



## FICHA TÉCNICA DE LA ASIGNATURA

| Datos de la asignatura |   |
|------------------------|---|
| Nombre Completo        | Control Digital   |
| Código                 | DEA-GITI-432  |
| Título                 | <a href="#">Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales</a> |
| Impartido en           | Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales [Cuarto Curso]  |
| Nivel                  | Reglada Grado Europeo   |
| Cuatrimestre           | Semestral   |
| Créditos               | 6,0   |
| Carácter               | Optativa (Grado)  |
| Departamento / Área    | Departamento de Electrónica, Automática y Comunicaciones        |
| Responsable            | Juan Luis Zamora Macho  |
| Horario                | Se indicará en la intranet                                      |
| Horario de tutorías    | Solicitar cita por correo electrónico                           |

| Datos del profesorado            |  |
|----------------------------------|--|
| <b>Profesor</b>                  |  |
| Nombre                           | Juan Luis Zamora Macho                                   |
| Departamento / Área              | Departamento de Electrónica, Automática y Comunicaciones |
| Despacho                         | Alberto Aguilera 25 [D-212]                              |
| Correo electrónico               | Juanluis.Zamora@iit.comillas.edu                         |
| <b>Profesores de laboratorio</b> |  |
| <b>Profesor</b>                  |  |
| Nombre                           | Alberto Abanades Sánchez                                 |
| Departamento / Área              | Departamento de Electrónica, Automática y Comunicaciones |
| Correo electrónico               | aabanades@icai.comillas.edu                              |
| <b>Profesor</b>                  |  |
| Nombre                           | Antonio González Elías                                   |
| Departamento / Área              | Departamento de Electrónica, Automática y Comunicaciones |
| Correo electrónico               | agelias@icai.comillas.edu                                |

## DATOS ESPECÍFICOS DE LA ASIGNATURA

| Contextualización de la asignatura |
|------------------------------------|
|------------------------------------|



## Aportación al perfil profesional de la titulación

En el perfil profesional del graduado en Ingeniería Electromecánica, esta asignatura pretende introducir al alumno en la implantación digital de controles PID y el diseño de controles digitales por realimentación del estado y mediante síntesis de polinomios. El empleo cada vez más extendido de microprocesadores y otros dispositivos de cálculo en el entorno industrial motiva la formación del alumno en el análisis y diseño de sistemas de control en tiempo discreto.

Al finalizar el curso, los alumnos deberán dominar el concepto de señal y sistema en tiempo discreto y el uso de la transformada Z para obtener la función de transferencia en tiempo discreto. Además deberán conocer las relaciones existentes con las técnicas de modelado de sistemas en tiempo continuo.

En esta asignatura también se revisan las técnicas de modelado y análisis de sistemas dinámicos, tanto lineales como no lineales, mediante la representación de estado, y la linealización de sistemas no lineales alrededor de un punto de operación. En los ejemplos presentados se hace especial énfasis en su aplicación práctica para que el alumno tome conciencia de la importancia del modelado matemático en todos los ámbitos de la ingeniería industrial.

Otro objetivo del curso es que el alumno conozca el efecto de seleccionar períodos de muestreo pequeños, medianos o grandes y los métodos de discretización disponibles para convertir un control PID en un algoritmo programable en un microprocesador. Finalmente, el alumno deberá estar capacitado para diseñar controles en tiempo discreto mediante realimentación del estado, incluyendo acción integral en la referencia y observador de estado, y las técnicas de control digital basadas en síntesis de polinomios.

Debido a que esta asignatura tiene un carácter mixto teórico-experimental, se añaden a los conceptos teóricos los de carácter práctico mediante la resolución de problemas y la realización de trabajos en el laboratorio en los que se consolidarán los fundamentos teóricos estudiados. Además, se profundizará en el uso de herramientas informáticas (Matlab y Simulink) que facilitan el proceso de modelado, análisis y diseño de cualquier sistema de control en tiempo discreto.

