

Plan Anual de Actividades Académicas

CARRERA: Ingeniería Eléctrica

Asignatura - Nivel	Docentes
Asignatura: CONTROL AUTOMÁTICO	Profesor Titular: Dra. Marta Basualdo
Nº de orden: 32	JTP: Ing. Marcelo Castello
Bloque: Tecnologías Aplicadas	
Área: Control	
Curso: 4º Nivel - Comisión: 01	
Horas Semanales: 5 - Horas Anuales: 160	

INDICE

I.- Datos Generales.....	Pág. 2
II.- Objetivos de la Asignatura.....	Pág. 2
III.- Programa Sintético.....	Pág. 3
IV.- Contenidos.....	Pág. 3
V.- Estrategias Didácticas.....	Pág. 10
VI.- Recursos Auxiliares.....	Pág. 12
VII.- Evaluación.....	Pág. 14
VIII.-Cronograma de Actividades.....	Pág. 15
IX. -Bibliografía.....	Pág. 18

I.- Datos Generales

- I.1.- Departamento Académico: Ing. Eléctrica
- I.2.- Director: Santiago Oscar
- I.3.- Nombre de la asignatura: Control Automático
- I.4.- Código de la asignatura: 07950437
- I.5.- Plan de estudio al que pertenece la asignatura: 1995
- I.6.- Curso donde se dicta la asignatura: 4to.
- I.7.- Horas semanales de dictado: 5
- I.8.- Horas semanales de consulta: 2
- I.9.- Duración del dictado: Anual
- I.10.- Profesor a cargo: Dra Marta Basualdo
- I.11.- Categoría docente: Prof. Titular
- I.12.- Condición: Ordinario
- I.13.- Docentes que componen el plantel que dicta la asignatura:
 - Nombre: Ing. Marcelo Castello
 - Categoría y condición: JTP- Ordinario
 - Carga horaria: 5 hs. semanales
 - Actividad planificada: si

II .- Objetivos de la Asignatura

II.1.- Objetivos generales (según el currículo oficial)

Los objetivos de esta asignatura son los que se enumeran a continuación:

- se pretende que el alumno adquiera las nociones básicas en los aspectos tecnológicos vinculados al control automático como una herramienta poderosa que garantiza el funcionamiento seguro y rentable de un sistema en su punto operativo deseado,
- que el alumno conozca y comprenda los principios básicos del modelado de sistemas dinámicos riguroso y tipo “caja negra” como lo son las funciones de transferencia,
- que adquiera los conceptos fundamentales del control clásico a fin de abordar en el futuro las temáticas vinculadas al control avanzado sin mayores dificultades,
- que aplique estos principios al diseño de controladores convencionales,
- que conozca y comprenda los principios del funcionamiento de los lazos de control y su efecto sobre las variables involucradas en ellos,
- que sea capaz de analizar casos de complejidad creciente y extraer conclusiones a partir de ellos.

II.2.- Función de la asignatura en el plan de estudio- carrera

El área del control en sí misma es una especialidad que históricamente se le asigna a los ingenieros electricistas o electrónicos y que les posibilita un área de trabajo en grandes y medianas industrias. Por otra parte, una vez que han ganado experiencia en el tema no es impensable la alternativa de poder desarrollar su propia empresa en el área de control aplicado. Además, el aprendizaje de los conceptos básicos también involucra el conocimiento necesario para realizar modelos dinámicos de sistemas físicos reales. En este contexto, el enorme campo de aplicación que conlleva el conocimiento de modelar el efecto de variables que ingresan al sistema sobre las variables de salida del mismo se puede trasladar a sistemas biológicos, económicos, financieros, etc. Este último aspecto le proporciona un fuerte carácter de universalidad al modelado y control de sistemas ampliando en gran medida el espectro de aplicaciones a llevar a cabo.

III.- Programa Sintético:

1. Función de transferencia. Grafos de señal. Diagramas en bloque.
2. Realimentación.
3. Régimen permanente. Entrada de referencia y perturbación o carga.
4. Estabilidad. Criterios y su aplicación. Respuesta frecuencia Representación de Bode.
5. Compensación en cascada y por realimentación.
6. Representación de sistemas físicos mediante variables de estado. Matriz de estado. Ecuación retransición. Función retransferencia y autovalores.
7. Observabilidad y controlabilidad de sistemas
8. Criterio de optimización de sistemas de control

Comentarios: La ejercitación se basará en casos prácticos reales.

IV.- Contenidos

IV.1.- Contenidos mínimos según la Ordenanza N°

Funciones de transferencia. Grafos de señal. Diagramas en bloque.

Realimentación

Régimen permanente. Entrada de referencia y perturbación.

Estabilidad. Criterios y su aplicación. Respuesta frecuencial . Representación por Bode.

