos
Código:	EE-8807
Tipo de curso:	Teórico - Práctico
Obligatorio o electivo:	Obligatorio
Nº de créditos:	3
Nº horas de clase por semana:	4
Nº horas extraclase por semana:	5
Ubicación en el plan de estudios:	Curso de 8 ^{vo} semestre en Ingeniería Electromecánica con énfasis en Sistemas Ciberfísicos
Requisitos:	EE-0705 Microcontroladores
Correquisitos:	Ninguno
El curso es requisito de:	<i>Énfasis en Sistemas Ciberfísicos:</i> EE-8903 Aplicaciones de Inteligencia Artificial; EE-8907 Automatización y digitalización industrial; EE-8808 Fundamentos de ciberseguridad
Asistencia:	Obligatoria
Suficiencia:	No
Posibilidad de reconocimiento:	Sí
Aprobación y actualización del programa:	01/01/2026 en sesión de Consejo de Escuela 01-2026

2. Descripción general

El curso de *Aplicaciones de sistemas embebidos* aporta en el desarrollo del siguiente rasgo del plan de estudios: desarrollar aplicaciones de sistemas embebidos integrados en sistemas electromecánicos.

Los aprendizajes que los estudiantes desarrollarán en el curso son: programar microcontroladores en lenguaje C++; implementar sistemas operativos en tiempo real (RTOS), en microcontroladores; y aplicar FPGAs para el control y procesamiento de señales digitales.

Para desempeñarse adecuadamente en este curso, los estudiantes deben poner en práctica lo aprendido en el curso de: Microcontroladores.

Una vez aprobado este curso, los estudiantes podrán emplear algunos de los aprendizajes adquiridos en los cursos de: Aplicaciones de Inteligencia Artificial, y Automatización y digitalización industrial.

3. Objetivos

Al final del curso la persona estudiante será capaz de:

Objetivo general

- Desarrollar aplicaciones de sistemas embebidos basados en microcontroladores y arreglo de compuertas lógicas programable en campo (FPGA).

Objetivos específicos

- Programar microcontroladores en lenguaje C++.
- Implementar sistemas operativos en tiempo real (RTOS), en microcontroladores.
- Aplicar FPGAs para el control y procesamiento de señales digitales.

4. Contenidos

En el curso se desarrollaran los siguientes temas:

1. Introducción a sistemas embebidos
 - 1.1. Arquitectura de microcontroladores ARM Cortex-M
 - 1.2. Arquitectura de FPGAs
 - 1.3. Comparación entre sistemas embebidos y sistemas generales
 - 1.4. Aplicaciones modernas de sistemas embebidos: IoT, automatización, y sistemas ciberfísicos
2. Programación en C++ para Sistemas Embebidos
 - 2.1. Introducción a C++ para sistemas embebidos
 - 2.2. Uso de clases, herencia, y polimorfismo en sistemas con recursos limitados
 - 2.3. Patrones de diseño para sistemas embebidos (Singleton, State, Observer)
 - 2.4. Manejo de memoria dinámica y optimización de código
3. Periféricos en ARM Cortex-M
 - 3.1. Configuración y uso de DMA para transferencias de datos eficientes

- 3.2. Uso de RTC (Reloj en Tiempo Real) para aplicaciones de temporización
- 3.3. Implementación de Watchdog Timer para sistemas robustos
- 3.4. Configuración de periféricos como DAC, PWM, y comunicación serial (UART, SPI, I2C)
- 3.5. Configuración de protocolos de comunicación avanzados (CAN, Modbus, Ethernet)
- 4. Comunicación inalámbrica y IoT
 - 4.1. Integración de módulos Wi-Fi y Bluetooth en sistemas embebidos
 - 4.2. Protocolos de comunicación IoT (MQTT, CoAP, HTTP)
 - 4.3. Implementación de sistemas embebidos conectados a la nube
- 5. Sistemas Operativos en Tiempo Real (RTOS)
 - 5.1. Introducción a RTOS: FreeRTOS, Zephyr, y otros
 - 5.2. Gestión de tareas, colas, y semáforos en RTOS
 - 5.3. Implementación de sistemas multitarea en microcontroladores ARM
- 6. Aplicaciones Embebidas Basadas en FPGA
 - 6.1. Introducción a aplicaciones embebidas completamente basadas en FPGA
 - 6.2. Diseño de sistemas de control en FPGA (control de motores paso a paso o servomotores)
 - 6.3. Implementación de procesamiento de señales digitales (DSP) en FPGA (filtrado, transformadas, etc.)
 - 6.4. Aplicaciones de FPGA en sistemas ciberfísicos

