

# EM 728 OPTIMIZACION EN CONTROL, IDENTIFICACIÓN Y ESTIMACIÓN

10 U.D.

D.H: (4-4-2)

**REQUISITOS:** EL 42D y EL 41C y A.D.

**CARÁCTER** Electivo de la carrera de Ingeniero Civil Electricista y de los programas de Magister y Doctorado en Ingeniería Eléctrica.

## **OBJETIVOS**

### Generales.

Entregar una visión y comprensión general de la optimización en diversos temas relacionados con el control automático de sistemas, enfatizando enfoques globales que les son comunes.

### Específicos.

- a) Enfoque general basado en los espacios de Hilbert, de producto interno y de espacios normados poniendo énfasis en los aspectos conceptuales de cada uno de los temas a tratar. Ejemplos simples para ilustrar y reforzar los aspectos teóricos.
- b) Herramientas matemáticas para resolver los problemas que se presentan en control óptimo, estimación y predicción óptima de señales, identificación y estimación parámetros desde un punto de vista tanto general como específico para cada caso
- c) Software para la solución de los casos prácticos y complicados que se presentan en aplicaciones industriales. Se considerarán los aspectos teóricos en que se basan los diversos programas de software utilizados.

## **CONTENIDOS**

### **1.- Espacios de Hilbert**

(12 horas)

- 1.1.- Espacios métricos, Espacios Lineales, Espacios normados y de Banach, Espacios de producto interno y de Hilbert.
- 1.2.- Espacios de Hilbert. Norma inducida; Teorema de Pitágoras; Teorema del paralelogramo; Teorema de la Serie de Fourier; Teorema de la proyección ortogonal; Aproximaciones con norma de error mínima; Bases ortogonales y ortonormales; Bases aproximantes. Componentes principales en espacios de Hilbert.
- 1.3.- Ejemplos básicos: Variables aleatorias, procesos estocásticos, modelación, estimación y predicción, control óptimo.

### **2.- Procesos Estocásticos (Temas de procesos estocásticos relacionados con este curso).** (12 horas)

- 2.1.- Espacio de probabilidades, variables aleatorias y procesos estocásticos. Enfoque desde el punto de vista de los espacios de Hilbert.
- 2.2.- Valor esperado. Estimación y predicción de variables aleatorias y de procesos estocásticos.
- 2.3.- Estacionaridad. Procesos estocásticos ergódicos. Implicaciones en la práctica de la ingeniería.
- 2.4.- Sistemas dinámicos excitados por procesos estocásticos. Relaciones entre funciones de correlación.

### 3.- Fundamentos del Control Óptimo de Sistemas

(24 horas)

- 3.1 El control óptimo frente a otras formas de control
- 3.2 Enfoque del control óptimo desde el punto de vista de los espacios de Hilbert y de Banach. Problemas de norma mínima.
- 3.3 Control óptimo de sistemas en equilibrio. Casos determinístico y estocástico
- 3.4 Control óptimo dinámico en el caso determinístico. El Principio del Máximo. Problemas básicos. Transformación de problemas complejos problemas básicos. Control óptimo para estado final fijo y llegada a superficie terminal. Control de tiempo mínimo.
- 3.5 Control óptimo de sistemas lineales con función de costo cuadrática en casos determinístico y estocástico (LQR, LQG). Certeza equivalente. Dualidad entre estimación óptima y control óptimo.
- 3.6 Observadores para el control óptimo de sistemas. Observador de Luenberger, filtro de Kalman, observadores robustos.
- 3.7 Bases del control predictivo generalizado (GPC).
- 3:8 Algoritmos y software para optimización con y sin restricciones, en ambientes determinístico y estocástico, para casos estáticos y dinámicos.

