

<b>Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Cuyo</b>			
<b>P1- PROGRAMA DE ASIGNATURA</b>			
<b>Asignatura:</b>	<b>Microcontroladores y Electrónica de Potencia (309)</b>		
<b>Profesor Titular:</b>	<b>Eduardo E. IRIARTE</b>		
<b>Carrera:</b>	<b>Ingeniería en Mecatrónica</b>		
<b>Año: 2016</b>	<b>Semestre: 7º</b>	<b>Horas Semestre: 60</b>	<b>Horas Semana: 4</b>

### OBJETIVOS

- Analizar, diseñar y seleccionar esquemas y dispositivos para el comando electrónico de mecanismos, involucrando la adquisición, transmisión, procesamiento digital y regulación de potencia.
- Establecer los requerimientos físicos del control (topología, señales de entrada/salida, velocidad de adquisición y procesamiento, memoria, interfaces de comunicación, tensiones, corrientes, potencias, etc.) a partir de las especificaciones del sistema a controlar.

### CONTENIDOS

#### **UNIDAD 1: POSICIONAMIENTO CON EJES ELECTROMECAÑICOS SERVOCONTROLADOS**

##### **1.A Eje mecánico servocontrolado.**

Componentes mecánicos, electromecánicos y electrónicos.

Modos de funcionamiento habituales. Posición-Velocidad-Torque. Referenciado (*homing*)

Consignas de posicionamiento y tipos de trayectorias para sistemas de un eje.

Lazos de control, parámetros y máquinas de estados de un servocontrolador.

##### **1.B Sistemas multi-eje. Generación de trayectorias.**

Generación de trayectorias en sistemas multi-eje. Tipos de movimiento para aplicaciones Punto a Punto y con control continuo de trayectoria.

#### **UNIDAD 2: SENSORES Y ACTUADORES PARA POSICIONAMIENTO.**

##### **2.A Tipos de motores eléctricos de CA y CC.**

CA Sincrónico, CA Reluctancia variable, PaP de reluctancia variable, imán permanente e híbrido, DC con escobillas (BDC), DC sin escobillas (BLDC). Piezomotores.

##### **2.B Accionamiento de motores**

PaP unipolares y bipolares. Esquemas para accionamiento en los distintos modos: paso completo, medio paso, micropaso etc. Cableado. Control de corriente.

DC con escobillas (BDC). Tipos, características y aplicaciones. Esquemas para control unidireccional y bidireccional, modos de puente completo. Uso de microcontroladores o integrados específicos.

DC sin escobillas (BLDC). Características y aplicaciones. Esquemas para control, puente trifásico. Técnicas de conmutación por sensores Hall y por fuerza contra-electromotriz. Uso de microcontroladores o Integrados específicos.

##### **2.C Sensores de posición lineal o angular**

*Synchros* y *Resolvers*. Características, cableado, ventajas y limitaciones.

Codificador óptico absoluto, codificación, ventajas y limitaciones.

Codificador óptico Incremental. Señales. Multiplicación electrónica de la resolución. Interpolación.

Cableado y acondicionamiento de señales de codificadores ópticos.

#### **UNIDAD 3: MICROCONTROLADORES Y OTROS SISTEMAS EMBEBIDOS.**

##### **3.A Microcontroladores, DSPs, FPGAs**

Análisis comparativo de dispositivos de procesamiento y control. Sistemas programables vs lógica cableada (FPGAs vs DSPs/ $\mu$ Cs) en el ámbito del comando electrónico de mecanismos. Lectura de las especificaciones del fabricante (*datasheets*).

Manejo de subsistemas a través de la lectura/escritura de los registros especiales asociados.

##### **3.B Programación**

Lenguaje ensamblador y lenguaje de alto nivel. Características de compiladores orientados a microcontrolador.

### **3.C Configuración y uso de subsistemas.**

Interrupciones. Lógica de interrupciones. Registros asociados. Latencia de interrupciones. Interfaces de comunicación serie asíncronas y síncronas. UART, SPI, I2C, etc. Características eléctricas, topologías y modos de operación.

Subsistemas para control de movimiento: Interfaz A/D. Interfaces de lectura de codificadores ópticos incrementales en cuadratura (QEI). Interfaces de comando PWM para topologías de un transistor, puentes H y trifásicos.

### **3.D Control en tiempo real.**

Uso de temporizadores. Latencias.

Conceptos de sistemas de tiempo real (RTOS): Planificación de Tareas, prioridad, sincronización y comunicación. Uso de un RTOS en microcontrolador.

## **UNIDAD 4: COMUNICACIÓN EN SISTEMAS MULTIEJE. SPI-CANopen-SERCOS**

### **4.A Conceptos básicos del Nivel de Enlace de Datos**

Sincronización de movimientos en sistemas multi-eje. Requisitos de la comunicación. Análisis comparativos de sistemas Maestro-esclavo (Modbus-SPI), CSMA-CD (Ethernet) y CSMA-CA (CAN). *Jitter*.