## Prerrequisitos

Principios del control por realimentación. Sistemas en tiempo continuo: transformada de Laplace, función de transferencia, polos y ceros, diagramas de bloques. Principales propiedades y especificaciones de un sistema de control: estabilidad, amortiguamiento, precisión y rapidez. Relaciones entre la respuesta temporal y la respuesta en frecuencia. Diseño de reguladores PID por respuesta en frecuencia. MATLAB y Simulink.

## Competencias - Objetivos

### Competencias

#### GENERALES

|             |  |
|-------------|--|
| <b>CG03</b> | Conocimiento en materias básicas y tecnológicas, que les capacite para el aprendizaje de nuevos métodos y teorías, y les dote de versatilidad para adaptarse a nuevas situaciones.         |
| <b>CG04</b> | Capacidad de resolver problemas con iniciativa, toma de decisiones, creatividad, razonamiento crítico y de comunicar y transmitir conocimientos, habilidades y destrezas en el campo de la |



Ingeniería Industrial.

## Resultados de Aprendizaje

|            |   |
|------------|---|
| <b>RA1</b> | Entender los efectos del muestreo aplicando los modelos adecuados al análisis y diseño  |
| <b>RA2</b> | Analizar y especificar sistemas en tiempo discreto y sistemas mixtos  |
| <b>RA3</b> | Diseñar reguladores digitales por varios procedimientos: respuesta en frecuencia, síntesis de polinomios y realimentación del estado. |

## BLOQUES TEMÁTICOS Y CONTENIDOS

### Contenidos – Bloques Temáticos

#### Tema 1: INTRODUCCIÓN AL CONTROL DIGITAL

- 1.1 Motivación del control digital.
- 1.2 Componentes de un sistema de control digital.
- 1.3 Algoritmo de un control PID digital.
- 1.4 Influencia del período de muestreo.
- 1.5 Aproximación del efecto del muestreo y del retenedor.
- 1.6 Control en tiempo discreto vs. control en tiempo continuo: ventajas e inconvenientes.

#### Tema 2: SEÑALES Y SISTEMAS EN TIEMPO DISCRETO

- 2.1 Señal en tiempo discreto.
- 2.2 Muestreo de señales en tiempo continuo.
- 2.3 Teorema fundamental del muestreo: aliasing.
- 2.4 Sistema en tiempo discreto.

#### Tema 3: TRANSFORMADA Z Y FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA

- 3.1 Definición de transformada Z.
- 3.2 Transformada Z de señales básicas causales.
- 3.3 Propiedades de la transformada Z.
- 3.4 Tabla de transformadas.
- 3.5 Función de transferencia.



- 3.6 Respuesta temporal de un sistema en tiempo discreto.
- 3.7 Relación entre las funciones de transferencia en tiempo continuo y en tiempo discreto.
- 3.8 Estabilidad BIBO de un sistema en tiempo discreto.
- 3.9 Relación entre dinámicas en tiempo continuo y en tiempo discreto.
- 3.10 Diagrama de bloques.
- 3.11 Régimen permanente de sistemas estables.

## **Tema 4: DISEÑO DE CONTROLES EN TIEMPO DISCRETO**

- 4.1 Esquema de un sistema de control digital.
- 4.2 Modelos para el análisis de un sistema de control digital.
- 4.3 Clasificación del período de muestreo.
- 4.4 Implantación digital de un control P diseñado mediante el modelo analógico puro.
- 4.5 Diseño de un control P mediante el modelo análogo modificado y período de muestreo mediano.
- 4.6 Prefiltro o filtro antialiasing.
- 4.7 Diseño y discretización de un control PID.
- 4.8 Control digital directo.

## **Tema 5: MODELADO EN ESPACIO DE ESTADO**

- 5.1 Introducción al control en espacio de estado.
- 5.2 Estado de un sistema.
- 5.3 Representación de estado.
- 5.4 Punto de operación y modelo linealizado.
- 5.5 Circuitos eléctricos y electrónicos.
- 5.6 Sistemas mecánicos de traslación.
- 5.7 Sistemas mecánicos de rotación.
- 5.8 Sistemas térmicos.
- 5.9 Sistemas de conducción de fluidos.

