



Universidad  
Politécnica  
de Cartagena



## Guía docente de la asignatura

# CONTROL DIGITAL DE CONVERTIDORES DE POTENCIA (DIGITAL CONTROL OF SWITCHED- MODE POWER CONVERTERS)

**Titulación: Master en Sistemas Electrónicos e Instrumentación**



## 1. Datos de la asignatura

<b>Nombre</b>	CONTROL DIGITAL DE CONVERTIDORES DE POTENCIA DIGITAL CONTROL OF SWITCHED-MODE POWER CONVERTERS				
<b>Materia*</b>	Control digital de convertidores de potencia				
<b>Módulo*</b>	Control digital de convertidores de potencia				
<b>Código</b>	239101012				
<b>Titulación</b>	Máster en Sistemas Electrónicos e Instrumentación				
<b>Plan de estudios</b>	2016				
<b>Centro</b>	Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial				
<b>Tipo</b>	Optativa				
<b>Periodo lectivo</b>	Cuatrimestral	<b>Cuatrimestre</b>	2º	<b>Curso</b>	1º
<b>Idioma</b>	Castellano				
<b>ECTS</b>	4	<b>Horas / ECTS</b>	30	<b>Carga total de trabajo (horas)</b>	120

\* Todos los términos marcados con un asterisco están definidos en *Referencias para la actividad docente en la UPCT y Glosario de términos:*

<http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/3330/1/isbn8469531360.pdf>

## 2. Datos del profesorado

<b>Profesor responsable</b>	Jacinto Jiménez Martínez		
<b>Departamento</b>	Tecnología Electrónica		
<b>Área de conocimiento</b>	Tecnología Electrónica		
<b>Ubicación del despacho</b>	Antiguo Hospital de Marina, Planta 1, Despacho 1063		
<b>Teléfono</b>	968 32 53 48	<b>Fax</b>	968 32 53 45
<b>Correo electrónico</b>	jacinto.jimenez@upct.es		
<b>URL / WEB</b>	Aula Virtual UPCT y web del departamento: <a href="http://www.dte.upct.es">www.dte.upct.es</a>		
<b>Horario de atención / Tutorías</b>	Consultar aula virtual /tablón de anuncios		
<b>Ubicación durante las tutorías</b>	Despacho del profesor		
<b>Titulación</b>	Ingeniero de Telecomunicación		
<b>Vinculación con la UPCT</b>	Profesor Titular de Escuela Universitaria		
<b>Año de ingreso en la UPCT</b>	1999		
<b>Nº de quinquenios (si procede)</b>	3		
<b>Líneas de investigación (si procede)</b>	Control digital. Electrónica de Potencia. Convertidores CC/CC		
<b>Nº de sexenios (si procede)</b>	-		
<b>Experiencia profesional (si procede)</b>	-		
<b>Otros temas de interés</b>	-		

## 3. Descripción de la asignatura

### 3.1. Descripción general de la asignatura

La electrónica de potencia se ha englobado tradicionalmente dentro de los sistemas continuos, y así también es su relación con la teoría de control. Pero cada vez es más frecuente implementar, tanto la gestión de funciones como el control del convertidor, de forma digital.

Si la implementación se realiza en un hardware basado en microprocesador es necesario incorporar un convertidor A/D para cambiar a formato digital las señales eléctricas involucradas en el control. Por supuesto hay que saber operar con el microprocesador para poder realizar los cálculos más o menos complejos que requiere la implementación de un lazo digital de realimentación de forma adecuada así como producir las señales de disparo que requiera en cada momento el convertidor.

La existencia de una restricción temporal entre la adquisición y la actuación en este tipo de sistemas, implica que el microprocesador esté especializado en tareas de cálculo intensivo. Con los ejemplos prácticos propuestos se puede completar una visión global del control digital de un convertidor de potencia.

