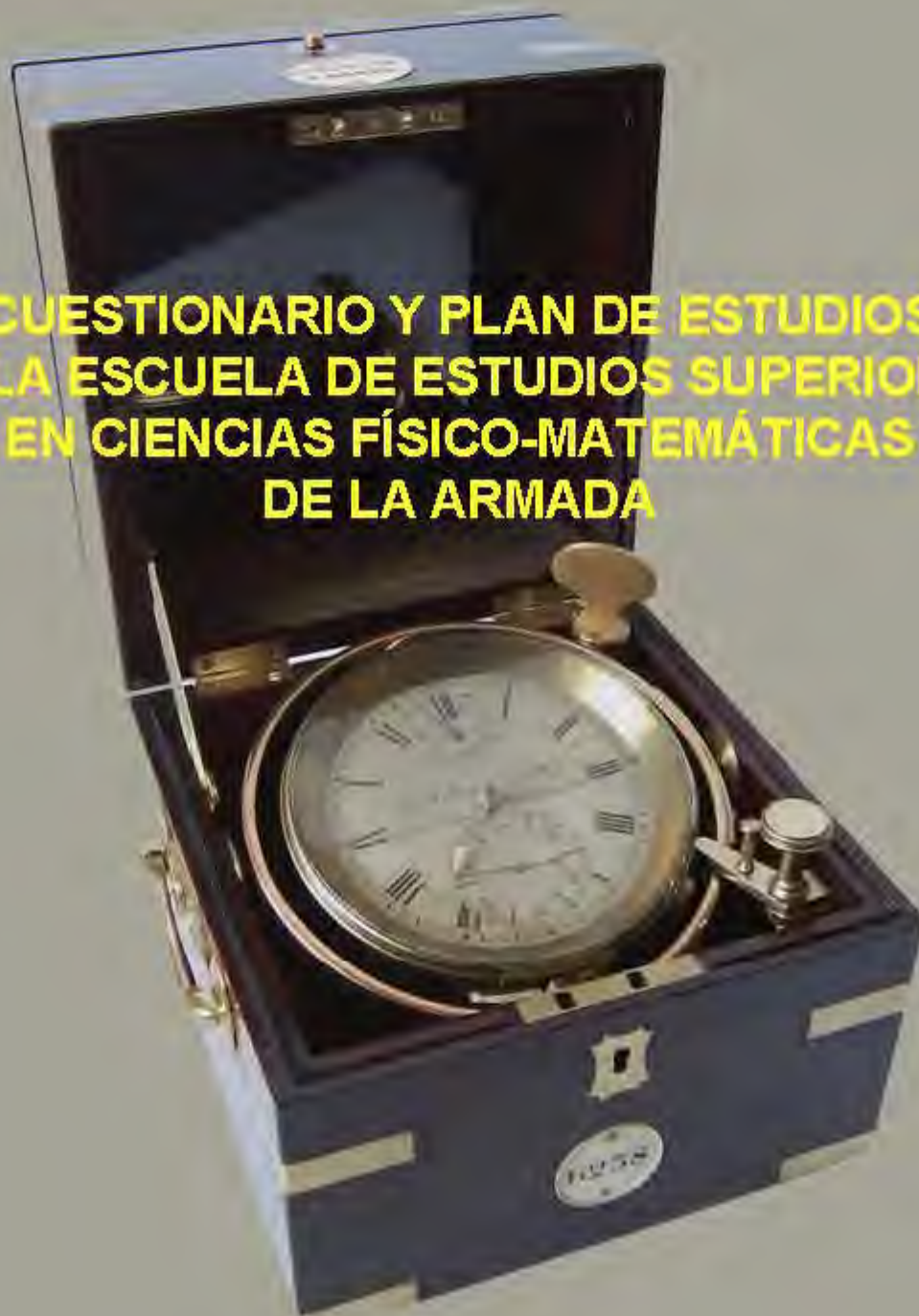


REAL INSTITUTO Y OBSERVATORIO DE LA ARMADA EN SAN FERNANDO  
**BOLETÍN ROA** No. 1/2008

**CUESTIONARIO Y PLAN DE ESTUDIOS  
DE LA ESCUELA DE ESTUDIOS SUPERIORES  
EN CIENCIAS FÍSICO-MATEMÁTICAS  
DE LA ARMADA**



MINISTERIO  
DE DEFENSA

REAL INSTITUTO Y OBSERVATORIO DE LA ARMADA EN SAN FERNANDO  
BOLETÍN ROA No.1/2008

**CUESTIONARIO Y PLAN DE ESTUDIOS  
DE LA ESCUELA DE ESTUDIOS SUPERIORES  
EN CIENCIAS FÍSICO-MATEMÁTICAS  
DE LA ARMADA**



MINISTERIO  
DE DEFENSA

## ÍNDICE

	Página
LA ESCUELA DE ESTUDIOS SUPERIORES EN CIENCIAS FÍSICO-MATEMÁTICAS DE LA ARMADA	1
<b>CUESTIONARIOS</b>	9
<b>CURSO DE ESTUDIOS SUPERIORES EN CIENCIAS FÍSICO-MATEMÁTICAS. PRIMER AÑO</b>	11
ÁLGEBRA	13
ANÁLISIS MATEMÁTICO I	15
ANÁLISIS DE FOURIER	21
CÁLCULO INTEGRAL	23
FÍSICA ATÓMICA Y NUCLEAR	25
GEOMETRÍA DIFERENCIAL	27
MECÁNICA I	29
MECÁNICA ESTADÍSTICA	31
PROBABILIDADES Y ESTADÍSTICA	33
TERMODINÁMICA	35
<b>CURSO DE ESTUDIOS SUPERIORES EN CIENCIAS FÍSICO-MATEMÁTICAS. SEGUNDO AÑO</b>	37
ANÁLISIS Y SÍNTESIS DE REDES	39
AUTOMÁTICA	43
CÁLCULO NUMÉRICO	45
CÁLCULO TENSORIAL	47
ECUACIONES DIFERENCIALES	49
ELECTROMAGNETISMO	53
TRANSMISIÓN DEL CALOR	59
MECÁNICA DE FLUIDOS	61
MECÁNICA II	65
SISTEMAS LINEALES, DIGITALES Y ANALÓGICOS	67
FUNDAMENTOS DE ARQUITECTURAS DIGITALES	69
ELECTRÓNICA DIGITAL	71
TEORÍA DE COMUNICACIÓN	73
TRANSFORMADAS DE LAPLACE	75
TEORÍA DE FUNCIONES DE VARIABLE COMPLEJA	77
PROGRAMACIÓN	79
<b>CURSO MASTER EN ASTRONOMÍA Y GEOFÍSICA. PRIMER AÑO</b>	81
ASTRONOMÍA FUNDAMENTAL I	83
EFEMÉRIDES Y MECÁNICA CELESTE I	85
GEODESIA Y GEOFÍSICA I	87
TIEMPO Y FRECUENCIA I	91
HISTORIA DE LA CIENCIA	97
ÓPTICA GEOMÉTRICA	99
<b>CURSO MASTER EN ASTRONOMÍA Y GEOFÍSICA. SEGUNDO AÑO</b>	101
EFEMÉRIDES Y MECÁNICA CELESTE II	103
GEODESIA Y GEOFÍSICA II	105
ASTRONOMÍA FUNDAMENTAL II	117
TIEMPO Y FRECUENCIA II	119



# LA ESCUELA DE ESTUDIOS SUPERIORES EN CIENCIAS FÍSICO- MATEMÁTICAS DE LA ARMADA

## 1.- ANTECEDENTES

La actual Escuela de Estudios Superiores en Ciencias Físico- Matemáticas de la Armada se identifica en sus orígenes por un lado con la propia Enseñanza Naval Militar (Compañía de Guardias Marinas), y por otro lado con las primeras prácticas de la Astronomía Náutica en España (Observatorios Astronómicos) lazo, éste último, que está llamado a perpetuarse.

Su Historia puede seguirse a través de la legislación de cada época. La Compañía de Guardias Marinas fue creada en Cádiz en 1717, con el fin de formar a los futuros Oficiales de Marina. Posteriormente se crearon las de Ferrol y Cartagena. En cada Compañía había una Academia con un Director y ocho Maestros de las Ciencias más precisas para los Oficiales. El Director de la Academia de Cádiz conservaba la dirección de todas.

En los tres Departamentos existió un curso de Estudios Mayores bajo la Dirección y Enseñanza de los Directores de las Academias. A este curso asistían Guardias Marinas y Oficiales del Cuerpo General de la Armada y del de Ingenieros. Igualmente existía, en cada Academia, un Observatorio Astronómico para las prácticas necesarias.

Por R.O. de 26 de Septiembre de 1824 las tres Compañías quedan refundidas en una sola, creándose un Colegio único en San Fernando, al que se dota de un Reglamento provisional en 8 de Octubre de 1825.

Este Colegio Naval de San Fernando recibe un nuevo Reglamento por Real Decreto de 29 de Noviembre de 1848. Su Artículo 10 manifiesta: *Los Profesores de Matemáticas... deberán de haber hecho el curso vulgarmente conocido en la Armada con el nombre de Estudios Mayores...*

Y el Artículo 293, especifica: *Se formará un Reglamento para lo Estudios Superiores aplicados a la Marina con toda la madurez y detención que requiere el caso, pues siendo esta carrera en todas sus ramas un Cuerpo eminentemente científico, en sus Ingenieros, Artilleros, Astrónomos, Hidrógrafos y Oficiales del Cuerpo general, no le es posible surtirse de lo otros establecimientos facultativos del Estado por no haber aplicado sus estudios a estos conocimientos puramente marinos.*

El 7 de Julio de 1885 se aprueba un nuevo Reglamento para el Colegio Naval Militar. Este Reglamento determinaba que los alumnos que habrían de cursar estos Estudios Mayores serían seleccionados mediante un examen especial y se les exigiría haber navegado durante cuatro años como oficiales.

La R.O. de 26 Septiembre de 1856, en su parte expositiva, manifestaba:

*... Aún cuando las enseñanzas que reciben en el Colegio Naval Militar los jóvenes dedicados a la honrosa carrera de la Marina, auxiliada por la práctica constante y el continuo uso de los instrumentos náuticos, es suficiente para formar un oficial aventajado las investigaciones facultativas, que con frecuencia ocurren en las diversas ramas que esta profesión abraza y exige para su realización completa y digna del buen nombre y gloriosas tradiciones científicas del Cuerpo, que este cuente entre sus individuos cierto número competentemente instruidos en las partes más elevadas de las Matemáticas puras, de la Mecánica, de la Física y de la Astronomía.*

*El estudio y enseñanzas de esas ciencias en toda su extensión, planteadas en la época del inmortal Jorge Juan, restablecidas durante el ministerio de Valdés y renovadas en el primero de Vázquez Figueroa*

*produjeron un considerable número de oficiales insignes por su ilustración hoy reducidos, para postración nacional a los que merced a su aplicación constante y estudios privados han ensanchado su instrucción superior en las ciencias mencionadas.*

*No es muy remota la época en que se enorgullecía justamente el Cuerpo de la Armada contando en su seno con hombres distinguidos en todas las Ramas del saber humano. Ellos la hicieron adquirir la preponderancia que conservó largo tiempo y representar importantísimo papel en todas las Academias y Sociedades Científicas de Europa. Ellos dedicaron las vigiliias y meditaciones de su ingenio a la Arquitectura Naval penetrando, con la antorcha de la ciencia, en aquel dedálico sistema donde el capricho de un simple carpintero servía de norma para la construcción de buques.*

*Ellos demostraron, de un modo incontestable los graves errores que cometieron, en éste punto, eminentes matemáticos extranjeros reuniendo un cuerpo de doctrina, tan notable en su conjunto, tan acabado en sus detalles, que a pesar, de los grandes progresos posteriores es todavía y continuará siendo largo tiempo la única obra de estudio, para los que dedicados a tan honrosa profesión, aspiren a obtener conocimientos superiores a las nociones vulgares.*

*Ellos llevaron casi a la perfección la Astronomía Náutica teniendo la noble satisfacción de ver sus métodos y procedimientos inmediatamente adoptados por todas la marinas del mundo.*

*Ellos crearon la Hidrografía, introdujeron en España el gusto por la Astronomía Moderna, demostraron la utilidad, la conveniencia y la necesidad de los viajes científicos y, con tanta honra para el Cuerpo, como utilidad para las Ciencias, figuraron dignamente al lado de las Eminencias Científicas coetáneas en la medición del grado del Meridiano en la regiones ecuatoriales.*

Finaliza la Real Orden:

*El gozo que naturalmente produce el recuerdo de tan bellas páginas en la historia de nuestras glorias pasadas cambiase en amargura contemplando nuestra postración presente y S.M., en su solícito deseo de promover el fomento de la Armada Nacional, quiere acometer la noble empresa de introducir nuevamente en este Cuerpo los Estudios Superiores, que si en todos los tiempos se consideraron de necesidad absoluta, son urgentes e imprescindibles en la época que atravesamos. Por tanto se ha dignado resolver:*

*Que en el Observatorio de Marina de San Fernando se establezca un Curso de Estudios Superiores en Ciencias de Matemáticas Puras, Mecánica, Física y Astronomía para la instrucción de cierto número de Oficiales jóvenes que por su talento y disposiciones sobresalientes supongan fundadas esperanzas de aprovechamiento y aptitud, para el desempeño de las comisiones científicas que se les confíen...*

*Que el Director del Observatorio disponga... las medidas que se convengan para el exacto cumplimiento de ésta Real resolución y las modificaciones, alteraciones e innovaciones que conduzcan al logro de los deseos de S.M., tanto en la parte referente a la enseñanza de los Oficiales, como a la Dirección e impulso de la observaciones que deben practicarse en los buques.*

*S.M., se promete que el Director del Observatorio desplegará todo su celo y actividad para que la enseñanza de que se trata quede organizada lo mas pronto posible, y le será muy grato saber que el primer Curso se abre a principios de 1857...*

*La R.O. de 1 de Junio de 1864 determinó: Que la clase de Estudios Superiores, con las demás a ella anejas, establecida en el Observatorio Astronómico... pasen al Colegio Naval, con sus respectivos Profesores...*

En el Colegio cursarán los Oficiales alumnos los Estudios Superiores, a excepción de la Astronomía, Geodesia teórica y prácticas que efectuarán, con los Profesores de estas asignaturas, en el Observatorio Astronómico bajo la inspección del director del mismo.

