



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS  
DE GRAN CANARIA

GUÍA DOCENTE

CURSO: 2020/21

## 51196 - SISTEMAS EMPOTRADOS Y DE TIEMPO REAL

**CENTRO:** 415 - IU de Microelectrónica Aplicada

**TITULACIÓN:** 5048 - MU Electrónica y Telecomunicación Aplicadas

**ASIGNATURA:** 51196 - SISTEMAS EMPOTRADOS Y DE TIEMPO REAL

**CÓDIGO ULPGC:** 51196

**CÓDIGO UNESCO:** 3304

**MÓDULO:** MÓDULO DE OPTATIVIDAD **MATERIA:**

**TIPO:** Optativa

**CRÉDITOS ECTS:** 4,5

**CURSO:** 1

**SEMESTRE:** 2º semestre

**LENGUA DE IMPARTICIÓN (Especificar créditos de cada lengua)**

**ESPAÑOL:** 4,5

**INGLÉS:** 0

### SUMMARY

An embedded system is an electronic system with hardware and software components in a single module and for a specific application. The aim is to achieve high performance and flexibility with relatively low costs and moderate consumption. This type of systems is used in many areas such as new information technologies, mobile communications or specific control systems (home, automotive, aviation). Normally, this type of systems have to face real-time problems, they have to be executed within a deterministic time interval, so it must be designed and evaluated using specific techniques.

The student must identify the technologies involved in embedded systems in the industrial sector, as well as know the current environments of application development in integrated electronics. The student must apply the knowledge acquired in the design and implementation of embedded systems in multidisciplinary environments.

### REQUISITOS PREVIOS

Se recomienda que los alumnos dispongan de conocimientos relativos a las siguientes materias:

- Sistema digitales y arquitectura de microprocesadores.
- Lenguaje de programación C.
- Nociones de sistemas operativos.
- Técnicas básicas de desarrollo de firmware.

### Plan de Enseñanza (Plan de trabajo del profesorado)

### Contribución de la asignatura al perfil profesional:

La asignatura Sistemas Empotrados y de Tiempo Real está enfocada al estudio de las arquitecturas de los procesadores empleados en los sistemas de computación específica. Dichas arquitecturas pueden encontrarse como núcleo de procesamiento en diversos ecosistemas basados en microcontroladores, en SoC y en FPGAs.

Estudiar las modernas técnicas de desarrollo de aplicaciones de firmware, con o sin sistemas operativos, es clave en la formación del alumno en los estudios del máster de investigación.

Los contenidos expuestos en la asignatura, permitirá al alumno convertir el conocimiento de los sistemas empotrados en una poderosa herramienta, con ella podrá generar aplicaciones de forma segura y eficiente en un ámbito muy amplio dentro del sector del diseño electrónico.

## Competencias que tiene asignadas:

Competencias generales: CG1 y CG2.  
Competencias básicas: CB6, CB7, CB8, CB9 y CB10  
Competencias transversales: CT2  
Competencias específicas. CE.O1 y CE.O2

## Objetivos:

OBJ-1: Comprender el alcance que tiene el desarrollo de sistemas empuotrados de tiempo real, identificando los principales campos de aplicación.  
OBJ-2: Identificar los elementos/componentes adicionales necesarios para realizar la interconexión de los diferentes sensores/actuadores al núcleo del sistema, así como realizar la interconexión de los mismos.  
OBJ-3: Conocer los periféricos básicos y avanzados más comunes en el desarrollo de un sistema empuotrado.  
OBJ-4: Describir y utilizar herramientas de hardware y software necesarias para el diseño de sistemas empuotrados.  
OBJ-5: Conocer, distinguir y desarrollar cada una de las fases para la realización de un sistema empuotrado.  
OBJ-6: Desarrollar el firmware de un sistema empuotrado con y sin sistema operativo.  
OBJ-7: Programar y verificar la corrección temporal de un sistema empuotrado de tiempo real.  
OBJ-8: Utilizar librerías, gestión de recursos compartidos y gestión de eventos en el desarrollo del firmware.  
OBJ-9: Programar un sistema empuotrado de tiempo real accediendo directamente a los recursos del micro: puertos, temporizadores, interrupciones, ADCs, PWMs,...