### **4.B CAN-CANopen**

El bus CAN (ISO 11898). Ubicación en el modelo OSI. Funciones. CAN2.0A/2.0B. Trama, características funcionales, características eléctricas. Hardware específico de microcontroladores con CAN.

CANopen. Características y aplicaciones. Ubicación en el modelo OSI. Especificaciones DS-301 y DS-402. Tramas SDO y PDO. Comando de un servocontrolador por CANopen.

### **4.C Otros protocolos de tiempo real y bajo jitter.**

SERCOS. Versiones, características y aplicaciones. Estándar IEC 61491. Especificaciones de niveles OSI 1, 2 y 7. Topologías. Trama SERCOS. Telegramas. Perfiles. Dispositivos para su implementación. *EtherCAT*. Características y aplicaciones. Perfiles de dispositivo.

## **UNIDAD 5: PROGRAMACIÓN DE APLICACIONES DE POSICIONAMIENTO**

**5.A** Controlador de eje con motor PaP, comandado por puerto serie, utilizando interrupción, con homing, posicionamiento y cambio de velocidad.

**5.B** Controlador de eje con motor DC con escobillas, comandado por puerto serie, utilizando interrupción, con homing, posicionamiento y cambio de velocidades, banda proporcional etc.

**5.C** Coordinador de dos o más servocontroladores con entrada tipo Pulso/Dirección, mediante microcontroladores intermediarios SPI. Desarrollo del programa del coordinador y de los intermediarios.

**5.D** Controlador de eje con motor BLDC. Secuencia de conmutación con y sin sensores.

## **UNIDAD 6: PRINCIPIOS DE ELECTRÓNICA DE POTENCIA**

### **6. A Introducción**

Problemas de la regulación de potencia en régimen de conmutación.

Panorama de los dispositivos de conmutación de potencia, análisis comparativo en coordenadas Tensión/Corriente/Potencia/Frecuencia de conmutación.

### **6.B Dispositivos**

Tiristores, GTOs, IGCTs. Características constructivas, curvas de salida, similitudes y diferencias en el funcionamiento. Ámbito de aplicación.

Transistor bipolar de potencia. Estructura física, curvas de salida, SOA. Segunda ruptura.

MOSFET de potencia. Curvas de salida. SOA. Estructura física en tecnologías clásica, *trench* y superjuntura. Elementos intrínsecos y su influencia en el encendido, bloqueo y encendido inducido.

IGBT. Estructura física. Similitudes y diferencias con el MOSFET. Generaciones. Curvas de salida, SOA. Elementos intrínsecos y su influencia en el encendido, bloqueo y encendido inducido.

### **6.C Agrupamiento de dispositivos**

Conexión en serie y paralelo de dispositivos. Circuitos. Precauciones y limitaciones.

### **6.D Encapsulados y montaje.**

Encapsulados *stud*, base plana, disco (*press pack*), módulos. Descripción de estructura y modo de montaje.

Técnicas de conexión eléctrica-mecánica, factores para análisis comparativo.

### **6.E Análisis térmico**

Modelos y ecuaciones para representar la generación, transmisión y disipación de calor en semiconductores de potencia. Resistencia Térmica. Impedancia térmica. Interpretación de hojas de datos. Disipadores en aire. Disipadores de agua/aceite. Cálculos térmicos sobre ejemplos.

### **6.F Nuevos materiales semiconductores para dispositivos de potencia**

Panorama de últimas tecnologías en semiconductores de Carburo de Silicio y Nitruro de Galio.

## **METODOLOGÍA DE ENSEÑANZA**

La modalidad de clase es aula-taller, con permanente alternancia de teoría y práctica. Las fases posibles son:

Introducción teórica o presentación de procedimientos.

Ejemplificación con uso de simulaciones y gráficas.

Demostración práctica sobre circuitos y sistemas reales.

Ejercicio práctico, planteo de problemas a resolver por los alumnos.

Diálogo sobre resultados de los trabajos realizados.

Tanto los temas teóricos como los ejemplos y ejercicios prácticos se realizan con apoyo de proyector y acceso a Internet para búsqueda de hojas de datos de los dispositivos estudiados. Se hace uso de compiladores C, simuladores y programadores de microcontrolador, llevando algunos ejercicios a placa experimental.

Finalmente se propone un trabajo especial de mediana complejidad, con orientación preferente al control de movimiento de uno o más ejes, aunque se pueden evaluar otras propuestas que involucren un uso intensivo de microcontroladores o dispositivos de potencia.

