

# POSTGRADO EN MICROSISTEMAS E INSTRUMENTACIÓN INTELIGENTE. ESTUDIO PROPIO DE LA UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

C. ALDEA, J. BARQUILLAS, B. CALVO, S. CELMA, P. A. MARTINEZ,  
N. MEDRANO, A. OTÍN Y M.T. SANZ

*Departamento de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones. Universidad de Zaragoza.  
España.*

*Este documento expone la justificación académica y social, los objetivos y las líneas básicas que fundamentan la elaboración de un Estudio Propio en Microsistemas e Instrumentación Inteligente. No sólo presenta un elevado interés desde la perspectiva de las titulaciones científicas e ingenierías, demostrando un marcado carácter transversal, sino que recoge la necesidad de formación continua y adquisición de competencias específicas de los nuevos egresados y profesionales en ejercicio.*

## **1. Introducción**

El análisis y la búsqueda de soluciones eficaces a determinados problemas en el ámbito industrial exigen el trabajo conjunto de científicos y técnicos de distintas especialidades, siendo el enfoque multidisciplinar uno de los principales motores del progreso tecnológico de nuestro entorno productivo. A su vez, este progreso plantea una serie de exigencias educativas, especialmente en lo que respecta a los niveles finales de enseñanza universitaria, así como la necesidad de formación continua de profesionales en ejercicio y de adquisición de competencias específicas de los nuevos egresados [1].

Las soluciones adoptadas en respuesta a estas exigencias son específicas y se imponen a un número creciente de titulados universitarios y de profesionales en ejercicio con formación previa muy variada. Además de la formación general en cada una de sus disciplinas, la adquisición y aplicación práctica de conocimientos muy especializados (a nivel metodológico, de ingeniería y diseño, de tecnología, instrumentación y sistemas de evaluación y control) les permite desarrollar métodos de análisis, líneas de investigación e innovación y líneas de desarrollo tecnológico y de gestión. De esta manera se consigue formar a los especialistas que demanda hoy en día nuestro entorno productivo con el fin de mejorar su capacidad de innovación tecnológica.

Por ello, el Postgrado de Microsistemas e Instrumentación Inteligente no sólo plantea una serie de objetivos de carácter científico que permiten al alumno profundizar en temas relacionados con la instrumentación electrónica moderna, sino que además da solución a esa demanda actual de especialistas que el tejido empresarial requiere. Dichos especialistas son imprescindibles a la hora de alcanzar los niveles de competitividad exigidos en la normativa comunitaria [2] y de acometer una serie de acciones orientadas a modernizar el aparato productivo, entre las que cabe destacar la automatización de los equipos de medida y control de calidad.

Desde la perspectiva de las licenciaturas científicas e ingenierías, la realización de este Postgrado es, a nuestro entender, de gran importancia por diversos motivos. Por una parte, supone para el alumno un complemento ideal en su formación integral, ya que le permite profundizar en diferentes temas dentro del ámbito de la instrumentación electrónica actual y la automatización de procesos, y le brinda, además, la oportunidad de aprender y conocer de primera mano las herramientas que se emplean actualmente en los entornos industriales y centros de innovación tecnológica. Por otra parte, para la comunidad científico-técnica, el Postgrado supone la aportación de especialistas que ayuden a mejorar las líneas de trabajo actuales, proporcionando innovación tecnológica que finalmente revertirá en ventajas competitivas de cualquier producto o servicio.

## 2. Aspectos generales

### 2.1 Objetivos

El objetivo general del Título de Postgrado en Microsistemas e Instrumentación Inteligente es formar especialistas capaces de abordar las exigencias que demanda un futuro profesional desarrollado dentro del ámbito más avanzado de la instrumentación electrónica actual y la automatización de procesos, abarcando los dominios que van desde los *smart-sensors* hasta las sofisticadas herramientas *software* actuales.