## **Tema 6: CONTROL EN ESPACIO DE ESTADO**

- 6.1 Matriz de transferencia de un sistema LTI.



- 6.2 Representación de estado de una función de transferencia.
- 6.3 Discretización exacta de una representación de estado.
- 6.4 Diseño de un regulador por realimentación de estado.
- 6.5 Recomendaciones generales sobre la localización de polos en lazo cerrado.
- 6.6 Compensación del retardo de cálculo para muestreo síncrono.
- 6.7 Seguimiento de referencia mediante ajuste de ganancia.
- 6.8 Seguimiento de referencia mediante control integral.

## Tema 7: ESTIMADORES DE ESTADO

- 7.1 Fundamento y motivación de la estimación de estado.
- 7.2 Principio de separación.
- 7.3 Estimador de estado en lazo abierto.
- 7.4 Observador de orden completo.
- 7.5 Observador de orden reducido.

## METODOLOGÍA DOCENTE

### Aspectos metodológicos generales de la asignatura

Con el fin de conseguir el desarrollo de competencias propuesto, la materia se desarrollará teniendo en cuenta la actividad del alumno como factor prioritario. Ello implicará que tanto las sesiones presenciales como las no presenciales promoverán la implicación activa de los alumnos en las actividades de aprendizaje.

### Metodología Presencial: Actividades

**Clase magistral y presentaciones generales:** Exposición de los principales conceptos y procedimientos mediante la explicación por parte del profesor. Incluirá presentaciones dinámicas, pequeños ejemplos prácticos y la participación reglada o espontánea de los estudiantes.

**Resolución en clase de problemas prácticos:** Resolución de unos primeros problemas para situar al alumno en contexto. La resolución correrá a cargo del profesor y los alumnos de forma cooperativa.

**Prácticas de laboratorio:** Se formarán grupos de trabajo que tendrán que realizar prácticas de laboratorio



regladas o diseños de laboratorio. Las prácticas de laboratorio podrán requerir la realización de un trabajo previo de preparación y finalizar con la redacción de un informe de laboratorio o la inclusión de las distintas experiencias en un cuaderno de laboratorio.

### Metodología No presencial: Actividades

**Trabajo autónomo sobre contenidos teóricos por parte del alumno:** Actividades de aprendizaje sobre la parte teórica de la asignatura que se realizarán de forma individual fuera del horario lectivo y que consistirán en el estudio y análisis de los conceptos explicados en clase.

**Trabajo autónomo sobre contenidos prácticos por parte del alumno:** Actividades de aprendizaje sobre la parte práctica de la asignatura que se realizarán de forma individual o en grupo fuera del horario lectivo y que consistirán fundamentalmente en la resolución de problemas prácticos.

### RESUMEN HORAS DE TRABAJO DEL ALUMNO

| HORAS PRESENCIALES   |   |  |
|--|---|--|
| Clase magistral y presentaciones generales                   | Resolución en clase de problemas prácticos                      | Prácticas de laboratorio, trabajo previo e informe posterior     |
| 20,00  | 20,00   | 20,00  |
| HORAS NO PRESENCIALES  |   |  |
| Prácticas de laboratorio, trabajo previo e informe posterior | Trabajo autónomo sobre contenidos teóricos por parte del alumno | Trabajo autónomo sobre contenidos prácticos por parte del alumno |
| 40,00  | 40,00   | 40,00  |
| <b>CRÉDITOS ECTS: 6,0 (180,00 horas)</b>                     |   |  |