Esta R.O. reconocía expresamente la excelente labor realizada en los cursos que se habían impartido en el Observatorio.

## **2.- LA ACADEMIA DE AMPLIACIÓN DE SAN FERNANDO (1885-1908)**

La R.O. de 3 de Febrero de 1885 decretaba: ... *conforme en un todo con lo propuesto por el Director del Instituto y Observatorio de Marina de San Fernando (S.M. el Rey) ha tenido a bien determinar; ... que la nueva Academia de Estudios de Ampliación se establezca en la casa que fue antigua Capitanía general...*

Sucesivas disposiciones completan esta reforma. La R.O. de 28 de febrero de 1885 se ocupa del plan de estudios del Curso de Ampliación. Y la de 7 de Agosto del mismo año establece las normas definitivas, Su Art. 1º. Dice: ... *la Escuela Naval y la Escuela de Ampliación de la Armada serán en lo sucesivo los centros de instrucción para el personal facultativo de la Armada.*

El Art. 5º: *El ingreso en la Academia de Ampliación se verificará a petición propia o por orden del Gobierno, de entre los Alféreces de Navío que cuenten cuando menos un año de embarco en buque armado, y de entre los Tenientes de Navío que no lleguen a los 35 años de edad, que figuren en el primer quinto de su promoción a Oficial, o que preste examen de las materias comprendidas en el año de preparación. Si las solicitudes para el ingreso fuesen superiores en número al determinado, se verificará por oposición.*

Y el Art.6º: *En la Academia de Ampliación se estudiarán las especialidades de Ingenieros Constructores de Buques, Ingenieros Mecánicos, Artilleros, Astrónomos e Hidrógrafos. Cada Oficial sólo podrá dedicarse a una de ellas, cuyos estudios se cursarán en tres años, y en dos por los que resulten aprobados en el examen del año preparatorio.*

Con el nuevo sistema de estudios se amplía considerablemente el número de alumnos. En la nueva Academia de Ampliación se reunieron quince Alumnos de Ingenieros, entre ellos un súbdito mejicano, seis Alféreces Alumnos de Artillería, además de ocho que se incorporaron al curso que estaban realizando en la Escuela del Observatorio.

Las asignaturas eran variadas, así aparecen: Máquinas de Vapor, Idiomas, Matemáticas Puras y Aplicadas, Física, Química, Arquitectura Naval, Construcción Civil e Hidráulica, Artillería y Torpedos, Balística e Industria Militar, Esgrima y Ordenanzas, Fortificación y Dibujo.

El 2 de Junio de 1892 se publica el Reglamento de la Academia de Ampliación, de la que dice: ...*tiene por objeto proporcionar la instrucción necesaria al personal que hay de dedicarse a la especialidades de la Armada, bajo las denominaciones de Ingenieros Artilleros, Hidrógrafos, Mecánicos y Navales.* Se establece un curso preparatorio con calificaciones, para los aprobados de *Muy Bueno* y *Bueno*. Los primeros tenían opción a elegir la especialidad, no así los segundos.

En Ingenieros Hidrógrafos, especialidad que alcanza gran desarrollo, se cursaban: Curso Teórico y Práctico de Astronomía y Geodesia, Geofísica, Oceanografía y Meteorología, Observaciones y Cálculos, Prácticas en el Observatorio e Idiomas. Igualmente durante el periodo 1885 al 1896, terminaron su especialidad, en la Academia de Ampliación, veintidós Ingenieros Navales.

Los cursos siguieron impartándose hasta que el plan de cierre de las Academias de Marina determinó, por R.O. de 2 de Abril de 1901, que:... *la Academia de Ampliación quedará cerrada el 30 del mes actual y excedente todo el personal dependiente de la misma... El material quedará a cargo del Observatorio de San Fernando, aunque para evitar gastos de traslado e instalación, seguirá en el local que actualmente se encuentra.*

Al día siguiente se ordenó que, al no ser de utilidad para el Observatorio los aparatos y publicaciones de los de Física, Química, Industria y Artillería, se devuelvan a la Junta Facultativa de Artillería de la Armada.

### **3.- LA ACADEMIA DE HIDROGRAFÍA (1908)**

La R.O. de 28 de Junio de 1908 dispone que:... *en tanto no se determina la reapertura de la Academia de Ampliación de Estudios de Marina se establezca, en el vapor Urania, una Academia para que en ella hagan unos pocos Oficiales los estudios teóricos y prácticos necesarios para poder desempeñar, como Oficiales, el servicio hidrográfico.*

La citada orden determina las reglas para realizar estos estudios, fijando las materias de enseñanza, libros de texto, duración del curso, etc. Y en lo referente a exámenes ordena: ...*Se hará cada año un examen muy detenido de la labor realizada por los alumnos expresando cuando se trate del primer año, si debe o no seguir el segundo y si de este segundo si está o no en disposición de ser examinado para optar a la certificación de aptitud de la especialidad, ante una Junta compuesta del Director del Observatorio de Marina como Presidente, el Subdirector del mismo y el Jefe u Oficial Profesor del Curso.*

Como consecuencia, desde 1910 a 1927 creó en el Observatorio la 4ª Sección con el nombre de Sección de Hidrografía. En Diciembre de 1928, se celebraron en el Observatorio los exámenes para proveer dos plazas de aspirantes a cartógrafos, presentándose seis opositores, si bien solo uno resulta aprobado.

En 9 de Abril de 1929, se aprobó el programa de estudios de los especialistas de Hidrografía, dividiéndolo en dos grupos: el primero con una duración de dos años, para cursar materias de Física, Matemáticas, Geodesia, Hidrografía, Oceanografía y Meteorología. El segundo grupo atendía, con preferencia, a la Astronomía, Mecánica Celeste y Astrofísica. Las dos últimas promociones fueron las de 1929/1932 y 1933/1935, de las que formaron parte trece nuevos Oficiales alumnos que habían realizado en Curso en la Academia de Ingenieros Hidrógrafos.

### **4.- LA FORMACIÓN DEL PERSONAL DEL OBSERVATORIO**

Otra actividad docente que ha estado siempre vinculada al Observatorio ha sido la formación de su personal científico. La publicación de los primeros Almanques Náuticos en el primitivo Observatorio de Cádiz, determinó la existencia de los Calculadores, con independencia de los encargados de las tareas astronómicas, denominados Observadores. Durante el siglo XIX existen estas dos escalas, hasta 1873 en que se unen para formar el Cuerpo de Astrónomos.

El Reglamento de 29 de Mayo de ese año, en artículo 32 determinaba que: *El ingreso en la clase de Astrónomos se verificará precisamente, en clase de meritorio y previo examen ante una junta formada por el director, Subdirector y tres Astrónomos Jefe.*



Y el artículo 36: *Las vacantes de Astrónomos se cubrirán por rigurosa antigüedad. Los ayudantes, para obtener el ascenso a Astrónomos de 3ª clase necesitarán aprobar, en examen, estar en posesión de un curso de Mecánica, otro de Física, otro de Astronomía y traducir, correctamente, los idiomas inglés y alemán.*

El Reglamento de 7 de febrero de 1924, declara a extinguir al personal de Astrónomos y vuelve a nombrar Observadores y Calculadores. Este Reglamento especifica que mediante examen oposición se accederá a la categoría de Aspirante estableciendo dos cursos académicos comunes para Observadores y Calculadores y un tercero sólo para Observadores. El Reglamento de 21 de Diciembre de 1945 establece un tercer curso para Calculadores.

## **5.- LA REORGANIZACIÓN DE 1945. LOS CURSOS DE INGENIEROS DE LA ARMADA**

En 1945, y mediante Ley de 15 de Mayo, se produce la reorganización del Instituto y Observatorio de Marina. Esta Ley recoge la tradición y señala las misiones del Observatorio, que con algunas variaciones están en vigor en la actualidad.

En la parte expositiva la citada Ley expresa: *Además de su fundamental labor en el campo de las Ciencias Astronómicas, el Instituto debe de realizar la doble tradición que arranca desde los primeros años de su existencia cual es la de proporcionar a los Oficiales de la Armada, los conocimientos trascendentales para seguir de cerca los descubrimientos de ingenio humano de aplicación a la Marina...*

A la Escuela se le reconoce rango de Enseñanza Superior, cubriendo sus Diplomados, fundamentalmente, puestos de Investigación y Profesorado en la Armada, especializándose posteriormente, una proporción elevada de sus alumnos, en las Universidades de Génova, Newcastle y Durham (Ingeniería Naval), París (Investigación Operativa, Electrónica), Berkeley (Física Nuclear, Geofísica), Columbia (Física de los Plasmas), Barcelona (Ciencias Físicas), y Madrid (Ciencias Físicas, Exactas, Estadística, Ingeniería Naval y Junta de Energía Nuclear, Física Altas Energías e Ingeniería Nuclear).

Posteriormente, y con la finalidad de que la formación integral de los Ingenieros Navales se realizara en España, se reglamentaron en los años 1948, 1966, 1971 y 1979, convalidaciones de estudios para los Alumnos del Cuerpo General y Máquinas que hubieran cursado los dos primeros años del Curso de Estudios Superiores. Los programas de estudios respondían a las convalidaciones en vigor con la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales de Madrid, establecidas por la Orden de la Presidencia del Gobierno de 4 de agosto de 1980 (BOE 211 de 02.09.80).

Entre 1950 y 1955 se realizan en la Escuela cursos anuales de Formación Físico- Matemática para las nuevas promociones de Ingenieros de Armas Navales, planteándose a partir del año 1987 un curso de dos años para la formación básica de los Oficiales-Alumnos de Ingenieros de Armas Navales, y de conformidad con lo dispuesto en la Orden Ministerial Delegada 432/17585/87 de 8 de agosto de 1987 (BOD núm. 173) en su Artículo 4º, el Departamento de Física y Matemáticas Aplicadas de la ETSIAN, con consideración de Inter-Centro, queda constituido en la Estudios Superiores en Ciencias Físico-Matemáticas de la Armada.

A partir de 1968 los Oficiales-Alumnos del Curso de Ingenieros Electricistas y Electrónicos de la Armada pasan a recibir su formación básica en la Escuela, como fase previa a su ciclo de especialización en otros centros docentes universitarios. En 1986 se iniciaron gestiones con la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales del ICAI, dependiente de la Universidad Pontificia de Comillas para la convalidación de estudios de los Oficiales-Alumnos del Cuerpo de Ingenieros electricistas de la Armada, otorgándose con fecha 19 de febrero de 1987 las correspondientes convalidaciones oficiales. En cuanto a

la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicaciones, y como resultado de las negociaciones realizadas durante el año 1986, se otorgaron desde esa fecha y a título personal las convalidaciones correspondientes a los alumnos de la Rama de Electricidad y Electrónica.

En 1989 se empezaron a impartir cursos anuales a los alumnos de Ingenieros Hidrógrafos que simultaneaban el primer año del curso con los restantes alumnos de los cursos de Ingenieros de la Armada, y completaban su segundo curso en la Escuela de Hidrografía de la Armada en Cádiz. Del mismo modo entre los años 1994 al 1998, los alumnos de la especialidad de Hidrografía, recibían un curso intensivo de dos meses, para actualizar los conocimientos matemáticos necesarios para completar la mencionada especialidad en el Instituto Hidrográfico de la Armada.

La Escuela tras la reorganización de 1970, pasa a denominarse Escuela de Estudios Superiores en Ciencias Físico-Matemáticas de la Armada y manteniendo su rango de Centro de Enseñanza Superior, pasa a cumplir fundamentalmente las misiones fundacionales de:

- Formar el núcleo de un profesorado cualificado para las Escuelas Superiores de la Armada.
- Dar una preparación Físico-Matemática Superior a aquellos Jefes y Oficiales que, como parte de su formación, lo precisen.
- Formar y especializar al personal Científico y Técnico del Real Instituto y Observatorio de la Armada.
- Asesorar al Estado Mayor de la Armada en el campo de las Ciencias Físico-Matemáticas.

