

Programa de  
**Automatización II**



Código/s: E15

**Identificación y características de la Actividad Curricular**

Carrera/s:	Ingeniería Eléctrica		
Plan de Estudios:	2014	Carácter:	Obligatoria
Bloque/Campo:	Tecnologías Aplicadas	Área:	Automatización
Régimen de cursado:	Cuatrimestral		
Cuatrimestre:	8º [ETA]		
Carga horaria:	96 hs. / 6 hs. semanales	Formato curricular:	Asignatura
Escuela:	Ingeniería Eléctrica	Departamento:	Electrotecnia y Metrología
Docente responsable:	DE SAN JUAN, Marcelo		

**Programa Sintético**

Ajuste de controladores, métodos de ajuste temporal, con modelo interno, por avance, robusto. Control discreto, análisis y diseño de sistemas, función de transferencia, estabilidad, proporcional integral derivativo (PID) digital. Control no lineal, primer armónico, función transferencia generalizada: ganancia equivalente. Estabilidad, respuesta temporal. Control de procesos, diagramas de flujo y diagramas de proceso. Normas de la International Society of Automation (ISA) y Process Industry Practices (PIP). Normas europeas. Diagrama de lazos de control, niveles de seguridad de sistemas de control.

**Asignaturas Relacionadas**

Previas:	E10 - Automatización I, E11 - Dinámica de los Sistemas
Simultaneas Recomendadas:	E16 - Instalaciones Eléctricas I, E14 - Maquinas Eléctricas II, E17 - Transmisión de la Energía Eléctrica
Posteriores:	

**Vigencia desde**

\_\_\_\_\_  
Firma Profesor

\_\_\_\_\_  
Fecha

\_\_\_\_\_  
Firma Aprob. Escuela

\_\_\_\_\_  
Fecha

Con el aval del Consejo Asesor:

## Características generales

La Ingeniería en Automatización y Control Industrial es una rama de la ingeniería que aplica la integración de diversas tecnologías que son utilizadas en el campo de la automatización y el control automático industrial, las cuales son complementadas con disciplinas paralelas al área tales como los sistemas de control y supervisión de datos, la instrumentación industrial, el control de procesos y las redes de comunicación industrial.

La automatización es una disciplina de la ingeniería más amplia que un sistema de control ya que abarca la instrumentación industrial, que incluye los sensores, los transmisores de campo, los sistemas de control y supervisión, los sistemas de transmisión y recolección de datos y las aplicaciones de software en tiempo real para supervisar, controlar las operaciones de plantas o procesos industriales.

En Automatización II, se emplean los conocimientos aplicados de Automatización I y de Dinámica de los sistemas físicos, para desarrollar los principios y fundamentos de los sistemas de control automático, y la inserción de estos en la automatización industrial. Se abordan la solución de problemas de control automático aplicando las teorías de control clásico en sistemas físicos reales mediante técnicas analógicas y digitales con la implementación en forma práctica en laboratorio.

En los capítulos finales se abordan los conocimientos clave para el desarrollo profesional brindando las herramientas necesarias para la interpretación de los diagramas de flujo y de control de procesos normalizados y la clasificación de los sistemas de automatización, según los niveles de seguridad que requieran los disímiles sistemas o procesos.

Para el desarrollo del programa se propicia el aprendizaje orientado a desarrollar los saberes que permitan la articulación tanto con las actividades curriculares simultáneas como con las posteriores. En ese sentido, a partir del conocimiento de conceptos fundamentales y de la posterior resolución de situaciones problemáticas y experimentales, en las que se promueve el cuestionamiento, la discusión y el trabajo en grupos, se espera que los estudiantes logren desarrollar capacidades de conocimiento y comprensión de los fundamentos generales de la automatización, de la fenomenología básica de la interacción entre los sistemas físicos y los modelos de control y de automatización. El enfoque disciplinar adoptado corresponde a un enfoque axiomático por pasos, tratándose en primer término el desarrollo matemático y modelización de los sistemas de control y la modelización y la interacción con los sistemas físicos a controlar, luego se plantean estrategias para el abordaje de la resolución de sistemas más complejos de una forma sistemático, coherente y fácilmente aceptable para los estudiantes.

