

Programa de Dinámica y Control de Sistemas Mecatrónicos



Código:

Identificación y características de la Actividad Curricular

Carrera/s:	Ingeniería Electrónica		
Plan de Estudios:	2014	Caracter:	Optativa
Bloque/Campo:	Tecnologías Aplicadas	Área:	Control
Régimen de cursado:	Cuatrimestral		
Cuatrimestre:	9º [ECA]		
Carga horaria:	96 hs / 6 hs semanales	Formato Curricular:	ECE
Escuela:	Ingeniería Electrónica	Departamento:	Control
Docente responsable:	Sergio Junco		

Programa Sintético

- 1. Sistemas Mecatrónicos: Caracterización. Constitución multifísica mediante integración material de subsistemas. Integración funcional mediante tecnologías de la información, comunicación y control. Campos de aplicación.**
- 2. Modelado, análisis teórico y simulación de sistemas mecánicos, máquinas eléctricas, convertidores electrónicos de potencia y accionamientos y actuadores de diversos dominios físicos.**
- 3. Sistemas de control de máquinas eléctricas, convertidores electrónicos de potencia, accionamientos y actuadores, y su integración jerárquica en sistemas de control de sistemas mecatrónicos.**
- 4. Aplicaciones. Accionamientos Eléctricos en Procesos Industriales; Máquinas de Elevación y Transporte; Robots Gantry; Manipuladores Robóticos; Robots Móviles Autónomos; Robots Manipuladores Móviles. Estudios de casos.**
- 5. Implementación de los sistemas de control. Plataformas físicas: Controladores lógicos programables (PLC) y Unidades con MicroControladores (MCU) y Microcomputadores de placa única. Buses y protocolos de comunicación entre módulos inteligentes, subsistemas y usuarios. Herramientas de software para el desarrollo y ejecución de la ingeniería de control y comunicaciones.**

Asignaturas Relacionadas

Previas: A17-Teoría de Control, A19-Dispositivos y Circuitos Electrónicos III, A14-Sistemas Digitales II.

Simultáneas Recomendadas:

Posteriores:

Vigencia desde 2018

.....

Firma Profesor

.....

Fecha

.....

Firma Aprob. Escuela

.....

Fecha

Con el Aval del Consejo Asesor en su Reunión del 28/02/2018.

Características Generales

Los sistemas mecatrónicos resultan de la integración física de sistemas mecánicos, máquinas eléctricas, convertidores electrónicos de potencia, sensores, actuadores y sistemas de cómputo y comunicación, con el fin de lograr efectos sinérgicos en los equipos y/o procesos así constituidos, lo que se logra complementando la integración física mediante la integración funcional de los sistemas constitutivos vía acciones automáticas de control ejecutadas procesando la información disponible en el sistema a través de herramientas de software.

De los muchos problemas de ingeniería suscitados por esta disciplina, esta asignatura profundiza en el análisis del comportamiento dinámico y el diseño de los sistemas de control de los subsistemas directamente ligados a la conversión energética en un sistema mecatrónico, es decir, de la cadena convertidores de potencia controlados, máquinas eléctricas, sistemas mecánicos. Estos temas se fundamentan y desarrollan teóricamente sobre modelos matemáticos de los componentes. Con menor profundidad teórica y con un enfoque de usuario se tratan aspectos relativos a los otros subsistemas componentes, es decir, sensores, acondicionadores de señales, sistemas de microcómputo y sistemas embebidos. Se presentan en detalle los sistemas de control de movimiento usuales en aplicaciones industriales, así como problemas de dinámica y control de áreas paradigmáticas de aplicación de la mecatrónica, robótica en particular (manipuladores robóticos y robots móviles). Las actividades incluyen clases teóricas, trabajos prácticos de análisis, síntesis y diseño de sistemas de control a validar mediante simulación numérica, trabajos prácticos experimentales precedidos por clases de inducción a los problemas a tratar y las herramientas de hardware y software a emplear, y tratamiento de problemas abiertos de ingeniería articulados con mini-proyectos de diseño.