OBJ-10: Programar un sistema empuotrado de tiempo real sobre un sistema operativo de tiempo real (RTOS).

OBJ-11: Comunicar, de forma clara y con capacidad de síntesis, los resultados obtenidos en el desarrollo de cada uno de los proyectos realizados.

## Contenidos:

Breve descripción de contenidos:

- Arquitectura de los sistemas empuotrados.
- Microcontroladores, DSP y SoC. Periféricos.
- Interfaces de comunicaciones en entornos industriales.
- Diseño de firmware en sistemas empuotrados.
- Desarrollo de aplicaciones con RTOS.

BLOQUE DE TEORÍA (total 25 horas)

TEMA 1. Arquitectura de Sistema Empuotrados (3 horas)

- 1.1 Introducción a los sistemas empuotrados.
- 1.2 Flujo de desarrollo con sistemas empuotrados.
- 1.3 Plataformas de desarrollo.

Competencias del tema: [CG-1, CB-6, CE.O1]

Objetivos del tema: [OBJ1, OBJ2]

TEMA 2. Microcontroladores, DSP y SoC. Periféricos (6 horas)

2.1. Arquitectura ARM.

2.2. Microcontroladores, DSP y SoC comerciales.

2.3. ARM Cortex-M

Competencias del tema: [CG-1, CB-6, CE.O1]

Objetivos del tema: [OBJ2, OBJ-3, OBJ-4]

TEMA 3. Interfaces de Comunicaciones en Entornos Industriales (6 horas)

3.1. Interfaces de comunicaciones industriales. Protocolos

3.2. Periféricos altas prestaciones en la familia STM32F4

3.3. Interfaces gráficas.

Competencias del tema: [CG-1, CB-6, CE.O1]

Objetivos del tema: [OBJ2, OBJ-3]

TEMA 4. Diseño de firmware en Sistemas Empotrados (4 horas)

4.1. Técnicas de programación avanzada de firmware. DMA

4.2. Estrategias de diseño firmware.

4.3. Consideraciones de tiempo real en sistemas empotrados.

Competencias del tema: [CG-2, CB-7, CE.O2]

Objetivos del tema: [OBJ-4, OBJ-5, OBJ-6, OBJ-8]

TEMA 5. Desarrollo de aplicaciones con RTOS (6 horas)

5.1. Sistemas operativos en sistemas empotrados

5.2. Metodologías de desarrollos de aplicaciones sobre RTOS

5.2. Sistema operativo FreeRTOS. Gestión de tareas y Mecanismos de sincronización y comunicación

5.3. Ejemplos de desarrollo de aplicaciones en FreeRTOS

Competencias del tema: [CG-2, CB-7, CB-8, CE.O2]

Objetivos del tema: [OBJ-7, OBJ-9, OBJ-10]

BLOQUE DE PRÁCTICAS ( total 15 horas)

-----  
Desarrollo de un sistema electrónico autónomo completo que valide todas las etapas del diseño de un sistema empotrados de tiempo real, usando FreeRTOS y los flujos de diseño y desarrollo de aplicaciones estudiadas en la asignatura.

Los objetivos de este ejercicio son:

- Diseño del firmware que debe conformar las bibliotecas de funciones del hardware del laboratorio.
- Integración funcional de las especificaciones dentro de un sistema operativo empotrado usando las bibliotecas de dispositivos.
- Implementación de las especificaciones del firmware objeto de la práctica.
- Verificación y test de los resultados.