## Objetivos

Se proponen como objetivos de conocimiento que el alumno logre:

- Comprender las propiedades fundamentales de los sistemas clásicos de control automático.
- Conocer los límites de aplicación de las diversas metodologías del control automático.
- Adquirir herramientas para la sintonización de sistemas de control simples.
- Comprender el origen de los modelos empleados en la Teoría de control, el origen de las leyes que los rigen y sus límites de validez.
- Comprender el fundamento de algunas aplicaciones tecnológicas de sistemas de control, relacionadas con las aplicaciones industriales y energéticas.
- Aprender a interpretar la información vertida en diagramas de control de procesos e instrumentos.
- Comprender la importancia de las especificaciones de los sistemas de control.

En el plano de los procedimientos, se pretende que el alumno logre desarrollar:

- Capacidad de planificar estrategias de solución de problemas identificando datos, recuperando y analizando distinta información e integrando saberes.
- Capacidad de análisis y síntesis para integrar teoría y práctica.
- Capacidad para transmitir información en forma oral y escrita.
- Capacidad para analizar y discutir los fenómenos que existen detrás de las experiencias que se lleven a cabo.

En el plano actitudinal, se espera lograr que el alumno logre:

- Asumir una postura responsable, involucrándose en forma activa, cooperando y participando.
- Reflexionar sobre su propia comprensión de los fenómenos, reconceptualizando sus propias construcciones

cognitivas.

- Desarrollar habilidades para trabajar en forma autónoma y en equipo.

## Contenido Temático

### 1. Síntesis de controladores

#### 1.1. Criterio de síntesis

##### 1.1.1. Criterios en el dominio temporal

##### 1.1.2. Criterios en el dominio frecuencial

#### 1.2. Correctores

##### 1.2.1. Corrección por variación de fase (Control PD)

##### 1.2.2. Corrección por variación de ganancia (Control PI)

##### 1.2.3. Corrección por acción combinada (Control PID)

##### 1.2.4. Cálculo de correctores

#### 1.3. Implementación práctica

##### 1.3.1. Corrector en cascada: Ejemplos

##### 1.3.2. Corrector en reacción: Ejemplos

##### 1.3.3. Aplicaciones

#### 1.4. Lazos de anticipo

##### 1.4.1. Corrección rigurosa

##### 1.4.2. Corrección aproximada

##### 1.4.3. Diagrama funcionales equivalentes

##### 1.4.4. Aplicación al caso de variaciones en la señal de entrada

##### 1.4.5. Aplicación al caso de variaciones por acción de perturbaciones

### 2. Entrada de referencia y perturbación

2.1. Estudio del efecto en el comportamiento dinámico y de estado estacionario de los sistemas controlados con realimentación frente a cambios en la referencia (servo comportamiento) y en la carga (comportamiento regulador).

2.2. Análisis del aporte de cada parámetro del controlador en la respuesta dinámica y de estado estacionario del sistema.

2.3. Comparación con las respuestas del sistema sin controlar.

2.4. Métodos de ajuste en el dominio temporal

2.4.1. Método de Cohen-Coon o curva de reacción

2.4.2. Método en el dominio frecuencial: Ziegler Nichols

2.4.3. Método de ajuste relacionado con control por modelo interno (IMC)

2.5. Índices de error como medida del desempeño de los controladores según los parámetros de ajuste seleccionados (ISE, IAE, ITAE)