Objetivos

Que el alumno:

1. Logre una visión global de los sistemas mecatrónicos, de su arquitectura y subsistemas componentes, en base a lo cual pueda especificar la integración de los mismos para una deseada funcionalidad, y comunicar con profesionales de todas las disciplinas pertinentes.
2. Sea capaz de analizar, especificar, integrar, configurar y ajustar accionamientos electrónicos de todas las generaciones tecnológicas presentes en procesos industriales.
3. Pueda realizar, con métodos fundados en modelos matemáticos, la síntesis y el diseño de las estructuras de control de las etapas de conversión energética de sistemas específicos de control de movimiento.
4. Sepa utilizar las técnicas de modelado y simulación de la dinámica de los sistemas mecatrónicos como apoyo para lograr el mejor dimensionamiento de sus subsistemas componentes.
5. Conozca los sistemas de comunicación, dispositivos de microcómputo, sensores y actuadores disponibles en el mercado y de uso regular en sistemas mecatrónicos, así como las herramientas de software necesarias para lograr la integración funcional de los sistemas mecatrónicos.

Contenido Temático

UNIDAD I: CARACTERIZACIÓN DE LA MECATRÓNICA.

I. 1. Constitución de los sistemas mecatrónicos: subsistemas mecánicos, máquinas eléctricas, convertidores electrónicos de potencia, sensores, actuadores, sistemas de cómputo y de comunicación. Tipos de sistemas mecatrónicos: equipos espacialmente concentrados y sistemas/procesos espacialmente distribuidos.

I. 2. Problemas: Integración física, diseño y dimensionamiento. Integración funcional, control y comunicación.

I. 3. Disciplinas científico-técnicas requeridas para el tratamiento de los sistemas mecatrónicos: Máquinas y mecanismos, accionamientos hidráulicos y neumáticos; Electrónica de señal y de potencia, microelectrónica, sensores, actuadores; Modelado matemático, teoría de sistemas, automatización y control; Sistemas de comunicación digital y software.

I. 4. Delimitación del alcance de la asignatura.

UNIDAD II: MODELOS DINÁMICOS, ANÁLISIS Y SIMULACIÓN.

II. 1. Modelos en Ecuaciones de Estado, Euler-Lagrange, Hamiltonianos con puertos de potencia y señal, Diagramas de bloques y Bond Graphs de sistemas multifísicos.

II. 2. Sistemas mecánicos roto-traslacionales. Dinámica multicuerpo. Aplicación a manipuladores robóticos.

II. 3. Accionamientos electrohidráulicos y electroneumáticos: Electroválvulas. Cilindros hidráulicos y neumáticos.

II. 4. Motores Eléctricos. Clasificación: de corriente continua (cc) y alterna (ca); con y sin escobillas; con y sin imanes permanentes. Modelos de Motores de cc de Imán Permanente, de Excitación Separada y Serie. Motores de Inducción y Sincrónicos. Motores BLDCM (*BrushLess DC Motor*), PMSM (*Permanent Magnet Synchronous Motor*). Motores de Reluctancia Variable: Paso a Paso, de Reluctancia Conmutada (*Switched Reluctance Machine*), y de Reluctancia Sincrónicos (*Synchronous Reluctance Machines*), de Imán Permanente e Híbridos.

II. 5. Convertidores Electrónicos de Potencia controlados (CEP). Convertidores dc-dc buck, boost, buck-boost. Rectificadores e inversores controlados. Modelos funcionales conmutados, promediados y linealizados.

UNIDAD III: SISTEMAS DE CONTROL

III. 1. Estructuras de control clásicas monolazos y jerárquicas en cascada. Estructuras multivariables. Control lineal y no-lineal. Problemas de regulación, servomecanismos (*tracking*) y rechazo de perturbaciones. Adquisición de información mediante medición directa, observación y estimación.

III. 2. Sistemas de control de motores eléctricos. Controladores escalares y vectoriales. Control de cupla, velocidad y posición.

III. 3. Control de convertidores electrónicos de potencia. Modulaciones PWM clásicas y vectoriales (SVM: Space Vector Modulation).

III. 4. Control de accionamientos y actuadores electromecánicos, hidráulicos y neumáticos.

III. 5. Integración jerárquica de los sistemas de control de máquinas eléctricas controladas y actuadores en los sistemas de control de sistemas mecatrónicos.

UNIDAD IV: APLICACIONES

IV. 1. Accionamientos Eléctricos en Sistemas Industriales. Accionamientos multimáquina con regulador de velocidad único y con múltiples controladores coordinados. Control de velocidad en masas acopladas con dinámica torsional. Control de posicionamiento lineal constante y variable. Aplicaciones: trenes de laminación, bobinadores-debobinadores, máquinas de elevación y transporte, etc.