Como objetivos concretos cabe señalar:

- Proveer conocimiento teórico de las técnicas más avanzadas de la instrumentación inteligente, sistemas de acondicionamiento de señales y sistemas de adquisición de datos, así como conocimientos relativos a la metodología y las herramientas disponibles para el desarrollo, implementación y operación de sistemas de control en entornos industriales.
- Familiarizar al estudiante con las tecnologías más recientes mediante la impartición de tópicos breves, estructurados sobre áreas puntuales que permitan mantenerse alerta en temas de vanguardia como es la de los microsistemas.
- Proporcionar conceptos relacionados con los principios de operación de sensores y actuadores, las características estáticas y dinámicas de los instrumentos, y el procesado de la información en cualquiera de las etapas de la cadena de medida.

### 2.2 Medios materiales

En cuanto a los medios materiales, se dispone de la infraestructura propia de la Facultad de Ciencias, de los recursos propios del departamento y grupos de investigación a los que pertenecen los profesores del Postgrado y de las instalaciones de las entidades colaboradoras.

Entre tales recursos, cabe destacar las infraestructuras y equipos que posee el *Centro de Diseño de ASICs Mixtos*, que cuenta con un Laboratorio de Diseño Microelectrónico y un Laboratorio de Investigación. En el primero es posible realizar el diseño asistido por ordenador de sistemas electrónicos, tanto MEMS (Micro Electro-Mechanical Systems) como ASICs (Application-Specific Integrated Circuits), gracias a las potentes plataformas CAD de las que se dispone (Fig. 1). En cuanto al Laboratorio de Investigación, se localiza en él la Estación de Test para ASICs mixtos, que incluye tanto instrumentación específica como instrumentación controlada por ordenador y sistemas de adquisición de datos.



Fig. 1: Plataformas de diseño de ASICs

También se dispone de Laboratorios de Prácticas con todos los medios destinados a la instrumentación inteligente y monitorización de procesos, tales como tarjetas de adquisición de datos e instrumentación de medida y control con interface GPIB (Fig. 2).

La realización de los créditos prácticos de este Postgrado se lleva a cabo en los Laboratorios del Área de Electrónica destinados a investigación (2º y 3º ciclo), así como en las instalaciones específicas pertenecientes a las diversas entidades y centros colaboradores. Además, se dispone de diferentes espacios, como el Seminario y la Biblioteca, con recursos multimedia para la impartición de las clases teóricas y un extenso fondo bibliográfico a disposición de los alumnos. Es interesante resaltar que para facilitar el carácter semipresencial del Postgrado, se hace uso de las herramientas específicas que ofrece el Anillo Digital Docente de la Universidad de Zaragoza.

### 2.3 Medios personales

Los medios personales que constituyen el cuerpo docente del Postgrado a impartir son profesorado universitario perteneciente al Departamento de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones de la Universidad de Zaragoza (Áreas de Electrónica y Tecnología Electrónica), así como investigadores de diferentes Institutos y Centros del CSIC, y personal técnico cualificado del sector I+D privado.

### 2.4 Instituciones y centros colaboradores

Las distintas entidades colaboradoras y su tipo de participación en el Postgrado se detallan en la Tabla 1. Con el ánimo de presentar una visión abierta, se ha recurrido a la colaboración de centros de investigación tanto de dentro como de fuera de nuestra comunidad autónoma, así como a empresas. De esta forma, el alumno puede analizar las diferentes metodologías, intereses y necesidades de diversas empresas y centros tecnológicos. Además, se ha solicitado la colaboración de los centros en función de su especialidad, con el propósito de que, siempre que sea posible, sean expertos del más alto nivel en una materia los que se encarguen de la formación específica en ella. Así, se recurre a Empresas de Distribución de Instrumentación e Instalación de Sistemas de Control y Medida para impartir seminarios sobre instrumentación avanzada, a Institutos de Microelectrónica y Laboratorios de Sensores para impartir seminarios y prácticas relacionadas con dichas materias, o a Centros Tecnológicos que facilitan el acceso a sus instalaciones en sesiones prácticas.

