

*Ministerio de Cultura y Educación  
Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional Rosario*

Rosario, 21 de diciembre de 1999

VISTO los programas analíticos presentados por los Departamentos Ingeniería Química, Ingeniería en Sistemas de Información y la U.D.B. Legislación y Economía del Departamento Materias Básicas, y

**CONSIDERANDO:**

Que los aludidos programas responden a las asignaturas que conforman los Nuevos Diseños Curriculares, dándose cumplimiento a la Circular del Rectorado N° 80/96, en la cual se determina que deben contar con la aprobación del Consejo Académico.

Por ello y atento a las atribuciones otorgadas por el artículo 93 del Estatuto Universitario.

**EL CONSEJO ACADEMICO DE LA FACULTAD REGIONAL ROSARIO  
DE LA UNIVERSIDAD TECNOLOGICA NACIONAL**

**RESUELVE:**

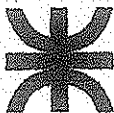
ARTICULO 1º.- Aprobar los programas analíticos que se detallan a continuación:

**Departamento Ingeniería Química**

Control Automático de Procesos	(IQ)
Integración II	(IQ)
Integración III	(IQ)
Integración V (Proyectos de Plantas)	(IQ)
Operaciones Unitarias I	(IQ)

**Departamento Ingeniería en Sistemas de Información**

Administración Gerencial	(ISI)
Dirección de Recursos Humanos	(ISI)
Gestión de Datos	(ISI)
Inteligencia Artificial	(ISI)
Metodología de la Investigación	(ISI)
Proyecto	(ISI)
Sistemas de Gestión I	(ISI)
Sistemas de Gestión II	(ISI)
Sistemas de Información Integrados para la Industria	(ISI)



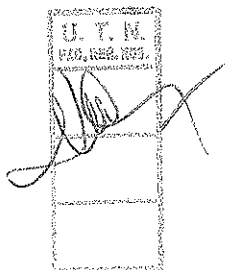
*Ministerio de Cultura y Educación  
Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional Rosario*

Materias Básicas  
U.D.B. Legislación y Economía  
Gestión Ingenieril  
Legislación

(IQ)  
(ISI)

ARTICULO 2º.- Regístrese. Comuníquese. Cumplido, archívese.

RESOLUCION Nº 425/99



Ing. Daniel Oscar BADIA  
Decano

Ing. Mateo RODRIGUEZ VOLTA  
Secretario Académico



PROGRAMA ANALÍTICO DE LA ASIGNATURA: **Control Automático de Procesos**

APROBADO RESOLUCIÓN N° 425/99 CO. ACAD. FRRo

PLAN DE ESTUDIOS ORDENANZA N°: 1028

NIVEL DE IMPLEMENTACIÓN: 5°

HORAS SEMANALES: 4

DICTADO ANUAL

ÁREA DE CONOCIMIENTO: Tecnología Aplicada

PROFESOR: **Ing. Eduardo Mutazzi**

DIRECTOR DE DEPARTAMENTO: **Ing. Héctor Garibaldi**

**OBJETIVOS GENERALES DE LA ASIGNATURA:** Que el alumno pueda formular e interpretar los lazos de control automático para los procesos y operaciones más comunes de la Industria Química

Que el alumno sepa la dinámica de los procesos para interpretar las funciones y parámetros de control, conocer los equipos de control que proveen las tecnologías actuales así como efectuar el ajuste de estos parámetros, para el funcionamiento estable de un proceso.

Que el alumno comprenda que es de su responsabilidad decidir cuáles son los posibles límites físico-químicos de variabilidad de un proceso, aplicando los conocimientos de la disciplina, cuando intervenga dentro de un equipo multidisciplinario en el diseño o la operación de una planta química automatizada.

**FUNCION DE LA ASIGNATURA EN EL PLAN DE ESTUDIOS:** Esta asignatura muestra al futuro ingeniero químico como se conduce y controla la operación de los procesos químicos.

La práctica industrial y la investigación académica se ven conformadas por los siguientes sucesos:

- La estructura de los procesos químicos se vuelve cada vez más compleja, debido a la mejor gestión exigida en relación con el aprovechamiento de la energía, las materias primas y la calidad de los productos. En consecuencia, el diseño de los sistemas de control deviene cada más relacionado con el propio diseño del proceso.
- El diseño de un sistema de control implica identificar los objetivos de control, la selección de los parámetros de medición y operación (manipulación) del proceso, como así también, la determinación de los lazos que los conectan y la identificación de los algoritmos que brinden el control apropiado.



- El advenimiento de las computadoras permite la simulación de posibles estrategias de control y la implementación de conceptos de control avanzados.