Competencias del trabajo de prácticas: [ CG-2, CB-9, CB-10, CE.O2 ]

Objetivos del trabajo de prácticas: [ OBJ-8, OBJ-9, OBJ-10, OBJ-11 ]

## Metodología:

Las actividades formativas que se utilizarán en esta asignatura son las siguientes:

- \*AF-1. Recibir, comprender y sintetizar conocimientos.
- \*AF-2. Aplicar los contenidos teóricos al análisis y resolución de problemas/casos concretos.
- \*AF-3. Exposición escrita de contenidos, trabajos y prácticas.
- \*AF-4. Asistir y participar en clase.
- \*AF-5. Comprender, plantear y realizar prácticas de laboratorio, analizando los resultados.
- \*AF-6. Elaborar memorias y/o informes.
- \*AF-7. Realizar un trabajo individualmente.
- \*AF-8. Realizar un trabajo en colaboración dentro de un grupo.
- \*AF-9. Búsqueda de referencias bibliográficas.

Estas actividades se realizarán en las siguientes metodologías de enseñanza:

### MÉTODO EXPOSITIVO/LECCIÓN MAGISTRAL.

- Tipo: Enseñanza directa expositiva y demostrativa para aquellos contenidos esenciales y/o que requieran una explicación detallada por parte del profesor.
- Actividades formativas: AF-1, AF-2, AF-4, AF-9
- Nº de créditos ECTS: 2.5
- Bloques temáticos: TEORÍA (TEMA 1,TEMA 2,TEMA 3,TEMA 4 y TEMA 5)
- Competencias adquiridas: CG-1, CG-2, CB-6, CB-7, CB-8, CB-10, CE.01

### ACTIVIDADES PRÁCTICAS.

- Tipo: Actividades presenciales que requieren la transferencia de conocimientos conceptuales con los procedimentales, favoreciendo la autonomía y la capacidad de reflexión de los estudiantes, así como fomentando las habilidades personales, y las interpersonales mediante el trabajo en equipo.
- Actividades formativas: AF-2, AF-4, AF-5, AF-6, AF-8
- Nº de créditos ECTS: 1.5
- Bloques temáticos: PRÁCTICAS
- Competencias adquiridas: CG-2, CB-9, CB-10 y CE.02

### TRABAJOS, PROYECTOS Y MEMORIAS.

- Tipo: Realización y/o exposición individual o en grupo de trabajos monográficos sobre la asignatura.
- Actividades formativas: AF-3, AF-6, AF-7, AF-9
- Nº de créditos ECTS: 0.3
- Bloques temáticos: TEMA 1,TEMA 2,TEMA 3,TEMA 4 y TEMA 5
- Competencias adquiridas: CG-1, CB-9, CB-10 y CE.01

### ACTIVIDADES NO PRESENCIALES.

- Tipo: Actividades destinadas al fomento del estudio y al desarrollo por parte del alumno de las competencias de trabajo autónomo y de autoaprendizaje.
- Nº de créditos ECTS: 6.75
- Bloques temáticos: TEMA 1,TEMA 2,TEMA 3,TEMA 4 y TEMA 5
- Competencias adquiridas: CG-1, CG-2, CB-9, CB-10 y CE.01

### EXÁMENES.

- Tipo: Realización de exámenes parciales y/o finales correspondientes a las distintas asignaturas del plan de estudios.
- Nº de créditos ECTS: 0.2

- Bloques temáticos: TEMA 1,TEMA 2,TEMA 3,TEMA 4 y TEMA 5
- Competencias adquiridas: CG-1, CG-2, CB-6, CB-7, CB-8, CB-10, CE.01

## Evaluación:

### Criterios de evaluación

-----

Los criterios de evaluación son:

Relacionadas con las competencias básicas: Para evaluar estas competencias, el alumno será evaluado mediante prueba escrita (examen final) y prueba práctica (proyecto de prácticas) en los laboratorios.

Relacionadas con las competencias transversales: La evaluación de estas competencias se hará mediante la realización de los trabajos teóricos (trabajos de curso). Se evaluará calidad del trabajo, la capacidad de comunicación, organización de tareas y capacidad para trabajar en equipo (en el caso de trabajos en grupo).