### 3.2. Aportación de la asignatura al ejercicio profesional

El nombre de la asignatura indica un aspecto concreto de los sistemas electrónicos: la implementación digital de la regulación y control de un convertidor de potencia. Aspectos que empiezan a estar cada vez más presentes en los sistemas de conversión de energía. Las ventajas de uso de la tecnología digital le confieren un valor importante dentro de las aplicaciones industriales actuales y las que aparecerán en los próximos años.

Tener contacto con las herramientas que pueden emplearse para realizar la integración del control de forma rápida y eficaz es fundamental para enfrentarse de forma adecuada a los problemas que sin duda, surgirán en este campo.

### 3.3. Relación con otras asignaturas del plan de estudios

La asignatura de modelado de sistemas electrónicos del primer cuatrimestre de este master es el paso previo para cursar esta asignatura puesto que constituye la materia básica a partir de la cual se abordaran los conceptos de esta asignatura.

Anteriormente, a nivel de grado, los alumnos habrán cursado asignaturas como Fundamentos de Electrónica, Electrónica Industrial y Electrónica de Potencia, y otras relacionadas con fundamentos de informática y microprocesadores, donde habrán adquirido los conceptos básicos de la electrónica de potencia y los fundamentos de informática, sobre los que construir el conocimiento puesto en juego en esta asignatura.

### 3.4. Incompatibilidades de la asignatura definidas en el plan de estudios

Ninguna.

### 3.5. Recomendaciones para cursar la asignatura

Es importante unos buenos fundamentos de programación y conocer los conceptos básicos de electrónica de potencia

En la asignatura se manejarán textos y manuales en inglés, por lo que, al menos, se requiere una comprensión lectora fluida en esta lengua.

### 3.6. Medidas especiales previstas

Tal como recoge el artículo 6 de la Normativa de Evaluación de la UPCT, el Vicerrectorado correspondiente podrá establecer adaptaciones especiales en la metodología y el desarrollo de enseñanzas para los estudiantes que padezcan algún tipo de discapacidad o alguna limitación, a efectos de posibilitarles la continuación de los estudios.

El alumno que, por sus circunstancias, pueda necesitar de medidas especiales deberá comunicarlo al profesor al inicio del cuatrimestre para establecer los ajustes necesarios para la correcta atención de clases teóricas y prácticas.

Asimismo, los estudiantes extranjeros que puedan tener dificultades con el idioma deben comunicárselo al profesor al inicio del curso. Las pruebas de evaluación pueden desarrollarse en inglés.



## 4. Competencias y resultados del aprendizaje

### 4.1. Competencias básicas\* del plan de estudios asociadas a la asignatura

### 4.2. Competencias generales del plan de estudios asociadas a la asignatura

### 4.3. Competencias específicas\* del plan de estudios asociadas a la asignatura

E06- Utilizar técnica de modelado y simulación para evaluar las prestaciones de un sistema electrónico

E07- implementar algoritmos y métodos numéricos en sistemas digitales adecuándolos al hardware utilizado y a las restricciones temporales

### 4.4. Competencias transversales del plan de estudios asociadas a la asignatura

### 4.5. Resultados\*\* del aprendizaje de la asignatura

Al finalizar la asignatura el alumno deberá ser capaz de:

1. Seleccionar el controlador apropiado en función de las restricciones temporales y complejidad de las acciones de control a realizar.
2. Trasladar los resultados obtenidos mediante simulaciones a plataformas digitales reales.
3. Diseñar y construir controladores digitales con grandes restricciones temporales.
4. Evaluar las diferentes opciones de implementación y los diferentes posibles controles en función de las prestaciones necesarias y las características de hardware de control disponible.
5. Organizar el código del controlador para que el convertidor tenga un funcionamiento robusto. Inclusión de protecciones en previsión de posibles fallos tanto del software (bucles infinitos, variables corrompidas, desbordamientos, etc.) como de la etapa de potencia (cortocircuitos, averías, etc.).