Introducción al control avanzado tradicional

Compensación en cascada y por realimentación.

Representación de sistemas físicos mediante variables de estado. Matriz de estado. Ecuación de transición. Función de transferencia. Autovalores.

Controlabilidad y observabilidad

Criterio de optimización de sistemas de control.

Tendencias actuales de control avanzado

IV.2.- Vinculación con otras asignaturas

Análisis Matemático I, II y III y Álgebra

IV.3.- Programa analítico organizado por unidades temáticas:

Unidad didáctica 1

Funciones de transferencia. Grafos de señal. Diagramas en bloque.

Modelado matemático de sistemas físicos. Repaso de los principales conceptos de la Transformada de Laplace. Obtención de funciones de transferencia de sistemas físicos. Funciones de respuesta impulsiva, al escalón y a la rampa. Funciones de transferencia de 1°, 2° orden. Funciones de órdenes superiores. Caracterización. Procedimiento para trazar diagramas de bloque. Reducción de diagramas en bloque. Grafos de señal. Definiciones. Propiedades de los grafos de señal. Álgebra de gráficos de flujo de señal. Representación gráfica de flujo de señal de sistemas lineales. Grafos de señal en sistemas de control. Linearización de un modelo matemático no-lineal.

Unidad didáctica 2

Realimentación

Concepto de realimentación. Ejemplos de aplicación. Tipos de controladores industriales de realimentación. Control proporcional (P), proporcional-integral (PI), proporcional-integral-derivativo (PID). Elementos de medición (sensores). Líneas de transmisión. Elementos de acción final de control. Comportamiento dinámico de sistemas con control realimentados. Diagrama en bloques de la respuesta a lazo cerrado. Análisis en el dominio de la variable compleja S (de Laplace) del efecto de las acciones de control P, PI y PID a lazo cerrado aplicados a sistemas de 1° y 2° orden. Criterios de selección de controladores en estructuras retroalimentadas.

Unidad didáctica 3

Régimen permanente. Entrada de referencia y perturbación.

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). 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. Métodos de ajuste en el dominio temporal. Índices de error como medida del desempeño de los controladores según los parámetros de ajuste seleccionados. Diseño de controladores en avance o “feedforward” para contrarrestar el efecto de las perturbaciones. Diseño combinado de retroalimentación y avance. Comparación a través de los índices de performance.

Unidad didáctica 4

Estabilidad. Criterios y su aplicación. Respuesta frecuencial . Representación por Bode.

Noción de estabilidad. La ecuación característica. Criterio de estabilidad de Routh – Hurwitz. Análisis de estabilidad por el método del lugar de raíces. Respuesta en frecuencia de sistemas de primer orden con entrada senoidal. Características de la respuesta en frecuencia de sistemas lineales. Diagramas de Bode. Diagramas de Nyquist. Diseño de controladores con retroalimentación en el dominio frecuencial aplicando criterios de estabilidad. Márgenes de ganancia y fase.

Unidad didáctica 5

Introducción al control avanzado tradicional

Diseño de controladores en avance o “feedforward” para contrarrestar el efecto de las perturbaciones. 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. 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.

Diseño de control con múltiples lazos

Control en cascada. Control Selectivo. Control de rango dividido. Ejemplos de aplicación industrial.

Interacción y desacopladores

Descripción del efecto de interacción entre lazos de control. Efecto de la interacción sobre la estabilidad del sistema global. Selección del apareamiento entre los lazos mediante la matriz de ganancia relativa (RGA). Diseño de lazos nointeractuantes mediante el uso de desacopladores. Ventajas y desventajas del uso de desacopladores.

Unidad didáctica 6

Compensación en cascada y por realimentación.

Especificaciones de funcionamiento. Modificación de la dinámica de la planta. Compensación del sistema. Compensación en cascada o serie y compensación por realimentación o paralelo. Compensadores. Procedimientos de diseño de compensadores. Método del lugar de raíces aplicado a sistemas de control. Efecto de la adición de polos y ceros. Método de la respuesta en frecuencia aplicado a sistemas de control. Información obtenible de la respuesta en frecuencia de lazo abierto. Requerimientos de la respuesta en frecuencia de lazo abierto. Compensación en adelanto, atraso y adelanto- atraso. Técnicas de compensación basadas en el método del lugar de raíces y de la respuesta en frecuencia. Comparación de las compensaciones adelanto, atraso y adelanto- atraso. Cancelación de polos indeseables reales y complejos conjugados. Compensación por realimentación. Eliminación de efectos indeseables (perturbaciones).

Unidad didáctica 7

Representación de sistemas físicos mediante variables de estado. Matriz de estado. Ecuación de transición. Función de transferencia. Autovalores.