Relacionadas con las competencias de tecnologías de la Telecomunicación: Estas competencias se evalúan mediante prueba escrita (examen final) y prueba práctica (proyecto de prácticas) en los laboratorios.

### Sistemas de evaluación

-----

El sistema de evaluación de esta asignatura está basada en el control de asistencia y en pruebas de evaluación de conocimientos, acordes al siguiente esquema y ponderaciones:

- Asistencia a clase y participación activa (5%)
- Pruebas de teoría. Examen final escrito. (25%)
- Trabajos de curso escritos sobre aspectos relacionados con conceptos teóricos expuestos en la asignatura (20%)
- Trabajos de curso expuestos sobre aspectos relacionados con conceptos teóricos expuestos en la asignatura (15%)
- Trabajos de laboratorio (prácticas) sobre diseño de productos electrónicos (35%)

Las calificaciones parciales de cada una de las partes son válidas para todas las convocatorias (ordinaria, extraordinaria y especial) dentro de curso académico en vigor. No se guardarán partes de un año académico a otro.

### Criterios de calificación

-----

#### CALIFICACIÓN DE TEORÍA:

=====

Los contenidos de la teoría están divididos en ocho temas teóricos donde están fundamentadas la materia de la asignatura. La evaluación teórica constará de:

- Examen final escrito. Este ejercicio supone el 25% de la nota global, donde los alumnos deberán superar al menos el 50% del valor del examen.
- Trabajos teóricos escritos (20% de la nota global). Estará basado en la entrega de informes que realizarán los alumnos a propuesta del profesor.
- Trabajos teóricos expuestos (15% de la nota global). Estará basado en la exposición de trabajos teóricos relacionados con la asignatura que realizarán los alumnos a propuesta del profesor.

#### CALIFICACIÓN DE PRÁCTICAS:

=====

Las prácticas se evaluarán en función del proyecto de prácticas que se desarrollarán los alumnos a lo largo del curso (35% de la nota global)

## RESUMEN

=====

Para aprobar la asignatura en Convocatoria Ordinaria la ponderación de la nota global será:

- Asistencia y participación en clase --> 5% nota global
- Examen final --> 25% nota global
- Trabajos teóricos escritos --> 20% nota global
- Trabajos teóricos expuestos --> 15% nota global
- Proyecto de Prácticas --> 35% nota global

=====

En caso que la enseñanza presencial tuviera que transformarse a enseñanza no presencial la metodología y el sistema de calificación será el siguiente:

=====

## CRITERIOS DE EVALUACIÓN

a) Relacionados con las competencias básicas: Para evaluar estas competencias, el alumno será evaluado mediante prueba escrita (examen final en modalidad on-line a través de los mecanismos de evaluación on-line recomendados por la ULPGC) y prueba práctica (proyecto de prácticas) en los laboratorios. Los ejercicios de laboratorio, debido al carácter intrínseco de los sistemas electrónicos, no pueden realizarse en modalidad no-presencial.

b) Relacionadas con las competencias transversales: La evaluación de estas competencias se hará mediante la realización de los trabajos teóricos (trabajos de curso subidos al campus virtual). Se evaluará calidad del trabajo, la capacidad de comunicación, organización de tareas y capacidad para trabajar en equipo (en el caso de trabajos en grupo).

c) Relacionadas con las competencias de tecnologías de la Telecomunicación: Estas competencias se evalúan mediante prueba escrita (examen final) y prueba práctica (proyecto de prácticas) en los laboratorios. Estas competencias se evalúan mediante prueba escrita (examen final en modalidad on-line a través de los mecanismos de evaluación on-line recomendados por la ULPGC) y prueba práctica (proyecto de prácticas) en los laboratorios. Los ejercicios de laboratorio, debido al carácter intrínseco de los sistemas electrónicos, no pueden realizarse en modalidad no-presencial.

