



Guía Docente Escenarios 1, 2 y 3:

CONTROL AVANZADO DE PROCESOS



FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
CURSO 2021-2022



ESCENARIO 1. PRESENCIAL

I.- IDENTIFICACIÓN

NOMBRE DE LA ASIGNATURA: Control Avanzado de Procesos Químicos
CARÁCTER: Optativa
MATERIA: Campos de Aplicación de la Ingeniería Química
MÓDULO: Tecnología Química
TITULACIÓN: Master en Ingeniería Química
SEMESTRE/CUATRIMESTRE: Semestral (segundo semestre)
DEPARTAMENTO/S: Ingeniería Química y de Materiales- Matemática Aplicada

PROFESOR/ES RESPONSABLE/S:

Grupo Único	
Teoría Seminario Tutoría Laboratorio	Profesor: MARIA ISABEL GUIJARRO Departamento: Ingeniería Química y de Materiales Despacho: QA-B70 e-mail: migg@ucm.es
Teoría Seminario Tutoría Laboratorio	Profesora: PEDRO YUSTOS CUESTA Departamento: Ingeniería Química y de Materiales Despacho: QP-109 e-mail: pyustosc@ucm.es
Teoría Seminario Tutoría Laboratorio	Profesor: UWE RICHARD OTTO BRAUER Departamento: Análisis Matemático y Matemática Aplicada Despacho: QB 636 e-mail: Uwe_Brauer@mat.ucm.es

II.- OBJETIVOS

■ OBJETIVO GENERAL

La asignatura *Control Avanzado de Procesos* es una asignatura optativa del Master de Ingeniería Química y tiene como objetivo que el alumno adquiera las competencias generales y específicas que le capaciten para la elaboración de modelos dinámicos incluyendo distintas estructuras de control avanzado que habitualmente se utilizan en la industria química para una buena regulación de la planta. El alumno conocerá las bases matemáticas e ingenieriles así como el software informático aplicado a tal fin.



■ OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Aprender a diseñar estrategias de diferentes tipos de procesos, comprender el funcionamiento de los equipos de control en unidades de proceso, y poder calcular, sintonizar e implementar un controlador en un equipo.
- Estudiar en profundidad la instrumentación inteligente y protocolos de comunicación empleando buses de campo, sistemas de control distribuido (DCS), programación de autómatas y controladores lógicos programables (PLC's).
- Aprender a conceptualizar modelos de ingeniería y aplicar métodos innovadores en la resolución de problemas y aplicaciones informáticas adecuadas para el diseño, simulación, optimización y control de procesos y sistemas.

III.- CONOCIMIENTOS PREVIOS Y RECOMENDACIONES

■ CONOCIMIENTOS PREVIOS:

Se recomienda tener una formación previa obtenida a través de asignaturas relacionadas con la Instrumentación y el control de procesos.

■ RECOMENDACIONES:

Nociones básicas del entorno MATLAB-SIMULINK, y de matemáticas (ecuaciones diferenciales, transformadas de Laplace).

IV.- CONTENIDOS

■ BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS CONTENIDOS:

Fundamentos de simulación dinámica de procesos químicos, dinámica de primer y segundo orden. Instrumentación inteligente, sistemas de control distribuido (DCS), controladores lógicos programables (PLC's); se tratan los sistemas de información de plantas, protocolos de comunicaciones y sistemas de gestión. Diseño y ajuste de controladores. Automatización de instalaciones industriales. Control digital de procesos.

■ PROGRAMA:

Tema 1. Introducción matemática para el control de procesos químicos.

- Herramientas matemáticas de control. Transformaciones integrales (Laplace, Fourier)
- Sistemas dinámicos. Linealización y estabilidad.
- Sistemas dinámicos controlados. Controlabilidad. Principio Bang-Bang
- Introducción al Control Óptimo de tiempos de llegada. Modelos y aplicaciones.
- Implementación y simulación en Matlab.

Tema 2. Introducción al control.

Fundamentos de simulación dinámica de procesos químicos. Evolución de los sistemas de control. Identificación de sistemas. Simulación de procesos regulados por controladores PID. Automatización y niveles de automatización de instalaciones industriales.