Para el cumplimiento de estas misiones la enseñanza de la Escuela se organiza en los siguientes ciclos:

### **CURSO DE ESTUDIOS SUPERIORES EN CIENCIAS FÍSICO- MATEMÁTICAS**

Con una duración de tres años se planifica de modo que, cursado en su totalidad o en parte, eleve el nivel de preparación científica de grupos reducidos de Jefes y Oficiales seleccionados. Las enseñanzas desarrolladas en los dos primeros años, con ligeras variaciones, cubren las materias convalidadas a los Oficiales-Alumnos de los cuerpos de Ingenieros que habían de seguir su especialización en las respectivas Escuelas Técnicas Superiores de Ingenieros.

Desde el año 1945, fecha de su reinstauración, el Curso de Estudios Superiores lo han efectuado, en su modalidad completa, 113 alumnos, de los cuales 111 obtuvieron el título de Estudios Superiores, distribuidos en 25 promociones.

### **DIPLOMA DE ESTUDIOS SUPERIORES EN ASTRONOMÍA Y GEOFÍSICA**

Con una duración de dos años tiene por finalidad la especialización de Jefes y Oficiales, titulados en Estudios Superiores en Ciencias Físico-Matemáticas de la Armada, para desempeñar cargos científicos en el Observatorio. Durante el ciclo, la enseñanza práctica adquiere una gran importancia, ocupando una buena parte del mismo, especialmente durante el segundo año. Como complemento de su formación, y bajo la dirección de un investigador del Centro, cada alumno debe realizar un trabajo de iniciación a la investigación.

El curso no se convoca regularmente si bien, por lo general, se ha desarrollado como prolongación de los cursos de Estudios Superiores en Ciencias Físico-Matemáticas, para aprovechar al máximo la preparación adquirida. Desde el año 1948, fecha de su creación, el curso lo han efectuado un total de 45 alumnos, distribuidos en 18 promociones.

## **6.- SITUACIÓN ACTUAL**

Desde 1996 la Escuela ha dejado de recibir a los alumnos de los cursos de Ingenieros Electrónicos, Navales, y Electricistas, pues desde entonces, la Armada se nutre de Licenciados Universitarios para cubrir las plantillas del Cuerpo de Ingenieros de la Armada. Desde el año 1998 también han dejado de cursar estudios en la Escuela los Ingenieros Hidrógrafos que realizan la totalidad del curso en la Escuela de Hidrografía.

Por resolución comunicada del Almirante de Personal de fecha 30 de diciembre de 1994, a propuesta del Almirante Director de Enseñanza Naval, quedó reducido a dos años el Curso de Estudios Superiores en Ciencias Físico-Matemáticas de la Armada, así como pasó a denominarse Master en Astronomía y Geofísica al antiguo curso Diploma de Estudios Superiores en Astronomía y Geofísica.

Como consecuencia de las modificaciones llevadas a cabo en las duraciones de los cursos que se llevan a caso en la Escuela de estudios Superiores, así como por la no presencia en los mismos de Oficiales Alumnos de los cursos de Ingenieros de la Armada, se ha hecho necesaria una reestructuración de los planes de estudios y cuestionarios de las asignaturas de los mismos, de modo que han quedado orientados a la formación específica de los Oficiales que a la finalización de los mismos pasarán destinados a las Secciones Científicas del Real Instituto y Observatorio de la Armada y como profesores de la Escuela de Estudios Superiores en Ciencias Físico-Matemáticas.



# **CUESTIONARIOS**



**CURSO DE ESTUDIOS SUPERIORES EN  
CIENCIAS FÍSICO-MATEMÁTICAS  
PRIMER AÑO**





# ÁLGEBRA

## **LEYES DE COMPOSICIÓN.**

Leyes de composición interna. Propiedades y elementos distinguidos. Homomorfismos. Compatibilidad de una relación de equivalencia con una ley interna. Ley de composición externa.

## **SISTEMAS AXIOMÁTICOS.**

Sistemas axiomáticos. Álgebra de Boole. Estructura de semigrupo.

## **ESTRUCTURA DE GRUPO.**

El concepto de grupo. Propiedades de los grupos. Subgrupos. Operaciones con subgrupos. Homomorfismo de grupos. Núcleo e imagen de un morfismo de grupos. Relación de equivalencia compatible. Subgrupos distinguidos. Subgrupos normales o invariantes.

## **ESTRUCTURAS DE ANILLO Y DE CUERPO.**

Estructura de anillo. Propiedades de los anillos. Anillo sin divisores de cero. Dominio de integridad. Subanillos e ideales. Factorización en un anillo. Anillo ordenado. Estructura de cuerpo.

## **ESTRUCTURA DE UN ESPACIO VECTORIAL.**

Concepto de espacio vectorial. Propiedades de los espacios vectoriales. Espacio vectorial de funciones. Espacio vectorial de  $n$ -uplas. Espacio vectorial de matrices. Espacio vectorial de sucesiones. Subespacios. Operaciones entre subespacios.

## **DEPENDENCIA E INDEPENDENCIA LINEAL. BASE Y DIMENSIÓN.**

Combinaciones lineales. Subespacio generado. Dependencia o independencia lineal. Sistema de generadores. Base de un espacio vectorial. Dimensión de un espacio vectorial. Dimensión de la suma.

## **TRANSFORMACIONES LINEALES**

Transformación lineal entre dos espacios vectoriales. Núcleo e imagen de una transformación lineal. Dimensiones del núcleo y de la imagen. Teorema fundamental de las transformaciones lineales. Producto de matrices. Matriz asociada a una transformación lineal. Composición de transformaciones lineales. Transformación lineal no singular. Composición de transformaciones lineales y producto de matrices. Espacio vectorial de transformaciones lineales. Espacio dual de un espacio vectorial.

## **MATRICES**

Producto de matrices. Anillo de matrices cuadradas. Transposición de matrices. Matrices simétricas y antisimétricas. Matrices triangulares. Matrices diagonales. Matrices idempotentes e involutivas. Inversa de una matriz no singular. Matrices ortogonales. Matrices hermitianas. Matrices particionadas. Espacios fila y columna de una matriz. Operaciones y matrices elementales. Equivalencia de matrices. Método de Gauss Jordan para determinar el rango. Inversión de matrices por Gauss Jordan. Inversión de matrices por partición. Cambio de base y semejanza de matrices.

## **DETERMINANTES**

Determinantes. Propiedades de la función determinante. Existencia de D. Unicidad del determinante. Determinante de la transpuesta. Determinante del producto de dos matrices. Adjunta de una matriz transpuesta. Determinante del producto de dos matrices. Adjunta de una matriz cuadrada. Inversión de matrices no singulares. Regla de Chio.

## **SISTEMAS LINEALES.**

Sistemas lineales. Teorema de Cramer. Teorema de Rouché-Fröbenius. Compatibilidad de sistemas lineales. Resolución de sistemas lineales. Sistemas homogéneos. Conjunto solución de un sistema lineal. Resolución de sistemas simétricos. Método de Gauss-Jordan. Método LU. Método iterativo de Jacobi. Método de Gauss Seidel. Método de mínimos cuadrados. Método de mínimos cuadrados ponderados. Factorización QR. Método del orlado.

## **PRODUCTO INTERIOR. GEOMETRÍA VECTORIAL.**

Espacio vectorial euclidiano. Ortogonalidad. Desigualdad de Schwarz. Desigualdad triangular. Ángulo de dos vectores. Conjunto ortogonal de vectores. Base ortonormal. Método de ortonormalización de Gram-Schmidt. Ortonormalización mediante la descomposición de Cholesky. Complemento ortogonal. Proyección de un vector sobre otro. Espacio afín  $\mathbb{R}^n$ .

## **VALORES Y VECTORES PROPIOS. DIAGONALIZACIÓN.**

Valores y vectores propios. Polinomio característico de una matriz. Diagonalización de matrices. Multiplicidad algebraica y geométrica de un autovalor. Triangulación de endomorfismos y de matrices. Teorema de Hamilton-Cayley. Forma canónica de Jordan.

## **FORMAS BILINEALES Y CUADRÁTICAS.**

Formas bilineales. Formas hermitianas. Formas cuadráticas. Operadores adjunto y traspuesto. Operadores hermitianos y simétricos. Operadores hermitianos y ortogonales. Teorema de Sylvester. Diagonalización de operadores simétricos. Matrices simétricas reales y valores propios. Descomposición espectral de una matriz. Congruencia de formas cuadráticas. Signo de una forma cuadrática.

## **Bibliografía:**

- *Algebra I y II*. Armando O. Rojo- Editorial El Ateneo – 1993.
- *Algebra lineal y Geometría Cartesiana*. Juan de Burgos. MCGRAW-HILL, S.A. 2000.
- *Aprenda MATLAB 7.0 como si estuviera en 1º*. Javier García de Jalón, José Ignacio Rodríguez, Jesús Vidal. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Madrid. 2005.

La materia se imparte en un total de 95 horas lectivas.

# ANÁLISIS MATEMÁTICO I

## **CONCEPTOS FUNDAMENTALES.**

Esquema de la evolución de la Aritmética. El número natural. El número entero. El número racional. Permanencia de las leyes formales. Representación geométrica de los números racionales. El número real y complejo. Símbolos numéricos y operativos. Monomios y polinomios. Valor numérico de un polinomio. Aplicación del principio de inducción completa.

## **EL NÚMERO REAL.**

Concepto de número real. Origen de los números irracionales. Cortadura en el campo de los números racionales. Sistema de números reales. Igualdad desigualdad de números reales. Sucesiones monótonas convergentes. Definición y teorema fundamental. Determinación de los números reales por sucesiones convergentes. Adición y sustracción de números reales. Adición. Sustracción. Regla de adición. Suma y resta de desigualdades. Valores absolutos de los números reales. Multiplicación y división de números reales. Multiplicación. Producto de desigualdades. División. Raíces de números reales. Raíces por defecto y por exceso. Raíces exactas de los números reales. Cálculo de radicales. Racionalización de denominadores. Potencias de exponente racional. Definiciones. Cálculo de potencias de exponente racional. Variación de las potencias. Potencias y logaritmos en el sistema real. Potencias de exponente real cualquiera. Propiedades de las potencias de exponente real. Ley de monotonía. Variación de las potencias de un número. Logaritmo de los números reales. Variación del logaritmo. Cálculo logarítmico. Aritmética decimal de los números aproximados. Error absoluto de un número aproximado. Cifras exactas de un número aproximado. Error relativo de un número aproximado. Errores en las operaciones aritméticas. Límites de error de los productos cocientes y raíces.

## **GEOMETRÍA DE LA RECTA.**

Definiciones. Representación geométrica de los números reales. Espacios unidimensionales. Transformaciones proyectivas. Definiciones. Ecuación de una proyectividad. Determinación de una proyectividad. Propiedades. Puntos fijos. Casos particulares. Proyectividad involutoria.

## **GEOMETRÍA DEL PLANO.**

Vectores. Sistemas coordenados. Vectores. Suma de vectores. Ecuación de la recta Dependencia lineal. Problemas de incidencia. Intersección de dos rectas. Posiciones relativas de tres rectas. Condición de alineación de tres puntos. Problemas métricos. Producto escalar. Ecuación normal de la recta. Ángulo de dos rectas. Área de un triángulo. Cambios del sistema cartesiano de referencia. Coordenadas polares. Transformaciones afines. Definiciones. Propiedades. Puntos fijos. Producto de afinidades. Transformaciones singulares. Casos particulares. Traslaciones. Giros. Simetrías. Homotecias. Semejanzas.

## **GEOMETRÍA DEL ESPACIO $E_3$ .**

Vectores en  $E_3$ . Sistema coordenados. Vectores. Ecuaciones de la recta. Ecuación del plano. Problemas de incidencia en el espacio. Incidencia de punto y plano. Haz de planos. Posiciones relativas de dos planos. Posiciones relativas de tres planos. Incidencia de recta y plano. Incidencia de dos rectas. Geometría métrica en  $E_3$ . Sistema cartesiano octogonal. Producto escalar de dos vectores. Ángulo de dos rectas. Ecuación normal del plano. Ángulo de dos planos. Ángulo de recta y plano. Distancia de un punto a un plano. Producto vectorial de dos

vectores. Área de un triángulo. Producto mixto de tres vectores. Volumen de tetraedro.- Transformación de coordenadas en  $E_3$ . Coordenadas cilíndricas o semipolares. Coordenadas esféricas o polares. Transformaciones afines en  $E_3$ . Definiciones. Propiedades de las afinidades no singulares. Puntos fijos. Transformaciones singulares.

### **EL NÚMERO COMPLEJO.**

Concepto de número complejo. Origen aritmético de los números complejos. Definición del número complejo. Representación geométrica. Módulo y argumento. Números iguales, conjugados y opuestos. Operaciones racionales. Principio de permanencia de las leyes formales. Adición y sustracción. Expresión binómico o cartesiana de los números complejos. Expresión factorial o polar. Representación geométrica de la adición. Multiplicación. División Representación geométrica del producto y cociente. El cuerpo de los números complejos. Potencias y raíces. Potencias de exponente entero. Raíces de los números complejos.- Representación gráfica de raíces. Raíz cuadrada en forma binómica. Raíces de los números reales. Potencias y logaritmos en el sistema complejo. Potencias de base  $e$ . Logaritmos neperianos de los números complejos. Potencias de base y exponente complejo. Números hipercomplejos. Números complejos de tres unidades.