## SISTEMA DE EVALUACIÓN y CRITERIOS DE CALIFICACIÓN

- Asistencia a clase y participación activa en las clases on-line (5%)
- Pruebas de teoría. Examen final escrito en modalidad on-line. (25%)
- Trabajos de curso escritos sobre aspectos relacionados con conceptos teóricos expuestos en la asignatura, y subidos al campus virtual (20%)
- Trabajos de curso expuestos sobre aspectos relacionados con conceptos teóricos expuestos en la asignatura, utilizando los servicios de videoconferencia disponibles y recomendados por la ULPGC (15%)
- Trabajos de laboratorio (prácticas) sobre diseño de productos electrónicos (35%), debido al carácter intrínseco de los sistemas electrónicos, no pueden realizarse en modalidad no-presencial

Las calificaciones parciales de cada una de las partes son válidas para todas las convocatorias (ordinaria, extraordinaria y especial) dentro de curso académico en vigor. No se guardarán partes de un año académico a otro.

## RESUMEN

- Asistencia y participación en clase --> 5% nota global
- Examen final --> 25% nota global
- Trabajos teóricos escritos --> 20% nota global
- Trabajos teóricos expuestos --> 15% nota global
- Proyecto de Prácticas --> 35% nota global

### Plan de Aprendizaje (Plan de trabajo de cada estudiante)

#### Tareas y actividades que realizará según distintos contextos profesionales (científico, profesional, institucional, social)

Contexto científico: Estudio de los avances tecnológicos en el campo del desarrollo de sistemas empotrados de tiempo real

Contexto profesional: Desarrollo de sistemas empotrados tanto al consumidor general como al sector industrial.

Contexto institucional y social: Estudio de aplicaciones e implementaciones prácticas contextualizando los conocimientos adquiridos en el ámbito social, local y global.

#### Temporalización semanal de tareas y actividades (distribución de tiempos en distintas actividades y en presencialidad - no presencialidad)

	Presencial							No Presencial						
	sem	CLT	PTR	CPA	LAB	Tut	Eva	T.P	NP1	NP2	NP3	NP4	NP5	T.NP
sem 1	3	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
sem 2	3	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
sem 3	3	0	0	0	0	0	0	3	0	1	0	0	0	1
sem 4	2	0	1	0	0	0	0	3	1	2	0,5	0	0	3,5
sem 5	2	0	1	0	0	0	0	3	1	2	1	0	0	4
sem 6	2	0	1	0	0	0	0	3	1	2	1	0	0	4
sem 7	3	0	0	0	0	0	0	3	0	3	1	1	0	5
sem 8	1	0	0	2	0	0	0	3	0	3	0	3	0	6
sem 9	1	0	0	2	0	0	0	3	0	3	0	3	0	6
sem 10	1	0	0	2	0	0	0	3	0	3	0	3	0	6
sem 11	1	0	0	2	0	0	0	3	0	3	0	3	0	6
sem 12	1	0	0	2	0	0	0	3	0	3	0	3	0	6
sem 13	1	0	0	2	0	0	0	3	0	3	0	3	0	6
sem 14	1	0	0	2	0	0	0	3	0	3	0	3	0	6
sem 15	0	2	0	1	0	0	0	3	0	0	0	3	0	3
sem 16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sem 17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	5
sem 18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sem 19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sem 20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
									45					67,5

Actividades Presenciales

CLT: Clase teórica

PTR: Presentación de trabajos de grupo

CPA: Clase práctica de aula

LAB: Laboratorio  
Tut: Tutorías  
Eva: Evaluación

Actividades No Presenciales

- NP1: Trabajo teórico
- NP2: Estudio teórico
- NP3: Trabajo práctico
- NP4: Estudio práctico
- NP5: Actividades complementarias

### **Recursos que tendrá que utilizar adecuadamente en cada uno de los contextos profesionales.**

Los alumnos deberán utilizar:

- \* Literatura científica
- \* Hojas de datos de dispositivos electrónicos.
- \* Motores de búsqueda de información en internet.
- \* Laboratorio de trabajo/desarrollo/prototipado.
- \* Módulos de prueba/emulación/prototipado.