\*\* Véase también la *Guía de apoyo para la redacción, puesta en práctica y evaluación de los resultados del aprendizaje*, de ANECA:

[http://www.aneca.es/content/download/12765/158329/file/learningoutcomes\\_v02.pdf](http://www.aneca.es/content/download/12765/158329/file/learningoutcomes_v02.pdf)

## 5. Contenidos

### 5.1. Contenidos del plan de estudios asociados a la asignatura

Diferencias entre PWM analógico y PWM digital. Muestreo y acondicionamiento de señal. Sincronización entre muestreo y PWM. Número de bits y ciclos límite. Implementación de controladores digitales. Estructura física de un controlador digital.



Efectos del número de bits en la implementación de un controlador digital. Efectos producidos por el retraso en la computación. Ejemplos prácticos: programación de m para control digital

## 5.2. Programa de teoría (unidades didácticas y temas)

### UNIDAD DIDÁCTICA I: INTRODUCCIÓN AL CONTROL DIGITAL DE CONVERTIDORES DE POTENCIA

- T1. Introducción a las aplicaciones de control digital de convertidores de potencia.
- T2. Introducción al hardware de procesamiento discreto. Arquitectura de un microcontrolador de la familia C2000.
- T3. Aspectos básicos de un microcontrolador y su programación. Ejemplos.

### UNIDAD DIDÁCTICA II: EL LAZO DE CONTROL DIGITAL. FUNDAMENTOS E IMPLEMENTACIÓN

- T4. Bloques de un sistema de control digital. Muestreo y cuantificación.
- T5. El convertidor A/D de la familia C2000. Periféricos de control (señales PWM). Aspectos prácticos.
- T6. Aspectos numéricos. El compensador digital. Estructura e implementación
- T7. Aplicaciones y Ejemplos.

## 5.3. Programa de prácticas (nombre y descripción de cada práctica)

- Práctica 1. Entorno de programación del micro F28027. 2 horas.
- Práctica 2. Programación de E/S digitales. Uso de interrupciones. 2 horas.
- Práctica 3. Muestreo de señal y convertidores A/D. 2 horas.
- Práctica 4. Generación de señales PWM. 2 horas.
- Práctica 5. Operaciones y el formato IQMath. 2 horas
- Práctica 6. Implementación de un compensador digital. 2 horas
- Practica 7. Ejemplo de un control digital de un convertidor de potencia. 2 horas
- Práctica 8. Presentación del trabajo final/caso práctico. 6 horas

## Prevención de riesgos

La Universidad Politécnica de Cartagena considera como uno de sus principios básicos y objetivos fundamentales la promoción de la mejora continua de las condiciones de trabajo y estudio de toda la Comunidad Universitaria.

Este compromiso con la prevención y las responsabilidades que se derivan atañe a todos los niveles que integran la Universidad: órganos de gobierno, equipo de dirección, personal docente e investigador, personal de administración y servicios y estudiantes.

El Servicio de Prevención de Riesgos Laborales de la UPCT ha elaborado un "Manual de acogida al estudiante en materia de prevención de riesgos" que puedes encontrar en el Aula Virtual, y en el que encontraras instrucciones y recomendaciones acerca de cómo actuar de forma correcta, desde el punto de vista de la prevención (seguridad, ergonomía, etc.), cuando desarrolles cualquier tipo de actividad en la Universidad. También encontrarás recomendaciones sobre cómo proceder en caso de emergencia o que se produzca algún incidente.



En especial, cuando realices prácticas docentes en laboratorios, talleres o trabajo de campo, debes seguir todas las instrucciones del profesorado, que es la persona responsable de tu seguridad y salud durante su realización. Consúltale todas las dudas que te surjan y no pongas en riesgo tu seguridad ni la de tus compañeros.

#### 5.4. Programa de teoría en inglés (unidades didácticas y temas)

##### **DIDACTIC UNIT I: INTRODUCTION TO DIGITAL CONTROL OF POWER CONVERTERS**

- T1. Introduction: Digital Control Applications to Power Electronics Circuits.
- T2. Introduction to Digital Signal Controllers. Architectures and Features of C2000 Microcontrollers.
- T3. Basics of C2000 Programming Environment and Examples.