### **ALGORITMO ALGEBRAICO.**

Principio de identidad de polinomios. Principio de identidad para polinomios de una variable. Principio de identidad para polinomios de varias variables. Operaciones enteras con polinomios. Suma y diferencia de polinomios. Producto de polinomios. División entera de polinomios de una variable. División de un polinomio por  $(x-\alpha)$ . División de  $(x^n \pm \alpha^n)$  por  $(x \pm \alpha)$ . Método de coeficientes indeterminados. Ceros de los polinomios de una variable. Teorema fundamental del Álgebra. Resolución elemental de ecuaciones. Ecuaciones resolubles por radicales. Ecuaciones de segundo grado. Resolución y discusión. Suma y producto de las raíces. Resolución trigonométrica de la ecuación de segundo grado. Ecuación bicuadrada. Ecuaciones recíprocas. Sistemas cuadráticos de ecuaciones. Resolución de la ecuación cúbica. Discusión.

### **SUCESIONES NUMÉRICAS.**

Límites de las sucesiones de números reales. Definiciones y ejemplos. Límites infinitos. Propiedades de los límites infinitos. Sucesiones contenidas en otra. Límites de sucesiones monótonas de números reales. Límites de oscilación. Criterio general de convergencia. Cálculo de límites. Operación paso al límite. Límite de una suma o diferencia. Límite de un producto. Límite de un cociente. Límite de los logaritmos y potencias. Límites de potencias en los casos singulares. Cálculo de límites indeterminados. Casos de indeterminación. Límites de expresiones racionales. El número  $e$ . Límites indeterminados de potencias. Sucesiones de medias. Sucesiones definidas por recurrencia. Sucesiones de términos complejos.

### **SERIES NUMÉRICAS.**

Propiedades generales de las series. Definiciones. Serie geométrica. Ley de formación de los términos. Condición necesaria para la convergencia. Propiedades asociativa y distributiva. Criterio general de convergencia. Series sumables. Preliminares. Series alternadas. Series de términos positivos. Propiedades fundamentales. Comparación de dos series de términos positivos. Criterios previos de convergencia. Criterio de Raabe. Series armónicas. Series de términos positivos y negativos. Generalidades. Teorema de Riemann. Teorema de Dirichlet. Suma y producto de series. Adición de series convergentes. Multiplicación de series. Series de términos complejos. Definiciones. Convergencia absoluta. Cálculo numérico de series.

## **VARIABLES, FUNCIONES, LÍMITES.**

Variables independientes. Definiciones. Constantes y variables. Extremos de variables y conjuntos reales. Variables dependientes. Concepto de función. Otras definiciones. Límites de funciones de una variable. Preliminares. Límites de funciones de una variable real. Límites generalizados. Desigualdades entre funciones y límites. Límite de una función acotada entre otras dos. Límites para  $x \rightarrow 0$  de  $\operatorname{sen} x/x$  y  $(1+x)^{1/x}$ . Operaciones con límites. Infinitésimos. Comparación de infinitésimos.- Infinitésimos equivalentes. Ejemplos de infinitésimos trigonométricos. Sustitución de variables equivalentes. Cálculo de límites. Criterio de Bolzano-Cauchy.- Límites finitos de oscilación. Límites indeterminados. Límites singulares de potencias y logaritmos. Límites de la función potencial-exponencial. Cálculo de límites indeterminados del tipo  $1^\infty$ .

## **FUNCIONES CONTINUAS.**

Primeras propiedades de las funciones continuas. Continuidad en un punto. Signo de una función continua. Continuidad a la derecha y a la izquierda. Continuidad en un intervalo. Continuidad de las funciones monótonas. Continuidad de las funciones elementales. Continuidad de las funciones compuestas. Concepto de curva. Ceros y extremos de las funciones continuas. Ceros de las funciones continuas. Resolución de ecuaciones. La propiedad D de las funciones continuas. Máximos y mínimos de funciones continuas. Funciones discontinuas. Existencia de un punto de discontinuidad. Continuidad uniforme.- Puntos de discontinuidad evitable y verdaderos valores. Discontinuidad de primera y segunda especies. Representaciones gráficas.

## **FUNCIONES DERIVABLES.**

El concepto de derivada. La razón de incrementos. El problema de la tangente. La derivada en un punto. La función derivada. Derivadas a la derecha y a la izquierda. Derivada infinita. Continuidad de las funciones derivables. Funciones continuas no derivables. Cálculo de derivadas. Linealidad de la derivación. Derivada del logaritmo. Funciones elementales compuestas. Derivadas de las funciones inversas. Derivada de la función de función. Derivación logarítmica. Derivada de un producto. Derivada de un cociente. Derivada de la potencia de una función. Derivada de la exponencial de una función. Derivadas del  $\operatorname{sen} x$  y  $\operatorname{arcsen} x$ . Derivadas de  $\cos x$  y  $\operatorname{arccos} x$ . Derivadas de  $\tan x$   $\operatorname{arctan} x$ ,  $\cot x$  y  $\operatorname{arccot} x$ . Variación de las funciones. Crecimiento y decrecimiento en un punto. Criterios de crecimiento y decrecimiento. Condición necesaria de máximo y mínimo. Criterio general de monotonía. Condiciones suficientes de máximo y mínimo.- Criterio primero: Variación de la función. Criterio segundo: Variación de la derivada primera. Criterio segundo: Mediante la derivada segunda. Teoremas del valor medio y aplicaciones. Teorema de Rolle. Teorema de Cauchy.- Fórmula del incremento finito. Límites indeterminados. Forma  $0/0$ .- Forma  $\infty/\infty$ .- Formas  $0 \cdot \infty$  e  $\infty - \infty$ .- Formas  $0^0$ ,  $\infty^0$ ,  $1^\infty$ . Aplicación reiterada de la regla de L'hospital. Acotación del error de una función. Cálculo diferencial. Diferenciación. Representación geométrica. Reglas de diferenciación. Diferencial de la función de función.

## **FUNCIONES DERIVABLES SUCESIVAMENTE. FORMULA DE TAYLOR.**

Derivadas y diferenciales sucesivas. Definiciones notaciones y ejemplos. Diferenciales sucesivas. Generalización de la fórmula de Cauchy. Derivada n-sima de un producto. Fórmula de Taylor. Fórmula de Young\*. Desarrollos limitados\*.-Fórmulas de Taylor y Maclaurin\*. Forma integral del término complementario. Desarrollo de las funciones elementales.- Aplicaciones.

## **APLICACIONES GEOMÉTRICAS.**

Lugares geométricos. Los métodos cartesianos. Lugares geométricos. Ejemplos de lugares geométricos. Cónicas. Ecuaciones polares. Ecuaciones paramétricas. Hipérbola equilátera. Estudio local de curvas. Aproximación lineal, concavidad, convexidad e inflexión. Discusión mediante derivadas sucesivas. Discusión general de los máximos y mínimos relativos. Distancia de un punto a una curva plana. Contacto de segundo orden de dos curvas.- Contacto de orden  $n$ . Representación de líneas planas. Consideraciones generales. Intervalos de variación de las variables.- Ramas infinitas y asíntotas. Curvas unicursales. Ejemplos de lugares geométricos y su representación. Representación de curvas con Mathematica y Matlab.

## **FUNCIONES ANALÍTICAS ELEMENTALES.**

Clasificación de las series enteras. Campo y radio de convergencia. Determinación del radio de convergencia. Los tres tipos de series enteras. Operaciones con series de potencias. Convergencia uniforme. Continuidad. Derivación. Concepto de convergencia uniforme. Definición general de convergencia uniforme. Continuidad de las series uniformemente convergentes. Serie derivada de una serie entera. Derivadas sucesivas de la serie entera. Desarrollos en serie entera. Definición. Unicidad del desarrollo. Desarrollo por la fórmula de Maclaurin. Desarrollo de la función exponencial. El número  $e$ . Función exponencial  $y=e^x$ . El número  $e$ . Desarrollo de las funciones circulares e hiperbólicas. Funciones  $\operatorname{sen} x$  y  $\operatorname{cos} x$ .- Función  $\operatorname{arctan} x$ . Número  $\pi$ .- Teoría aritmética de las funciones circulares e hiperbólicas. Serie logarítmica. Desarrollo de  $\ln(1+x)$ . Cálculo de logaritmos neperianos. Serie binómica. Desarrollo de  $(1+x)^m$ . Cálculo de raíces numéricas. Convergencia para  $x=\pm 1$ . Otros métodos de desarrollo en serie. Desarrollo de la función racional. Desarrollo por división. Método de los coeficientes indeterminados. Inversión de una serie. Series recurrentes.

## **FUNCIONES REALES DE VARIAS VARIABLES REALES. REPRESENTACIONES GEOMÉTRICAS.**

Conjunto de puntos. Definiciones. Intervalos. Recintos. Límites y continuidad. Funciones Límites dobles. Límites reiterados y límite en una dirección.- Funciones continuas. Propiedades de las funciones continuas. Infinitésimos. Superficies en general. Concepto de superficie. Casos particulares. Superficies algebraicas. Curvas en el espacio. Cuádricas. Preliminares. Elipsoide. Hiperboloide de una hoja. Hiperboloide de dos hojas. Paraboloides elíptico. Paraboloides hiperbólico. Ejemplos de lugares geométricos en  $E_3$ . Lugares geométricos diversos.

## **DERIVADAS PARCIALES Y DIFERENCIALES. APLICACIONES GEOMÉTRICAS.**

Derivación de las funciones explícitas. Derivadas parciales. Fórmulas de los incrementos finitos. Aplicación al cálculo aproximado. Diferenciales totales y parciales. Significado geométrico de la diferencial. Plano tangente. Derivada en una dirección.- Representación gráfica. Gradiente. Generalización para  $n$  variables. Derivación de funciones compuestas e implícitas. Funciones compuestas de una variable independiente. Derivación de funciones compuestas. Caso de varias variables independientes. Función implícita de una variable independiente. Aplicación. Tangente y normal a una curva de ecuación  $f(x,y)=0$ . Función implícita de dos variables independientes. Aplicación. Plano tangente y recta normal a una superficie  $F(x,y,z)=0$ . Sistemas de ecuaciones implícitas. Caso de varias variables independientes.- Funciones homogéneas. Teoremas de existencia de las funciones implícitas\*\*. Función definida por una ecuación.- Caso de varias variables. Caso de dos ecuaciones. Caso general. Anulación idéntica del Jacobiano. Derivadas sucesivas. Definición y notaciones. Permutación de las derivaciones. Derivadas sucesivas de las funciones compuestas e implícitas. Aplicaciones geométricas. Contactos, radio de curvatura.

### **FORMULA DE TAYLOR. APLICACIONES, EXTREMOS RELATIVOS.**

Fórmula de Taylor. Aplicaciones. Extremos relativos. Fórmula de Taylor para dos variables. Generalización para más variables. Aplicación a las funciones homogéneas. Aplicaciones geométricas. Centro de cónicas y cuádricas. Extremos relativos de funciones de dos variables. Definición. Funciones de dos variables. Variación de una forma cuadrática binaria. Extremos relativos de las funciones de segundo grado. Extremos relativos de  $f(x,y)$ . Teoría general de los extremos relativos. Funciones de tres y más variables. Extremos de funciones con variables ligadas. Método de los multiplicadores de Lagrange.

### **ESTUDIO DE LÍNEAS PLANAS Y DE SUPERFICIES.**

Estudio local de las líneas planas. Tangente en un punto ordinario. Puntos dobles sobre las curvas. Estudio local de superficies. Posición de una superficie respecto del plano tangente. Intersección de la superficie con su plano tangente. Máximos, mínimos y puntos dobles. Familias de curvas. Definición. Envolventes. Evolutas. Podarias.

### **CÓNICAS Y CUÁDRICAS EN GENERAL.**

Definiciones. Ecuación general. Centros. Superficies regladas, de traslación y de revolución.

### **Bibliografía:**

- *Elementos de matemáticas*. J. Rey Pastor y A. Castro Brzezicki. Madrid, 1970.
- *Elementos de matemáticas*. José Martínez Salas. Valladolid, 1979.
- *Cálculo Vectorial*. Jerrold E. Masrden y Anthony J. Tromba, Madrid, 2004.
- *Cálculo Infinitesimal. Definiciones, Teoremas y Resultados*. Juan de Burgos Román. Madrid 2006.
- *Funciones de varias variables. 40 problemas útiles*. Juan de Burgos Román. Madrid 2006.
- *Fórmulas y Tablas de matemática aplicada*. Spiegel, Liu y Abellanas. Serie Schaum.

La materia se imparte en un total de 120 horas lectivas





# **ANÁLISIS DE FOURIER**

## **SERIES DE FOURIER.**

Funciones periódicas. Series de Fourier. Propiedades del seno y del coseno: funciones ortogonales. Evaluación de los coeficientes de Fourier. Aproximación mediante una serie finita de Fourier. Las condiciones de Dirichlet. Diferenciación e integración de las series de Fourier.

## **ANÁLISIS DE FORMAS DE ONDAS PERIÓDICAS.**

Simetría de la forma de onda. Funciones pares e impares. Simetría de media onda. Simetría de cuarto de onda. Simetría escondida. Coeficiente de Fourier de ondas simétricas. Desarrollo en serie de Fourier de una función en un intervalo finito. La función impulso. Derivadas de la función. Series de Fourier de las derivadas de funciones periódicas discontinuas. Evaluación de los coeficientes de Fourier por diferenciación.

