



## **SÍLABO**

### **CURSO: CONTROL AVANZADO**

#### **I. INFORMACIÓN GENERAL**

CÓDIGO : MT229  
CICLO : N/A  
CREDITOS : 4  
HORAS POR SEMANA : 4 (Teoría- Laboratorio)  
PRERREQUISITOS : MT227-CONTROL MODERNO Y ÓPTIMO  
CONDICIÓN : Electivo  
ÁREA ACADÉMICA : Ingeniería Aplicada  
PROFESOR : Daniel Leonardo Barrera Esparta  
E-MAIL : danielunim6@gmail.com

#### **II. SUMILLA DEL CURSO**

El curso brindará a los alumnos el estudio de las técnicas de diseño de sistemas de control de procesos industriales caracterizados por presentar un comportamiento dinámico complejo, entre las que se encuentran las técnicas convencionales avanzadas, el control adaptativo, predictivo y robusto, así como las técnicas de compensación de grandes retardos de tiempo, de sistemas lineales y no lineales cumpliendo especificaciones de respuesta temporal y comportamiento dinámico. El curso se desarrolla utilizando software de análisis, diseño y simulación (MATLAB).

#### **III. COMPETENCIAS**

El estudiante:

1. Entiende la complejidad de los sistemas con dinámica difícil y son capaces de plantear la resolución de los problemas del control de estos sistemas a través de algoritmos especializados y bajo una estructura adecuada.
2. Diseña sistemas de control de procesos con grandes retardos de tiempo utilizando el predictor de Smith.
3. Diseña diferentes clases de sistemas de control adaptativo, considerando la variabilidad en el tiempo de los parámetros que caracterizan el comportamiento dinámico de los procesos.
4. Diseña sistemas de control predictivo de procesos SISO y MIMO lineales y no lineales, considerando diferentes tipos de restricciones.
5. Diseña sistemas de control robustos de procesos caracterizados por presentar modelos con grandes incertidumbres (dinámica y paramétrica).



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

## Facultad de Ingeniería Mecánica

### Comisión General del Proceso de Acreditación de la FIM-UNI

6. Aplica lo aprendido en los problemas de control aplicando algoritmos y modelos mediante el uso apropiado de programación de alto nivel.

#### IV. UNIDADES DE APRENDIZAJE

##### 1° SEMANA

###### 1. Introducción al Control Avanzado

- 1.1 Importancia del Control Avanzado y Aplicaciones.
- 1.2 Problemas Actuales del control.
- 1.3 Estrategias de control convencional
- 1.4 Plantas con comportamiento dinámico difícil.
- 1.5 Definición del Control Avanzado
- 1.6 Estrategias del Control Avanzado
- 1.7 Ventajas y desventajas del Control Avanzado
- 1.8 Conclusiones

##### 2° SEMANA

###### 2. Fundamentos básicos del Control Adaptativo

- 2.1 Conceptos básicos.
- 2.2 Clasificación de los sistemas de Control Adaptativo.
- 2.3 Control adaptativo basado en ganancia programada (gain scheduling).
- 2.4 Controlador Robusto con alta ganancia

Indicaciones del Primer Trabajo de Control Avanzado.

Formación de los Grupos para el Trabajo Final de Control Avanzado.

##### 3° SEMANA

- 2.5 Controlador con auto-ajuste (Self-tuning).
- 2.6 Controlador adaptativo con modelo de referencia (Regla del MIT).

###### 3. Control de plantas con retardo de tiempo

- 3.1 Conceptos básicos.
- 3.2 El predictor de Smith. Características fundamentales.
- 3.3 El predictor de Smith Adaptativo

##### 4° SEMANA

###### 4. Ajuste Automático de Controladores mediante asignación de polos

- 4.1 Conceptos básicos. El controlador PID.
- 4.2 Estructuras del Controlador PID.
- 4.3 Modelo discreto de un proceso de primer orden.
- 4.4 Implementación práctica de un PID digital.



## UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

### Facultad de Ingeniería Mecánica

### Comisión General del Proceso de Acreditación de la FIM-UNI

4.5 PID Adaptativo: Diseño basado en asignación de polos.

5° SEMANA

5. Ajuste Automático de Controladores PID mediante relé (Auto-tuning)
  - 5.1 Conceptos básicos. Respuesta en Frecuencia.
  - 5.2 Identificación de plantas mediante relé.
  - 5.3 Control PID con auto-ajuste mediante relé (auto-tuning)
  - 5.5 Ejemplos de aplicación.

6° SEMANA

Exposición del Primer Trabajo de Control Avanzado

7° SEMANA

6. Introducción al control predictivo

- 6.1 Predictores en el control de plantas industriales
- 6.2 Definiciones
- 6.3 Objetivo y aplicaciones del control predictivo
- 6.4 Ventajas y Desventajas del CPBM

8° SEMANA

EXAMENES PARCIALES

9° SEMANA

- 6.5 Estructura básica del CPBM
- 6.6 Modelo de Predicción
- 6.7 Trayectoria de referencia interna
- 6.8 Función de costo.
- 6.9 Estructuración de la ley de control

Indicaciones del Segundo Trabajo de Control Avanzado.

10° SEMANA

Exposición del 50% de avance del Trabajo Final de Control Avanzado (5 puntos del Trabajo Final).

