

## **DENOMINACIÓN**

### **MÉTODOS NUMÉRICOS PARA DINÁMICA ORBITAL**

## **FUNDAMENTACIÓN**

Esta asignatura corresponde al campo de las tecnologías aplicadas en el área espacial, estando presente en el trayecto en dinámica aeroespacial. Presenta como lineamientos generales complementar la formación del maestrando en el campo de la Dinámica Orbital y de Actitud de los vehículos que van al espacio exterior. El curso propone brindar los conocimientos teóricos y las herramientas computacionales necesarias para desarrollar estudios científicos en Dinámica Orbital, particularmente en temas relacionados con la evolución orbital de satélites artificiales.

La mayor complejidad de la dinámica de objetos espaciales como así también la de los sistemas que los componen requieren una formación cada vez más específica y especializada siendo las casas de altos estudios las mejor preparadas para asumir la responsabilidad de la enseñanza y dominio del conocimiento necesario para mantener los altos niveles de seguridad exigidos para la actividad espacial.

## **OBJETIVOS DE LA ASIGNATURA**

- Conocer los conceptos básicos que serán utilizados para simulaciones numéricas de las ecuaciones de movimiento y el análisis de los datos resultantes.
- Modelar la evolución orbital de satélites individuales, constelaciones y fragmentos resultantes de una colisión o desintegración.
- Adquirir un nivel formativo que facilite la incorporación del profesional a grupos de trabajo dedicados a la investigación y a la aplicación industrial en áreas de la especialidad.

## **CONTENIDOS**

### **Unidad 1**

Interpolación y Extrapolación: Interpolación y extrapolación polinomial. Spline cúbico. Convergencia y análisis de errores. Distribuciones de Números Aleatorios. Generación de distribuciones (Método de la Transformación y Rechazo). Generación de números aleatorios discretos.

### **Unidad 2**

Aproximación de Funciones y Modelización de Datos: Conceptos básicos de análisis funcional. El principio de cuadrados mínimos. Bases ortogonales para funciones continuas y para datos discretos. Economía de series de potencia. Métodos no-lineales. Métodos robustos y estimadores M. Tratamiento de outliers. Cuadrados mínimos con distribuciones no-Gaussianas. Estimación de errores en el ajuste. Métodos de remuestreo. Transformadas de Fourier y Wavelets: La transformada de Fourier como la mayor aproximación. Proyección armónica y transformada continua de Fourier. La transformada discreta de Fourier y bases ortogonales. Los fenómenos de Aliasing y Vazamento. Filtros digitales: construcción y aplicación. Análisis de datos no-equiespaciados. Métodos de Foster & DCDFT. Transformadas de Wavelets.

### **Unidad 3**

Algoritmos Genéticos: Origen y conceptos básicos. Cálculo de extremos de una función. Aplicación para cuadrados mínimos y análisis de Fourier. Comparación con Métodos Monte Carlo. Construcción y uso de un algoritmo genético (Código PIKAIA).

### **Unidad 4**

Integración de Ecuaciones Diferenciales Ordinarias: Métodos clásicos. Runge-Kutta. Métodos predictor-corrector y multi-paso. Método de Everhart. Extrapolación de Richardson y Bulirsch-Stoer. Integradores simplécticos (Leap-Frog, Variable Mixta).

### **Unidad 5**

Simulaciones numéricas de satélites artificiales. El código NCORP: modificaciones y uso. Aplicación a objetos reales. Inclusión de términos gravitacionales no-puntuales (achatación planetario) y perturbaciones Luni-solares. Modelado y simulaciones de fuerzas no-conservativas (fricción aerodinámica, Poynting-Robertson, etc.).

### **Unidad 6**

Modelados numéricos de fragmentación y reentrada de satélites artificiales. Tracking y propagación de nubes de fragmentos. Elementos propios: modelos analíticos y numéricos. Estimativas sintéticas mediante simulaciones de N-cuerpos y filtros digitales.

### **ACTIVIDADES PRÁCTICAS**

Los trabajos prácticos previstos para el curso serán desarrollados con un código que se irá construyendo a lo largo del curso. Los maestrandos aprenderán a utilizar y modificar el código para incorporar nuevas interacciones o aplicarlo a problemas que sean de su interés. Todos los códigos desarrollados y/o modificados durante el curso quedarán a disposición de los maestrandos para ser utilizadas en cualquier estudio futuro.

### **METODOLOGÍA**

La metodología de enseñanza para esta asignatura se plantea en el marco del dictado de clases teórico/prácticas.

El sistema de enseñanza es de carácter teórico-práctico, con preeminencia del método deductivo (de lo general a lo particular) al tratar la faz teórica de los temas listados en los contenidos. En la medida de lo posible, siempre se intentará lograr que las clases por su contenido y modalidad de dictado estimulen la participación de los maestrandos.