Limitaciones de la teoría del control convencional. Principales conceptos y objetivos de la teoría de control moderna. Definiciones de estado, variables de estado, vector de estado, espacio de estado. Análisis de sistemas complejos. Representación de sistemas físicos en el espacio de estado. Carácter de no unicidad del conjunto de variables de estado para un sistema dado. Autovalores de una matriz. Invariancia de los autovalores. Resolución de la ecuación de estado invariante en el tiempo. Matriz de transferencia. Sistemas lineales variables en el tiempo. Matriz de transición de estado. Propiedades. Solución de ecuaciones de estado variantes en el tiempo.

Unidad didáctica 8

Controlabilidad y observabilidad

Principales conceptos y objetivos de la controlabilidad y observabilidad de sistemas de múltiples entradas y múltiples salidas. Independencia lineal de vectores. Controlabilidad de estado completo en sistemas de tiempo continuo. Forma alternativa de la condición de controlabilidad completa de estado. Condición de controlabilidad de estado completa en el plano s . Controlabilidad de salida. Observabilidad de estado completo en sistemas de tiempo continuo. Forma alternativa de la condición de observabilidad completa de estado. Condiciones de observabilidad de estado completa en el plano s . Observabilidad de salida. Relaciones entre observabilidad, controlabilidad y función de transferencia.

Unidad didáctica 9

Criterio de optimización de sistemas de control.

Sistemas de control de tiempo óptimo de sistemas de tiempo continuo con señales de control acotadas. Comentarios sobre el control de tiempo óptimo en sistemas de control de orden superior. Sistemas de control óptimo basados en índices de comportamiento estadístico cuadrático. Problemas de optimización de parámetros resueltos por el segundo método de Liapunov.

IV.4.- Objetivos de cada unidad temática

El desarrollo de la materia se llevará a cabo sobre la base de la asociación de conceptos de complejidad creciente a medida que evoluciona el dictado de la misma. En tal sentido se presenta a continuación un conjunto de expectativas relacionadas con cada unidad didáctica a fin de alcanzar los objetivos generales arriba señalados.

Unidad didáctica 1: Función de transferencia. Grafos de señal. Diagramas en bloque

En esta unidad se le presenta al alumno las funciones de transferencia (FT) de primero, segundo y órdenes superiores como paradigmas de modelado de tipo entrada-salida asociados a sistemas reales. A través de ejemplos sencillos se indican las distintas etapas hasta la obtención de la FT. La posterior asociación en diagramas en bloque o grafos de señal permitirá introducir al alumno en el concepto básico que se persigue al querer controlar una planta.

Unidad didáctica 2: Realimentación

Se distinguirá la ventaja que presenta la realimentación de la variable controlable a fin de producir cambios en la variable manipulable con el objeto de alcanzar un valor deseado o de referencia. En particular se analizarán sus efectos (positivos y negativos) comparados con un esquema sin realimentar. A partir de aquí el alumno

será capaz de reconocer las posibilidades que brinda el controlador dependiendo de su función de transferencia y del resultado de la comparación entre la referencia y la variable medida.

Unidad didáctica 3: Régimen permanente. Entrada de referencia y perturbación o carga.

Inicialmente se le indicará al alumno cómo diferenciar de la totalidad de variables de entrada cuáles son candidatas a ser manipulables y cuáles constituyen perturbaciones. A partir de allí se podrán apreciar los efectos dinámicos que éstas producen sobre la salida de un sistema sin controlar y uno controlado. A través de este experimento se advierte claramente la funcionalidad del controlador ante este tipo de efectos. Posteriormente se observará el comportamiento dinámico del sistema cuando se produce un cambio en la señal de referencia. Las distintas condiciones finales a las que arriba el sistema dejará el concepto claro de los efectos que tales cambios introducen en el comportamiento dinámico y de estado estacionario del sistema controlado. Nuevamente aquí el alumno será capaz de advertir las posibilidades que cada tipo de controlador ofrece ante estas exigencias y por otra parte las dificultades que se presentan para lograr un diseño comprometido en lograr un buen desempeño para el comportamiento servo y regulador simultáneamente.

Unidad didáctica 4: Estabilidad. Criterios y su aplicación. Respuesta frecuencial. Representaciones gráficas.

El concepto de estabilidad se introducirá a partir del análisis de la ecuación característica y la ubicación de sus ceros en el plano complejo S . Análogamente se demostrará que en el dominio frecuencial también se puede llevar a cabo el estudio de estabilidad en forma gráfica a través de diagramas de BODE y NYQUIST. De esta forma el alumno adquiere el conocimiento de las distintas metodologías que son útiles para la determinación de la condición de estabilidad asociado con el importante rol que juega para el diseño de los controladores.