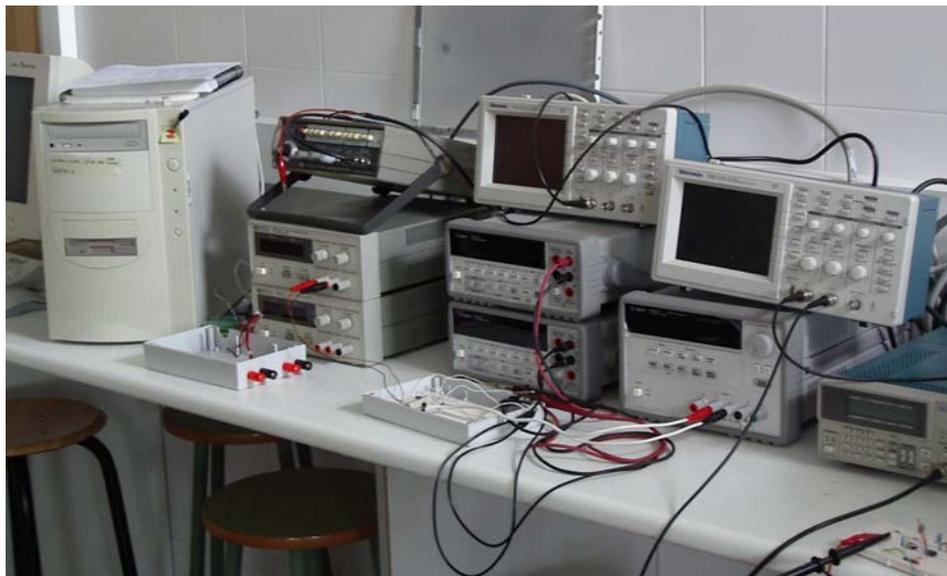


Fig. 2. Instrumentación del laboratorio de prácticas

**Tabla 1. CENTROS COLABORADORES**

<i>Institución</i>	<i>Tipo de aportación</i>	<i>Tipo de convenio</i>
Instrumentación y Componentes	Académica	Seminarios
Instituto de Microelectrónica de Barcelona	Académica	Práctica externa
Instituto de Microelectrónica de Madrid	Académica	Práctica externa
Instituto de Física Aplicada (CSIC) Grupo de Sensores	Académica	Práctica externa y Seminarios
Instituto Tecnológico de Aragón (ITA)	Académica	Práctica externa
Red Española en Microsistemas y Nanotecnologías (IBERNAM)	Académica	Práctica externa y Seminarios

### 3. Plan de estudios

La duración del Postgrado es de un curso académico en modalidad semipresencial. Los créditos ofertados, tal como se muestra en la tabla 2, son 36, de los cuales 3 corresponden al proyecto final y 12 coinciden con asignaturas departamentales ofertadas como de libre elección [3]. El programa ha sido agrupado en cuatro módulos a desarrollar desde Octubre de 2005 a Junio del 2006:

- **MÓDULO I: MICROSISTEMAS.** Consta de la asignatura de *Microelectrónica y Nanotecnología* y la impartición se lleva a cabo durante el primer cuatrimestre.
- **MODULO II: SISTEMAS DIGITALES.** Consta de cuatro asignaturas: *Microsistemas Digitales I y II e Instrumentación Digital I y II*, y la impartición de las mismas se lleva a cabo durante el primer y segundo cuatrimestre.
- **MÓDULO III: INSTRUMENTACIÓN INTELIGENTE.** Consta de las asignaturas de *Sensores e Instrumentación e Instrumentación inteligente* y la impartición de las mismas se lleva a cabo durante el primer y segundo cuatrimestre, respectivamente.
- **MODULO IV: TRABAJOS SUPERVISADOS.** La intensificación requiere la realización de un trabajo tutorizado en una de las líneas marcadas en los módulos anteriores. Es necesaria además la elaboración de un Proyecto Final para la obtención del Título. Este módulo se acomete en el segundo cuatrimestre e incluye la participación de las entidades colaboradoras citadas en el apartado 2.4 para la realización de prácticas externas.

A continuación se describen los contenidos y objetivos de cada uno de estos módulos de manera más detallada.