##### **DIDACTIC UNIT II: DIGITAL CONTROL LOOP. BASICS AND IMPLEMENTATION**

- T4. Digital Control Loop. Sampling and quantization.
- T5. Control Pheriperals: ADC and PWM modules in C2000 Microcontrollers.
- T6. Numerical Issues. Digital compensator Implementation.
- T7. Applications and Examples.

#### 5.5. Objetivos del aprendizaje detallados por unidades didácticas

##### **UNIDAD DIDÁCTICA I: INTRODUCCIÓN AL CONTROL DIGITAL DE CONVERTIDORES DE POTENCIA**

Definir los conceptos básicos de un sistema de control en un convertidor de potencia y las características de su implementación digital. Describir las características de uno de los posibles microprocesadores de uso industrial, los tipos de arquitecturas y periféricos. Introducir los aspectos básicos de la programación con microcontroladores de este tipo, entorno de trabajo y tipo de lenguaje de programación.

##### **UNIDAD DIDÁCTICA II: EL LAZO DE CONTROL DIGITAL. FUNDAMENTOS E IMPLEMENTACIÓN**

Presentar los bloques de un lazo de control digital. Introducir los aspectos teóricos del control digital relacionados con su implementación. Presentar los periféricos tipo A/D y su configuración, orientada al muestreo y acondicionamiento de las señales involucradas (tensión e intensidad).

Diferenciar entre PWM analógico y PWM digital. Conocer la generación digital de señales PWM con un microcontrolador. Justificar la sincronización entre el muestreo y el PWM e introducir el concepto de ciclo límite y su relación con el número de bits empleados en los periféricos

Conocer la implementación controladores digitales a partir de su estructura teórica. Conocer los efectos de precisión finita en dicha implementación. Estudiar los efectos producidos por el retraso inherente a un sistema digital.

Diseñar el controlador adecuado a cada aplicación. Implementación, en un sistema basado en microcontrolador, del control digital de un convertidor y su incorporación en diferentes aplicaciones.



## 6. Metodología docente

6.1. Metodología docente*			
Actividad*	Técnicas docentes	Trabajo del estudiante	Horas
Clases teóricas y resolución de ejercicios y casos prácticos en el aula	Clase expositiva. Resolución de dudas planteadas por los estudiantes. Se tratarán los temas fundamentales y los aspectos más relevantes y se plantearán y resolverán problemas relacionados.	<u>Presencial</u> : Clase magistral de teoría y prácticas de pizarra y/o casos prácticos. Plantear dudas.	<b>20</b>
		<u>No presencial</u> : Estudio de la materia.	<b>30</b>
Sesiones prácticas	Programación de microprocesadores con ejemplos didácticos y orientados al control digital. En grupos.	<u>Presencial</u> : Prácticas en laboratorio. Contrastar con los conocimientos teóricos.	<b>14</b>
		<u>No presencial</u> : Estudio previo de las prácticas. Revisión del informe de resultados.	<b>10</b>
Trabajo en grupo	Realización de trabajos y diseños prácticos relacionados con la asignatura.	<u>Presencial</u> : Realizar trabajos prácticos en aula/laboratorio con la supervisión del profesor. Plantear dudas.	<b>6</b>
		<u>No presencial</u> : Preparación de informes y finalización de prácticas que hayan quedado inacabadas.	<b>35</b>
Tutorías	Tutorías presenciales y resolución de dudas en foros y correo electrónico.	<u>Presencial</u> : Planteamiento y resolución de dudas en horario de tutorías.	<b>2</b>
		<u>No presencial</u> : Planteamiento de dudas por correo electrónico y en los foros del aula virtual.	<b>0</b>
Exámenes oficiales	Realización de examen final y/o exposición de trabajos	<u>Presencial</u> : Realización del examen y/o exposición de trabajos.	<b>3</b>
		<u>No presencial</u> :	<b>0</b>
			<b>120</b>