Es importante que el alumno de ingeniería química entienda la naturaleza de los problemas del control automático y sus atributos, así también como la sistematización de los procedimientos para solucionarlos para su adecuada realización en la profesión.

Por lo tanto es posible formular que:

- El control de procesos químicos es un sujeto de estudio con sus propios vericuetos y desafíos. Está íntimamente relacionado a la ciencia y la práctica de la ingeniería química y no es el hijo degenerado de otra rama de la ingeniería.
- El diseño de un sistema de control, es algo más que un problema matemático. Debe ser percibido como una tarea propia de ingeniería, con sus desafíos y carencias.
- El conocimiento del fenómeno físico-químico que tiene lugar en un proceso químico es de la mayor importancia para el diseño de un sistema de control efectivo.

FIRMA DIRECTOR DEPTO. INGENIERÍA QUÍMICA

FIRMA PROFESOR



## **CONTENIDOS MINIMOS SEGUN LO ESTABLECE LA ORDENAZA 1028:**

Lazos de control. Componentes tecnológicos. Interfase hombre proceso. Dinámica de los procesos. Teoría del Control. Estabilidad. Criterios de ajuste y performance. Esquema de control de equipos y procesos industriales. Criterios de diseños de lazos de control y operabilidad en plantas de procesos.

### **PROGRAMA ANALITICO**

**Tema 1:** Introducción conceptual al control automático. Realimentación negativa. Control en avance. Control en cascada. Instrumentación local y remota. Reconocimiento de los componentes tecnológicos. Interfase hombre proceso. Paneles de control, alarmas y cortes. Válvulas automáticas. Diagramas de lazos de control. Simbología e interpretación de planos y representaciones gráficas.

**Tema 2:** Algebra de diagramas en bloque. Relación entre los diagramas en bloque y tecnológicos. Efectos de las perturbaciones. Determinación de la función de transferencia por medio de ecuaciones diferenciales (Ecuaciones de balance, tecnológica). Transformadas de Laplace, integración, derivación, teorema del cambio, teorema del desplazamiento, teoremas del valor inicial y final, teoremas de la convolución (transformación al campo complejo y antitransformación al campo temporal). Interpretación de las funciones especiales: impulso, escalón, rampa y senoidal.

**Tema 3:** Sistema de primer orden. Analogías de diferentes sistemas físicos. Elemento fundamental en que se basa dicha analogía. Elemento de capacidad y elemento de resistencia. Elemento de retardo de primer orden, interpretación y ejemplos. Determinación de la función de transferencia de un sistema de primer orden. Constante de tiempo, determinación. Análisis de respuestas del sistema de primer orden a perturbaciones: impulso, escalón y rampa. Análisis frecuencial del sistema de primer orden, diagramas de Nyquist y Bode.

**Tema 4:** Elemento de retardo de Segundo Orden. Respuesta a una función escalón: Hipo, crítica e hiperamortiguado. Sobrepasso y relación de subsidencia (Overshoot y decay ratio). Elemento de tiempo muerto o demora distancia velocidad. Sistemas de orden superior. Aproximaciones a sistemas superiores con elemento de tiempo muerto y sistemas de primero o segundo orden. Sistemas con respuesta inversa.

**Tema 5:** Controladores. Sí – no (no – off). Proporcional (P). Proporcional Integral (PI). Proporcional Derivativo (PD). Proporcional, integral y derivativo (PID). Realimentación negativa. Paso en avance, paso de realimentación. Función del controlador. Acción proporcional, ganancia y banda proporcional. Tiempo integral y tiempo derivativo. Control de sistemas de primero y segundo orden por medio de control con acción proporcional, con acción proporcional más acción integral, con acción proporcional más acción derivativa, con acción proporcional más acción integral más acción derivativa. Sistema de control de



orden superior controlado por PID, por control con matriz inversa y control robusto.

**Tema 6:** Ajuste de controladores y estabilidad. Criterios de performance. Método de ajuste del último período o Zieger Nichols. Método de ajuste de la curva de reacción, según Cohen Coon, según el diagrama de Bode, según los lineamientos de control robusto.

**Tema 7:** Instrumentación y control de operaciones unitarias. Control de caudal en bombas y ventiladores. Control de presión en Compresores. Control de temperatura en Intercambiadores de calor. Multicontrol en Hornos, Alambiques, Columnas de destilación, Sistemas frigoríficos, Secaderos, Reactores, etc. Medición de temperatura, caudal, presión y nivel. Instrumentos en uso y estudio de los principios de funcionamiento para su correcta aplicación. Elementos de acción final: Válvulas de control

### **TRABAJOS PRACTICOS:**

Cada tema tiene un cuestionario con preguntas de orden conceptual y problemas de resolución.