**Tabla 2. ESTRUCTURA CURRICULAR**

<i>Módulo</i>	<i>Materia</i>	<i>Duración</i>	<i>Breve descripción</i>	<i>Créditos ECTS</i>		
				<i>T</i>	<i>P</i>	<i>T</i>
Microsistemas	Microelectrónica y Nanotecnología	1C	Técnicas de diseño de microsistemas integrados.	3	3	6
Sistemas Digitales	Microsistemas Digitales I	1C	Introducción a los sistemas electrónicos digitales	2	1	3
	Microsistemas Digitales II	2C	Sistemas síncronos y asíncronos.	1	2	3
	Instrumentación Digital I	1C	Sistemas programables.	2	1	3
	Instrumentación Digital II	2C	Circuitos modernos de conversión: descripción y características.	1	2	3
Instrumentación Inteligente	Sensores e Instrumentación	2C	Sensores: principios de operación, técnicas de acondicionamiento de señal y aplicaciones.	3	3	6
	Instrumentación Inteligente	2C	Técnicas de instrumentación y medida asistida por computador.	3	3	6
Trabajos supervisados	Intensificación	1C	Realización de un trabajo tutorizado	1	2	3
	Proyecto Final	2C	Realización de un proyecto a determinar como parte de los criterios de evaluación del curso.	0	3	3
Total créditos				16	20	36

## 4. Módulos del Postgrado

### 4.1. Microsistemas

El objetivo de este módulo es introducir al alumno en las técnicas de diseño de microsistemas integrados. Se pretende que el estudiante obtenga un conocimiento básico, pero suficiente, de todas las fases existentes en el proceso de diseño y fabricación de un microsistema. El punto de partida es el conocimiento general de los fundamentos de los dispositivos semiconductores y de las diferentes tecnologías y procesos para la fabricación de sistemas integrados, haciendo especial énfasis en el transistor MOS como elemento base para la implementación de circuitos en tecnologías CMOS.

De manera más específica, el alumno adquirirá los conocimientos necesarios para la comprensión de celdas paradigmáticas analógicas (como son los circuitos de polarización y amplificadores), digitales (puertas lógicas, puertas de transmisión, memorias) y mixtas (comparadores, muestreadores y convertidores A/D y D/A). Además, adquirirá destrezas en relación al manejo de las herramientas necesarias en cada fase del proceso de diseño-fabricación de un microsistema: modelado SPICE, con sus diferentes niveles de descripción, software de simulación (eléctrico, lógico, simuladores mixtos etc.) y estrategias de layout orientadas a minimizar los efectos de *mismatching* y *offsets* que aparecen en la implementación real de dispositivos electrónicos, entre otros [4].

Finalmente, se presenta al alumno una visión de las nuevas tendencias en diseño de sistemas electrónicos y mecánicos integrados basados en tecnologías de vanguardia que aún se encuentran en fase experimental: bombas para microfluídica, micro y nanomotores, sistemas optoelectrónicos integrados sobre material semiconductor, y los nanotubos de carbono como elemento fundamental en aplicaciones tanto en diseño de sistemas nanoelectrónicos como nanomecánicos.

### 4.2. Sistemas Digitales

Debido a la diversidad en la procedencia de los alumnos del Postgrado, se hace necesario establecer un conjunto de conocimientos básicos que los homogeneicen, permitiendo de esta manera el máximo aprovechamiento de los contenidos. En parte los contenidos de este módulo tienen este objetivo, de forma que aquellos estudiantes que no hayan adquirido las bases necesarias correspondientes a los sistemas digitales puedan obtenerlos aquí, y aquellos que ya disponen de ellos tengan un modo de recordarlos y ampliarlos con las partes de la materia propias del Postgrado.

La primera parte de este módulo es una introducción a los sistemas electrónicos digitales y el estudio de la lógica combinacional. La segunda parte comprende lógica secuencial asíncrona y síncrona. En ella se estudian los problemas relacionados con la sincronización y retraso en la propagación de señales en un circuito, tiempos de subida/bajada y permanencia de señal. Una vez reconocidos los problemas, se profundiza en sus efectos sobre sistemas de instrumentación con problemas basados en casos.