11° SEMANA

7. El Controlador DMC

- 7.1 Conceptos básicos.
- 7.2 Estructura del sistema de control predictivo con controlador DMC.
- 7.3 Características fundamentales del controlador DMC.



## UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

### Facultad de Ingeniería Mecánica

### Comisión General del Proceso de Acreditación de la FIM-UNI

7.4 Respuesta libre y respuesta forzada.

7.5 Modelo de predicción del DMC.

#### 12° SEMANA

7.6 Trayectoria de referencia interna.

7.7 Estructuración de la ley de control

7.8 Función de coste.

7.9 Predicción de la salida de la planta

7.10 Algoritmo de control.

7.11 Factibilidad del DMC.

#### 13° SEMANA

#### 8. Introducción al control Robusto

8.1 Conceptos básicos.

8.2 Propiedades de los Sistemas

8.3 Espacio de vectores y Espacio de Funciones

8.4 Espacio de vectores  $H^2$  y  $H^\infty$

8.5 Estabilidad y Performance

8.6 Formulación del problema del control robusto

#### 14° SEMANA

#### 9. Herramientas Básicas del Control Robusto

9.1 Conceptos básicos.

9.2 LQR y Ecuación de Ricatti

9.3 Lema de la Cota Real (Bounded Real Lemma)

#### 10. Control Optimal $H^2$ y $H^\infty$

10.1 Estimación de Estados óptimos y Filtrado de Kalman-Bucy

10.2 LQG (Linear Quadratic Gaussian Control), Limitaciones

10.3 Control Optimal  $H^2$  y  $H^\infty$  }

10.4 Diseño por Sensitividad Mixta

10.5 Introducción a la síntesis  $\mu$

#### 15° SEMANA

Exposición del Trabajo Final del Curso

#### V. LABORATORIOS Y EXPERIENCIAS PRÁCTICAS

Laboratorio 1: Simulación de las plantas con dinámica difícil

Laboratorio 2: Simulación de los Algoritmos de Control Adaptativo

Laboratorio 3: Simulación con el Predictor de Smith



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

## Facultad de Ingeniería Mecánica

### Comisión General del Proceso de Acreditación de la FIM-UNI

Laboratorio 4: Simulación del Control PID Adaptativo: Diseño basado en asignación de polos.

Laboratorio 5: Simulación del Control PID con auto-ajuste mediante relé (auto-tuning)

Laboratorio 6: Exposición de Trabajos

Laboratorio 7: Simulación del Controlador Predictivo vs Control Convencional

#### EXAMEN PARCIAL

Laboratorio 8: Simulación del Controlador CPBM

Laboratorio 9: Exposición de Trabajos

Laboratorio 10: Simulación del Controlador DMC

Laboratorio 11: Simulación del Controlador DMC

Laboratorio 12: Simulación del Controlador Robusto

Laboratorio 13: Diseño por Sensitividad Mixta y Síntesis  $\mu$

Laboratorio 14: Exposición de Trabajos

## VI. METODOLOGÍA

El curso se desarrolla en sesiones de teorías, práctica y laboratorio de cómputo. En las sesiones de teoría, el docente presenta los conceptos, teoremas y aplicaciones. En las sesiones de laboratorio se usa el software de simulación para cada etapa del curso (MATLAB) para resolver problemas y analizar su solución. Al final del curso el alumno debe presentar y exponer un trabajo o proyecto integrador. En todas las sesiones se promueve la participación activa del alumno.

## VII. FÓRMULA DE EVALUACIÓN

Sistema de Evaluación “I”. Calculo del Promedio Final:  $PF = (1 EP + 1 EF + 2 PL)/5$   
EP: Examen Parcial EF: Examen Final PL: Promedio de Prácticas o Monografías  
 $= (\text{Nota\_Primer Trabajo} + \text{Nota\_Segundo Trabajo} + 2 * \text{Nota\_Trabajo Final})/4$

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. E. Normey-Rico and E.F. Camacho, Control of Dead-time Processes, Springer, London , 2007.
- [2] R. Sánchez Peña, M. Sznaier, Robust Systems: Theory and Applications, Wiley, 1998
- [3] S. Skogestad, I. Postlethwaite, Multivariable Feedback Control — Analysis and Design, Wiley, 2005
- [4] K. Zhou, J.C. Doyle, Essentials of Robust Control, Prentice Hall, 1997
- [5] K. Zhou, J.C. Doyle, K. Glover, Robust and Optimal Control, Prentice Hall, 1995
- [6] Astrom KJ, Wittenmark B (1995) Adaptive Control, 2nd edn. Addison Wesley, Boston, MA, USA



## UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

### Facultad de Ingeniería Mecánica

### Comisión General del Proceso de Acreditación de la FIM-UNI

- [7] Ioannou P.A. and Sun J. Robust Adaptive Control. Prentice-Hall, 1996.
- [8] Mosea R.E. Adaptive Control Processes. A guide Tour University Press, 1961.
- [9] Goodwin G.C., Sin K.C. Adaptive Filtering. Prediction and Control. Prentice – Hall 1984.
- [10] Martin Sanchez J. and Roedellar J. Adaptive Predictive Control. From the Concepts to Plant Optimization. Prentice Hall, 1996.
- [11] Jean-Pierre Richard: Time-delay systems: An overview of some recent advances and open Problems, Automatica, 39 (2003).
- [12] Normey-Ricoa, Camacho: Dead-time compensators: A survey, Control Engineering Practice 16 (2008).