<b>Actividad</b>	<b>Carga horaria por semestre</b>
Teoría y resolución de ejercicios simples	30
<b>Formación práctica</b>	
Formación Experimental – Laboratorio	30
Formación Experimental - Trabajo de campo	0
Resolución de problemas de ingeniería.	0
Proyecto y diseño: Desarrollo de un sistema mecatrónico	(30)
<b>Total</b>	<b>60 (90)</b>

## **BIBLIOGRAFÍA**

### **Bibliografía básica**

Autor	Título	Editorial	Año	Ejemplares en biblioteca
Angulo Usategui, JM et al	Microcontroladores PIC diseño práctico de aplicaciones.1ra parte	McGraw-Hill	2003	2
Angulo Usategui, JM et al	Microcontroladores dsPIC: Diseño práctico de aplicaciones	McGraw-Hill	2006	-
Tafanera, Antonio R.	Teoría y diseños con microcontroladores PIC	AR Electrónica	2000	1
Martínez García, S et al	Electrónica de Potencia: componentes, topologías y equipos	Paraninfo	2006	-
Hart, D	Electrónica de Potencia	Pearson Ed	2001	1
Rashid, M	Electrónica de potencia : circuitos, dispositivos y aplicaciones	Pearson Ed	1995	1
Balcells, J. Romeral J.L	Autómatas Programables	Marcombo	1997	0

### **Bibliografía complementaria**

Autor	Título	Editorial	Año	Ejemplares en biblioteca
NEMA	NEMA Standards ICS 16	NEMA	2001	web
Valdes-Perez. F. Pallas-Areny, R	Microcontrollers. Fundamentals and applications with PIC	CRC Press	2009	-
Embree, P	C algorithms for real-time DSP	Prentice-Hall	1995	-

Stallings, William	Comunic. y redes de computad.	Prentice-Hall	2004	1
Lathi, B. P.	Introducción a la teoría y sistemas de comunicación	Limusa	2001	1
Emaus B, Klueser J.	Introd. to the CANopen Documentation Family V 2.2.	Vector Inc. Germany	2008	web
Fosler R.	AN945: A CANopen Stack for PIC18 ECAN Microcontrollers	Microchip	2004	web
Paret, D.	Multiplexed Networks for Embedded Systems.	Wiley	2007	-
Wintrich, A et al (Semikron GmbH)	Application Manual Power Semiconductors	SLE Verlag	2011	web

**Hojas de datos y manuales de referencia**

Autor	Título	Editorial	Año	Ejemplares en biblioteca
Custom Computer Serv.	C Compiler Reference manual	CCS	2011	web
Microchip	PIC16F882/3/4/6/7 Datasheet (DS41291F)	Microchip	2009	web
Microchip	PIC18F2420/2520/4420/4520 Datasheet (DS39631E)	Microchip	2008	web
Microchip	PIC182331/2431/4331/4431 Datasheet (DS39616C)	Microchip	2007	web
Microchip	dsPIC33FJ128MCX02/X04 (DS7029)	Microchip	2009	web
Atmel	ATmega48A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P Datasheet	Atmel	2014	web
Atmel	ATmega640/1280/1281/2560/2561	Atmel	2012	web
ARM	ARM Cortex-M series	ARM	2015	web
CiA (CAN in Automation)	CANopen Device profile for drives and motion control, CiA DS402.	CiA	2006	web

**Páginas recomendadas**

**Microcontroladores**

Microchip: [www.microchip.com](http://www.microchip.com)  
Texas Instruments: [www.ti.com](http://www.ti.com)  
Atmel: [www.atmel.com](http://www.atmel.com)  
ARM: [www.arm.com](http://www.arm.com)

**Dispositivos, controladores y módulos de potencia**

International Rectifier: [www.irf.com](http://www.irf.com)  
Semikron: [www.semikron.com](http://www.semikron.com)  
Infineon: [www.infineon.com](http://www.infineon.com)  
Allegro: [www.allegromicro.com](http://www.allegromicro.com)

**Otros**

Revista Bodo's Power: [www.bodospower.com](http://www.bodospower.com)  
Interactive Power Electronics Seminar (iPES): [www.ipes.ethz.ch](http://www.ipes.ethz.ch)

**EVALUACIONES**

La asignatura se aprueba por desarrollo de un trabajo final, con informe, exposición y defensa, previa obtención de la regularidad.

**Para la obtención de la regularidad:**

Asistencia al 75% de las clases teórico-prácticas, con resolución de los ejercicios planteados.  
Aprobación de examen global integrador: Resolución de uno o más problemas de programación, cálculo y cuestionario conceptual.

**Para aprobación de la asignatura:**

Haber obtenido la regularidad.  
Trabajo Especial: Diseño e implementación de un sistema mecatrónico de mediana complejidad con microcontrolador.  
Informe, exposición y defensa.

Eduardo E. Iriarte, 18 de febrero de 2016