

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

Maestría en Electrónica con énfasis en Sistemas Embebidos. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica

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

Oficina: 0 Escuela: Ingeniería Electromecánica Sede: Cartago