### EVALUACIÓN Y CRITERIOS DE CALIFICACIÓN

| Actividades de evaluación  | Criterios de evaluación  | Peso |
|--|--|------|
| Realización de un examen final de la asignatura. Este examen se realizará con ordenador.   | El examen final tendrá un peso del 60%. Es necesario tener al menos un 5 en la nota de este examen para aprobar la asignatura.             | 60 % |
| Realización de pruebas cortas que permitan verificar el trabajo continuo del alumno durante el curso. Estas pruebas pueden realizarse con ordenador. | Estas pruebas tendrán un peso del 5% en la nota final de la asignatura. No imponen ninguna restricción a la hora de aprobar la asignatura. | 5 %  |
|  |  |      |



|   |   |      |
|---|---|------|
| Realización de una o dos pruebas con ordenador para evaluar la asimilación de los conceptos fundamentales sobre los que se trabaja en las sesiones prácticas. | Estas pruebas tendrán un peso del 30% en la nota de la asignatura. Es necesario tener al menos un 5 en la nota de la parte práctica para aprobar la asignatura.   | 30 % |
| Evaluación del trabajo del alumno durante las sesiones prácticas.   | Esta nota se basará en la revisión de la información recopilada por el alumno durante dichas sesiones, ya sea informes o cuaderno de laboratorio. Esta nota tiene un peso del 5% en la nota final de la asignatura. También contabiliza en el cálculo de la nota de la parte práctica, que deber ser igual o superior a 5 para aprobar la asignatura. | 5 %  |

## Calificaciones

### Convocatoria ordinaria:

- La nota del examen de la convocatoria ordinaria un 60%.
- La media ponderada de las pruebas de seguimiento realizadas a lo largo del curso un 5%.
- La nota de laboratorio, con un mínimo de 5, un 35%.

### Convocatoria extraordinaria:

- La nota del examen de la convocatoria extraordinaria, con un mínimo de 5, un 60%.
- La media ponderada de las pruebas de seguimiento realizadas a lo largo del curso un 5%.
- La nota de laboratorio, con un mínimo de 5, un 35%.
- El alumno no se examina en la convocatoria extraordinaria de la parte (teoría o laboratorio) que haya aprobado en la convocatoria ordinaria.

La asistencia a clase es obligatoria, según el artículo 93 de las Normas Académicas de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI). Los requisitos de asistencia se aplicarán de forma independiente para las sesiones de teoría y de laboratorio:

- En el caso de las sesiones de teoría, el incumplimiento de esta norma podrá impedir presentarse a examen en la convocatoria ordinaria.
- En el caso de las sesiones de laboratorio, el incumplimiento de esta norma podrá impedir presentarse a examen en la convocatoria ordinaria y en la extraordinaria. En cualquier caso las faltas no justificadas a sesiones de laboratorio serán penalizadas en la evaluación.

## PLAN DE TRABAJO Y CRONOGRAMA

| Actividades | Fecha de realización | Fecha de entrega |
|-------------|----------------------|------------------|
|-------------|----------------------|------------------|



|  |                       |                   |
|--|-----------------------|-------------------|
| Lectura y estudio de los contenidos teóricos en el material disponible en la página web de la asignatura | Después de cada clase |                   |
| Resolución de los problemas propuestos   | Semanalmente          |                   |
| Preparación de las pruebas que se realizarán durante las horas de clase                                  |                       | Semanas 4, 9 y 13 |
| Preparación del examen final   | Diciembre             |                   |
| Preparación de las pruebas de evaluación al final de cada proyecto del laboratorio                       |                       | Semanas 6 y 13    |

## BIBLIOGRAFÍA Y RECURSOS

### Bibliografía Básica

- F. Luis Pagola. Control Digital. Universidad Pontificia Comillas, 2012
- N. S. Nise. Control Systems Engineering, 6th Edition. John Wiley and Sons. 2011.

### Bibliografía Complementaria

- Franklin, Powell, Workman. Digital Control of Dynamic Systems. 3rd ed. Addison-Wesley, 1998.
- Phillips, Nagle. Digital Control System Analysis and Design. 3rd ed. Prentice Hall, 1995
- Åström, Wittenmark. Computer Controlled Systems. 3rd ed. Prentice Hall, 1997
- Dutton, Thompson, Barraclough. The Art of Control Engineering. Addison-Wesley, 1997
- Bolzern, Scattolini, Schiavoni. Fundamentos de Control Automático. 3ª ed. Mc Graw Hill, 2008.