## **ESPECTROS DE FRECUENCIA DISCRETA.**

Introducción. Forma compleja de las series de Fourier. Ortogonalidad de funciones complejas. Espectros de frecuencia compleja. Evaluación de los coeficientes complejos de Fourier por medio de la función. Contenido de potencia de una función periódica: teorema de Parseval.

## **INTEGRAL DE FOURIER Y ESPECTROS CONTINUOS.**

Introducción. La integral de Fourier. Transformadas de Fourier. Transformadas seno y coseno de Fourier. Interpretación de las transformadas de Fourier. Propiedades de las transformadas de Fourier. Convolución. Teorema de Parseval y espectro de energía. Funciones de correlación.

## **TRANSFORMADA DE FOURIER DE FUNCIONES ESPECIALES.**

La transformada de Fourier de la función impulso. La transformada de Fourier de una constante. La transformada de Fourier del escalón unitario. La transformada de Fourier de una función periódica. La transformada de Fourier de funciones generalizadas.

## **APLICACIONES A SISTEMAS LINEALES.**

Sistemas lineales. Funciones operacionales del sistema. Respuesta a funciones exponenciales de entrada, funciones propias y funciones del sistema- Respuestas sinusoidales en estado estacionario. Aplicaciones a circuitos eléctricos. Cálculo de potencia en estado estacionario. Aplicaciones a sistemas mecánicos. Respuesta de un sistema lineal a un impulso unitario, función del sistema. Sistema causal. Respuesta de un sistema lineal a un escalón unitario integral de superposición. Transmisión sin distorsión. Filtros ideales.

## **APLICACIONES EN TEORÍA DE COMUNICACIONES.**

Teoría de muestreo. Modulación de amplitud. Modulación angular. Modulación de pulsos. Funciones correlación promedio. Identificación de señales mediante correlación. Espectros de potencia promedio: señales al azar. Relaciones entre la entrada y la salida: cálculo del ruido.

## **APLICACIONES A PROBLEMAS DE CONTORNO.**

Separación de variables y series de Fourier. Vibración. Conducción de calor. Teoría del potencial.

### **APLICACIONES MISCELÁNEAS DE LA TRANSFORMADA DE FOURIER.**

La transformada de Fourier en difracción y formación de imágenes. Transformadas bidimensionales de Fourier. Transformada tridimensionales de Fourier. La transformada de Fourier en teoría de probabilidades. Función de distribución de probabilidad y función de densidad de probabilidad. Esperanza y momentos. Función característica. El principio de incertidumbre en el análisis de Fourier. Fórmulas sumatorias de Poisson. Casualidad y transformada de Hilbert. Evaluación de algunas integrales.

### **CONVERGENCIA DE LA SERIE DE FOURIER Y EL FENÓMENO DE GIBBS.**

Convergencia de la serie de Fourier. El fenómeno de Gibbs.

### **RELACIÓN ENTRE LAS TRANSFORMADAS DE FOURIER Y LAPLACE.**

Definiciones y propiedades básicas de la transformada de Laplace. Relación entre las transformadas de Fourier y Laplace.

### **Bibliografía:**

- *Ecuaciones Diferenciales*. P. Puig Adam.
- *Series de Fourier y Problemas de Contorno*. R.V. Churchill.
- *Funciones de Variable Compleja*. E. G. Philips.
- *Funciones de Variable Compleja*. R.V. Churchill.
- *Análisis de Fourier*. Hwei P. Hsu.
- *Elementos de Análisis Tensorial*. M. Boloix.
- *Cálculo Tensorial*. B. Spain.
- *Vectores y Tensores*. L.A. Santaló.
- *Análisis Tensorial*. I.S. Sokolnikoff.

La materia se imparte en un total de 60 horas lectivas.

# **CÁLCULO INTEGRAL**

## **CONCEPTO DE INTEGRAL DE RIEMANN**

Concepto de curva, longitud, área y volumen- Integral definida de Riemann. Funciones integrables. Caso de funciones continuas y monótonas acotadas. La integral como límite-Propiedades de la integral definida. Teoremas de la media. Existencia de la primitiva de una función continua. Regla de Barrow .Extensión del concepto de integral a funciones no acotadas o sobre intervalo infinito. Criterios de convergencia para integrales impropias. Valor principal de una integral. Generalización de la regla de Barrow

## **MÉTODOS GENERALES DE INTEGRACIÓN.**

Integración inmediata. Métodos de sustitución, descomposición y por partes. Método de Derivación respecto a un parámetro. Integración de funciones racionales. Método de Hermite Integración de funciones irracionales. Método de sustitución y reducción. Integrales elípticas y su reducción a los tipos de Legendre-Tablas de integrales elípticas Funciones elípticas. Integración de las funciones trascendentes Fórmulas de reducción. Conversión en racionales por sustitución. Integración por series. Métodos de integración aproximada y gráfica.

## **INTEGRALES DEPENDIENTES DE UN PARÁMETRO.**

Continuidad de la integral. Derivación bajo el signo integral y caso en que los límites dependan del parámetro. Integral de una función continua de un parámetro como límite uniforme de la suma. Generalización a intervalos infinitos. Funciones Eulerianas. Función beta. Fórmula de Wallis. Fórmula de Stirling.

## **APLICACIONES DE LA INTEGRAL DEFINIDA.**

Cálculo de áreas, longitudes y volúmenes en dos y tres dimensiones y en diversos sistemas coordenados mediante la integración simple.

## **INTEGRACIÓN EN CAMPOS DE DOS DIMENSIONES.**

Concepto de integral curvilínea. Condición necesaria y suficiente para que una integral curvilínea no dependa del camino. Puntos singulares y recintos de conexión múltiple. Diferencial total exacta en dos dimensiones. Concepto de integral doble de Riemann. La integral doble como límite. Propiedades. Teorema de la media. Generalización del concepto de integral doble a funciones no acotadas o a dominios ilimitados. Cálculo de integrales dobles. Fórmula de Riemann. Cambios de variables e interpretación del Jacobiano de la transformación. Derivación bajo el signo integral. Relaciones entre las funciones eulerianas. Área de una superficie en coordenadas cartesianas y paramétricas. Integral de superficie. Fórmula de Stokes.

## **INTEGRALES TRIPLES Y MÚLTIPLES.**

Concepto de integral triple. Propiedades y cálculo. Fórmula de Gauss o de Ostrogradski. Condición para que una integral de superficie no dependa más que del contorno. Cambio de variables. Integrales triples generalizadas. Integrales múltiples. Derivación respecto a un parámetro. Fórmula de Dirichlet.

### **LAS OPERACIONES VECTORIALES.**

Magnitudes escalares y vectoriales. Suma y diferencia de vectores. Producto de un vector por un escalar. Producto vectorial. Producto mixto de tres vectores. Sistemas de vectores recíprocos.

### **DIFERENCIACIÓN E INTEGRACIÓN VECTORIAL.**

Derivada de un vector respecto de un escalar. Curvas en el espacio. Continuidad y derivabilidad. Derivadas parciales de un vector. Diferencial de un vector. Integral de un vector. Integral curvilínea. Integrales de superficie y volumen.

### **TEORÍA VECTORIAL DE CAMPOS.**

Campos escalares y vectoriales. Gradiente de un campo escalar. Divergencia y rotacional de un campo vectorial. Circulación de un vector. Flujo de un campo vectorial sobre una superficie. Teorema de Stokes. Teorema de Gauss. Operadores vectoriales: operadores de Halmilton y Laplace. Fórmulas vectoriales con operadores. Teorema de Green. Laplaciana de un vector.

### **APLICACIONES DEL ANÁLISIS VECTORIAL A LA FÍSICA.**

Puntos surgentes y súnemles. Nueva definición de la divergencia. Interpretación física de la divergencia y del rotacional de un campo vectorial. Campos irrotacional y solenoidal. Ecuaciones de Laplace y Poisson. Ecuación de la continuidad en el movimiento de los fluidos. Ecuación de la propagación del calor. Funciones armónicas: sus propiedades. Ecuaciones de Maxwell. Ecuación de ondas.

### **Bibliografía:**

- *Calculo Integral*. J. Rey Pastor, Ed. Gómez Puig, Madrid 1979
- *Cálculo Vectorial*. J. Marsden y A. Tromba. Ed Addison Wesley Longman, Mexico, 1998

La materia se imparte en un total de 80 horas lectivas

# **FÍSICA ATÓMICA Y NUCLEAR**

## **LA HIPÓTESIS ATÓMICA EN QUÍMICA.**

Análisis cuantitativo por peso. Análisis cuantitativo por medidas de volumen: Ley de Avogadro. Teoría cinética de los gases. Distribución Maxwelliana de velocidades. Calores específicos de los gases. Movimiento browniano. Recorrido libre medio. Cálculo de la masa y del tamaño de las moléculas.

## **DETERMINACIÓN DE E/M.**

Ley de la electrólisis de Faraday. Valor de e/m de los rayos catódicos. Experiencias de Thomson y Edison. Microscopio electrónico. Valor de e/m de las partículas de rayos positivos. Separación de isótopos por el método de la parábola. Equivalencia entre masa y energía.

## **DETERMINACIÓN DE LA CARGA DEL ELECTRÓN.**

Experimento de Millikan: Electrón voltio. Masas de átomos y moléculas.

## **EL EFECTO FOTOELÉCTRICO Y EL CUANTO DE LUZ.**

Hechos experimentales. Fracaso de la teoría electromagnética. Teoría cuántica. Aplicaciones del efecto fotoeléctrico. Confirmación fotoquímica. Mecánica ondulatoria.

## **DISPERSIÓN DE PARTÍCULAS ALFA.**

Descubrimiento del núcleo del átomo. Difusión de partículas alfa. Experiencia de Rutherford. Carga del núcleo. Tamaño del núcleo.

## **TEORÍA DE BOHR.**

Espectro del átomo de hidrógeno. Series de Balmer, Lyman y Paschen. Teoría de las capas electrónicas de Bohr. Cuantificación de órbitas. Comparación con la observación. Aplicación al Ion de helio. Magnetón de Bohr. Átomo de Sommerfeld.

## **ECUACIÓN DE SCHRÓDINGER. ORBITALES.**

Ecuación de Schrödinger. Números cuánticos azimutal y magnético. Reglas de selección. Cuantificación espacial. Efecto Zeeman. Sistema periódico. Espectros de átomos más pesados. Niveles metastables. Láseres. Magnetómetros. Patrones de frecuencia atómica. Experiencia de Stern y Gerlach. Espectros moleculares.

## **COMPARACIÓN EXPERIMENTAL DE LA CUANTIFICACIÓN.**

Experiencias de Franck y Hertz. Excitación e ionización por altas temperaturas. Espectro de absorción. Ionosfera. Aplicación a la astrofísica. Fluorescencia. Efecto Raman. Estudios de las cuantificaciones de vibración. Choques de segundo orden.

## **SISTEMA PERIÓDICO DE LOS ELEMENTOS.**

Estructura electrónica de los átomos pesados. Principio de Pauli. Sistema periódico.

## **RAYOS X.**

Descubrimiento. Tubos de rayos X. Tubo de Coolidge. Intensidad, dosis y penetración. Comportamiento ondulatorio. Polarización. Difracción. Experiencia de Bragg. Espectro de

rayos X. espectro continuo de emisión. Espectro de rayas de emisión. Diagramas de Moseley de las series K. Conclusiones. Espectros de absorción de rayos X. Zonas de absorción continuas. Efecto Compton. Aplicaciones.

### **INTRODUCCIÓN A LA MECÁNICA ONDULATORIA.**

Difracción de electrones. Mecánica ondulatoria. Longitud de onda asociada de De Broglie. Principio de incertidumbre. Formalismo de Heisenberg.

### **ISÓTOPOS ESTABLES.**

Espectrógrafo de masas de Aston y Dempster. Regla de los números enteros. Gráficos de núcleo estables. Desviación a la regla de los números enteros. Abundancia de isótopos. Defectos másicos. Energías de enlace por nucleón. Energía de fisión y fusión. Momentos magnéticos nucleares.

### **TRANSMUTACIÓN NATURAL Y ARTIFICIAL.**

Radioactividad natural. Desintegraciones alfa, beta y gamma. Constantes de desintegración. Equilibrio radioactivo. Series radioactivas. Radioactividad artificial. Descubrimiento. Experiencia de Rutherford. Descubrimiento del neutrón. Experiencia de Chadwick. Reacciones nucleares. Los neutrones como unidades estructurales. Positrones. Aniquilación de un par. Producción de un par. Máquinas para la producción de partículas de alta energía. Acelerador lineal. Ciclotrón. Sincrociclotrón. Betatrón. Sincrotrón. Detección de partículas de altas energías. Reacciones nucleares. Sección eficaz.

### **PARTÍCULAS ALFA.**

Naturaleza. Alcance e ionización.

### **DESINTEGRACIÓN BETA.**

El neutrino. Producción y detección de neutrinos. Transiciones permitidas y prohibidas. Electrones de conversión interna. Electrones secundarios.

### **FUSIÓN Y FISIÓN.**

Elementos transuránidos. Fisión de Uranio. Teoría de la fisión. Física del neutrón. Reactor nuclear. Teoría de la difusión. Fusión del hidrógeno en las estrellas. Ciclo de Carbono. Abundancia de isótopos.