Unidad didáctica 5: Introducción al control avanzado tradicional

El objetivo de esta unidad es que el alumno comprenda que los esquemas convencionales de control realimentado tienen un alcance limitado. De manera que ante la presencia de sistemas con mayor complejidad, tales como fuerte impacto de perturbaciones, grandes tiempos muertos, respuestas inversas, interacción entre lazos de control, situaciones de riesgo etc., existe un número importante de propuestas para atender, desde el control, esta problemática. Por lo tanto se le brinda una introducción

de los principios básicos del diseño de controladores y se les sugiere bibliografía de mayor profundidad en caso de tener que abordar esta temática en su vida profesional.

Unidad didáctica 6: Compensación en cascada o serie y por realimentación

El objetivo de esta unidad es la presentación de procedimientos que conducen a la compensación de sistemas de control lineales de una sola entrada y una sola salida invariantes en el tiempo. Se señalará el concepto de compensación como “el ajuste de un sistema para satisfacer un conjunto de especificaciones dadas”. Los desarrollos se llevarán a cabo empleando el método del lugar de raíces y el de respuesta en frecuencia.

Unidad didáctica 7: Representación de sistemas físicos mediante variables de estado. Matriz de estado. Ec. de transición. Función de transferencia. Autovalores.

En esta unidad se plantean las necesidades que presentan sistemas con múltiples entradas y múltiples salidas y variables en el tiempo. Se señala la necesidad de realizar un análisis de mayor complejidad donde el álgebra matricial juega un papel preponderante para el tratamiento de estos sistemas. Aquí se pretende que los conocimientos previamente adquiridos por el alumno a cerca del control clásico le permitan determinar las analogías en cuanto a los objetivos que se persiguen al querer controlar un sistema. Sin embargo, dada la magnitud del problema se requiere de herramientas más poderosas para resolverlo. Para ello se tomarán sistemas físicos, los cuales serán modelados por un conjunto de ecuaciones de estado. Este desarrollo se llevará a cabo indicando cómo seleccionar las variables de estado y a partir de aquí configurar el conjunto de ecuaciones diferenciales en forma matricial. Se señalará que el fin de esta metodología es poder predecir el comportamiento del sistema sujeto a cambios en las condiciones iniciales únicamente (se introduce el concepto de matriz de transición) o por el efecto de elementos externos. A través de la obtención de la matriz de transferencia se indicarán qué representa físicamente cada uno de los elementos de la misma en relación con el sistema bajo estudio. Se pretende además que el alumno calcule los autovalores de dicha matriz y tenga una noción clara de la información que proveen del sistema real en cuestión.

Unidad didáctica 8: Observabilidad y controlabilidad de sistemas

Se señalará la importancia del concepto de observabilidad como la capacidad de poder determinar el estado de un sistema a través de la observación de la salida del mismo. Análogamente para el caso de la controlabilidad como una medida para determinar si un sistema podrá ser transferido desde un cierto estado inicial a otro en

un tiempo finito a través de un vector de control dado. Se hará especial hincapié en la importancia que tiene este análisis para poder decidir a cerca de las condiciones que tendrá un diseño de control bajo estudio. En particular se destacará la importancia de estos conceptos en la teoría del control óptimo. Se propondrán ejercicios de aplicación para el cálculo de controlabilidad y observabilidad.

Unidad didáctica 9: Criterio de optimización de sistemas de control

En esta unidad se destacará la importancia del diseño de control óptimo como respuesta a la creciente demanda de sistemas de alta eficiencia y a la gran capacidad que presenta el hardware y software en la actualidad. Se pretende que en esta unidad el alumno conciba que la optimización de sistemas de control abarca una selección de índices de comportamiento y que el diseño responde en forma óptima dentro de determinados límites impuestos por restricciones físicas. En este contexto se irá conduciendo al alumno en el conocimiento de los índices disponibles, la manera de formular el problema de optimización, los diseños a los que puede arribar dependiendo de los objetivos impuestos y el importante rol que juegan los conceptos de controlabilidad y observabilidad en la determinación de la existencia de solución a tales problemas.

Unidad didáctica 10: Tendencias actuales de control avanzado

En la actualidad se encuentra una enorme cantidad de aplicaciones industriales a nivel mundial que emplean control predictivo. Las propuestas atienden a grandes plantas en forma global o a problemas puntuales de equipos que presentan dificultades para mantener un punto de operación aceptable y que, además, interfieren con el buen funcionamiento de toda la planta. En este contexto se pretende brindar la información introductoria sobre los principios fundamentales en que se basan las tecnologías que actualmente se implementan así como los casos industriales que son capaces de manejar eficientemente. El objetivo es brindar información a cerca de la bibliografía que profundiza esta temática a fin de que el alumno cuente con las herramientas elementales que le permitirán encarar inicialmente esta problemática en su vida profesional.

