

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

|   |   |
|---|---|
| <b>Nombre del curso:</b>                        | Aplicaciones de sistemas embebidos  |
| <b>Código:</b>                                  | EE-8807   |
| <b>Tipo de curso:</b>                           | Teórico - Práctico  |
| <b>Obligatorio o electivo:</b>                  | Obligatorio   |
| <b>Nº de créditos:</b>                          | 3   |
| <b>Nº horas de clase por semana:</b>            | 4   |
| <b>Nº horas extraclase por semana:</b>          | 5   |
| <b>Ubicación en el plan de estudios:</b>        | Curso de 8 <sup>vo</sup> semestre en Ingeniería Electromecánica con énfasis en Sistemas Ciberfísicos  |
| <b>Requisitos:</b>                              | EE-0705 Microcontroladores  |
| <b>Correquisitos:</b>                           | Ninguno   |
| <b>El curso es requisito de:</b>                | <i>Énfasis en Sistemas Ciberfísicos:</i> EE-8903 Aplicaciones de Inteligencia Artificial; EE-8907 Automatización y digitalización industrial; EE-8808 Fundamentos de ciberseguridad |
| <b>Asistencia:</b>                              | Obligatoria   |
| <b>Suficiencia:</b>                             | No  |
| <b>Posibilidad de reconocimiento:</b>           | Sí  |
| <b>Aprobación y actualización del programa:</b> | 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](mailto:nvaquerano@itcr.ac.cr) Teléfono: 25509350

Oficina: 0 Escuela: Ingeniería Electromecánica Sede: Cartago