### **RAYOS CÓSMICOS.**

Observaciones fundamentales. Radiaciones primarias. Procesos de conversión. Radiaciones secundarias.

### **Bibliografía:**

- *Introducción a la Física Atómica y Nuclear.* Oldenberg.
- *Física atómica y nuclear.* Semat.
- *The elements of Nuclear Reactor Theory.* Glastone.

La materia se imparte en un total de 80 horas lectivas.

# **GEOMETRÍA DIFERENCIAL**

## **CURVAS PLANAS. FORMULAS DE FRENET**

Curva plana. Representación analítica. Longitud de un arco de curva. Recta tangente a una curva plana. Curvatura de una curva plana. Recta Normal a una curva plana. Centro de curvatura. Circulo oscilador. Formulas de Frenet.

## **ENVOLVENTES DE HACES DE CURVAS PLANAS**

Haz de curvas planas. Orden de aproximación de un punto a una curva. Puntos de aproximación. Puntos característicos de una curva del haz. Envolvente de un haz de curvas planas. Evoluta de una curva plana. Ecuaciones intrínsecas de curvas planas

## **CURVAS ALABEADAS. TRIEDRO DE FRENET**

Concepto de curva. Expresiones analíticas. Longitud de un arco de curva. Recta tangente a una curva alabeada. Plano normal. Triedro de Frenet. Plano oscilador. Vector normal y recta normal principal- Recta binormal. Plano rectificante.

## **FORMULAS DE FRENET EN E<sup>3</sup>**

Curvatura de flexión. Primera Fórmula de Frenet. Curvatura de torsión. Tercera fórmula de Frenet. Centro de curvatura. Circulo osculador<sup>5</sup>.

## **SUPERFICIES.**

Superficie. Representación analítica. Curvas sobre la superficie. Curvas coordenadas. Elemento de área sobre una superficie. Plano tangente a una superficie. Vector y recta normal a una superficie

## **PRIMERA FORMA FUNDAMENTAL**

Primera forma fundamental. Angulo de dos curvas sobre una superficie. Angulo formado por las curvas paramétricas. Otras relaciones

## **SEGUNDA FORMA FUNDAMENTAL**

Segunda forma fundamental. Direcciones Asintóticas. Posición de una superficie respecto al plano tangente. Símbolos de Christoffel. Ecuaciones de Gauss. Ecuaciones de Weingarten

## **LÍNEAS ASINTÓTICAS Y DE CURVATURA**

Puntos cíclicos o umbílicos. Curvas asintóticas. Líneas de curvatura .Teorema de Euler Indicatriz de Dupin. Teorema de Olinde Rodrigues. Curvatura media y curvatura de Gauss Direcciones conjugadas. Tercera forma fundamental

## **TEOREMA FUNDAMENTAL DE LA TEORÍA DE SUPERFICIES**

Teorema egregio de Gauss. Ecuaciones de Mainardi Codazzi. Teorema fundamental de la teoría de superficies.

## **GEODÉSICAS**

Curvatura Geodésica. Curvatura geodésica de las líneas coordenadas. Geodésicas

## **COORDENADAS CURVILÍNEAS**

Gradiente en coordenadas curvilíneas ortogonales. Divergencia en coordenadas curvilíneas ortogonales. Rotacional en coordenadas curvilíneas ortogonales. Laplaciana en coordenadas curvilíneas ortogonales. Ejemplos: Coordenadas Cilíndricas y Esféricas

## **Bibliografía:**

- *Geometría Diferencial de Curvas y Superficies*, M. Vallejo, Real Instituto y Observatorio de la Armada, 2007.

La materia se imparte en un total de 60 horas lectivas



# **MECÁNICA I**

## **INTRODUCCIÓN A LA MECÁNICA.**

Fundamentos. Definiciones. Escalares y vectores. Leyes de Newton. Unidades. Dimensiones. Ley de Gravitación Universal.

## **ESTÁTICA.**

Sistemas de fuerzas. Fuerza. Sistemas de fuerzas bidimensionales: componentes; momento y par; resultantes. Sistemas de fuerzas tridimensionales: componentes; momento y par; resultantes. Equilibrio. Diagrama de sólido libre. Condiciones de equilibrio en dos dimensiones. Condiciones de equilibrio en tres dimensiones. Estructuras. Armaduras planas. Armaduras espaciales. Entramados y máquinas. Fuerzas distribuidas. Centros de masa y centroides. Cables flexibles. Estática de fluidos. Rozamiento. Fenómenos de rozamiento. Aplicaciones del rozamiento a las máquinas: cuñas; tornillos; cojinetes; cables flexibles; resistencia a la rodadura.

## **DINÁMICA DEL PUNTO MATERIAL**

Cinemática del punto. Movimiento rectilíneo. Movimiento curvilíneo plano. Movimiento curvilíneo en el espacio. Movimiento relativo. Movimiento vinculado. Cinética del punto material. Segunda Ley de Newton: ecuación del movimiento. Trabajo y energía. Impulso y cantidad de movimiento. Impulso angular y momento cinético. Aplicaciones: choque; movimiento bajo fuerzas centrales; movimiento relativo. Cinética de los sistemas de puntos materiales. Generalización de la segunda Ley de Newton. Trabajo y energía. Impulso y cantidad de movimiento. Impulso angular y momento cinético. Movimiento estacionario de un medio continuo. Masa variable.

## **DINÁMICA DE LOS CUERPOS RÍGIDOS**

Cinemática plana de los cuerpos rígidos. Rotación. Movimiento absoluto. Velocidad relativa. Centro instantáneo de rotación. Aceleración relativa. Movimiento relativo a ejes en rotación. Cinética plana de los cuerpos rígidos. Momento de inercia de masas respecto a un eje. Ecuaciones generales del movimiento: traslación; rotación en torno a un eje fijo; movimiento plano general. Trabajo y energía: teorema de las fuerzas vivas; principio de los trabajos virtuales. Impulso y cantidad de movimiento. Impulso angular y momento cinético. Cinemática de los cuerpos rígidos en el espacio. Traslación. Rotación en torno a un eje fijo. Rotación en torno a un punto fijo. Movimiento general. Cinética de los cuerpos rígidos en el espacio. Productos de inercia. Momento cinético. Energía cinética. Ecuaciones del movimiento. Movimiento plano general. Movimiento giroscópico: precesión. Vibración y respuesta en el tiempo. Oscilación del punto material: oscilación libre; oscilación forzada. Oscilación de un cuerpo rígido. Métodos energéticos.

## **Bibliografía:**

- *Mecánica para ingenieros: Estática.* J.L. Meriam, y L.G. Kraige. Editorial Reverté.
- *Mecánica para ingenieros: Dinámica.* J.L. Meriam, y L.G. Kraige. Editorial Reverté
- *Mecánica.* K.R. Symon.
- *Mecánica Teórica.* J.M. Iñiguez y R. Cid.

La materia se imparte en un total de 100 horas lectivas



# **MECÁNICA ESTADÍSTICA**

## **TEORÍA CINÉTICA DE LOS GASES.**

Introducción Hipótesis básicas. Choques con las paredes. Ecuación de estado de los gases ideales. Choques con una pared móvil. Ecuación de Clausius. Ecuación de Van der Waals.

## **DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES ANGULARES.**

Distribución de velocidades angulares. Cálculo de las constantes. Función de distribución de la energía. Haces moleculares. Verificación experimental de la distribución de Maxwell. Principio de equipartición de la energía. Teoría clásica de los calores específicos. Calores específicos de los sólidos.

## **FENÓMENOS DE TRANSPORTE.**

Recorrido libre medio. Distribución de recorridos libres. Coeficientes de viscosidad. Conductibilidad térmica. Difusión.

## **ESTADÍSTICA DE MAXWELL-BOLTZMANN.**

Introducción. Espacio de las fases. Micro estados y macro estados. Probabilidad termodinámica. Entropía y probabilidad.

## **APLICACIONES DE LA ESTADÍSTICA DE BOLTZMANN.**

Gas ideal monoatómico. Ecuación barométrica. Principio de equipartición de la energía. Calor específico de un gas diatómico. Calor específico de los sólidos. Teoría del paramagnetismo.

## **ESTADÍSTICA CUÁNTICA.**

Dificultades de la estadística de Maxwell-Boltzmann. Estadística de Bose-Einstein. Estadísticas de un gas de fotones. Estadísticas de Fermi-Dirac. Función de distribución de velocidades vectoriales, escalares y energías. Calor específico de un gas de electrones. Emisión termoiónica.

## **FLUCTUACIONES.**

Fluctuaciones de la densidad de un gas. Teoría del movimiento browniano. Movimiento browniano de un galvanómetro. Efecto pequeña granalla. Ruido de Johnson.

## **RADIACIÓN TÉRMICA.**

Propiedades de la radiación térmica. Radiación integral. Densidad de energía. Emisión y absorción.- Primera ley de Kirchoff. Espacio hueco.- Segunda ley de Kirchoff.- Presión de radiación. Fotones.- Ley de Stefan y Boltzmann.- Transformaciones adiabáticas de un gas de fotones.- Distribución espectral de la radiación.- Leyes del desplazamiento de Wien.

## **Bibliografía:**

- *Termodinámica.* F.W. Sear. «Statistical Physics». Reif.

La materia se imparte en un total de 60 horas.



# **PROBABILIDAD Y ESTADÍSTICA**

## **ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA.**

Variables estadísticas. Definiciones. Clasificación. Distribuciones de frecuencias. Representaciones gráficas. Parámetros estadísticos. Distribución de frecuencias multivariante. Distribuciones marginales y condicionadas. Vector de medias. Matriz de varianzas y covarianzas. Coeficiente de correlación.

## **PROBABILIDAD**

Fenómenos aleatorios. Espacio muestral y Álgebra de sucesos aleatorios. Frecuencia absoluta y relativa. Probabilidad. Probabilidad en espacios muestrales finitos. Probabilidad condicionada. Teoremas de probabilidad total y de Bayes. Sucesos independientes. Experimentos compuestos. Combinatoria.

## **VARIABLES ALEATORIAS.**

Variables aleatorias unidimensionales. Función de distribución. Propiedades. Funciones de densidad. Transformaciones de variables aleatorias. Variables aleatorias n-dimensionales. Distribuciones marginales y condicionadas. Variables aleatorias independientes.

## **CARACTERÍSTICAS DE LAS DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD**

Características de las distribuciones de probabilidad unidimensionales. Esperanza matemática. Propiedades. Varianza. Propiedades. Teorema de Markov. Desigualdad de Chebychev. Momentos. Asimetría. Apuntamiento. Características de las distribuciones de probabilidad n-dimensionales. Covarianza. Coeficiente de correlación. Medidas condicionadas. Regresión lineal. Recta de mínimos cuadrados. Recta de mínimos cuadrados ponderados.

## **FUNCIONES CARACTERÍSTICA Y GENERATRIZ. OPERACIONES CON VARIABLES ALEATORIAS**

Función característica. Propiedades. Función generatriz de momentos. Cálculo de los momentos. Transformación de variables aleatorias. Suma de variables aleatorias. Producto de variables aleatorias. Cociente de variables aleatorias.

## **DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD DE VARIABLE DISCRETA**

Distribuciones de Bernoulli y binomial. Distribuciones geométrica y binomial negativa. Distribución hipergeométrica. Proceso de Poisson. Distribución de Poisson.

## **DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD DE VARIABLE CONTINUA**

Distribución uniforme. Distribución gamma. Distribuciones exponencial y de Weibull. Distribución normal. La normal como límite de la binomial. Distribución  $\chi^2$  de Pearson. Distribución  $t$  de Student. Distribución  $F$  de Snedecor.

## **DISTRIBUCIONES MULTIVARIANTE**

Distribuciones de probabilidad multivariantes. Distribución multinomial. Distribución hipergeométrica. Distribución normal multivariante.

## **SUCESIONES DE VARIABLES ALEATORIAS. TEOREMA CENTRAL DEL LÍMITE**

Sucesiones de variables aleatorias. Tipos de convergencia. Teorema de Bernoulli. Leyes de los grandes números. Teorema Central del Límite. Ejemplos notables de convergencia en Ley.

## **DISTRIBUCIONES EN EL MUESTREO**

Poblaciones paramétricas y no paramétricas. Tipos de muestreo. Estadísticos. Distribuciones de la media y de la varianza en el muestreo. Distribución de la diferencia de medias. Distribución de proporciones y de la diferencia de proporciones. Estadísticos ordenados. Distribuciones del máximo y del mínimo valor muestral. Distribución de estadísticos.

## **ESTIMACIÓN PUNTUAL**

Generalidades. Estimadores insesgados. Estimadores de mínima varianza. Cota de Cramer-Rao. Estimadores eficientes. Estimadores consistentes y suficientes. Método de máxima verosimilitud. Propiedades de los estimadores de máxima verosimilitud. Otros métodos de estimación puntual.

## **ESTIMACIÓN POR INTERVALOS**

Intervalos de confianza. Intervalos de confianza de la media. Intervalos de confianza de la varianza. Intervalos de confianza de la diferencia de medias. Intervalos de confianza de la razón de varianzas. Intervalos de confianza de proporciones. El problema del tamaño muestral.