### **TRABAJOS PRÁCTICOS EXPERIMENTALES:**

#### **Sistemas dinámicos de primer orden.**

- a) Determinar la respuesta temporal a una función escalón y el valor de la constante de tiempo.
- b) Determinar la respuesta a una función senoidal de frecuencia variable. Trazado de los diagramas de Nyquist y Bode.

El sistema de primer orden se construye con un circuito eléctrico con una resistencia y un capacitor eléctrico. Se visualiza la experiencia de la carga del condensador en un osciloscopio. Se actúa sobre el sistema, con un potencial eléctrico siguiendo una función escalón para la determinación requerida en el punto a y con un generador de frecuencias de forma senoidal, para el punto b.

El objetivo de estas experiencias es permitir al alumno obtener imágenes concretas de un tema que parece pertenecer al mundo abstracto de la matemática y a la vez, percibir la aproximación del modelo con los datos obtenidos de la realidad.

#### **Sistemas dinámicos de orden superior.**

- a) Determinar la evolución de una variable de un proceso cuando el sistema es expuesto a un cambio en escalón.
- b) Determinar las posibles expresiones matemáticas que permitan modelar la función de transferencia del sistema sobre el cual se ha realizado la experiencia.

La experiencia se desarrolla con un termómetro dentro de un tubo que se introduce en un baño a temperatura constante.

Los objetivos que se persiguen con este trabajo son los siguientes:



- a) Que el alumno aprenda a registrar y evaluar el comportamiento dinámico de cualquier proceso, captando las dificultades que surgen en toda determinación experimental.
- b) Que el alumno adquiera destreza en el uso de las herramientas matemáticas que le permitan modelar el comportamiento dinámico del proceso, tales como: Vladimir-Strejec, por ciento incompleto o combinación de tiempo muerto más sistemas de primero o segundo orden.

#### **Estudio de casos. Monografía.**

El alumno, trabajando dentro de una comisión de trabajo, debe presentar una monografía donde desarrolle el ajuste de los parámetros de un controlador PID (Proporcional Integral y Derivativo), mediante la utilización de un software de control, tal como el Classic Control (CC), Simulink, Matlab u otros, para un proceso, donde su función de transferencia se ha simulado con una combinación de tiempo muerto más sistema de primero o segundo orden.

Debe aplicar al menos dos de los siguientes métodos: del último período o Ziegler-Nichols; de respuesta a una función escalón con alguna de sus variantes, Cohen-Coon, del diagrama de Bode o siguiendo los lineamientos del control robusto.

El objetivo del trabajo busca que el alumno pueda percibir el significado de estabilidad de un lazo de control y adiestrarse en realizar un ajuste de los parámetros de control.

#### **BIBLIOGRAFIA:**

##### **Cuadernos de la Cátedra:**

- Programa Analítico, Objetivos y Cuestionarios.
- Introducción. Lazos de control. Salas de Control. Terminología y Símbolos. Sala de comando de Industria Química

##### **Teoría de Control:**

- Dinámica de Sistemas de 1er orden. Bode y Nyquist.
- Dinámica de Sistemas de 2º orden y superior.
- Controladores. Estabilidad. Ajuste.
- Inicio en el uso del Classic Control (CC) a través de un ejemplo práctico
- Ajuste Robusto a controladores convencionales. Ajuste de los Parámetros de un PDI por medio del Diagrama de Bode, Asistido por PC y también en la Revista: Tecno de la UTN Facultad Regional Rosario. Nº 1 páginas: 10 a 17.
- Esquemas de Control de Procesos y Operaciones Unitarias.
- Mediciones de Caudal.
- Mediciones de Temperatura.
- Análisis de Riesgos.
- Guías de Trabajos Prácticos.

#### **LIBROS:**

##### **Básicos:**

- Stephanopoulos, G. Chemical Process Control. (1984) Prentice-Hall



- Ogata Katsuhiko. Ingeniería de Control Moderna. (1993). Prentice-Hall
- Perry. Manual del Ingeniero Químico. Fundamentos del Control Automático. Medición de Procesos. Computer Process Control. 5ª Edición y siguientes.
- Shinkey. Process Control Systems.
- Kuo Benjamin. Sistemas Automáticos de Control (1996) 7ª Edición. Prentice-Hall
- Creus, Antonio. Instrumentación Industrial. Editorial Marcombo. (Dedicado a la instrumentación y elementos "hard" que componen el lazo de control)
- Broïda, V. Automatización Regulación Automática Servomecanismos. EUDEBA.
- Davie y Villar. Introducción a la automatización industrial. Tomos I y II.
- Control de Procesos. Conceptos Básicos, Terminología y Técnicas. AADECA.
- Sánchez Peña, Ricardo. Control Robusto. AADECA. N° 7 Vol. 3
- Varios. Performance de lazos de Control. AADECA. N° 3 Vol. 2.