IV. 2. Robótica. Manipuladores Robóticos. Robots Gantry. Robots Móviles. Robots Manipuladores Móviles.

IV. 3. Mecatrónica en máquinas herramientas, aparatos domésticos y de oficina. Posicionamiento de precisión (compensación de juego y fricción seca). Estudios de casos.

IV. 4. Control de accionamientos electromecánicos, electrohidráulicos y electroneumáticos en procesos industriales y aparatos de maniobra en sistemas eléctricos.

IV. 5. Mecatrónica en vehículos. Control de inyección. Suspensiones activas y semi-activas. Tracción, frenado y estabilidad en vehículos convencionales, eléctricos e híbridos.

IV. 6. Control y gestión energética en sistemas mecatrónicos integrantes de sistemas estacionarios (redes eléctricas inteligentes) y móviles (vehículos terrestres, aéreos, híbridos, ...).

UNIDAD V:

V. 1. Plataformas para la implementación de algoritmos de control. Controladores Lógicos Programables (PLC). Conceptos de programación. Instrucciones básicas y avanzadas. Sistemas embebidos basados en microcontroladores (MCU) y microcomputadores de placa única. Características y usos. Aplicación en convertidores electrónicos de potencia.

V. 2. Software para programación, configuración y ejecución de los algoritmos de control. Herramientas para desarrollo de la ingeniería de sistemas de automatización industrial. Sistemas adquirentes de datos y control supervisor (SCADAs). Programación de microcontroladores y

microprocesadores de placa única. Lenguajes de bajo nivel. Periféricos integrados de E/S. Software de control y comunicación.

V. 3. Comunicación e interacción entre subsistemas, con otros sistemas y con el usuario. Realización física de entradas y salidas. Acondicionamiento y acoplamiento de E/S. Interfaces Hombre-Máquina (HMI).

V. 4. Buses y protocolos de comunicación industriales. Industrial Ethernet, Profinet, Profibus y AS-i; arquitecturas, configuración y programación. Buses de comunicación de bajo nivel para sistemas embebidos. CAN, I2C, SPI, UART, arquitecturas, configuración y programación.

Modalidades de enseñanza-aprendizaje

Educación centrada en los alumnos articulada en base a:

1. Clases teóricas de: i) encuadre de los temas a desarrollar, ii) fundamentación rigurosa de los métodos de análisis y control de los subsistemas de la cadena de potencia de los sistemas mecatrónicos, y iii) de presentación-inducción a las tecnologías de sensores y de implementación de controladores y sistemas de comunicación.
2. Análisis mediante simulación intensiva de subsistemas y sistemas mecatrónicos como forma de consolidación de los conocimientos teóricos subyacentes.
3. Comprensión de los problemas asociados a la implementación como producto mecatrónico de los resultados teóricos de la ingeniería, sus soluciones, y los ingredientes necesarios adicionales a los previstos por la teoría, mediante experimentación intensiva con equipos comerciales.
4. Resolución de problemas abiertos de ingeniería acompañadas de proyecto y diseño asociados, de dimensión adecuadamente limitada, como medio para ser capaces de integrar diversos módulos de sistemas mecatrónicos y/o obtener criterios para su diseño.

Actividades de Formación Práctica

Las actividades de formación práctica estarán orientadas por un criterio de educación por competencias, apuntando a los siguientes niveles:

1. Básico: Conocimiento del estado actual de los sistemas mecatrónicos y manejo operacional profesional de los más frecuentemente presentes en la industria local.
2. Medio: Capacidad de integrar diferentes módulos de un sistema mecatrónico mediante programación, trabajando sobre equipos abiertos disponibles en el laboratorio.
3. Avanzado: Capacidad de definir la arquitectura y el dimensionamiento de un sistema mecatrónico y de diseñar el sistema de control y/o comunicación de algún tipo de sus módulos.
4. Actualización: Capacidad de comprender los cambios tecnológicos derivados de las tendencias nacionales e internacionales y de los avances científicos en el área, y adquirir autónomamente las competencias necesarias para incorporarlas.