### 4.0.- Identificación de Sistemas y Estimación de Parámetros

(12 horas)

- 4.1.- El problema de la identificación y los espacios de Hilbert. Diferentes tipos de modelos. Estructura de los modelos y estimación de sus parámetros. Estimación de señales y modelación como proyección en espacios de Hilbert. Enfoque global de la modelación que abarca modelos lineales y no lineales en los parámetros
- 4.2.- Identificación de modelos tipo ARMAX y similares. Casos de perturbación de ruido blanco y de ruido coloreado.
- 4.3.- Métodos y software para determinación de estructuras de modelos y de estimación de parámetros. Estimación recursiva y no recursiva (batch).
- 4.4.- Identificación y control. Aplicación de identificación en control adaptable indirecto.
- 4.5.- Identificación y estimación de señales (inferencia, sensores virtuales)
- 4.6.- Identificación mediante conjuntos difusos del tipo Takagi-Sugeno
- 4.7.- Modelación en el espacio de las componentes principales (PCA, PLS).
- 4.8.- Ejemplos simples y en plantas industriales

### ACTIVIDADES

Las actividades consisten de clases expositivas del profesor, clases auxiliares y seminarios basados en presentaciones de media hora realizadas por los alumnos sobre temas propuestos por el profesor o sugeridos por ellos.

### EVALUACIÓN

La evaluación se realizará sobre la base de el examen, tres controles, de tres tareas y de las presentaciones de los alumnos en los seminarios.

### BIBLIOGRAFÍA. (por orden cronológico)

Gonzalez, G. D. Optimización en Control Automático. Apuntes del curso EM 728 en <https://www.u-cursos.cl/ingenieria/> en 2010

Papoulis A., S.U. Pillai, *Probability, Random Variables, and Stochastic Processes*, McGraw-Hill., Fourth Edition, 2002.

- González G. D., C. A. Pérez y P.S. La Rosa. “Enfoque global de la identificación de sistemas mediante modelos de caja negra”. *Anales del Instituto de Ingenieros*; Vol. 114, N° 2, 47-61. (en *Revista Chilena de Ingeniería*, Agosto, 2002)
- Ljung, L. *System Identification Toolbox*. The MathWorks Inc., Natick Mass., USA, 2002.
- Grace, A. *Optimization Toolbox*, The MathWorks Inc., Natick Mass., USA, 2001.
- Grace, A., Laub, A.J., Little, J.N., Thompson, C.M. *Control System Toolbox*, The MathWorks Inc., Natick Mass., USA, 2001
- Naylor A.W., G.R. Sell, *Linear Operator Theory in Engineering and Science*. Springer: Applied Mathematical Sciences, Vol. 40, 2000.
- Bryson, A. E., *Dynamic Optimization*. Addison Wesley, 1999.
- Burl, J. B., *Linear Optimal Control*, Prentice-Hall, 1999.
- Frazier, M. W. *An Introduction to Wavelets through Linear Algebra*. Springer Verlag, 1999.
- Ljung, L. *System Identification - Theory for the User*. Prentice Hall International, London, 1998
- Siourus, G. M., *An Engineering Approach to Optimal Control and Estimation Theory*. Wiley InterScience, 1996.
- \_\_\_\_\_ Special issue on trends in system identification, *Automatica*, Vol. 31, No. 12, December, 1995.
- Bitmead, R., Gevers M., Wertz, V. *Adaptive Optimal Control: The thinking Man's GPC*. Prentice Hall International, London, 1990.
- Furuta, K., Sano, A., Atherton, D. *State Variable Methods in Automatic Control*. J. Wiley & Sons (1988)
- Simmons, D. M., *Nonlinear Programming for Operations Research*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, USA, 1975.
- Eykhoff, P. *System Identification and Parameter Estimation*. John Wiley, 1974
- Bryson, A. E. and Ho. *Applied Optimal Control*. Blaisdell Pub. Co., Mass., USA, 1969.
- Luenberger, D. G. *Optimization by Vector Space Methods*, J. Wiley & Sons, 1969.

### **RESUMEN DE CONTENIDOS:**

Identificación de sistemas, control óptimo de sistemas, estimación y predicción de señales en casos determinísticos y estocásticos tratados desde enfoques globales: optimización y espacios normados, de Hilbert y de producto interno. Se incluye el empleo de software para aplicaciones a la ingeniería.