2.6. Ajuste de sistemas con respuestas a lazo cerrado con  $\frac{1}{4}$  de la relación de decaimiento.

### 3. Control avanzado tradicional

3.1. Diseño de controladores en avance o "feedforward"

3.2. Diseño de controladores en avance y combinado con retroalimentación.

3.3. Comparación de las ventajas a través de los índices de performance.

3.4. Control por relación (Ratio control) como un caso especial del control en avance.

3.5. Ventajas y desventajas del uso de control en avance

3.6. Comparación con el control realimentado.

3.7. Diseño de control realimentado con compensación de tiempo muerto (Compensador de Smith) y respuesta inversa.

### 4. Control Digital

- 4.1. Introducción: Microprocesadores, Instrumentación distribuida y sistemas de control
- 4.2. Desarrollo de modelos discretos
  - 4.2.1. Discretización exacta para sistemas lineales.
  - 4.2.2. Breve descripción de Métodos Equivalentes discretos.
- 4.3. Respuesta dinámica de sistemas discretos, la transformada Z aplicación y relación con la transformada de Laplace
- 4.4. Análisis y diseño de los sistemas de control discretos
  - 4.4.1. Análisis del diagrama en bloques a lazo abierto.
  - 4.4.2. Desarrollo de la función de transferencia a lazo cerrado.
  - 4.4.3. Estabilidad de los sistemas de control discretos.
  - 4.4.4. Diseño de un controlador PID digital. Selección de parámetros.

#### Unidad - 5 Sistemas no lineales

- 5.1 Método de representación en plano de fase
- 5.2 Puntos singulares Definición
- 5.3 Casos típicos
- 5.4 Método del primer armónico
- 5.5 Función Transferencia generalizada: Ganancia equivalente
- 5.6 Función descriptiva de elementos no lineales usuales
- 5.7 Casos típicos
- 5.8 Estabilidad

#### Unidad - 6 Control de procesos

- 6.1 Diagramas de flujo, normas representación, funcionalidad
- 6.2 Diagramas de proceso, normas de representación, simbología
- 6.3 Representación de sistemas de control
- 6.4 Transductores,
- 6.5 Sensores y Actuadores.
- 6.6 Sistemas de control concentrado y distribuidos
- 6.7 Casos de aplicación

### **Modalidades de enseñanza-aprendizaje**

La extensión del programa y la importancia de todos los puntos del mismo, condiciona a que deban desarrollarse las clases a través de sesiones académicas o clases magistrales para conseguir un máximo aprovechamiento del tiempo. De estas clases, aproximadamente el cuarenta por ciento se destinan a teoría y el resto a resolución de problemas y Trabajos Prácticos.

La teoría y la práctica deben ser integradas, donde por un lado se prioriza en el hacer, la búsqueda de caminos de resolución para los problemas planteados, mientras que por otra parte se implementa la utilización de los conocimientos teóricos previamente adquiridos.

En las clases se estimula la participación activa de los alumnos a fin de poder analizar y establecer el proceso de debate de los distintos fenómenos en forma grupal y las diversas formas de abordaje de los temas presentados a través de situaciones problemáticas. Algunas clases de práctica se dan en la modalidad de aula taller, en las que los alumnos trabajan en forma individual o grupal, con el apoyo de los docentes presentes. Los temas se desarrollan con medios multimediales, con presentaciones Powerpoint y videos relacionados.

Los trabajos prácticos se desarrollan tanto en simulaciones en software Matlab y otros, donde el alumno puede efectuar prácticas tanto en las computadoras de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, como en el laboratorio de control que dispone de una PC, con Matlab interconectada al laboratorio de simulación física de la Escuela de Ingeniería Eléctrica.

Se prevé la realización de viajes tanto a Empresas Industriales como a Centrales de generación de energía eléctrica en la faz de integración de los conceptos de la materia con la práctica profesional de sistemas de

automatización reales.

## Actividades de Formación Práctica

Nº	Título	Descripción
1	Trabajo Práctico N°1	La actividad será desarrollada por el alumno empleando Simulink y Matlab. Se presentan al alumno una planta con las funciones transferencia del sistema cuyos parámetros deberá calcular en base a la información suministrada por el fabricante del laboratorio de simulación. Se plantea la estructura de control de control feedback para que el alumno pueda calcular los parámetros del controlador PID, aplicando los métodos de aproximación de Ziegler Nichols, Cohen Coon y por otra parte por minimización de índices de error. El alumno deberá justificar los resultados elegidos. Luego de ello podrá implementar en el laboratorio el funcionamiento del sistema. Entregará un informe al respecto.
2	Trabajo Práctico N°2	La actividad será desarrollada por el alumno empleando Simulink y Matlab. Se presentan al alumno una planta con la funciones transferencia del sistema con todos los parámetros informados en el enunciado. El alumno deberá proponer los ajustes de un controlador feedforward. El alumno deberá justificar los resultados elegidos. Entregará un informe al respecto.
3	Trabajo Práctico N°3	La actividad será desarrollada por el alumno empleando Simulink y Matlab. Se presentan al alumno una planta con la funciones transferencia del sistema con todos los parámetros informados en el enunciado. Se plantea la estructura de control de control feedback para que el alumno pueda calcular los parámetros del controlador PID Discreto. El alumno deberá justificar los resultados elegidos. Entregará un informe al respecto.