(Diseño y ajuste de controladores)

Tema 3. Control Avanzado.

Control digital de procesos (control centralizado, control distributivo y PLC's). Red de comunicaciones. Estrategias de control avanzado (Cascada, Control adaptativo, predictivo). Redes neuronales (y modelos de lógica difusa). Control avanzado multivariable. Aplicaciones al control de equipos de proceso, control de procesos energéticos y al control avanzado multivariable. Control de unidades individuales. Simulación dinámica de procesos industriales

V.- COMPETENCIAS

■ GENERALES:

- **CG2:** Concebir, proyectar, calcular y diseñar procesos, equipos, instalaciones industriales y servicios, en el ámbito de la ingeniería química y sectores industriales relacionados, en términos de calidad, seguridad, economía, uso racional y eficiente de los recursos naturales y conservación del medio ambiente.
- **CG5:** Saber establecer modelos matemáticos y desarrollarlos mediante la informática apropiada, como base científica y tecnológica para el diseño de nuevos productos, procesos, sistemas y servicios, y para la optimización de otros ya desarrollados.
- **CG6:** Tener capacidad de análisis y síntesis para el progreso continuo de productos, procesos, sistemas y servicios utilizando criterios de seguridad, viabilidad económica, calidad y gestión medio ambiental.
- **CG10:** Adaptarse a los cambios, siendo capaz de aplicar tecnologías nueva y avanzadas y otros progresos relevantes, con iniciativa y espíritu emprendedor.
- **CG11:** Poseer las habilidades del aprendizaje autónomo para mantener y mejorar las competencias propias de la ingeniería química que permiten el desarrollo continuo de la profesión.

■ ESPECÍFICAS:

- **CE1:** Aplicar conocimientos de matemáticas, física, química, biología y otra ciencias naturales, obtenidos mediante estudio, experiencia y práctica, con razonamiento crítico para establecer soluciones viables económicamente a problemas teóricos.
- **CE3:** Conceptualizar modelos de ingeniería, aplicar métodos innovadores en la resolución de problemas y aplicaciones informáticas adecuadas para el diseño, simulación, optimización y control de procesos y sistemas.
- **CE4:** Tener habilidad para solucionar problemas que son poco familiares, incompletamente definidos o que tengan especificaciones en competencia, considerando los posibles métodos de solución incluidos los más innovadores, seleccionando el más apropiado y poder corregir la puesta en práctica, evaluando las diferentes soluciones de diseño.



- **CE5:** Dirigir y supervisar todo tipo de instalaciones, procesos, sistemas y servicios de las diferentes áreas industriales relacionadas con la ingeniería química.
- **CE11:** Dirigir y realizar la verificación, el control de las instalaciones, procesos y productos, así como certificaciones, auditorías, verificaciones, ensayos e informes.

■ TRANSVERSALES:

- **CT1:** Desarrollar el trabajo de forma autónoma.
- **CT2:** Trabajar en equipo fomentando el desarrollo de habilidades en las relaciones humanas.
- **CT4:** Demostrar razonamiento crítico y autocrítico en busca de la calidad y rigor científicos.
- **CT6:** Aplicar a entornos nuevos o poco conocidos, dentro de contextos multidisciplinares, los conceptos, principios, teorías o modelos relacionados con la Ingeniería Química.
- **CT8:** Integrar creativamente conocimientos y aplicarlos a la resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos multidisciplinares.
- **CT10:** Utilizar herramientas y programas informáticos para el tratamiento y difusión de los resultados procedentes de la investigación científica y tecnológica.

VI. – HORAS DE TRABAJO Y DISTRIBUCIÓN POR ACTIVIDAD

Actividad	Presencial (horas)	Trabajo autónomo (horas)	Créditos
Clases teóricas	30	45	3,0
Seminarios	15	22,5	1,5
Laboratorio en el aula informática	10	7,5	0,75
Tutorías	2	3	0,2
Preparación de exámenes	3	12	0,55
Total	60	90	6

VII.- METODOLOGÍA

El tiempo lectivo del curso se divide en clases teóricas, seminarios, laboratorios, y tutorías.