El segundo bloque de este módulo, correspondiente a la Instrumentación Digital aborda el estudio de la lógica secuencial modular, memorias (tipos, arquitecturas y características), dispositivos programables, aritmética binaria avanzada (circuitos sumadores con previsión de acarreo, multiplicadores avanzados, circuitos divisores, etc.). Como circuito emblemático en la conversión de señales del mundo real (básicamente analógicas) en señales digitales, dentro de este módulo se presentan las arquitecturas más relevantes de convertidores de señal analógico/digital y digital/analógico, tanto de muestreo Nyquist como sobremuestreados. Se definen las características dinámicas y estáticas de estos circuitos, trabajando en la identificación de no linealidades (INL y DNL). Finalmente se describe la arquitectura básica de un microprocesador simple y la arquitectura de sistemas de instrumentación digital.

### 4.3. Instrumentación Inteligente

Este módulo proporciona una descripción de los sistemas de medida y sensores. En él se presentan los principios básicos de transducción más usuales empleados por los sensores (de tipo resistivo, capacitivo, eléctrico, magnético, etc.). Se hace un estudio teórico de dichos principios, analizando los procesos físicos y químicos que los favorecen, observando las posibles ventajas y limitaciones de cada tipo en función de las condiciones de medida. Dentro del campo de la sensórica, se presentan diversos ejemplos de sensores integrados, capaces de ser incorporados en la misma pieza de silicio que el circuito acondicionador, introduciendo de esta manera el concepto de sensor inteligente o *smart sensor*. Como continuación natural en un sistema de medida, tras estudiar los sensores se proponen los métodos habituales de acondicionado de señal eléctrica, en especial de señales de bajo o muy bajo nivel o en entornos con mucho ruido, en los que el preprocesado analógico de la señal que contiene la información resulta especialmente importante para mantener la sensibilidad del resto del proceso de medida.

Se presentan, asimismo los tipos más comunes de instrumentos de medida y generación de señales eléctricas, indicando sus principios básicos, características estáticas, dinámicas, rangos, etc. De esta forma, el alumno adquiere los conocimientos necesarios para determinar qué instrumento debe escoger en un proceso determinado de medida en función de sus restricciones de espacio, potencia, resolución, tiempo de vida y, cómo no, precio.

Finalmente se introduce al alumno en las técnicas de instrumentación y medida automatizada asistida por computador. Se presentan los tipos de buses de instrumentación estándar más extendidos, así como los estándares de programación de instrumentos, entre los que cabe destacar el *Standard Commands for Programmable Instruments* o SCPI [5], ampliamente extendido entre los fabricantes de aparatos de medida controlables por computador. En esta parte del módulo de Instrumentación Inteligente es fundamental el uso de herramientas de programación estándar para el proceso de aprendizaje, tanto del lenguaje de programación de instrumentos como del método de programación del computador conectado a aquéllos, de forma que se pueda sacar el máximo rendimiento al sistema completo de medida, incorporando al final de toda la cadena de medida el software apropiado para el análisis y postprocesado de la información adquirida. De nuevo, la gran diversidad del origen de los alumnos del Postgrado hace necesaria la elección de una herramienta de programación relativamente fácil de emplear (que no requiera amplios conocimientos informáticos ni de programación), pero que a su vez sea lo suficientemente potente como para permitir la interconexión del computador a los instrumentos mediante protocolos GPIB, RS-232 o TCP/IP (los seleccionados en nuestro caso) de manera sencilla, y que disponga de potentes librerías de procesado de datos. La elección, en este caso, de Matlab como soporte de esta programación se ha demostrado óptima, por su simplicidad en la programación y la existencia de librerías (o *toolboxes*) que incorporan funciones de control de instrumentos, control, procesado de señal, redes neuronales y otras muchas herramientas de gran utilidad [6, 7].

### 4.4. Trabajos Supervisados

Divididos en dos materias diferentes, los trabajos supervisados están pensados para que el alumno haga un compendio de los conocimientos que ha ido adquiriendo en el resto de módulos, aplicándolos a un problema real concreto que tendrá que resolver en el laboratorio. A diferencia del resto de materias, en las que existe un contenido práctico importante, pero también contenidos teóricos, los trabajos supervisados suponen una labor de campo en la que el tutor se encarga de asesorar al alumno en aquellas situaciones en las que éste se vea incapaz de avanzar por sí mismo, o el avance le suponga un consumo de tiempo excesivo.