### **Resultados de aprendizaje que tendrá que alcanzar al finalizar las distintas tareas.**

Resultados del aprendizaje:

- \* R1: El estudiante identifica los elementos y las tecnologías que conforman los sistemas empotrados en el sector industrial
- \* R2: El estudiante conoce los actuales entornos de desarrollo de aplicaciones en electrónica integrada.
- \* R3: El estudiante aplica los conocimientos adquiridos en el diseño e implementación de sistemas empotrados en entornos multidisciplinares

La relación entre los resultados de aprendizaje y las competencias es la siguiente:

- R1: CG-1, CB-6, CB7, CE.O1
- R2: CG-2, CB-7, CB-9, CE.O2
- R3: CG-2, CB-7, CB-8, CB-9, CB-10 CE.O

## **Plan Tutorial**

### **Atención presencial individualizada (incluir las acciones dirigidas a estudiantes en 5ª, 6ª y 7ª convocatoria)**

La atención presencial se realizará mediante tutorías individualizadas que se desarrollarán en el despacho del profesor y en su horario de tutorías.

\*\*\*\*\*

En caso que la enseñanza presencial tuviera que transformarse a enseñanza no presencial, esta atención individualizada se realizaría utilizando las aplicaciones telemáticas habituales.



## Atención presencial a grupos de trabajo

Mediante tutorías grupales que se desarrollarán en las dependencias adecuadas facilitadas por el Centro, previa solicitud.

\*\*\*\*\*

En caso que la enseñanza presencial tuviera que transformarse a enseñanza no presencial, la atención tutorial a grupos se realizaría utilizando las aplicaciones de videoconferencia habituales

## Atención telefónica

Mediante el uso del teléfono convencional previa solicitud.

## Atención virtual (on-line)

Mediante el uso del correo electrónico y los recursos disponibles en el campus virtual de la ULPGC.

### Datos identificativos del profesorado que la imparte.

#### Datos identificativos del profesorado que la imparte

**Dr./Dra. Alfonso Francisco Medina Escuela**

(COORDINADOR)

**Departamento:** 237 - INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y AUTOMÁTICA

**Ámbito:** 785 - Tecnología Electrónica

**Área:** 785 - Tecnología Electrónica

**Despacho:** INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y AUTOMÁTICA

**Teléfono:** 928452960 **Correo Electrónico:** alfonso.medina@ulpgc.es

**Dr./Dra. Aurelio Vega Martínez**

**Departamento:** 237 - INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y AUTOMÁTICA

**Ámbito:** 785 - Tecnología Electrónica

**Área:** 785 - Tecnología Electrónica

**Despacho:** INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y AUTOMÁTICA

**Teléfono:** 928451231 **Correo Electrónico:** aurelio.vega@ulpgc.es

## Bibliografía

### [1 Básico] An embedded software primer /

David E. Simon.

Addison Wesley,, Boston :

020161569X

### [2 Básico] Problem Solving and Program Design in C

Jeri R. Hanly, Elliot B. Koffman

- (2012 )

978-0-13-293649-1

### [3 Básico] Real-Time Concepts for Embedded Systems

Qing Li

- (2003)

1-57820-124-1

---

**[4 Recomendado] Mastering STM32**

*Carminé Novíello*

- (2017)

---

**[5 Recomendado] Real-Time Embedded Systems : Open-Source Operating Systems Perspective**

*Ivan Cibrario Bertolotti; Gabriele Manduchi*

- (2017)

9781138075160

---

**[6 Recomendado] Embedded Multitasking**

*Keith E. Curtis*

- (2006)

9780750679183

---

**[7 Recomendado] Using the FreeRTOS Real Time Kernel - a Practical Guide - Cortex M3 Edition**

*Richard Barry*

- (2010 )

9781446170304