Para desarrollar la habilidad de modelar y solucionar problemas, los maestrandos podrán disponer de un conjunto de ellos, entre los cuales se incluyen los problemas "tipo" que serán resueltos en clase bajo la tutela del profesor y discutidos entre los pares.

La parte teórica de las clases tiene carácter expositivo, donde el docente presenta las definiciones, conceptos y formulaciones matemáticas. La parte práctica presenta una mayor interacción, debido a que se aplica un formato de exposición dialogada, guiando a los alumnos a realizar análisis deductivos para poder hallar las soluciones a los problemas planteados, usando los conceptos desarrollados en la parte teórica. Se destaca que las clases no están formalmente divididas en teóricas y prácticas si no que, según el tema, se produce una combinación de ambos tipos.

La estructura de dictado de la asignatura consiste en una clase semanal. Además, los docentes establecen un horario de consulta por fuera del horario de clases formal, el cual tiene una extensión adecuada en función de la cantidad de maestrandos inscriptos en la asignatura.

El docente explicará a los maestrandos cómo el contenido de los temas de la presente asignatura se relaciona con los conocimientos impartidos en las demás asignaturas de su plan de estudios de manera de articular las nuevas capacidades a las ya adquiridas. Se busca con esto formar una conciencia aeroespacial en el profesional dotando al mismo de la capacidad para interpretar la fenomenología propia de la actividad.

El curso propone brindar los conocimientos teóricos y las herramientas computacionales necesarias para desarrollar estudios científicos en Dinámica Orbital, particularmente en temas relacionados con la evolución orbital de satélites artificiales.

La primera parte del curso (Unidades 1-5) introduce conceptos básicos que más tarde serán utilizados para simulaciones numéricas de las ecuaciones de movimiento y el análisis de los datos resultantes. Además de las clases teóricas, durante esta etapa del curso se elaborarán programas en Fortran propios que se complementarán con subrutinas y códigos de uso público (e.g. Numerical Recipes, PIKAIA).

La segunda parte del curso (Unidades 6-8) se concentrará en aplicaciones prácticas y al modelado de la evolución orbital de satélites individuales, constelaciones y fragmentos

resultantes de una colisión o desintegración. Se utilizarán bases de datos de objetos reales además de realizar simulaciones dinámicas de cuerpos ficticios.

Así, se espera que la metodología aplicada desarrolle en el maestrando las competencias para:

- Desarrollar simulaciones numéricas de las ecuaciones de movimiento y analizar los datos resultantes.
  - Describir las características físicas fundamentales de la dinámica de vehículos espaciales.
  - Conocer e interpretar las ecuaciones de movimiento orbital de uno o un grupo objetos espaciales reconociendo las limitaciones de las hipótesis simplificadoras aplicadas.
- Modelar la evolución orbital de satélites individuales, constelaciones y fragmentos resultantes de una colisión o desintegración.
- Diseñar y proyectar simuladores optimizados de vehículos espaciales.
  - Plantear hipótesis válidas con la física del problema que se busca la solución.
  - Aplicar correctamente las ecuaciones necesarias y adecuadas para la resolución de problemas.
- Adquirir un nivel formativo que facilite la incorporación a grupos de trabajo dedicados a la investigación y a la aplicación industrial en áreas de la especialidad.
  - Elaborar y presentar correctamente una exposición sobre temas de ingeniería aeroespacial directamente relacionados con la asignatura.
  - Desarrollar análisis crítico y criterio analítico sobre planteo y solución de problemas relacionados con la dinámica de vehículos espaciales.

Además, se busca que el maestrando adquiera competencias de carácter por un lado actitudinal, como el cumplimiento de responsabilidades y obligaciones y tener participación activa en las actividades prácticas, y por otro aptitudinal, como la identificación de problemas y la organización del tiempo y tareas.

## **EVALUACIÓN**

La evaluación se concentrará en un análisis del código desarrollado por cada alumno y su aplicación a casos testigo, así como una aplicación más detallada a un problema de su interés. La condición para la promoción de la asignatura es aprobar con nota no inferior a siete (7) en una escala de cero (0) a diez (10) cada uno de los proyectos que se exijan durante el desarrollo de los trabajos prácticos.

Los maestrandos que cumplan con el 50% de las exigencias referidas a los proyectos serán considerados regulares. Los demás estarán libres.

La nota final corresponderá al promedio ponderado de los proyectos.

## **CARGA HORARIA**

<b>Modalidad</b>	<b>Carga Teórica</b>	<b>Carga Práctica</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Presencial</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>60</b>
<b>A distancia</b>	-	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>60</b>

## **BIBLIOGRAFÍA**

Montenbruck, O. y Gill, E. (2001). Satellite Orbits. Models, Methods and Applications. Springer Verlag, NY.

Press, W.H., Teukolsky, S.A., Vetterling, W.T. y Flannery, B.P. (1997). Numerical Recipes in Fortran, Second Edition, Cambridge University Press.

Quarteroni, A., Sacco, R. y Saleri, F. (2000). Numerical Mathematics, Springer Verlag, NY.