V.- Estrategias Didácticas

V.1.- Estrategias principales de cada unidad temática

Se desarrolla una estrategia de enseñanza basada en la presentación de los conceptos fundamentales que sustentan la teoría de control clásica y moderna impartiendo a su vez numerosos ejemplos de aplicación de complejidad creciente. En

tal sentido se empleará como herramienta pedagógica la simulación digital dinámica de procesos reales enfrentando al alumno a una problemática muy semejante a la que debe resolver el actual ingeniero de control. A tal efecto se emplearán técnicas de tipo:

- expositivas
- demostrativas
- de laboratorio
- de estudio dirigido
- Visitas a plantas de generación de energía eléctrica controladas

Dada la extensión del programa analítico antes detallado se emplearán técnicas expositivas con la ayuda de medios audiovisuales y la disponibilidad de notas de clase en formato electrónico. Se sugiere a los alumnos la previa lectura de los temas que se dictarán en clase para realizar preguntas concretas sobre las dudas particulares que hayan surgido durante su lectura. Se irán detallando a lo largo del dictado del curso las actuales investigaciones que se llevan a cabo en torno a diferentes tópicos que se abordan durante el dictado anual de la materia.

Nota: en los artículos y libros incluidos en la bibliografía se presenta una propuesta de técnica pedagógica para la enseñanza del control dedicada a alumnos avanzados de ingeniería propuesta por quien está a cargo de la materia. Las experiencias allí expuestas surgieron a partir de material específico desarrollado previamente como tareas de investigación de la docente a cargo del dictado.

V.2.- Actividades de aprendizaje para cada unidad temática realizadas por el alumno

Se propone que el alumno realice las siguientes actividades a fin de alcanzar los objetivos propuestos en el punto 1.

- resolución de ejercicios de adiestramiento mediante el uso de software de soporte,
- resolución de problemas de aplicación empleando simuladores dinámicos comerciales y los desarrollados por la cátedra,
- investigación bibliográfica incluyendo libros y artículos en revistas especializadas,
- elaboración de informes,

Nota: el Dpto. de Ing. Eléctrica de la Facultad Regional Rosario, posee buenos recursos informáticos, que posibilita al alumno disponer tanto del material didáctico de la materia como poder acceder a los sitios web recomendados por la cátedra que incluye diferentes Asociaciones dedicadas al Control Automática en diversos países de

habla hispana o inglesa. También tienen sitios de empresas de gran nivel dedicadas a la temática de la materia. Esto permite que el alumno pueda tener un buen panorama del verdadero impacto que conlleva el conocimiento del control automático. El material didáctico incluye un conjunto de ejemplos de aplicaciones industriales para ayudar a la comprensión de implementaciones concretas. Durante el dictado de los temas se van realizando preguntas asociativas de manera que el alumno advierta el grado de entendimiento que va alcanzado. Se le comunica al estudiante que varias de esas preguntas son usuales en el examen final. De esta forma el alumno adquirirá un mejor entrenamiento para el momento de rendir el coloquio final de la materia.

Lista de Trabajos Prácticos

- **Trabajo Práctico Nº1:** Modelado matemático, funciones de transferencia y respuesta temporal de sistemas utilizando software para análisis y diseño de sistemas de Control.
- **Trabajo Práctico Nº 2-1 :** Ajuste de controladores P, PI, PID por el método de Cohen y Coon, Ziegler Nichols e IMC .
- **Trabajo Práctico Nº 2-2:** diseño de controladores feed-forward
- **Trabajo Práctico Nº 3:** Redes correctoras; calculo de filtros graficación y medición de los Diagramas de Bode.
- **Trabajo Práctico Nº 4 :** Análisis de sistemas en el espacio de estado. Simulación de un motor de corriente continua
- **Trabajo Práctico Nº 5:** Análisis de sistemas en el espacio de estado. Simulación de un motor de corriente continua con realimentación de estados
- **Trabajo Práctico Nº 6 (experimental):** Utilización de un PLC para el control de un autoclave de ciclos de vacío

VI.- Recursos Auxiliares

Laboratorio

- sensado de variables,

- elementos electrónicos sencillos vinculados a control automático,

- los TPs 2-1, 2-2, 3 y 4 corresponden a experimentación numérica que se realiza en el laboratorio de computación. Allí se presentan los mímicos de las pantallas a las que tienen acceso los operadores e ingenieros de control en las salas de control. Se muestran las formas en que se conectan las variables y se implementan los algoritmos de control. Al realizar la visita a planta que usualmente se realiza en septiembre, los

alumnos son capaces de asociar los elementos de hardware y software involucrados en la disciplina de control con los trabajos prácticos realizados en el laboratorio empleando “realidad virtual”.