## Evaluación

### MEDIOS DE EVALUACIÓN

La evaluación del alumno se realiza analizando la totalidad de lo realizado en el período académico y no como suma de actividades individuales.

Por un lado se tiene la estructura formal mediante:

Exámen parcial 1 (EP1) que aplica a la Unidad N°1: Exámen teórico práctico sobre síntesis de controladores en cascada y reacción.

Trabajo práctico 1 (TP1) que aplica a la Unidad N°2: El alumno deberá aplicar en simulación de los conceptos sobre ajuste de controladores PID por métodos de respuesta y por coeficientes de error.

Trabajo práctico 2 (TP2) que aplica a la Unidad N°3: Este trabajo práctico se desarrollará sobre ajuste de controladores feedforward.

Trabajo práctico 3 (TP3) que aplica a la Unidad N°4: Este trabajo práctico se desarrollará sobre ajuste de controladores PID en sistemas discretos.

Exámen parcial 2 (EP2) que aplica a la Unidad N°5: Exámen teórico práctico sobre análisis de comportamiento de control de sistemas no lineales.

Exámen parcial 3 (EP3) que aplica a la Unidad N°6: Exámen teórico práctico diagramas de control de procesos e

instrumentos.

## REQUISITOS DE APROBACIÓN

Finalizado el periodo de evaluaciones y recuperatorios se adoptarán los siguientes criterios para la condición final de la asignatura.

Condición "APROBADO":

Obtendrán esta condición quienes hayan aprobado TODAS LAS INSTANCIAS DE EVALUACIÓN con un piso de 60%.

Las exámenes parciales EP1, EP2, EP3 con sus respectivos recuperatorios y los trabajos prácticos TP1, TP2 y TP3 con sus respectivos recuperatorios, se considerarán aprobadas cuando TODOS Y CADA UNO DE SUS TEMAS hayan sido aprobados con un piso de 60%.

La calificación final resultará del promedio ponderado de todas las instancias de evaluación.

Condición "INTERMEDIA" (C.I.):

Alcanzarán esta condición quienes cumplan con TODAS las condiciones siguientes:

- haber reprobado uno (1) o a lo sumo dos (2) de las tres (3) instancias EP1, EP2, EP3 y/o reprobado uno (1) de los tres (3) Trabajos Prácticos TP1, TP2 y TP3 ...
- con un solo tema reprobado por instancia ...
- y todos los demás temas aprobados con un piso de 60%.

Al rendir bajo Condición Intermedia, el alumno será evaluado en todas las instancias de la asignatura, quedando a criterio de la Cátedra seleccionar los temas que considere convenientes.

Condición "LIBRE":

Quedarán en esta condición quienes, no habiendo alcanzado la condición de Aprobado, a criterio de la Cátedra NO hayan adquirido los conocimientos necesarios para ser considerados en Condición Intermedia.

Dicho de otra manera: quedarán LIBRES quienes cumplan CUALQUIERA de las siguientes condiciones:

- Hayan reprobado las tres instancias EP1, EP2 y EP3 (con sus correspondientes recuperatorios), independientemente de la cantidad de temas reprobados por instancia.
- Hayan reprobado (con sus correspondientes recuperatorios) más de un tema en cualquier instancia.
- Hayan reprobado dos o tres de los trabajos prácticos.

