

PROGRAMA DE CURSO

Código	Nombre			
MA5703	Laboratorio de Control Óptimo			
Nombre en Inglés				
Laboratory of Optimal Control				
SCT	Unidades Docentes	Horas de Cátedra	Horas Docencia Auxiliar	Horas de Trabajo Personal
6	10	2	1	7
Requisitos			Carácter del Curso	
MA5701 en paralelo o autorización			Electivo	
Resultados de Aprendizaje				
El alumno desarrollará sus habilidades analíticas y computacionales en Control Óptimo a través de la implementación de métodos y la simulación numérica de modelos, utilizando para ello el software MATLAB. Aplicará diversos conceptos fundamentales del Control Óptimo, como los criterios de controlabilidad (Kalman), de optimalidad (principio del máximo Pontryagin) y el principio de la programación dinámica. Los modelos que se estudiará provienen de problemas aplicados tales como la estabilización del péndulo invertido, la optimización de trayectorias, la gestión óptima de recursos naturales y la gestión de biorreactores. Al finalizar este curso, el alumno habrá fortalecido además las siguientes capacidades: destreza en técnicas de modelamiento matemático, análisis de resultados numéricos y síntesis de conclusiones a partir de los mismos, organización y planificación del trabajo individual y en equipo, diseño de estrategias para resolver problemas, habilidades en las relaciones interpersonales, capacidad para comunicar sus ideas y trabajar en grupo.				

Metodología Docente	Evaluación General
Se realiza una clase introductoria la primera semana para presentar los objetivos del laboratorio y el uso del software. El curso se divide en dos actividades principales: laboratorios y proyectos. Los laboratorios son siete y las sesiones frente al computador se realizan semana por medio en una sala especialmente equipada. Cada sesión de consta de dos módulos extendidos, esto es, se puede extender hasta por cuatro horas como máximo. Son dirigidos a través de una guía para cada sesión. Debe presentarse un informe de cada laboratorio la semana siguiente, pudiendo haber también una presentación oral esa semana. Por otra parte, los proyectos son presentados al principio del semestre. Consisten en una serie de problemas entre los cuales los alumnos, quienes se organizan en grupos, deben escoger uno a desarrollar. Hay una primera presentación de avance de cada proyecto la semana 10 del semestre, donde el profesor puede sugerir modificaciones, mejoras y cambios a cada proyecto. Luego, al final del semestre hay una semana completa dedicada a las presentaciones finales de los proyectos (presentaciones de 40 minutos cada una).	La evaluación de los laboratorios está focalizada en la realización de las actividades ya que la asistencia a los laboratorios y la presentación de los informes finales de cada uno de estos es obligatoria. Habrá una nota de laboratorios (NL) que será un promedio ponderado entre la evaluación in situ y la presentación del informe la semana siguiente a cada laboratorio. La evaluación de los proyectos constituirá la nota única de examen (NE) y será un promedio ponderado del avance, presentación final oral e informe final del proyecto. La ponderación entre NE y NL será estipulada por el docente responsable del curso, pero en todo caso deberán aprobarse ambas actividades por separado como es usual.

Resumen de Unidades Temáticas

Número	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
Lab 1	Introducción	0.5
Lab 2	Controlabilidad y observabilidad de un sistema lineal	2
Lab 3	Estabilidad y detectabilidad de un sistema lineal	2
Lab 4	Filtro de Kalman discreto	2
Lab 5	Problemas de tiempo mínimo	2
Lab 6	Principio del máximo de Pontryagin	2
Lab 7	Ecuaciones de Hamilton-Jacobi-Bellman	2
Proyecto	<i>Temas varios:</i> Dos ejemplos de proyectos son los siguientes: - Modelar, simular, estimar y controlar la dinámica de un sistema mecánico como el péndulo invertido. - Aplicar el modelo de Ramsey para simular el crecimiento de una economía.	2.5
	TOTAL	15.0

Nota sobre compatibilidad: Este laboratorio está diseñado para ser compatible con otro similar simultáneo para una misma generación. En este caso, la semana introductoria podría ser común. Además, se puede compartir un horario común para las salas de computadores equipadas.