Las **clases teóricas** se desarrollarán en un solo grupo, formado por el conjunto de todos los graduados matriculados en la asignatura. Consistirán, de forma mayoritaria, en lecciones magistrales en las que se expondrán conocimientos teóricos sobre los contenidos matemáticos e ingenieriles de la asignatura. Mediante esta metodología se plantea desarrollar en el alumno las siguientes competencias: CG2, CG5, CE1, CE2, CE3, CE4, CE5, CE11.

Las **clases de seminario** se realizarán parcialmente en aulas de informática; en estas clases se utilizará el programa MATLAB y herramientas matemáticas empleadas en el control, centrándose en los elementos que se requieran para resolver los casos prácticos asignados a los alumnos. Mediante esta metodología se plantea desarrollar en el alumno las siguientes competencias: CG5, CG6, CG10, CG11, CE1, CE4.

En el **laboratorio** se impartirán en aulas de informática donde se resolverán casos prácticos en MATLAB con el asesoramiento del profesor. Mediante esta metodología se plantea desarrollar en el alumno las siguientes competencias: CG5, CG11, CE3, CE5, CE11, CT8, CT10

En las **tutorías** se supervisará el progreso de los alumnos, resolviendo sus dudas sobre lo aprendido en las clases teóricas, y sobre la resolución de los casos prácticos planteados. Mediante esta metodología se plantea desarrollar en el alumno las competencias CT1, CT2, CT4, CT6.

Se utilizará el **Campus Virtual** como instrumento para poner a disposición de los alumnos el material que se utilizará en las clases teóricas y prácticas, y como medio de comunicación entre el profesor y los alumnos.

VIII.- BIBLIOGRAFÍA

- Computer Controlled Systems. Karl J. Astrom. Prentice Hall (1996).
- Sistemas de Control en Tiempo Discreto. Katsuhiko Ogata. Prentice Hall (2002).
- “Mathematics in Chemical Engineering” in Ullmann’s Modelling and Simulation. B. Finlayson, L.T. Biegler, I. Grossman, Wiley (2007).
- Ingeniería de Control Moderna. Katsuhiko Ogata. Prentice Hall (2010).
- Feedback control of dynamic systems. Gene F. Franklin, J. David Powell (2009).
- Digital Control Systems. Ioan Doré Landua. Springer (2006).
- High performance control of AC drives with Matlab/ Simulink models, Abu-Rub, Haitham. John Wiley & Sons (2012).
- Control avanzado de procesos: teoría y práctica. Acedo Sánchez, José. Díaz de Santos (2004).
- Handbook of Intelligent Control. D.A. White and D.A. Sofge. Van Nostrand Reinhold (1992).
- Introduction to Chemical Engineering Computing, B.A. Finlayson, Wiley (2012)



IX.- EVALUACIÓN

La evaluación del rendimiento del alumno y de las competencias adquiridas en la asignatura se llevará a cabo mediante una evaluación global, que considerará por una parte los exámenes que se realicen y por otra las actividades dirigidas y el trabajo personal efectuado por el alumno.

Para poder realizar la evaluación global de la asignatura y presentarse al examen final, el estudiante deberá haber participado en el 100% de las actividades presenciales.

El rendimiento académico y la calificación final serán el resultado de las calificaciones obtenidas ponderadas de la siguiente forma:

Examen:	60%
Actividades dirigidas:	20%
Prácticas informáticas:	20%

■ EXAMEN ESCRITO: 60%

La evaluación de las competencias adquiridas en la asignatura (CG5, CG6, CG11, CE3, CE4) se realizará mediante pruebas escritas y dos exámenes en las convocatorias ordinaria (junio) y/o extraordinaria (septiembre), que consistirá en un conjunto de cuestiones de desarrollo o aplicación directa de teoría y de problemas numéricos. En el caso de realizar el examen final, será necesario alcanzar una nota mínima de 4 puntos para acceder a la evaluación global de la asignatura.