Mediante esta metodología se ha podido comprobar que los estudiantes son capaces de interpretar la manera en que se interaccionan todos los elementos que conforman los lazos de control de uso industrial

Instrumentos

- sensores de temperatura, presión, caudal, velocidad de giro,
- elementos de acción final de control,
- osciloscopio.

Hardware y software

10 computadoras del Laboratorio de Informática del Dpto. de Eléctrica.

Simuladores dinámicos de procesos desarrollados por la cátedra.

Software de cálculo y simulación para Ingeniería.

INTERNET

Visita a planta

Visita a la planta Generadora de Energía Eléctrica ubicada en el predio de SIDERAR.

Esta actividad se suele realizar en septiembre u octubre porque los estudiantes ya han adquirido las bases del control automático y pueden asociar de mejor modo la teoría con la implementación industrial de sistemas de control para plantas de gran dimensión.

Previo a la visita se presentan dos charlas con fotografías de las distintas partes que se visitarán y de los equipos involucrados. Estas visitas usualmente se realizan los días sábado para posibilitar una asistencia masiva dado que la mayoría de los alumnos trabaja durante la semana.

Participación de reuniones organizadas por AADECA estudiantil

La docente a cargo de la materia es también miembro de la Comisión Directiva de la Asociación Argentina de Control Automático y preside el proyecto AADECA estudiantil cuya finalidad es difundir las actividades del control automático y disponer de un contacto fluido entre AADECA y grupos estudiantiles, tanto de carreras de grado como de escuelas técnicas, que tengan afinidad con la temática de Instrumentación y Control

Los objetivos específicos son:

- nombrar un grupo de mentores (estudiantes) en cada universidad para difundir las actividades de AADECA a través de
- charlas con profesionales;
- invitación a jornadas técnicas;
- acceso a la biblioteca de AADECA;
- acceso a bolsas de trabajo;
- organización de Jornadas entre empresas y alumnos para posibles contrataciones;
- acceso a becas;
- acceso a la web de AADECA;
- posibilidad de visitas a fábricas.
- que los alumnos seleccionados (mentores) comuniquen sus experiencias a los estudiantes de sus respectivos departamentos/facultades (efecto multiplicador).

Estos estudiantes son elegidos por profesores contactados como referentes en cada Universidad/departamento para ir renovando la lista de estudiantes a medida que se van recibiendo. Dentro del Dpto de Ing. Eléctrica de UTN la Dra. Marta Basualdo es a su vez el profesor de referencia. Dentro de esta actividad los primeros 3 alumnos convocados fueron: Carlos Diaz, Diego Buttori y Nicolás Di Ruscio. Ellos son los responsables de difundir las actividades realizadas durante el año 2011 y participarán de las actividades previstas para el 2012. La más importante de estas actividades será el poder asistir al Congreso que se organiza cada dos años , 23° AADECA 2012, simultáneamente con una importante exposición de instrumentos que realizan las más importantes empresas dedicadas al control.

VII.- Evaluación

VII.1.- Evaluación continua

Los alumnos deberán entregar los informes de los trabajos prácticos propuestos los cuales son evaluados y deben estar aprobados al 100% para lograr la regularización de la materia.

VII.2.- Evaluación parcial

(describir forma de realizarla [si la hubiese])

VII.3.- Evaluación para la promoción ó aprobación final

Con el fin de poder efectuar diagnósticos a cerca del grado de aprendizaje de los conocimientos por parte de los alumnos se efectúan evaluaciones parciales teórico-prácticas. Los alumnos que resuelvan correctamente al menos un 80% de estas evaluaciones parciales se someterán a un coloquio globalizador a realizarse durante las mesas de exámenes. En los otros casos el examen final contemplará una mayor extensión y profundización de los temas a resolver. En esta última etapa se pretende que el alumno demuestre un manejo solvente en la resolución conceptual de situaciones que involucren las temáticas integradas impartidas durante el dictado de la materia.

VIII.- Cronograma de Actividades

Clase N° 1

Introducción a los conceptos básicos de control. Modelado matemático de sistemas físicos.

Clase N° 2

Repaso de los principales conceptos de la Transformada de Laplace. Obtención de funciones de transferencia de sistemas físicos.

Clase N° 3

Funciones de respuesta impulsiva, al escalón y a la rampa. Funciones de transferencia de 1°, 2° orden. Funciones de órdenes superiores. Caracterización.

Clase N° 4

Procedimiento para trazar diagramas de bloque. Reducción de diagramas en bloque. Grafos de señal. Definiciones. Propiedades de los grafos de señal. Álgebra de gráficos de flujo de señal. Representación gráfica de flujo de señal de sistemas lineales. Grafos de señal en sistemas de control. Linearización de un modelo matemático no-lineal.