A los fines anteriores se prevé la realización de:

- Trabajos Prácticos categorizados en los dos siguientes grupos: Grupo 1 “TP_G1”: Análisis, diseño y validación por simulación; Grupo 2 “TP_G2”: Experimentación Física. Cada grupo de TPs incluye dos mini-parciales de 1 hora cada uno.
- La articulación del tratamiento de un Problema Abierto de Ingeniería con uno de Proyecto y Diseño (PAI_APD).
- La actividad “RCP” (Revisión Crítica de Publicación): se asignarán a cada alumno publicaciones técnico-científicas con resultados prácticos innovadores para que reproduzcan los mismos.

Evaluación

Se instrumentará un proceso de evaluación continua sobre los TPs de ambos grupos, que incluirán cuatro mini-parciales teórico-prácticos, y la publicación asignada.

Los TPs se realizarán en grupos de dos alumnos.

El formato de los TP_G1 será el de “Tarea para entregar”. La evaluación tendrá la modalidad “Presentación y Defensa”. Se realizarán a lo largo del semestre, en cada caso con posterioridad al

tratamiento en clase de los modelos y problemas específicos a resolver y las técnicas de control, y constarán de una primera fase de explicación de las herramientas a emplear.

Los TP_G2 irán precedidos de una clase de explicación de las herramientas de operación y/o programación necesarias para su desarrollo, y de una clase de inducción al sistema físico específico. Su desarrollo será presencial en el laboratorio bajo la supervisión de la cátedra. Su evaluación será bajo la modalidad "Explicación y Defensa" de los resultados obtenidos al terminar la etapa experimental.

La actividad RCP se evaluará individualmente bajo la modalidad "Demostración y Defensa" con presentación socializante ante el pleno del curso.

Requisitos para aprobar la asignatura:

- Asistencia a todos los TP_G2.
- Aprobación del 75% de los TP_G1.
- Aprobación del 60% de los TP_G2.
- Aprobación de la actividad RCP.
- Aprobación de los mini-parciales teórico-prácticos incorporados en los TPs.

Distribución de la carga horaria

Presenciales

Teoría		42	hs
Práctica	Experimental de laboratorio	20	hs
	Experimental de Campo	---	hs
	Resolución de Problemas y Ejercicios	12	hs
	Problemas abiertos de ingeniería	14	hs
	Actividades de Proyecto y Diseño	8	hs
	Práctica Profesional Supervisada	---	hs
	Total	96	hs
Evaluaciones	(ya consideradas en las horas asignadas a la Práctica)	---	hs
	Dedicadas por el alumno fuera de clase	32	hs
	Preparación Teórica	10	hs
	Preparación Práctica	12	hs
	Elaboración y redacción de informes, trabajos, presentaciones, etc.	10	hs

Bibliografía básica

Isermann, R., 2007. Mechatronic systems: fundamentals. Springer Science & Business Media.

Bolton, W., 2008. Mechatronics: a multidisciplinary approach (Vol. 10). Pearson Education.

Karnopp, D.C., Margolis, D.L. and Rosenberg, R.C., 2012. System dynamics: modeling, simulation, and control of mechatronic systems. John Wiley & Sons.

Leonhard, W., 2012. Control of electrical drives. Springer Science & Business Media.

Dawson, D.M., Hu, J. and Burg, T.C., 1998. Nonlinear control of electric machinery. Marcel Dekker, Inc..

Spong, M.W., Hutchinson, S. and Vidyasagar, M., 2006. Robot modeling and control (Vol. 3). New York: Wiley.

Bacha, S., Munteanu, I. and Bratcu, A.I., 2014. Power electronic converters modeling and control. Advanced textbooks in control and signal processing, 454 pp.

Bibliografía complementaria

Bishop, R., 2002. The Mechatronics Handbook. CRC Press; 2nd. edition (December 14, 2007).

Sciavicco, L. and Siciliano, B., 2012. Modelling and control of robot manipulators. Springer Science & Business Media.

Jelali, M. and Kroll, A., 2012. Hydraulic servo-systems: modelling, identification and control. Springer Science & Business Media.

De Silva, C.W., 2010. Mechatronics: a foundation course. CRC press.

Bolton, W., MECATRÓNICA Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica, 4a Edición, México: Alfaomega Grupo Editor, 2010.

Fraser, C. and Milne, J., 1994. Integrated electrical and electronic engineering for mechanical engineers. McGraw-Hill.