## Distribución de la carga horaria

### Presenciales

Teóricas		32 Hs.
Prácticas	Experimental de Laboratorio	16 Hs.
	Experimental de Campo	0 Hs.
	Resolución de Problemas y Ejercicios	24 Hs.
	Problemas Abiertos de Ingeniería	8 Hs.
	Actividades de Proyecto y Diseño	16 Hs.
	Práctica Profesional Supervisada	0 Hs.
	<b>Total</b>	<b>96 Hs.</b>
Evaluaciones		12 Hs.
Dedicadas por el alumno fuera de clase		
	Preparación Teórica	24 Hs.
	Preparación Práctica	30 Hs.
	Elaboración y redacción de informes, trabajos, presentaciones, etc.	18 Hs.

**Bibliografía básica**

Título	Autores	Editorial	Año	Ejem.
Ingeniería de Control Moderna 4ta edición	Ogata, Katsuhiko	Pearson Educación	2003	1
Sistemas de control automático 2da edición	Kuo, Benjamín C.	Prentice Hall	1979	5
Sistemas de control automático 7da edición	Kuo, Benjamín C.	Kuo, Benjamín C.	1995	2
Ingeniería de Control Moderna	Ogata, Katsuhiko	Prentice-Hall internacional	1980	5
Ingeniería de Control Moderna 3er edición	Ogata, Katsuhiko	Prentice-Hall internacional	1998	2
Ingeniería de Control Moderna 5ta edición	Ogata, Katsuhiko	Pearson Educación	2010	2
Sistemas de control en tiempo discreto 2 ed	Ogata, Katsuhiko	Prentice-Hall Hispanoamericana	1996	4
Problemas de ingeniería de control utilizando MATLAB	Ogata, Katsuhiko	Prentice-Hall	1999	3
Control PID avanzado	Aström, Karl J.; Hägglund, Tore, colab.	Pearson	2009	1

**Bibliografía complementaria**

Título	Autores	Editorial	Año	Ejem.
Sistemas de control digital	Kuo, Benjamín C.	Patria	2007	1
Sistemas de control moderno	Dorf, Richard C.; Bishop, Robert H., colab.	Pearson Educacion	2010	2
Control lineal, avanzado y control optimo	Reutenberg, Carlos Nicolás ; D'Attellis, Carlos Enrique, colab	AADECA	2004	1
State space analysis of control systems	Ogata, Katsuhiko	Prentice-Hall	1967	1
Nonlinear dynamical systems and control : a lyapunov-based approach	Haddad, Wassim M. ; Chellaboina, VijaySekhar, colab	Priceton University Press	2008	1
Norma IRAM-IAP A 505-52: instrumentos y sistemas de control automático y de medición para las industrias de control : símbolos lineales	Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Instituto Argentino de Petróleo	IRAM-IAP	1972	1
Ingeniería de control	Bolton, W.	Alfaomega	2001	1

**Recursos web y otros recursos**

Las publicaciones elaboradas de teoría como de práctica, guías de trabajos prácticos, el cronograma de dictado de la materia se encuentran disponibles en el sitio web de la cátedra <http://www.fceia.unr.edu.ar/automatizacion2/>. De igual forma se encuentra publicados los horarios de consulta de los docentes. El acceso al laboratorio de Control, compuesto por computadora con planta de modelado de sistema de cuatro tanques acoplados se encuentra de libre disponibilidad para el acceso de los alumnos,

operados bajo supervisión docente.