## PLANIFICACIÓN DIARIA

|              |        |         |        |   |
|--------------|--------|---------|--------|---|
| 1            | 1      | 4-sept  | M      | Capítulo 1. Introducción al Control Digital           |
|              | 2      | 5-sept  | X      | Capítulo 2. Señales y sistemas en tiempo discreto     |
|              | 3      | 5-sept  | X      |   |
|              | 4      | 7-sept  | V      |   |
| 2            | 5      | 11-sept | M      | Capítulo 3. Transformada Z y función de transferencia |
|              | 6      | 12-sept | X      |   |
|              | 7      | 12-sept | X      |   |
|              | 8      | 14-sept | V      | Capítulo 4. Diseño de controles en tiempo discreto    |
| 3            | 9      | 18-sept | M      |   |
|              | 10     | 19-sept | X      | Lab P1 Modelado del coche y control P                 |
|              | 11     | 19-sept | X      |   |
|              | 12     | 21-sept | V      |   |
| 4            | 13     | 25-sept | M      |   |
|              | 14     | 26-sept | X      | Lab P2 Control PI y PID                               |
|              | 15     | 26-sept | X      |   |
|              | 16     | 28-sept | V      | Prueba corta 1  |
| 5            | 17     | 2-oct   | M      | Capítulo 5. Modelado en espacio de estado             |
|              | 18     | 3-oct   | X      | Lab P3 Control dead beat                              |
|              | 19     | 3-oct   | X      |   |
|              | 20     | 5-oct   | V      |   |
| 6            | 8-oct  | L/V     |        |   |
|              | 21     | 9-oct   | M      |   |
|              | 22     | 10-oct  | X      | Lab P4 Examen proyecto 1                              |
|              | 23     | 10-oct  | X      |   |
|              | 12-oct | V       | Fiesta |   |
| 7            | 24     | 16-oct  | M      |   |
|              | 25     | 17-oct  | X      |   |
|              | 26     | 17-oct  | X      |   |
|              | 27     | 19-oct  | V      | Capítulo 6. Control en espacio de estado              |
| 8            | 28     | 23-oct  | M      |   |
|              | 29     | 24-oct  | X      | Lab P5 Proyecto 2: modelado y control PID             |
|              | 30     | 24-oct  | X      |   |
|              | 31     | 26-oct  | V      |   |
| 9            | 30-oct | M/J     |        | Cambio de horario                                     |
|              | 32     | 31-oct  | X      | Lab P6 Regulador por realimentación de estado         |
|              | 33     | 31-oct  | X      |   |
|              | 34     | 2-nov   | V      | Prueba corta 2  |
| 10           | 35     | 6-nov   | M      |   |
|              | 36     | 7-nov   | X/V    |   |
|              | 37     | 9-nov   | V      |   |
| 11           | 38     | 13-nov  | M      | Capítulo 7. Estimadores de estado                     |
|              | 39     | 14-nov  | X      | Lab P7 Control integral de avance y cabeceo           |
|              | 40     | 14-nov  | X      |   |
|              | 41     | 16-nov  | V      |   |
| 12           | 42     | 20-nov  | M      |   |
|              | 43     | 21-nov  | X      | Lab P8 Control de seguimiento de pared                |
|              | 44     | 21-nov  | X      |   |
|              | 45     | 23-nov  | V      |   |
| 13           | 46     | 27-nov  | M      |   |
|              | 47     | 28-nov  | X      | Lab P9 Examen proyecto 2                              |
|              | 48     | 28-nov  | X      |   |
|              | 49     | 30-nov  | V      | Prueba corta 3  |
| 14           | 50     | 4-dic   | M      |   |
|              | 51     | 5-dic   | X      | Lab P10 Competición proyecto 2                        |
|              | 52     | 5-dic   | X      |   |
| EXAMEN FINAL |        |         |        |   |