## **CONTRASTES DE HIPÓTESIS. CONTRASTES PARAMÉTRICOS.**

Hipótesis estadísticas. Tipos de contrastes. Tipos de error. Potencia. Teorema de Neyman-Pearson. Contrastes de la media. Contrastes de diferencia de medias. Contrastes de proporciones y de la diferencia de proporciones. Contrastes relacionados con varianzas. Contraste de la razón de verosimilitudes.

## **CONTRASTES NO PARAMÉTRICOS.**

Contrastes no paramétricos. Generalidades. Contraste de la bondad del ajuste. Test  $\chi^2$ . Test de Kolmogorov-Smirnov. Test  $G^2$ . Test de rachas para el contraste de aleatoriedad. Test de Wilcoxon: contraste de localización. Contrastes de homogeneidad e independencia.

## **ANÁLISIS DE LA VARIANZA. DISEÑO DE EXPERIMENTOS.**

El problema de la clasificación simple. Método de cálculo. Diseño de bloques aleatorizados completos. Diseño de cuadrados latinos.

## **PROCESOS ESTOCÁSTICOS.**

Definiciones. Proceso de Poisson. Proceso de Markov. Series de tiempo. El método de Montecarlo.

## **Bibliografía:**

- *Métodos Estadísticos*. Vicente J. Novo Sanjurjo. Impresos y revistas S.A. (IMPRESA). 1994.
- *Estadística Matemática con aplicaciones*. J. E. Freund, I. Miller, M. Miller. Person Educación de México, S.A. 2000.
- *Fundamentos de inferencia estadística*. Luis Ruiz-Maya Pérez, F. Javier Martín Pliego. Editorial AC (Segunda Edición). 2002.
- *Aprenda MATLAB 7.0 como si estuviera en 1º*. Javier García de Jalón, José Ignacio Rodríguez, Jesús Vidal. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Madrid. 2005

La materia se imparte en un total de 100 horas lectivas.

# **TERMODINÁMICA**

## **CONCEPTOS BÁSICOS DE TERMODINÁMICA**

Termodinámica y Energía. Establecimiento de las ecuaciones de dimensiones y de unidades de medida. Sistemas abiertos y cerrados. Propiedades de un sistema. Estados y Equilibrio. Procesos y ciclos termodinámicos. Procesos estacionarios. Formas de Energía. Concepto de Energía interna. Concepto de Temperatura. Principio Cero de la termodinámica. Escalas termométricas. Presión. Variación de la presión con la altura. Dispositivos medidores de presión. Software EES. Explicación del mismo. Procedimiento de programación.

## **PROPIEDADES DE LAS SUSTANCIAS PURAS.**

Concepto de sustancia pura. Posibles estados físicos.

Procesos de cambio de estado. Líquido comprimido y líquido saturado. Vapor saturado y vapor recalentado. Temperatura y presión de saturación. Algunas consecuencias de la dependencia de la Temperatura y presión de saturación. Diagramas de cambio de estado. Diagrama T-v. Diagrama p-v. Extensión de los diagramas para incluir la fase sólida. Diagrama p-T. Superficie tridimensional de estados termodinámicos. Tablas de propiedades. Entalpía. La ecuación de estado del gas ideal. Factor de compresibilidad como medida de la desviación del comportamiento ideal. Otras ecuaciones de estado. Modelo de Van der Waals. Modelo de Beatti-Bridgeman. Modelo de Benedict-Webb-Rubin. Ecuación del virial. Calores específicos. Energía interna, entalpía y calores específicos de sólidos y líquidos. Cambios en la energía interna y en la Entalpía.

## **TRANSFERENCIA DE ENERGÍA: CALOR, TRABAJO Y MASA.**

Transferencia de calor. Transferencia de energía debido a trabajo. Formas de trabajo. Principio de conservación de la masa. Velocidad de variación de la masa y del volumen. Principio de conservación de la masa. Balances de masa en sistemas estacionarios. Balance de Trabajo de flujo y energía en un fluido en movimiento.

## **PRIMER PRINCIPIO DE LA TERMODINÁMICA**

El primer principio de la Termodinámica. Balance de energía. Mecanismos de transferencia de energía. Balance energético en sistemas cerrados. Balance de energía en sistemas abiertos estacionarios. Aplicación práctica sobre algunos dispositivos: difusores, toberas, turbinas, compresores, dispositivos de estrangulamiento, cámaras de mezcla, intercambiadores de calor, tubos. Balance de energía en sistemas no estacionarios. Balance de masa. Balance de energía.

## **SEGUNDO PRINCIPIO DE LA TERMODINÁMICA**

Introducción al segundo principio. Fuentes térmicas. Máquinas de calor. Enunciado de Kelvin-Planck para el segundo principio. Eficiencia y rendimiento termodinámico. Bombas de calor. Enunciado de Clausius para el segundo principio. Equivalencia de enunciados. Móvil perpetuo. Procesos reversibles e irreversibles. El Ciclo de Carnot. Enunciado de Carnot para el segundo principio. Escala Termodinámica de Temperatura. La calidad de la energía: Cantidad frente a Calidad. El ciclo frigorífico de Carnot.

## **ENTROPÍA**

Concepto de entropía. Aplicación a los procesos reversibles y a procesos isotérmicos. El principio de aumento de la entropía. Cambio en la entropía de sustancias puras. Procesos isentrópicos. Diagramas T-S y H-S. ¿Qué es la entropía? Las relaciones TdS. Variaciones de entropía en líquidos y sólidos. Variaciones de entropía en los gases ideales. Calores específicos constantes y variables. Procesos isentrópicos aplicados con gases ideales. Calores específicos

variables. Trabajo en procesos reversibles estacionarios. Minimización del trabajo de la etapa compresora. Compresión multi-etapa con enfriamiento. Cálculo de la eficiencia en dispositivos estacionarios: Turbinas, compresores, bombas y difusores. Balance de entropía. Variación de la entropía en un sistema. Mecanismos de transferencia de entropía. Generación de entropía. Sistemas cerrados. Volúmenes de control. Generación de entropía asociada a procesos de transferencia de calor.

### **CICLOS TERMODINÁMICOS**

Consideraciones básicas en el análisis de ciclos de trabajo. El Ciclo de Carnot y su importancia para aplicaciones en ingeniería. Requisitos de partida para el cumplimiento de las condiciones aire-estándar. Máquinas recíprocas. Ciclo Otto. Ciclo Diesel. Ciclo Brayton. El Ciclo Brayton con regeneración. El Ciclo Brayton con etapas de enfriamiento, recalentado y regeneración.

Los ciclos de Vapor y de potencia realimentados El Ciclo básico de vapor. Ciclo de Rankine. Desviación de las plantas de vapor industriales de las ideales. Incremento de la eficiencia de un ciclo Rankine. El ciclo de Rankine con recalentamiento. El ciclo de Rankine con regeneración.

### **RELACIONES ENTRE LAS PROPIEDADES TERMODINÁMICAS.**

Derivadas parciales y relaciones asociadas. Las relaciones de Maxwell. La ecuación de Clayperon. Expresiones matemáticas generales para  $du$ ,  $dh$ ,  $ds$ ,  $C_p$  y  $C_v$ . Variaciones en la energía interna. Cambios en la entalpía, en la entropía y análisis de los calores específicos a volumen y a presión constante. El coeficiente de Joule-Thomson. Las variaciones de entalpía, energía interna y entropía en los gases reales.

### **Bibliografía:**

- *Termodinámica*. F. W. Sears.
- *Engineering Thermodynamics*. J.B. Jones y Hawkins.
- *Termodinámica Aplicada*. Palacios.

La materia se imparte en un total de 60 horas lectivas.



**CURSO DE ESTUDIOS SUPERIORES EN  
CIENCIAS FÍSICO-MATEMÁTICAS  
SEGUNDO AÑO**



# **ANÁLISIS Y SÍNTESIS DE REDES**

## **RELACIONES FUNDAMENTALES EN CIRCUITOS LINEALES**

Definiciones fundamentales. Estudio de redes elementales.- Análisis de redes RCL. Principio de dualidad. Régimen libre, régimen forzado y régimen permanente en circuitos RCL.

## **IMPEDANCIAS Y ADMITANCIAS EN RÉGIMEN PERMANENTE**

Excitación senoidal. Fasores y sinores. Representación geométrica de fasores y sinores; vectores giratorios. Impedancias y admitancias complejas. Elección de los sentidos de referencia en los circuitos simples. Reglas de análisis simplificado por corrientes y tensiones. Impedancias y admitancias equivalentes.

## **GENERADORES LINEALES Y FUENTES CONTROLADAS**

Generadores lineales. Combinación de generadores lineales: Teorema de Millman. Fuentes controladas.

## **RÉGIMEN TRANSITORIO EN CIRCUITOS RL**

Formas usuales de señales transitorias. Circuito RL excitado por un escalón de tensión.- Constante de tiempo y tiempo de elevación. Respuesta de un circuito RL a un impulso de tensión.- Inserción brusca de una excitación senoidal. Efecto de variación de los parámetros.

## **RÉGIMEN TRANSITORIO EN CIRCUITOS RC Y RCL**

Circuito RC paso bajo. Circuito RC paso bajo como integrador. Circuito RC paso alto. Respuesta del circuito RC paso alto a la excitación exponencial. Circuito RC paso alto como diferenciador. Respuesta del circuito RCL a un escalón de tensión; diferentes regímenes de amortiguamiento.

## **ENERGÍA Y POTENCIA EN CIRCUITOS RCL**

Energía almacenada en bobinas y condensadores. Energía y potencia en circuitos RCL. Potencia activa, reactiva y vectorial.

## **CIRCUITOS RESONANTES**

Resonancia en el circuito RCL serie. Circuito resonante paralelo. Curvas universales de resonancia. Anchura de banda. Circuito tanque acoplado al colector de un transistor. Q efectivo en circuitos de 2º orden.

## **FORMULACIÓN DE ECUACIONES DE REDES POR LAZOS Y NUDOS**

Concepto de grafo. Determinación del número de variables independientes en el análisis por lazos y nudos. Concepto topológico de dualidad. Ejemplos de redes relacionadas dualmente.- Utilidad de la dualidad: interpretación del concepto de malla. Generalización de los lemas de Kirchoff a grupos de mallas y nudos; concepto de conjunto de atado y de corte. Redes con generadores incorporados: movilidad de generadores.

## **TEOREMAS DE CIRCUITOS**

Transformaciones Y –  $\Delta$  y  $\Delta$  – Y. Inmitancias terminales en redes activas y pasivas. Análisis de redes con amplificadores idealizados. Teoremas de generadores equivalentes de Helmholtz.- Superposición. Impedancias y admitancias de transferencia: reciprocidad.

## **TRANSMISIÓN DE POTENCIA**

Teorema de la máxima transmisión de potencia. Adaptación selectiva de impedancias.

## **ACOPLAMIENTO MAGNÉTICO**

Concepto de transformador. Convención del punto para circuitos acoplados. Relación entre diferentes flujos en un transformador con dos arrollamientos.- Tensiones inducidas. Efecto de las resistencias. Régimen permanente en transformadores.

## **REDES CON RAMAS ACOPLADAS MAGNÉTICAMENTE**

Ecuaciones de redes con ramas acopladas magnéticamente. Transformadores con más de dos arrollamientos. Transformador ideal. Circuito equivalente físico de un transformador. Generalización del circuito equivalente. Adaptación de impedancias con transformadores.

## **EL CUADRIPOLO COMO ELEMENTO CIRCUÍ TAL**

Ecuaciones de cuadripolos en términos de las matrices de impedancias y admitancias. Matrices de impedancias y admitancias de células en T y en  $\Pi$ ; redes recíprocas. Asociación de cuadripolos en paralelo y en serie. Matrices  $\|h\|$  y  $\|g\|$ . Circuitos equivalentes de cuadripolos en función de diferentes parámetros: matrices de cuadripolos idealizados. Conexión de cuadripolos en paralelo-serie y serie-paralelo. Relación entre matrices de cuadripolos.

## **CARACTERIZACIÓN DE CUADRIPOLOS MEDIANTE PARÁMETROS IMAGEN**

Parámetros ABCD. Asociación de cuadripolos en cascada. Impedancias imagen. Función de propagación. Métodos prácticos de determinación de parámetros imagen. Efectos de desacoplo de las impedancias terminales. Unidades de transmisión.

## **CUADRIPOLOS SIMÉTRICOS Y ESPECIALES**

Redes iterativas. Células en T y en  $\Pi$  simétricas. Red en celosía. Transformación de redes simétricas en las puestas a tierra y viceversa; Teorema de Bartlett. Célula en T puenteada.

## **ATENUADORES Y MEZCLADORES**

T equivalente de un cuadripolo. Atenuadores: atenuador en T puenteada.- Mezcladores: Modelos serie y paralelo.

## **ECUACIONES GENERALES Y PARÁMETROS SECUNDARIOS DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN**

Concepto de una red con parámetros distribuidos. Ecuaciones generales de una línea de transmisión en régimen permanente. Línea semi-infinita. Líneas de longitud finita; coeficiente de reflexión. Reflexiones en los extremos de una línea terminada. Ondas incidente y reflejada.- Ondas estacionarias. Uso de funciones hiperbólicas.