#### **De Consulta:**

- Shinskey, F: G: Distillation Control. Mc Graw Hill.
- Luyben, W. L. Process Modelling, Simulation and Control for Chemicals Engineers. Mac Grow-Hill.
- Takashasi. Control and Dynamics Systems.
- Olle. Control System Theory.
- Sanchez Peña, Ricardo. Introducción a la Teoría del Control Robusto. AADECA.
- D'Attellis. Introducción a los Sistemas No Lineales y sus aplicaciones. AADECA

#### **Softwares:**

- Classic Control (CC)
- Simulink
- Matlab
- Hysys

#### **METODOLOGÍA DE ENSEÑANZA:**

En la Cátedra, se han ido incorporando una serie de innovaciones pedagógicas, desde principios de esta década a la fecha, que se resume en lo siguiente:

Los alumnos desde el principio cuentan con el material básico de estudio y la bibliografía de consulta. Disponen también, de una serie de cuestionarios guías por temas.

El docente inicia un tema indicando en forma global de qué se trata. Se presenta lo que se denomina un Mapa Conceptual.

Los alumnos se agrupan en comisiones de tres o cuatro miembros, cada comisión debe adoptar un nombre que la identifique y debe proceder a





contestar el cuestionario. Se produce un intercambio de ideas dentro del grupo que facilita la interpretación del tema.

En la clase siguiente, presentan al docente las respuestas elaboradas y las dudas encontradas. De estas dudas para ser presentadas, la comisión debe formular una posible hipótesis de lo que ha creído entender. No se acepta la postura fácil del no entendí.

La comisión debe entregar los problemas que ha resuelto para evaluarlos.

El docente a su vez, promueve y dirige el debate entre alumnos de distintas comisiones e interviene hasta que considera que el tema queda razonablemente clarificado.

Se dirige la clase para lograr un aprendizaje significativo, es decir que pueda ser relacionado con una experiencia concreta.

El Jefe de Trabajos Prácticos asiste al docente evaluando la actitud de los alumnos, la participación y la intelección por medio de un punteo sobre un listado de control, mientras transcurre la clase debate y el docente dialoga con cada alumno.

La cantidad de alumnos permite esta forma de trabajo cuando es del orden de los veinte, se dificulta algo cuando se llega a los treinta.

Desde el primer día de clase se establecen las reglas del juego sobre cómo se evaluará para alcanzar la regularidad de la materia y cuál es la forma de desarrollo de curso.

Al inicio de cada ciclo lectivo se invita algún alumno del curso anterior para que comunique sus impresiones sobre esta innovación pedagógica.

Para que adquieran una visión global de la temática del curso, en las primeras clases reciben un Cuadernillo de AADECA que les da el conocimiento cualitativo y conciso del control automático. Mas adelante se entrega el software CC, que les servirá de apoyo en la parte analítica y cuantitativa.

El grueso de la tarea, el alumno, la realiza extra clase estudiando y debatiendo con los miembros de su comisión. La clase es solo punto de reunión y de realimentación de lo aprendido.

La elección del software para trabajo del alumno, fue realizada con el criterio que pueda usarse en cualquier PC y sea fácil de pasar. El CC ocupa un espacio de memoria que cabe en un diskette y puede operarse desde una 386 en adelante. Es matemáticamente riguroso, aunque poco amigable. Ha demostrado de todas formas, ser adecuado y los alumnos lo llegan a dominar perfectamente para las necesidades del curso. Se les brinda un cuadernillo que los guía a través de una aplicación.

Los alumnos, por iniciativa propia, complementan los trabajos con otros softwares que le ayudan con formas de representación más elegantes. Se está evaluando el uso de una versión reducida de Simulink, con su parte de Matlab incorporada, que puede ser comprimida a un diskette. También se considera la posibilidad del uso de un toolbox de Matlab.

Los alumnos adhieren rápidamente a esta metodología. Entienden que aprovechan su tiempo y visualizan el significado de los conocimientos adquiridos. Cada comisión quiere mostrar su competencia. El alumno que no participa queda rápidamente en evidencia. Producida la deserción inicial, que en la práctica ha resultado baja, el resto alcanza a regularizar la asignatura.



Hacia la mitad del curso, se hace una evaluación formal donde el docente le indica al alumno como lo ve. El alumno, por su parte, tiene la oportunidad de expresar sus puntos de vista que sirven de realimentación para el docente.

Prácticamente los alumnos alcanzan a abarcar todos los temas del Programa durante el curso lectivo. El resultado es una mayor participación del alumno que se refleja en una disminución en el número de fracasos en los exámenes y en la reducción del tiempo entre el fin del cursado y la presentación al examen. En las visitas a fábricas hacen preguntas apropiadas y mantienen diálogos acertados con el personal.