Recursos web y otros recursos

- Acceso a literatura específica vía la biblioteca online del MinCyT.
- Libros y revistas técnico-científicas en las bibliotecas físicas de la EIE y del LAC.
- Software de simulación Matlab/Simulink y 20sim, con librerías propias de la cátedra de modelado y simulación de los sistemas mecatrónicos que relevan al alumno del grueso de la especificación de los modelos en el software.
- Equipamiento experimental de laboratorio: amplia variedad de equipos (sistemas mecatrónicos) comerciales y equipos abiertos de desarrollo propio.
- Software para programación, configuración y ejecución de los algoritmos de control y de las comunicaciones, propios de los equipos disponibles en el laboratorio.

Cronograma de actividades

Ver página siguiente.

MECATRÓNICA – Cronograma de actividades

CT: Clases Teóricas. **RPE:** Resolución de Problemas y Ejercicios. **PEL:** Práctica Experimental de Laboratorio. **PAI_APD:** Problemas Abiertos de Ingeniería + Actividades de Proyecto y Diseño. **RCP:** Revisión Crítica de Publicación. **mP_{1,2,3,4}:** miniParcial_{1,2,3,4}.

<u>Semana</u>	<u>Unidades</u>	<u>Temas</u>	<u>Actividades</u>
01	U1, U2, U3	Caracterización de la Mecatrónica. Modelos de sistemas electromecánicos con máquinas de cc y cargas rotacionales. Control monolazo y multilazo (en cascada) de máquinas de cc. Alimentación controlada con CEPs (rectificadores).	CT y RPE
02	U2, U3	Modelos de sistemas electromecánicos con máquinas de cc y ca. Control de tracking con máquinas de cc. Control escalar de máquinas de ca. Alimentación controlada con CEPs (inversores).	CT, RPE y PEL(TP_G1)
03	U2, U3	Modelos dinámicos de máquinas de ca. Campos giratorios arbitrarios y vectores espaciales. Observadores y estimadores.	CT y RPE
04	U2, U3	Vectores espaciales de los inversores trifásicos (SSV, Switching-Space-Vectors). Modelos y control de CEPs dc-dc, dc-ac, ac-dc.	CT y RPE
05	U2, U3	Sistemas de control de máquinas eléctricas. Máquinas de cc.	mP ₁ y PEL(TP_G1)
06	U2, U3	Sistemas de control de máquinas eléctricas. Máquinas de ca.	mP ₂ y PEL(TP_G1)
07	U2, U3	Sistemas de control de máquinas eléctricas. Máquinas de ca.	CT, RPE. mP ₃ y PEL(TP_G2)
08	U2, U3, U5, U6	Sistemas comerciales de control de máquinas eléctricas. HW & SW de control y comunicación industrial. PLCs.	CT, RPE. mP ₄ y PEL(TP_G2)
09	U2, U3, U5, U6	Sistemas abiertos de control de máquinas eléctricas. HW & SW de control y comunicación bajo nivel. MCUs.	CT, RPE y PEL (TP_G2). PAI_APD
10	U2, U3, U5	Sistemas de control de motores de reluctancia variable (paso a paso, conmutados, sincrónicos).	CT, RPE y RCP. PAI_APD
11	U2, U3, U4, U5, U6	Modelos y control de accionamientos y actuadores electromecánicos, electro-hidráulicos y electro-neumáticos en procesos industriales y aparatos de maniobra en sistemas eléctricos.	CT, RPE y RCP
12	U2, U3, U4, U5, U6	Modelos y control de manipuladores robóticos, robots Gantry. Sistemas electrónico-informáticos de su automatización y control.	CT, RPE y PEL (TP_G2)
13	U2, U3, U4, U5, U6	Modelos y control de robots móviles y manipuladores robóticos móviles. Sistemas electrónico-informáticos de su automatización y control.	CT y PEL (TP_G2). PAI_APD
14	U2, U3, U4, U5	Aplicaciones. Máquinas herramientas, aparatos domésticos y de oficina. Posicionamiento de precisión.	CT y RCP
15	U2, U3, U4, U5, U6	Control y gestión energética en sistemas mecatrónicos integrantes de sistemas estacionarios (redes eléctricas inteligentes) y móviles (vehículos híbridos, terrestres y aéreos, ...).	CT y RCP. PAI_APD
16	U2, U3, U4, U5, U6	Aplicaciones mecatrónicas en vehículos.	CT y RCP