



UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA  
DE MADRID

PROCESO DE  
COORDINACIÓN DE LAS  
ENSEÑANZAS PR/CL/001



E.T.S. de Ingenieros  
Industriales

# ANX-PR/CL/001-01

## GUÍA DE APRENDIZAJE

### ASIGNATURA

**55000112 - Control de Sistemas Multivariables**

### PLAN DE ESTUDIOS

05TI - Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

### CURSO ACADÉMICO Y SEMESTRE

2019/20 - Segundo semestre

## Índice

---

### Guía de Aprendizaje

1. Datos descriptivos.....	1
2. Profesorado.....	1
3. Conocimientos previos recomendados.....	2
4. Competencias y resultados de aprendizaje.....	2
5. Descripción de la asignatura y temario.....	3
6. Cronograma.....	7
7. Actividades y criterios de evaluación.....	9
8. Recursos didácticos.....	12

## 1. Datos descriptivos

---

### 1.1. Datos de la asignatura

<b>Nombre de la asignatura</b>	55000112 - Control de Sistemas Multivariables
<b>No de créditos</b>	3 ECTS
<b>Carácter</b>	Optativa
<b>Curso</b>	Cuarto curso
<b>Semestre</b>	Octavo semestre
<b>Período de impartición</b>	Febrero-Junio
<b>Idioma de impartición</b>	Castellano
<b>Titulación</b>	05TI - Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales
<b>Centro responsable de la titulación</b>	05 - Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales
<b>Curso académico</b>	2019-20

## 2. Profesorado

---

### 2.1. Profesorado implicado en la docencia

<b>Nombre</b>	<b>Despacho</b>	<b>Correo electrónico</b>	<b>Horario de tutorías</b> *
Pascual Campoy Cervera (Coordinador/a)		pascual.campoy@upm.es	- -

\* Las horas de tutoría son orientativas y pueden sufrir modificaciones. Se deberá confirmar los horarios de tutorías con el profesorado.

## 3. Conocimientos previos recomendados

---

### 3.1. Asignaturas previas que se recomienda haber cursado

- Álgebra
- Fundamentos De Automatica

### 3.2. Otros conocimientos previos recomendados para cursar la asignatura

- Control Regulatorio Básico
- Controladores PID

## 4. Competencias y resultados de aprendizaje

---

### 4.1. Competencias

CE28B - Conocimiento de los principios de regulación automática y su aplicación a la automatización industrial.

CG1 - Conocer y aplicar conocimientos de ciencias y tecnologías básicas a la práctica de la Ingeniería Industrial.

CG10 - Capacidad para generar nuevas ideas (Creatividad).

CG2 - Poseer capacidad para diseñar, desarrollar, implementar, gestionar y mejorar productos, sistemas y procesos en los distintos ámbitos industriales, usando técnicas analíticas, computacionales o experimentales apropiadas.

CG3 - Aplicar los conocimientos adquiridos para identificar, formular y resolver problemas dentro de contextos amplios y multidisciplinares, siendo capaces de integrar conocimientos, trabajando en equipos multidisciplinares.

CG5 - Saber comunicar los conocimientos y conclusiones, de forma oral, escrita y gráfica, a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades.

CG6 - Poseer habilidades de aprendizaje que permitan continuar estudiando a lo largo de la vida para su adecuado desarrollo profesional.

CG7 - Incorporar nuevas tecnologías y herramientas de la Ingeniería Industrial en sus actividades profesionales.

## 4.2. Resultados del aprendizaje

RA135 - Realización de trabajos prácticos de control sobre sistemas

RA134 - Trabajo en grupo

RA136 - Controlar un sistema multivariable simple mediante lazos de control básico y desacoplo

RA137 - Entender el modelo de estado de sistemas, así como su obtención y resolución

RA138 - Entender y aplicar los conceptos de controlabilidad y observabilidad de sistemas

RA139 - Ser capaces de controlar un sistema mediante realimentación del estado, incluyendo para ello la realización de un observador de dicho estado

## 5. Descripción de la asignatura y temario

---

### 5.1. Descripción de la asignatura

Si «la información es poder» y nuestro objetivo es poder controlar el comportamiento de un sistema, ¿qué mejor que tener la máxima información posible sobre dicho sistema, para ser utilizada en su control? Esta es la idea básica del Control en el Espacio de Estado. Es decir, **contar con la máxima información posible del sistema con objeto de utilizarla para controlarlo mejor**. Con esta idea básica como objetivo principal, la asignatura se halla dividida en distintos temas que abordan las diferentes fases hasta la consecución del control de un sistema partiendo de la máxima información posible de éste, información que viene representada

por el denominado "**estado del sistema**". Este nuevo modelo aporta información completa de la evolución del sistema y se contrapone con ello al modelo clásico más limitado de la relación entrada-salida del sistema. Así cada capítulo aborda y resuelve cada una de las importantes cuestiones planteadas, que son:

1. **¿Cuál es la máxima información que determina el comportamiento de un sistema?** En este tema se explicita que dicha información esta formada por un conjunto mínimo de variables, que constituyen el denominado estado del sistema, que junto con la evolución de las entradas al mismo determinan el comportamiento de cualquiera de sus variables. La evolución temporal del estado obedece a unas ecuaciones, que junto con la relación entre sus variables y el resto del sistema, forman el denominado modelo de estado del sistema.