Semana	Módulo presentaciones	Módulos frente a computador
1	Sesión introductoria común (2h)	Laboratorio 1 común (4h)
2	Presentación de proyectos (2h)	<i>Laboratorio 2 paralelo (4h)</i>
3	<i>Informe Laboratorio 2 paralelo (2h)</i>	Laboratorio 2 (4h)
4	Informe Laboratorio 2 (2h)	<i>Laboratorio 3 paralelo (4h)</i>
5	<i>Informe Laboratorio 3 paralelo (2h)</i>	Laboratorio 3 (4h)
6	Informe Laboratorio 3 (2h)	<i>Laboratorio 4 paralelo (4h)</i>
7	<i>Informe Laboratorio 4 paralelo (2h)</i>	Laboratorio 4 (4h)
8	Informe Laboratorio 4 (2h)	<i>Laboratorio 5 paralelo (3h)</i>
9	<i>Avance de proyectos paralelo (2h)</i> <i>Informe Laboratorio 5 paralelo</i>	Laboratorio 5 (4h)
10	Avance de proyectos (2h) Informe Laboratorio 5	<i>Laboratorio 6 paralelo (4h)</i>
11	<i>Informe Laboratorio 6 paralelo (2h)</i>	Laboratorio 6 (4h)
12	Informe Laboratorio 6 (2h)	<i>Laboratorio 7 paralelo (4h)</i>
13	<i>Informe Laboratorio 7 paralelo (2h)</i>	Laboratorio 7 (4h)
14	<i>Evaluación Proyectos paralelo (2h)</i> Informe Laboratorio 7	<i>Evaluación Proyectos paralelo (4h)</i>
15	Evaluación Proyectos (2h)	Evaluación Proyectos (4h)

Unidades Temáticas

Número	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
Lab 1	Introducción.	0.5
Contenidos	Resultados de Aprendizajes de la Unidad	Referencias a la Bibliografía
- Parte A. Comandos básicos y cálculo vectorial. - Parte B. Funciones vectoriales. - Parte C. Gráficos 1d, 2d y 3d. - Parte D. Aplicaciones (ver bibliografía).	El objetivo de esta primera sesión es que el alumno se familiarice con el software matlab. Si el alumno está ya familiarizado con él, los primeros ejercicios debieran ser fáciles y se puede avanzar a los siguientes de mayor complejidad. Si no está familiarizado, debe realizarlos desde el comienzo y leer el pequeño resumen de comandos matlab.	Se recomienda revisar el libro de Moler, C. (disponible en web), en particular el Cap. 2 sobre ecuaciones lineales y el ejemplo de PageRank de Google.

Número	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
Lab 2	Controlabilidad y observabilidad de un sistema lineal	2
Contenidos	Resultados de Aprendizajes de la Unidad	Referencias a la Bibliografía
- Parte A. Modelamiento del movimiento de un barco carguero. - Parte B. Análisis de la controlabilidad y observabilidad del modelo usando herramientas del MATLAB.	El objetivo de este laboratorio es determinar la controlabilidad y observabilidad de un sistema lineal controlado. Para esto, se pide verificar los respectivos criterios de manera directa y usando el Toolbox de Control de MATLAB. También se estudian conceptos relacionados como la matriz Grammiana y la forma canónica de Brunovski.	[1,2,3]

Número	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
Lab 3	Estabilidad y detectabilidad de un sistema lineal	2
Contenidos	Resultados de Aprendizajes de la Unidad	Referencias a la Bibliografía
- Parte A. Estabilidad y reguladores. - Parte B. Estimadores de estado. - Parte C. Conexión entre reguladores y estimadores	El objetivo de este laboratorio es estudiar la estabilidad y detectabilidad de un sistema lineal. Utilizaremos el modelo introducido en el Laboratorio 2 para la navegación de un barco sujeto a corrientes marinas.	[1,2,3]

Número	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
Lab 4	Filtro de Kalman discreto	2
Contenidos	Resultados de Aprendizajes de la Unidad	Referencias a la Bibliografía
- Parte A. Teoría del filtro de Kalman discreto. - Parte B. Aplicaciones: Calibración de un Modelo. - Parte C. Aplicaciones: Estimación de un Sistema.	En este laboratorio se persigue el doble propósito de desarrollar el trasfondo teórico básico asociado al filtro de Kalman discreto, y asimismo modelar y analizar un par de aplicaciones utilizando este concepto.	[6]