En el caso de no superar la asignatura realizando el examen final en la convocatoria ordinaria, se podrá efectuar éste en la convocatoria extraordinaria.

Las calificaciones de las actividades previstas para la evaluación de la asignatura se comunicarán a los estudiantes con la antelación suficiente antes de la realización del examen final, para que puedan planificar adecuadamente el estudio de ésta u otras asignaturas.

En todo caso, se respetará el plazo mínimo de diez días entre la publicación de las calificaciones y la fecha del examen final de la asignatura.

PARTICIPACIÓN EN SEMINARIOS Y TUTORIAS: 20%

La evaluación de las actividades dirigidas permitirá conocer el grado de consecución de las competencias CG6, CG11, CE1, CE3, CE4, CE11, CT6 y CT8. Para la convocatoria extraordinaria se mantendrá la calificación de las actividades dirigidas.

Los alumnos han de PARTICIPAR, RESOLVER y ENTREGAR, según plazos que se fijen a principio del curso, una colección de problemas para medir el grado de consecución de las competencias y destrezas en la realización del ejercicio desde las especificaciones del problema hasta los resultados.

Una vez obtenida esta calificación se mantendrá en todas las convocatorias.

■ PRÁCTICAS DE INFORMÁTICA: 20%

Con el fin de fomentar el aprendizaje cooperativo se organizarán grupos reducidos.



La asistencia a todas las sesiones de prácticas informáticas es **obligatoria**. La evaluación en la convocatoria ordinaria se realizará teniendo en cuenta la aptitud y actitud del alumno en las sesiones prácticas, sus respuestas a cuestiones concretas planteadas por el profesor, así como la calidad del informe escrito presentado por grupo de trabajo sobre la resolución del caso práctico y de la práctica. Dicho informe se entregará a los profesores de la asignatura para su evaluación.

La evaluación permitirá conocer el grado de consecución de las competencias CE3, CT2, CT4 y CT10. En la convocatoria extraordinaria, aquellos alumnos que tengan una nota inferior a 4 deberán repetir el informe escrito.

Para poder recibir calificación del caso práctico el alumno debe obtener una calificación mínima (3) en el examen final escrito.



PLANIFICACIÓN DE ACTIVIDADES – CRONOGRAMA

BLOQUE	ACTIVIDAD	HORAS	GRUPOS	INICIO	FIN
1. Introducción al control	Teoría	5	1	1ª semana	3ª semana
	Seminario	2	1		
2. Introducción matemática para el control de procesos	Teoría	10	1	4ª semana	8ª semana
	Seminario	5	1		
3. Control Avanzado	Teoría	15	1	8ª semana	15ª semana
	Seminario	8	1		
BLOQUES 1 y 3.	Tutorías programadas*	2	1	Semanas 5ª, 11ª.	
3. Control Avanzado	Laboratorio	10	4	12ª semana	13ª semana

* Las tutorías programadas están sujetas a posibles modificaciones según la planificación conjunta del curso.



RESUMEN DE LAS ACTIVIDADES

Actividad docente	Competencias asociadas	Actividad Profesor	Actividad alumno	Procedimiento de evaluación	P	NP	Total	C
Clases de teoría	CG2 CG5 CE1 CE2 CE3 CE4 CE5 CE11	Exposición de los conocimientos teóricos necesarios para resolver los casos prácticos	Toma de apuntes		30	45	75	-
Seminarios	CG5 CG6 CG10 CG11 CE1 CE4	Explicación del manejo de MATLAB y SIMULINK	Toma de apuntes Manejo del ordenador	Evaluación del programa entregado para resolver los casos asignados	15	22,5	37,5	20%
Prácticas informáticas	CG5 CG11 CE3 CE5 CE11 CT8 CT10	Asesoramiento a los alumnos en los casos prácticos asignados. Realización de prácticas informáticas	Aplicación de los conocimientos adquiridos en las clases teóricas y seminarios. Manejo de equipos comerciales de control	Evaluación del informe sobre el caso asignado y de las aptitudes en el laboratorio	10	7,5	17,5	20%
Tutorías	CT1 CT2 CT4 CT6	Supervisión del progreso de los alumnos	Preparación de las preguntas para el profesor, asimilación y aplicación de las explicaciones recibidas		2	3	5	-
Exámenes	CG5 CG6 CG11 CE3 CE4	Propuesta, vigilancia y corrección del examen. Calificación del alumno	Estudio y realización	Examen sobre los contenidos expuestos en las clases teóricas	3	12	15	60%