## 6.2. Resultados (4.5) / actividades formativas (6.1)

Actividades formativas (6.1)	Resultados del aprendizaje (4.5)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Clases teóricas y resolución de ejercicios y casos prácticos en el aula	X		X	X						
Sesiones prácticas		X		X	X					
Trabajo en grupo	X	X	X		X					
Examen oficial y/o exposición	X		X		X					

## 7. Metodología de evaluación

### 7.1. Metodología de evaluación\*

Actividad	Tipo		Sistema y criterios de evaluación*	Peso (%)	Resultados (4.5) evaluados
	Sumativa*	Formativa*			
Pruebas escritas oficiales*	X		Se evaluará especialmente el aprendizaje individual por parte del alumno de los contenidos específicos disciplinares abordados.	30%	1, 3 y 4
Ejercicios propuestos y/o casos prácticos de entrega posterior**	X		Se evaluará los ejercicios propuestos y/o casos prácticos.	50%	1, 2, 3, 4 y 5
Evaluación de las prácticas	X		Se evaluarán las prácticas de laboratorio y sus informes.	20%	2,3, 5
Otros			-	-	

\* Para superar la asignatura la nota de la prueba escrita oficial debe ser superior a 4.5 (sobre 10) - sólo en ese caso se sumará la nota de las demás actividades.

\*\* La presentación de entregables es obligatoria para superar la asignatura. La nota debe ser superior a 3 (sobre 10).

Tal como prevé el artículo 5.4 del *Reglamento de las pruebas de evaluación de los títulos oficiales de grado y de máster con atribuciones profesionales* de la UPCT, el estudiante en el que se den las circunstancias especiales recogidas en el Reglamento, y previa solicitud justificada al Departamento y admitida por este, tendrá derecho a una prueba global de evaluación. Esto no le exime de realizar los trabajos obligatorios que estén recogidos en la guía docente de la asignatura.

### 7.2. Mecanismos de control y seguimiento (opcional)

El seguimiento del aprendizaje se realizará de la siguiente forma:

- Asistencia a clase. Una baja participación o asistencia a clase indicará que los alumnos no siguen adecuadamente el progreso de aprendizaje propuesto.



Planteamiento de cuestiones sobre la materia.

- Tutorías y dudas sobre ejercicios propuestos.
- Prácticas. Evaluación por el profesor mediante criterios de calidad desarrollados (rúbricas) de informes de laboratorio/problemas propuestos y tareas de diseño aplicadas a casos reales.

## 8 Bibliografía y recursos

### 8.1. Bibliografía básica\*

Todos los textos recomendados están disponibles en el Servicio CRAI Biblioteca de la UPCT: [http://unicorn.bib.upct.es/uhtbin/cgisirsi/x/0/0/57/28/4107/X?user\\_id=WEBSERVER](http://unicorn.bib.upct.es/uhtbin/cgisirsi/x/0/0/57/28/4107/X?user_id=WEBSERVER)

Unidad didáctica I.

- Lapsley, P., Bier, J., Shoham, A., Lee, E.A. DSP Processor Fundamentals: Architectures and Features. Wiley-IEEE Press. 1998.
- Documentación técnica de los microcontroladores empleados. En este caso:
  - TMS320F28027/28026/28023/28022/28021/28020/280200 Piccolo Microcontrollers (Rev. J), Texas Instruments (SPRS523J)
  - C2000 Real-Time Control Peripherals. Reference Guide. Texas Instruments.(SPRU566K)

Unidad didáctica II.

- Buso, S., Mattavelli, P. Digital control in power electronics.
- Corradini, L. Maksimovic, D., Mattavelli, P., Zane, R. Digital Control of High-Frequency Switched-Mode Power Converters

### 8.2. Bibliografía complementaria\*

- 

### 8.3. Recursos en red y otros recursos

- Recursos multimedia, enlaces a videos, enlaces a fabricantes, etc., disponibles en el aula virtual de la asignatura accesible para todos los alumnos matriculados a través de la siguiente dirección: <https://aulavirtual.upct.es/>
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Texas\\_Instruments\\_TMS320#C2000\\_series](http://en.wikipedia.org/wiki/Texas_Instruments_TMS320#C2000_series)