Clase N° 5

Concepto de realimentación. Ejemplos de aplicación. Tipos de controladores industriales de realimentación. Control proporcional (P).

Clase N° 6

Control proporcional-integral (PI), proporcional-integral-derivativo (PID).

Clase N° 7

Elementos de medición (sensores). Líneas de transmisión. Elementos de acción final de control. Comportamiento dinámico de sistemas con control realimentados.

Clase N° 8

Diagrama en bloques de la respuesta a lazo cerrado. Análisis en el dominio de la variable compleja S (de Laplace) del efecto de las acciones de control P , PI a lazo cerrado aplicados a sistemas de 1° y 2° orden.

Clase N° 9

Análisis en el dominio de la variable compleja S (de Laplace) del efecto de las acciones de control PID a lazo cerrado aplicados a sistemas de 1° y 2° orden. Criterios de selección de controladores en estructuras retroalimentadas.

Clase N° 10

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). 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.

Clase N° 11

Métodos de ajuste en el dominio temporal. Índices de error como medida del desempeño de los controladores según los parámetros de ajuste seleccionados.

Clase N° 12

Diseño de controladores en avance o "feedforward" para contrarrestar el efecto de las perturbaciones. Diseño combinado de retroalimentación y avance. Comparación a través de los índices de performance.

Clase N° 13

Noción de estabilidad. La ecuación característica. Criterio de estabilidad de Routh – Hurwitz.

Clase N° 14

Análisis de estabilidad por el método del lugar de raíces. Respuesta en frecuencia de sistemas de primer orden con entrada senoidal. Características de la respuesta en frecuencia de sistemas lineales.

Clase N° 15

Diagramas de Bode. Diagramas de Nyquist. Diseño de controladores con retroalimentación en el dominio frecuencial aplicando criterios de estabilidad. Márgenes de ganancia y fase.

Clase N° 16

Especificaciones de funcionamiento. Modificación de la dinámica de la planta. Compensación del sistema. Compensación en cascada o serie y compensación por realimentación o paralelo. Compensadores.

Clase N° 17

Procedimientos de diseño de compensadores. Método del lugar de raíces aplicado a sistemas de control. Efecto de la adición de polos y ceros.

Clase N° 18

Método de la respuesta en frecuencia aplicado a sistemas de control. Información obtenible de la respuesta en frecuencia de lazo abierto. Requerimientos de la respuesta en frecuencia de lazo abierto.

Clase N° 19

Compensación en adelanto, atraso y adelanto- atraso. Técnicas de compensación basadas en el método del lugar de raíces y de la respuesta en frecuencia.

Clase N° 20

Comparación de las compensaciones adelanto, atraso y adelanto- atraso. Cancelación de polos indeseables reales y complejos conjugados. Compensación por realimentación. Eliminación de efectos indeseables (perturbaciones).

Clase N° 21

Limitaciones de la teoría del control convencional. Principales conceptos y objetivos de la teoría de control moderna. Definiciones de estado, variables de estado, vector de estado, espacio de estado. Análisis de sistemas complejos. Representación de sistemas físicos en el espacio de estado. Carácter de no unicidad del conjunto de variables de estado para un sistema dado.

Clase N° 22

Autovalores de una matriz. Invariancia de los autovalores. Resolución de la ecuación de estado invariante en el tiempo.

Clase N° 23

Matriz de transferencia. Sistemas lineales variables en el tiempo. Matriz de transición de estado. Propiedades.

Clase N° 24

Solución de ecuaciones de estado variantes en el tiempo.

Clase N° 25

Principales conceptos y objetivos de la controlabilidad y observabilidad de sistemas de múltiples entradas y múltiples salidas. Independencia lineal de vectores.

Clase N° 26

Controlabilidad de estado completo en sistemas de tiempo continuo. Forma alternativa de la condición de controlabilidad completa de estado. Condición de controlabilidad de estado completa en el plano s . Controlabilidad de salida.

Clase N° 27

Observabilidad de estado completo en sistemas de tiempo continuo. Forma alternativa de la condición de observabilidad completa de estado. Condiciones de observabilidad de estado completa en el plano s . Observabilidad de salida.

Clase N° 28

Relaciones entre observabilidad, controlabilidad y función de transferencia.

Clase N° 29

Diseño de Controladores por realimentación de estados

Clase N° 30

Diseño de Observadores en sistemas con realimentación de estados

Sistemas con realimentación de estados observados con controladores y observadores

Clase N° 31

Sistemas de control óptimo de tiempo continuo con señales de control acotadas. Criterios de estabilidad de Liapunov.