2. **¿Cuál es la evolución temporal del sistema si conocemos las leyes de variación de las entradas y la información de su estado en el instante inicial?** La resolución de esta pregunta es crucial para relacionar las entradas con la evolución del sistema y ésta con sus salidas medibles. Estos resultados son explotados en los temas 3 y 5 para contestar a las preguntas fundamentales que a continuación se enumeran.

3. **¿Qué parte del sistema puede controlarse con sus entradas disponibles?** Esta pregunta se resuelve en este tema, en el que se separan claramente las variables que pueden controlarse con las entradas del sistema, que constituyen el denominado subsistema controlable, de aquellas variables cuya evolución temporal es independiente de las entradas y está solamente relacionada con sus valores iniciales y la propia dinámica interna del sistema.

4. Si un sistema, o subsistema, puede ser controlado con sus entradas: **¿Cómo deben calcularse estas entradas en función del estado del sistema, para modificar su dinámica?** Esta cuestión es abordada y resuelta en este tema, en el que se ve que en los sistemas controlables, no sólo puede fijarse su evolución temporal con una entrada adecuada, sino que su dinámica puede modificarse de forma sustancial (fijación de sus polos) mediante una **realimentación del estado** del sistema. En este capítulo se aborda y resuelve igualmente el problema del servoposicionador, en el que se consigue controlar el valor en régimen permanente de la salida de un sistema, modificando adicionalmente su dinámica mediante la realimentación de su estado.

5. Si las variables que constituyen el estado del sistema tienen toda la información necesaria de éste en un instante dado ¿cómo se puede conocer su valor? o dicho de forma más precisa: **¿Cuáles son las variables que forman parte del estado del sistema, cuyo valor puede obtenerse a partir de las manifestaciones exteriores del comportamiento de éste (i.e. sus salidas y entradas)?** Esta cuestión se resuelve en este tema, en el que se especifica que dicho conjunto de variables del estado constituye el denominado subsistema observable, puesto que su valor puede calcularse a partir de las salidas y las entradas del sistema, separándolo del resto de las variables de estado, cuya evolución temporal no tiene ninguna repercusión sobre el comportamiento de las salidas del sistema. Llegado a este punto y al final de este capítulo, se obtiene un subsistema denominado **controlable y observable**, constituido por un subconjunto de variables formadas por combinación lineal de las variables de estado del sistema original, tal que la información de su estado puede conocerse con mediciones externas de su salidas y entradas y cuya evolución temporal puede controlarse con el conjunto de entradas disponibles. Éste es por tanto el subsistema que puede y va a ser utilizado en el siguiente tema para efectuar el denominado Control en el Espacio de Estado o control por realimentación del estado del sistema.

6. Si el tema anterior resuelve la modificación potestativa de la dinámica del sistema a partir del conocimiento de su estado, surge de forma inmediata la importante cuestión: **¿Cómo es posible conocer el estado del sistema a partir de sus manifestaciones exteriores (i.e. sus entradas y salidas) para que pueda ser utilizado en la modificación de la dinámica del sistema?** Esta cuestión es resuelta mediante el diseño de los sistemas denominados observadores del estado. La realización práctica de estos sistemas observadores impide que sus cálculos se efectúen mediante operaciones matemáticas derivativas difícilmente realizables en la práctica, obligando por tanto a que estos observadores constituyan un sistema con su propia dinámica intrínseca en el cálculo de su salida (i.e. variables de estado estimadas del sistema original) y en función de sus entradas (i.e. entradas y salidas del sistema original). En este capítulo se resuelve el diseño de estos sistemas observadores del estado, imponiéndoles consecuentemente una dinámica de cálculo mucho más rápida que la de la evolución de las propias variables de estado que se estiman. Este tema supone la culminación de la estructura completa de Control por Realimentación del Estado en sistemas continuos.