P : Presenciales; NP: no presenciales (trabajo autónomo); C: calificación

Si el desarrollo del curso 2020-21 se viese afectado por medidas conducentes a la no presencialidad, se procederá a la adaptación de la Guía Docente para su tránsito a la docencia y evaluación en línea, adoptando medidas similares a las recogidas en las Adendas de las asignaturas del Master de Ingeniería Química: Ingeniería de Procesos del curso 2019-20.



ESCENARIO 2. SEMIPRESENCIAL

VII.- METODOLOGÍA

- **Clases de teoría y seminarios** impartidos por el profesor en el régimen habitual, como en el Escenario 1, y con el mismo contenido. Atendiendo al principio de *máxima presencialidad* aprobado por el Rectorado de la UCM, la sesión será seguida presencialmente por los alumnos en el aula, hasta aforo completo considerando distancia social. Los alumnos ubicados en aulas provistas de cámaras, y que no quepan en el aula, seguirán la sesión virtualmente, bien desde su domicilio o en las zonas de uso público habilitadas por la Facultad para este fin, que estarán debidamente publicitados en el CV. Para las aulas que no tienen cámara, se establecerá un turno rotatorio de alumnos presenciales en el aula, atendiendo a la numeración del DNI. Este procedimiento podrá ser modificado por el profesor a lo largo del curso, según considere oportuno, para ir ajustando el aforo del aula con los estudiantes asistentes a su clase.
 - El material docente utilizado será las presentaciones de clase habilitadas en el Campus Virtual UCM empleadas también en el Escenario 1, así como vídeos relacionados con la materia y otros tipos de materiales que los profesores de la asignatura consideran de relevancia e interés. Todo el material estará con antelación a disposición de los estudiantes a través del Campus Virtual para su utilización.
 - Los medios telemáticos utilizados para que los alumnos sin presencialidad en el aula sigan virtualmente las sesiones serán las plataformas: Microsoft Teams disponible en el CV, Google Meet o Zoom. El profesor mantendrá abierta una sesión de este tipo para mantener una relación directa y fluida con los estudiantes que asisten virtualmente, pudiendo así proyectarse simultáneamente la presentación .ppt y seguir las tradicionales explicaciones que se den en la pizarra.
- **Prácticas de laboratorio** previstas con una presencialidad general mínima del 60% para poder cumplir con la distancia social necesaria. Atendiendo a las particularidades de cada práctica, si es posible en algún caso la presencialidad podrá verse modificada ligeramente. Habrá prácticas presenciales en un aula, manteniendo así mayor distancia social, virtuales en sesiones síncronas y virtuales en sesiones asíncronas. El material docente empleado será el mismo que el utilizado en el Escenario 1, además de material escrito en forma de manuales, resultados numéricos y gráficos y/o presentaciones en PowerPoint acompañadas de explicaciones. Todo el material estará a disposición de los alumnos con antelación a través del Campus Virtual.
- **Tutorías Individuales**
Se realizarán por video conferencia y/o correo electrónico.
- **Seguimiento del alumnado**
En la parte de docencia que se realiza de forma presencial se seguirán las mismas técnicas empleadas de forma tradicional.
En la parte de docencia virtual el seguimiento se realizará por diversas técnicas, según considere el profesor: mediante la herramienta de registro de actividades de cada sesión (Microsoft Teams), el nombre de los asistentes (Google meet), hoja de firmas habilitada en el CV a modo de cuestionario, análisis de descargas efectuadas por los alumnos en el CV, etc.