## Cronograma de actividades

Semana	Unidad	Tema	Actividad
1	01	Síntesis de controladores criterios de síntesis en dominio frecuencial. Representación de diversas plantas en diagramas de Bode, Nyquist y Nichols. Características y comportamiento. Síntesis de controladores. Realimentación, estructura de control cascada en lazo cerrado. Correctores Proporcional, Derivativo, Integral y derivados. Efectos en el comportamiento, Análisis de errores en régimen permanente.	Clases teórico prácticas, con apoyo de multimedia. Representación, manual y con Matlab.
2	01	Síntesis de controladores. Realimentación, estructura de control cascada en lazo cerrado. Correctores Proporcional, Derivativo, Integral y derivados. Efectos en el comportamiento. Síntesis de controladores, ajustes de controladores en cascada, efectos. Métodos de cálculo y representación en diagramas frecuenciales de controladores, ajustes de controladores en cascada, efectos. Métodos de cálculo. Síntesis de controladores en reacción y los controladores en cascada equivalentes. Potencial de utilización.	Clases teórico prácticas, con apoyo de multimedia. Representación, manual y con Matlab. Resolución de problemas simples.
3	01	Síntesis de controladores, ajustes de controladores en cascada, efectos. Métodos de cálculo. Síntesis de controladores en reacción y los controladores en cascada equivalentes. Potencial de utilización. Síntesis de controladores en reacción y los controladores en cascada equivalentes. Potencial de utilización.	Clases teórico prácticas, con apoyo de multimedia. Representación, manual y con Matlab. Resolución de problemas.
4	02	Exámen Parcial N°1 (Unidad N°1) Análisis .Análisis del aporte de cada parámetro del controlador. en la respuesta dinámica y de estado estacionario del sistema.	EP1 Clases teórico prácticas, con apoyo de multimedia. Representación, manual y con Matlab. Resolución de problemas.
5	02	Análisis del aporte de cada parámetro del controlador en la respuesta dinámica y de estado estacionario del sistema. Comparación con las respuestas del sistema sin controlar. Método de Cohen-Coon o curva de reacción Método en el dominio frecuencial: Ziegler Nichols Método de ajuste relacionado con control por modelo interno (IMC)	Clases teórico prácticas, con apoyo de multimedia. Representación, con Simulink. Resolución de problemas. Actividad en Laboratorio.

6	02	Indices de error como medida del desempeño de los controladores según los parámetros de ajuste seleccionados (ISE, IAE, ITAE). Ajuste de sistemas con respuestas a lazo cerrado con $\frac{1}{4}$ de la relación de decaimiento. Lanzamiento del TP N°1	Clases teórico prácticas, con apoyo de multimedia. Representación, con Simulink. Resolución de problemas. TP1
7	03	Diseño de controladores en avance o "feedforward" Diseño de controladores en avance y combinado con retroalimentación. Comparación de las ventajas a través de los índices de performance. Control por relación (Ratio control) como un caso especial del control en avance.	Clases teórico prácticas, con apoyo de multimedia. Representación, con Simulink. Resolución de problemas.
8	03	Ventajas y desventajas del uso de control en avance Comparación con el control realimentado. Diseño de control realimentado con compensación de tiempo muerto (Compensador de Smith) y respuesta inversa.	Clases teórico prácticas, con apoyo de multimedia. Representación, con Simulink. Resolución de problemas.
9	04	Lanzamiento del TP N°2 Desarrollo de modelos discretos: Discretización exacta para sistemas lineales. Breve descripción de Métodos Equivalentes discretos.	TP2 Clases teórico prácticas, con apoyo de multimedia.
10	04	Respuesta dinámica de sistemas discretos, la transformada Z aplicación y relación con la transformada de Laplace. Diseño de un controlador PID digital. Selección de parámetros.	Clases teórico prácticas, con apoyo de multimedia.
11	04	Análisis y diseño de los sistemas de control discretos, a lazo abierto y a lazo cerrado. Función de transferencia a lazo cerrado, estabilidad. Lanzamiento del TP N°3	Clases teórico prácticas, con apoyo de multimedia. TP3
12	05	Método de representación en plano de fase Puntos singulares Definición Casos típicos	Clases teórico prácticas, con apoyo de multimedia. Representación, manual y con Matlab. Resolución de problemas simples.
13	05	Método del primer armónico: Función Transferencia generalizada: Ganancia equivalente. Función descriptiva de elementos no lineales usuales. Casos típicos. Estabilidad	Clases teórico prácticas, con apoyo de multimedia. Representación, manual y con Matlab. Resolución de problemas simples.

14	06	Exámen Parcial N°2 (Unidad N°5) Diagramas de flujo, normas representación, funcionalidad Diagramas de proceso, normas de representación, simbología. Representación de sistemas de control. Transductores, Sensores y Actuadores.	EP2. Clases teórico prácticas, con apoyo de multimedia.
15	06	Sistemas de control concentrado y distribuidos. Casos de aplicación. Exámen Parcial N°3 (Unidad N°6)	Clases teórico prácticas, con apoyo de multimedia. EP3
16	06	Presentación Trabajos Prácticos. Evaluación sustitutiva	