En este primer curso, la intensificación supone la realización de un trabajo tutorizado, de entre una serie de trabajos ofertados. Cada alumno, en función de sus intereses y gustos, puede escoger el

que quiera siempre que los medios necesarios (instrumentos, PC, software) estén disponible. Los trabajos propuestos este año han sido:

- Diseño de circuitos microelectrónicos
- Instrumentación electrónica controlada por computador
- Fundamentos físicos y caracterización de sensores
- Filtrado analógico en tiempo continuo
- Análisis y simulación de circuitos mediante SPICE
- Electrónica analógica con circuitos integrados de altas prestaciones
- Microcontroladores: Programación y aplicaciones

El Postgrado finaliza con la realización de un Proyecto de características similares al trabajo de intensificación, que requiere conocimientos de varios de los módulos cursados. Este Proyecto Final se considera como parte de los criterios de evaluación del posgrado.

## **5. Resultados preliminares**

De acuerdo con los objetivos definidos en el apartado 2, después de haber cursado las diferentes materias que constituyen el Título el alumno ha de ser capaz de:

- Adquirir el conocimiento teórico de las técnicas más avanzadas de la instrumentación inteligente, sistemas de acondicionamiento de señales, sistemas de adquisición de datos, etc.
- Aplicar los conocimientos adquiridos relativos a la metodología y las herramientas disponibles para el desarrollo, implementación y operación de sistemas de control en entornos industriales.
- Resolver problemas de automatización en entornos nuevos y multidisciplinarios.
- Diseñar, optimizar y sintetizar sistemas microelectrónicos, tanto analógicos como digitales y mixtos, basados en la tecnología MOS.
- Verificar el funcionamiento de dichos diseños mediante los adecuados instrumentos generadores y de medida.
- Estar familiarizado con las tecnologías más recientes mediante la exposición de temas breves, estructurados sobre áreas puntuales que permitan mantenerse alerta en temas de vanguardia como es la de los microsistemas.
- Conocer los conceptos relacionados con los principios de operación de sensores y actuadores, las características estáticas y dinámicas de los instrumentos, y el procesado de la información en cualquiera de las etapas de la cadena de medida.

## **6. Conclusiones**

En este trabajo se presenta la experiencia de nuestro grupo en la elaboración e impartición de un Postgrado de Microsistemas e Instrumentación Inteligente como Estudio Propio de la Universidad de Zaragoza. El objetivo fundamental de éste es dotar de conocimientos a los estudiantes procedentes de carreras científicas y técnicas que les proporcionen un valor añadido al que disponen por su propia titulación, suministrándoles habilidades y conocimientos adecuados para integrarse en los procesos productivos y de desarrollo más avanzados en empresas de muy distintos ámbitos.

En este primer año de impartición, el número total de matriculados ha ascendido a 15, procedentes de las siguientes titulaciones:

- Ciencias Físicas (6)
- Ingeniería Técnica Industrial (4)
- Ingeniería Industrial (3)
- Ingeniería Informática (1)
- Ciencias Químicas (1)

Debido a que el presente curso académico ha sido el primer año de implantación de este Postgrado, podemos hablar tan sólo de resultados preliminares. No disponemos de los resultados de las encuestas de evaluación, ni del informe de la comisión de estudios propios de la UZ, pero el número de matriculados ha sido altamente satisfactorio, así como el interés mostrado por el alumnado y el amplio abanico de titulaciones de las que proceden, confirmando esto último las necesidades expuestas en la introducción.

### **Referencias**

- [1] A. Argüelles. *Formación basada en competencias laborales*. Ed. Limusa (1997)
- [2] F. Michavila, B. Calvo. *La universidad española hacia Europa*. Ed. A. García Escudero (2000)
- [3] <http://wzar.unizar.es/servicios/epropios/oferta/161.html>
- [4] *Técnicas de EDA. Manual de iniciación con Cadence*. Material docente Área de Electrónica
- [5] *Standard Commands for Programmable Instruments*. SCPI Consortium, vols. I-IV (1999)
- [6] *Getting started with MATLAB*. The MathWorks (2001)
- [7] *Instrument Control Toolbox for use with MATLAB user guide*. The MathWorks (2002)