Clase N° 32

Introducción sobre el control de tiempo óptimo en sistemas de control de orden superior. Sistemas de control óptimo basados en índices de comportamiento estadístico cuadrático. Problemas de optimización de parámetros resueltos por el segundo método de Liapunov.

Clase N° 31

Introducción a las técnicas del control predictivo por matriz dinámica

Clase N° 32

Introducción a las técnicas del control predictivo por funciones básicas. Aplicaciones industriales del control predictivo.

IX.- Bibliografía

IX.1.- Básica del alumno

- “Ingeniería de control moderna” K. Ogata. 3° y 4° edición . Prentice- Hall
- “Sistemas de control automático” B. Kuo. 9° edición. Prentice- Hall
- “Control System Design”, Goodwin G., Graebe S. y Salgado M. 2000
- “PID controllers”. Åström K. and T. Häggglund, (1995) ISA.

IX.2 y 3.- Del docente y de consulta del alumno (optativa)

- "PID controllers". Åström K. and T. Hägglund, (1995) ISA.
- "Designing Process and Control Systems for Dynamic Performance" Marlin T., Process Control:, McGraw-Hill Inc., 1995
- "Process Dynamics, Modeling and Control" Ogunnaike B. y H. Ray Oxford University Press, 1994
- "Process, Dynamics and Control", Seborg D., T. Edgar, y D. A. Mellichamp John Wiley & Sons 1989.
- "Control System Design", Goodwin G., Graebe S. y Salgado M. 2000
- "Propuesta De Una Metodología Para La Enseñanza Del Control De Plantas Completas". Basualdo Marta, Ruiz Diego, Sequeira Sebastian, Pedrido Javier. VIII Reunión De Trabajo En Procesamiento De La Información Y Control (RPIC'99). Mar del Plata. Argentina. Septiembre 1999
- "Ingeniería de control moderna" K. Ogata. 3° y 4° edición . Prentice- Hall
- "Sistemas de control automático" B. Kuo. 9° edición. Prentice- Hall
- "Designing linear control system with MATLAB" K. Ogata. MATLAB curriculum series. Prentice- Hall
- Enseñanza del diseño de controladores empleando simulación dinámica de procesos como herramienta pedagógica". Basualdo M.S, Strifezza J.J., Salcedo B. J., González R. D. y Ruiz. C. pp. 90-100. Revista Instrumentación y control automático. Editorial Control SRL, N° 86. 1997
- "Tuning Method for interactive multiloop IMC, PI and PID controllers" Basualdo M.S. y Marchetti J. 1990. *Chemical Eng. Communications* Vol.97, páginas 47-74.
- "Dinámica y control de Columnas de destilación". Basualdo M. (1990) Tesis Doctoral. INTEC- UNL-CONICET
- "Dynamic Simulation of Chemical Process as a Tool to Teach The Real Problem of Identification and Control". Basualdo M. S Proceedings of Frontiers in Education Control (Engineering Education in the 21st. Century) FIE'95. IEEE. 1-5/11/95. Atlanta GA. USA.
- "Basic Control Education by Using a Rigorous Process Model Simulation. Basualdo M. S ". IASTED International Conference on Modelling and Simulation. Abril/1996. Pennsylvania USA.
- "La simulación dinámica de procesos para la enseñanza de control; 1.Aplicación al control predictivo." Strifezza J.J., Basualdo M. S. y Ruiz. C. Anales del 7° Congreso Latinoamericano de Control Automático. pp. Vol. 2. Bs. As. Sep. 1996.
- "Chemical Process Control: An Introduction to Theory and Practice". Stephanopoulos G. (1984) Prentice Hall , Englewood Cliffs, NJ.

- Revistas: Instrumentación y Control Automático. Editorial Control
- Diferentes Actas de Congresos internacionales de la International Federation of Automatic Control (IFAC) y de la IEEE accesibles de la Biblioteca Electrónica de Ciencia y Técnica.
- A. Khadi-Sedig and B. Moaveni, Control Configuration Selection for Multivariable Plants, Editors: M. Thoma, F. Allgöwer, M. Morari, Springer-Verlag, UK, 2009.
- Zumoffen, D., Basualdo, M., Monitoreo, Detección de Fallas y Control de Procesos Industriales, primera Edition AADECA. 2010.
- M. Basualdo, D. Feroldi, and R. Outbib, PEM Fuel Cells with Bio-ethanol Processor Systems, ISBN: 978-1-84996-183-7 (Print) 978-1-84996-184-4 (Online) Springer, 2011.
- On a New Measure of Interaction for Multivariable Process Control, E. H. Bristol IEEE publication. 1966
- RGA 1977: Dynamic Effects Of Interaction. E. H. Bristol IEEE publication 1977

Rev. 2011