IX.- EVALUACIÓN

Se realizarán exámenes presenciales con el procedimiento descrito en el Escenario 1



ESCENARIO 3. TOTALMENTE VIRTUAL

VII.- METODOLOGÍA

- Las clases teóricas se realizarán en presentaciones de Powerpoint con voz, con las explicaciones insertadas en el archivo. Posteriormente, se exportará a un archivo de video que se publicará en el Campus Virtual. Además, se publicará la presentación del tema también en formato pdf.
- Los seminarios se compondrán de la resolución detallada de los problemas propuestos en cada tema. Se publicarán en el Campus Virtual en formato pdf.
- Las tutorías y la prueba de evaluación (trabajo personal) se realizarán de forma virtual mediante tareas en el campus virtual.
- Las sesiones síncronas (resolución de dudas) serán grabadas y subidas al campus virtual.

IX.- EVALUACIÓN

La evaluación del rendimiento del alumno y de las competencias adquiridas en la asignatura se llevará a cabo mediante una evaluación global, que considerará por una parte los exámenes que se realicen y por otra las actividades dirigidas y el trabajo personal efectuado por el alumno.

Para poder realizar la evaluación global de la asignatura y presentarse al examen final, el estudiante deberá haber participado en el 100% de las actividades presenciales.

Tanto en la convocatoria ordinaria como en la extraordinaria la nota final vendrá dada por la nota de un examen escrito (60 % de la nota final) y la nota de las actividades dirigidas (20 % de la nota final) y las prácticas informáticas (20%de la nota final)

DESCRIPCIÓN DEL PROTOCOLO DE EVALUACIÓN

- **Identificación de estudiantes:** Se va a proceder a la identificación durante los 30 minutos previos al comienzo del examen de los estudiantes presentados mediante la herramienta TAREA del Campus a través de la cual tendrán que enviar una imagen escaneada o foto de su CARNET DE ESTUDIANTE o en su defecto, DNI, NIE o PASAPORTE junto a una declaración manuscrita y firmada indicando que su comportamiento durante el examen va a ser ético

El estudiante deberá acceder al CV con su cuenta institucional.

- **Tipo de examen:** El examen constará de dos partes claramente diferenciadas, una relativa a preguntas teórica-prácticas y otra relativa a problemas con desarrollo. La parte relativa a las preguntas teórico-prácticas de aproximadamente 1 hora de duración se desarrollará mediante un examen tipo test mediante la herramienta cuestionario en la plataforma Moodle, que podrá estar dividido en varios bloques o partes por cuestiones técnicas. La parte relativa a problemas con desarrollo, de aproximadamente



2 h de duración se desarrollará mediante un examen tipo desarrollo a través de la herramienta tarea de Moodle

- **Seguimiento de estudiantes durante la prueba:** Se utilizará Google Meet, debiendo el estudiante mantener en todo momento activada la webcam durante la prueba, así como el micrófono cuando el profesor lo requiera. En el caso de no disponer de estos medios, lo hará a través del teléfono móvil. La comunicación con el profesor será a través de correos o chats utilizando en todo momento el Campus Virtual. Además, se comprobará de forma asíncrona comportamientos extraños en cuanto al uso del Campus Virtual, tras analizar los registros de acceso al campus de cada usuario particular (accesos desde distintos equipos, páginas visitadas).
- **Mecanismo de revisión no presencial previsto:** Se realizarán revisiones síncronas previa solicitud razonada de los estudiantes, asignando un espacio de tiempo a cada uno; el estudiante tiene el derecho a revisar todas las evidencias que se hayan usado para decidir su calificación.
- **Mecanismo empleado para la documentación/ grabación de las pruebas de evaluación para su posterior visualización y evidencia:** Los documentos enviados, manuscritos y firmados, en las tareas se albergarán en los espacios correspondientes del Campus. El profesor conservará los ficheros (en el formato electrónico que se especifique) del ejercicio de examen enviados por el estudiante, con las calificaciones parciales que estime oportunas. Además, si se estima oportuno, se podrá proceder a la grabación de la sesión del examen, con las limitaciones establecidas por la UCM, para posterior revisión si fuera necesario. Dicha grabación, de efectuarse, se almacenará con las medidas de seguridad necesarias en equipos de UCM y será eliminada pasado el tiempo de revisión.