II parte: Aspectos operativos

5. Metodología En este curso, se utilizará el enfoque sistémico-complejo para la ejecución de las sesiones magistrales y se integrará la investigación práctica aplicada para las sesiones prácticas. Esta última se implementará mediante técnicas como el modelado, simulación, prototipado y la experimentación controlada.

Las personas estudiantes podrán desarrollar actividades en las que:

- Recibirán clases magistrales con material audiovisual y discusión en grupo sobre aplicaciones de sistemas embebidos
- Programarán y configurarán los periféricos de microcontroladores basados en ARM
- Utilizarán sistemas operativos en tiempo real (RTOS) para gestionar tareas y recursos en sistemas embebidos
- Sintetizarán aplicaciones de sistemas embebidos sencillas basadas en FPGAs
- Desarrollarán un proyecto integrador que combine microcontroladores y FPGAs para resolver un problema real

Este enfoque metodológico permitirá a la persona estudiante desarrollar aplicaciones de sistemas embebidos basados en microcontroladores y arreglo de compuertas lógicas programable en campo (FPGA)

Si un estudiante requiere apoyos educativos, podrá solicitarlos a través del Departamento de Orientación y Psicología.

6. Evaluación La evaluación se distribuye en los siguientes rubros:

- Pruebas parciales: evaluaciones formales que miden el nivel de comprensión y aplicación de los conceptos clave del curso. Generalmente cubren una parte significativa del contenido visto hasta la fecha y pueden incluir problemas teóricos y prácticos.
- Tareas: evaluaciones que tienen el propósito de reforzar, aplicar o evaluar el aprendizaje de un tema específico. Pueden requerir investigación, resolución de problemas, desarrollo de habilidades prácticas o aplicación de conocimientos teóricos.
- Act. aprendizaje activo: actividad diseñada para que los estudiantes se involucren de manera directa y práctica en la construcción de su conocimiento, a través de la resolución de problemas, la discusión y la aplicación de conceptos teóricos en contextos reales o simulados.

Pruebas parciales (2)	60 %
Tareas (6)	15 %
Act. aprendizaje activo (1)	25 %
Total	100 %

De conformidad con el artículo 78 del Reglamento del Régimen Enseñanza-Aprendizaje del Instituto Tecnológico de Costa Rica y sus Reformas, en este curso la persona estudiante **no** tiene derecho a presentar un examen de reposición.

7. Bibliografía

- [1] M. Barr, *Programming Embedded Systems in C and C++*, 1st. O'Reilly Media, 1999.
- [2] J. Yiu, *The Definitive Guide to ARM® Cortex®-M3 and Cortex®-M4 Processors*. Newnes, 2013.
- [3] E. White, *Making Embedded Systems: Design Patterns for Great Software*. O'Reilly Media, 2011.
- [4] J. Valvano, *Embedded Systems: Real-Time Interfacing to ARM Cortex-M Microcontrollers*. CreateSpace Independent Publishing Platform, 2011.
- [5] W. Wolf, *FPGA-Based System Design*. Prentice Hall, 2004.

8. Persona docente

El curso será impartido por:

M.Sc. Nicolás Vaquerano Pineda

Bachillerato en Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica, Costa Rica

Licenciatura en Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica, Costa Rica

Maestría en Ingeniería Electrónica, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica

Correo: nvaquerano@itcr.ac.cr Teléfono: 25509350

Oficina: 14 Escuela: Ingeniería Electromecánica Sede: Cartago