## 5.2. Temario de la asignatura

1. Modelo de Estado
2. Evolución del estado
3. Controlabilidad
4. Control por realimentación del estado
5. Observabilidad
6. Observadores y realimentación

## 6. Cronograma

### 6.1. Cronograma de la asignatura \*

Sem	Actividad presencial en aula	Actividad presencial en laboratorio	Otra actividad presencial	Actividades de evaluación
1	<b>Introducción</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
2	<b>Modelado de estado</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
3	<b>Modelo de estado (II)</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
4	<b>Solución de la ecuación de estado</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
5	<b>Solución de la ecuación de estado (II)</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
6	<b>Controlabilidad</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
7	<b>Controlabilidad (II)</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			<b>PEC Parte 1</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Duración: 01:30
8	<b>Realimentación del estado</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
9	<b>Realimentación del estado (II)</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
10	<b>Observabilidad</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
11	<b>Observabilidad (II)</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
12	<b>Observadores</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
13	<b>Realimentación del Estado Observado (II)</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			<b>PEC Parte 2</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Duración: 01:30

14	<b>Aplicaciones</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			<b>Trabajo, entrega y presentación</b> TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo Evaluación continua Duración: 00:10
15				
16				
17				<b>Examen final</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación sólo prueba final Duración: 03:00  <b>Trabajo final</b> TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo Evaluación sólo prueba final Duración: 00:10  <b>Oral sobre el Trabajo final</b> TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo Evaluación sólo prueba final Duración: 00:15

Las horas de actividades formativas no presenciales son aquellas que el estudiante debe dedicar al estudio o al trabajo personal.

Para el cálculo de los valores totales, se estima que por cada crédito ECTS el alumno dedicará dependiendo del plan de estudios, entre 26 y 27 horas de trabajo presencial y no presencial.

\* El cronograma sigue una planificación teórica de la asignatura y puede sufrir modificaciones durante el curso.

## 7. Actividades y criterios de evaluación

### 7.1. Actividades de evaluación de la asignatura

#### 7.1.1. Evaluación continua

Sem.	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
7	PEC Parte 1	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	01:30	30%	3 / 10	CG6 CG10 CG1 CG2 CG3 CE28B CG5
13	PEC Parte 2	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	01:30	30%	3 / 10	CG10 CG1 CG2 CG3 CE28B CG5 CG6
14	Trabajo, entrega y presentación	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	Presencial	00:10	40%	3 / 10	CG10 CG1 CG2 CG3 CE28B CG5 CG6 CG7

#### 7.1.2. Evaluación sólo prueba final

Sem	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
17	Examen final	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	No Presencial	03:00	60%	3 / 10	CG10 CG1 CG2 CG3 CE28B CG5 CG6 CG7

17	Trabajo final	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	No Presencial	00:10	28%	3 / 10	CG6 CG7 CG10 CG1 CG2 CG3 CE28B CG5
17	Oral sobre el Trabajo final	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	Presencial	00:15	12%	0 / 10	

### 7.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

No se ha definido la evaluación extraordinaria.

## 7.2. Criterios de evaluación

El alumno puede optar por cualquiera de los dos métodos de evaluación, debiendo definirse durante las dos primeras semanas de clase antes de la fecha indicada en Moodle para cierre de los equipos de los trabajos.

### Evaluación continua:

- 30% Examen Parte 1 en la fecha indicada en Moodle sobre la semana 7
- 30% Examen Parte 2 en la fecha indicada en Moodle sobre el final del cuatrimestre
- 40% Trabajo, entrega en la fecha indicada en Moodle a final del cuatrimestre y presentación en las últimas dos semanas de clase

Cada una de las partes necesita tener una nota mínima de 3 puntos

Nota1: Los ejercicios semanales entregados en Moodle sólo serán considerados para la evaluación de la asignatura para aquellos alumnos que opten a Matricula de Honor y aquellos que su nota media de evaluación continua esté entre 4,3 y 5.

## Evaluación única y evaluación extraordinaria de Julio:

- 30% Examen de la Parte 1
- 30% Examen de la Parte 2
- 40% Trabajo individual: 28% documento y 12% examen oral (optativo, i.e sin nota mínima))

Cada una de las partes necesita tener una nota mínima de 3 puntos.

## Compensación y liberación

Para ambos tipos de evaluación, continua y única:

La nota correspondiente a cada una de las cuatro partes de la evaluación puede guardarse para la siguiente convocatoria dentro del mismo curso académico siempre y cuando dicha nota sea igual o superior a cinco (5) y si así lo desea el alumno, que opcionalmente puede optar por presentarse para subir nota en esa parte.

## 8. Recursos didácticos

---

### 8.1. Recursos didácticos de la asignatura

Nombre	Tipo	Observaciones
Pagina Moodle de la asignatura	Recursos web	incluye:  * diapositivas de clase  * ejercicios para resonver por los alumnos 
Control en el Espacio de Estado	Bibliografía	libro de texto