Número	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
Lab 5	Problemas de tiempo mínimo	2
Contenidos	Resultados de Aprendizajes de la Unidad	Referencias a la Bibliografía
- Parte A. Control de un carro-cohete en tiempo mínimo y método de resolución directo. - Parte B. Despegue de un cohete en tiempo mínimo y método de resolución indirecto.	En este laboratorio se resuelve numéricamente dos problemas de control óptimo a tiempo mínimo. Se introducirán dos métodos: el directo y el indirecto.	[3,4]

Número	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
Lab 6	Principio del máximo de Pontryagin	2
Contenidos	Resultados de Aprendizajes de la Unidad	Referencias a la Bibliografía
- Parte A. Modelamiento. - Parte B. Formulación del Principio del Máximo de Pontryagin (PMP). - Parte C. Resolución numérica de las condiciones de optimalidad dadas por el PMP.	El objetivo de este laboratorio es utilizar el principio del máximo de Pontryagin para un problema específico y resolverlo numéricamente utilizando una aplicación de Matlab apropiada.	[3,5]

Número	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
Lab 7	Ecuaciones de Hamilton-Jacobi-Bellman	2
Contenidos	Resultados de Aprendizajes de la Unidad	Referencias a la Bibliografía
Parte A. Ecuación de HJB en Control Óptimo: Una introducción.	En este laboratorio se ilustra la relación existente entre las ecuaciones de Hamilton-Jacobi-Bellman (HJB) y el	[4]

• Parte B. Estudio analítico del Carro-Cohete mediante HJB. • Parte C. Estudio numérico del Carro-Cohete mediante HJB	control óptimo. Se analiza un problema de control óptimo resolviendo numéricamente una de estas ecuaciones.	
--	--	--

Número	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
Proyectos	Temas varios	2.5
Contenidos	Resultados de Aprendizajes de la Unidad	Referencias a la Bibliografía
Al inicio del semestre se presentan a los alumnos los proyectos disponibles. Se les pide a los alumnos que seleccionen uno que se ajuste más a sus intereses. Los proyectos se pueden realizar en grupos pequeños. Ejemplos de temas de proyectos: - Modelar, simular, estimar y controlar la dinámica de un sistema mecánico como el péndulo invertido. - Aplicar el modelo de Ramsey para simular el crecimiento de una economía.	Se espera que el alumno desarrolle con su grupo un proyecto numérico, el cual deberá presentar en un primer avance a mediados de semestre y luego en una presentación final con los resultados obtenidos. El alumno a través del proyecto aplicará los conocimientos teóricos y numéricos aprendidos a un problema de mayor complejidad.	

Bibliografía
[1] Wendell H. Fleming & Raymond W. Rishel, <i>Deterministic and Stochastic Optimal Control</i>, Springer-Verlag, 1975. [2] Eduardo D. Sontag, <i>Mathematical Control Theory: Deterministic Finite Dimensional Systems</i>, Springer, 1998. [3] Emmanuel Trélat, <i>Contrôle optimal : théorie & applications</i> Vuibert, Collection "Mathématiques Concrètes", 2005. [4] Lawrence C. Evans, <i>An Introduction to Mathematical Optimal Control Theory</i>, Lecture Notes. http://math.berkeley.edu/~evans/control.course.pdf [5] M. Cizniar, M. Fikar, and M.A. Latifi: <i>MATLAB Dynamic Optimisation Code DYNOPT, User's guide</i>, Technical Report, KIRP FCHPT STU, Bratislava, 2006. http://www.kirp.chtf.stuba.sk/publication_info.php?id_pub=271 [6] Greg Welch and Gary Bishop, <i>An introduction to the Kalman Filter</i>, TR 95-041, Department of Computer Science University of North Carolina at Chapel Hill Chapel Hill, 2006 http://www.cs.unc.edu/~welch/kalman/kalmanIntro.html

Vigencia desde:	2011-2
Elaborado por:	Material generado 2009-2 por Julio Backoff y Oscar Peredo bajo la supervisión del Profesor Héctor Ramírez. Revisado por Felipe Alvarez.
Revisado por:	Axel Osses (Jefe Docente)