## **ESTUDIO DE ALGUNOS CASOS PARTICULARES DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN**

Variación de la constante de propagación y de la impedancia característica con la frecuencia. Líneas de bajas pérdidas, sin distorsión y con atenuación. Líneas de alta frecuencia; efecto pelicular.

## **MODELOS CIRCUITALES DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN**

Representación de una línea de transmisión por su circuito equivalente con constantes concentradas. Matrices de impedancias de una línea de transmisión. Líneas artificiales.

## **DEFINICIONES Y PROPIEDADES DE LA TRANSFORMADA DE LAPLACE**

Definición de la transformación de Laplace. Propiedades fundamentales. Transformadas de Laplace de algunas funciones elementales. Aplicación de la transformada de Laplace a la solución de ecuaciones integro-diferenciales con coeficientes constantes.

## **ECUACIONES DE REDES LINEALES EN EL DOMINIO DE LAPLACE**

Transformación de redes lineales para que aparezcan con las condiciones iniciales nulas. Derivadas e integrales sucesivas del escalón unidad. Transformación inversa de Laplace de funciones racionales. Teoremas de valores límites. Fórmula de inversión; transformadas de Laplace de funciones discontinuas aperiódicas y periódicas.

## **RESPUESTA TRANSITORIA DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN**

Ecuaciones de las líneas de transmisión en el dominio de Laplace. Líneas sin pérdidas o sin distorsión terminadas en su impedancia característica. Reflexiones en las imperfecciones de la línea. Respuesta de una línea sin pérdidas y con las pérdidas en el dieléctrico despreciables, a un escalón unidad de tensión y a un impulso de tensión.

## **ANÁLISIS GENERALIZADO DE REDES RESISTIVAS**

Formulación de ecuaciones de nudos de redes resistivas generalizadas. Matrices de incidencias. Teorema de Tellegen. Formulación matricial de ecuaciones de redes.

## **DIAGRAMA DE FLUJO**

Definiciones fundamentales. Grafos en progresión y con lazos de realimentación. Absorción de automallas y de nodos internos. Inversión de una trayectoria o de un lazo. Determinante de un flujograma. Regla de Mason. Aplicaciones.

## **Bibliografía:**

- *Análisis de circuitos*. W. Warzanskyj. Ed. ETSI de Telecomunicación. Madrid (1984).
- *Análisis de redes*. M.E. Van Valkenburg. Ed. LIMUSA, 1ª Ed. (1977).
- *Circuit Theory. A computational Approach*. S.W. Director. Wiley (1975).

La materia se imparte en un total de 90 horas lectivas.



# **AUTOMÁTICA**

## **INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE CONTROL.**

Definiciones. Control de lazo abierto y de lazo cerrado. Principio de proyecto de sistemas de control.

## **MODELOS MATEMÁTICOS DE SISTEMAS FÍSICOS.**

Funciones transferencia. Lineación de un modelo matemático no lineal. Diagrama de bloques. Obtención de funciones transferencia de sistemas físicos. Sistema de múltiples variables y matrices de transferencias. Gráficos de flujo de señal.

## **ACCIONES BÁSICAS DE CONTROL Y CONTROLES AUTOMÁTICOS INDUSTRIALES.**

Controles proporcionales. Obtención de acción de control derivativa e integral. Efectos de la acción de control derivativa e integral en el comportamiento del sistema. Reducción de variaciones de los parámetros por uso de la realimentación.

## **ANÁLISIS DE RESPUESTA TRANSITORIA.**

Funciones de respuesta impulsiva. Sistemas de primer orden. Sistema de segundo orden. Sistemas de órdenes superiores. Criterio de estabilidad de Routh. Computadoras analógicas.

## **ANÁLISIS DE ERROR E INTRODUCCIÓN A LA OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS.**

Coefficientes de error estático. Coeficientes de error dinámico. Criterios de error. Introducción a la optimización de sistemas.

## **EL MÉTODO DEL LUGAR DE LAS RAÍCES.**

Diagramas de lugar de las raíces. Resumen de las reglas generales para construir los lugares de las raíces. Análisis de sistemas de control utilizando el lugar de las raíces.

## **MÉTODOS DE RESPUESTA DE FRECUENCIA.**

Respuesta en frecuencia: conceptos y obtención. Diagramas logarítmicos. Diagramas polares. Diagramas de logaritmo del módulo en función de la fase. Criterio de estabilidad de Nyquist. Análisis de estabilidad. Estabilidad relativa. Respuesta de frecuencia en lazo cerrado. Determinación experimental de funciones de transferencia.

## **TÉCNICAS DE PROYECTO Y COMPENSACIÓN.**

Introducción y procedimientos generales. Consideraciones preliminares de proyectos. Compensación en adelanto. Compensación en atraso. Compensación en atraso-adelanto. Resumen de métodos de compensación en sistemas de control.

## **ANÁLISIS DE SISTEMA DE CONTROL NO LINEALES CON LA FUNCIÓN DESCRIPTIVA.**

Introducción a sistemas no lineales. Sistemas de control no lineales. Funciones descriptivas. Análisis de sistemas de control no lineales con la función descriptiva.

## **ANÁLISIS CON EL PLANO DE FASE.**

Introducción al método. Método para construir trayectorias. Obtención de soluciones temporales a partir de diagramas del plano de fase. Puntos singulares. Análisis de sistemas de control lineales con el plano de fase. Análisis de sistemas de control no lineales con el plano de fase. Comentarios finales.

### **Bibliografía:**

- *Ingeniería de Control Moderna*. Katsuhiko Ogata (1980). Prentice-Hall, México.

La materia se imparte en un total de 100 horas lectivas.



# **CÁLCULO NUMÉRICO**

## **INTRODUCCIÓN.**

Revisión de conceptos de análisis y de álgebra necesarios para el desarrollo de la asignatura. Errores de redondeo. Algoritmos y Convergencia.

## **RESOLUCIÓN DE ECUACIONES.**

Método de la bisección. Iteración del punto fijo. Método de Newton-Raphson. Método Regula-falsi. Convergencia acelerada. Ceros de los polinomios: Método de Müller. .

## **INTERPOLACIÓN Y APROXIMACIÓN POLI NÓMICA.**

Polinomios de Lagrange. Diferencias divididas. Interpolación de Hermite. Método de los *splines* cúbicos. .

## **RESOLUCIÓN DE SISTEMAS DE ECUACIONES LINEALES.**

Resolución de sistemas de ecuaciones lineales. Método de eliminación de Gauss (Pivot). Factorización de matrices.

## **TÉCNICAS ITERATIVAS EN ALGEBRA MATRICIAL.**

Norma de un vector y norma de una matriz. Valores y vectores propios. Métodos iterativos de solución de sistemas lineales: método de Jacobi y método de Gauss-Seidel.

## **TEORÍA DE APROXIMACIÓN.**

Método de mínimos cuadrados. Aplicación del método de mínimos cuadrados a un sistema lineal con más ecuaciones que incógnitas. Polinomios ortogonales. Polinomios de Chebyshev. Transformada rápida de Fourier. .

## **DIFERENCIACIÓN E INTEGRACIÓN NUMÉRICA.**

Diferenciación numérica: fórmulas de  $n+1$  puntos. Integración numérica: método trapezoidal y método de Simpson. Integración compuesta. Métodos adaptativos de cuadratura. Integración Gaussiana. Integrales múltiples. Integrales impropias

## **RESOLUCIÓN DE ECUACIONES DIFERENCIALES ORDINARIAS.**

Método de Euler. Métodos de Taylor de orden superior. Métodos de Runge-Kutta. Control del error: método de Runge-Kutta-Fehlberg. Métodos multipaso: predictor-corrector. Ecuaciones diferenciales de orden superior. Sistemas de ecuaciones diferenciales. Estabilidad y ecuación característica.

## **ECUACIONES DIFERENCIALES EN DERIVADAS PARCIALES.**

Ecuaciones elípticas: la ecuación de Poisson. Ecuaciones parabólicas: la ecuación del calor. Ecuaciones hiperbólicas: la ecuación de ondas.

**Bibliografía:**

- *Análisis Numérico*. Richard L. Burden y J. Douglas Fairbanks.
- *Introducción al Cálculo Numérico*. Udías.
- *Análisis Numérico*. Schaum.
- *Cálculo Numérico*. Mineur.
- *Cálculo Numérico*. Scarborough.
- *Elementos de Matemáticas*. Rey Pastor y Castro.

La materia se imparte en un total de 60 horas lectivas.

# **CÁLCULO TENSORIAL**

## **CAMPOS VECTORIALES — COORDENADAS CURVILÍNEAS.**

Coordenadas curvilíneas. Componentes covariantes y contravariantes de un vector. Forma cuadrática fundamental. Elemento diferencial de volumen. Transformación contravariante. Transformación covariante. Significado intrínseco de los componentes covariantes y contravariantes en E3. Paso de componentes contravariantes a covariantes. Generalización a espacios de dimensiones.

## **CONCEPTO GENERAL DE TENSOR.**

Convenio sumatorio de Índices mudos. Vectores contravariantes y covariantes: ejemplos. Invariantes. Tensores de segundo orden. Tensores de orden superior. Algunas propiedades de los tensores.

## **ALGEBRA TENSORIAL.**

Suma y diferencial de tensores. Producto externo. Contracción. Producto interno. Ley del cociente. El tensor métrico. Tensores asociados.

## **DERIVACIÓN TENSORIAL.**

Símbolos de Christoffel. Derivada covariante de un vector. Derivada covariante de un tensor. Derivada intrínseca o absoluta. Forma tensorial del gradiente, divergencia y laplaciana. Tensores de permutación. Producto vectorial de dos vectores. Rotacional. El tensor de Riemann-Christoffel. Espacio de Riemann. Espacio euclídeo. Alcance del Cálculo Tensorial.

## **CONCEPTO Y PROPIEDADES DE LOS TENSORES CARTESIANOS.**

Transformaciones lineales de coordenadas. Transformaciones afines. Transformaciones ortogonales. Tensores cartesianos. Propiedades de los tensores cartesianos.

## **ESTUDIO ESPECIAL DE LOS TENSORES CARTESIANOS DE SEGUNDO ORDEN.**

Notación y propiedades. Productos de tensores por diadas. Producto interno doble tensor-diada Forma cuadrática asociada a un tensor de segundo orden. Matrices y tensores. Los tensores de segundo orden como operadores de transformaciones geométricas. Transformaciones especiales. Tensor simétrico de 2° orden. Tensores infinitesimales de segundo orden.

## **APLICACIÓN: TEORÍA ELEMENTAL DE LA ELASTICIDAD.**

Pequeñas deformaciones. Notación y definiciones. Esfuerzos. Ecuaciones de equilibrio. Ley de Hooke generalizada. Cuerpos homogéneos e isótropos. Tensores isotrópicos. Ley de Hooke para cuerpos homogéneos e isotrópicos. Generalización de las ecuaciones a coordenadas curvilíneas cualesquiera.

## **Bibliografía:**

- *Elementos de Cálculo Tensorial y aplicaciones.* M. Boloix . Boletín ROA nº. 04/93.
- *Vectores y Tensores con aplicaciones.* Luis A. Santaló. Ed. Universitaria de B.Aires.
- *Cálculo Tensorial.* David C. Kay. Serie Schaum. Editorial McGraw-Hill.

La materia se imparte en un total de 80 horas lectivas.



# **ECUACIONES DIFERENCIALES ORDINARIAS**

## **ECUACIONES DIFERENCIALES ORDINARIAS,**

Teoremas de existencia. Teorema de Cauchy. Teorema de Picard. Puntos singulares. Estudio de las integrales en un entorno de un punto singular. Singularidades esenciales

## **ECUACIONES ORDINARIAS DE PRIMER ORDEN.**

Variables separables. Ecuaciones homogéneas y reducibles a homogéneas. Integración de diferenciales exactas. Factor integrante y su multiplicidad. Ecuación lineal. Ecuación de Bernoulli. Ecuación de Riccati. Ecuaciones resolubles en la primera derivada. Ecuaciones resolubles en las variables. Ecuación de Lagrange. Ecuación de Clairaut. Integrales singulares.

## **ECUACIONES ORDINARIAS DE ORDEN SUPERIOR.**

Sistema de primer orden equivalente. Ecuaciones cuyo orden puede rebajarse. Ecuaciones homogéneas de las derivadas. Ecuaciones diferenciales lineales. Ecuaciones homogéneas. Condición de dependencia lineal, Wronskiano. Integral general de la homogénea y de la completa. Método de variación de constantes. Fórmula de Liouville. Ecuaciones homogéneas de coeficientes constantes. Ecuaciones completas particulares. Ecuaciones de Euler. Operador  $P(D)$  y sus aplicaciones. Ecuaciones lineales de coeficientes periódicos y de segundo orden. Factores característicos. Estudio cualitativo de las soluciones. Estabilidad. Invarianza y formación de la ecuación característica.

## **SISTEMAS DE ECUACIONES DIFERENCIALES ORDINARIAS.**

Congruencia de curvas. Integración de sistemas de primer orden. Generalización a sistemas de orden superior. Método operacional. Caso de sistemas homogéneos de coeficientes constantes. Método de variación de constantes.

## **ECUACIONES EN DERIVADAS PARCIALES DE PRIMER ORDEN.**

Generación de superficies. Ecuación funcional. Ecuación diferencial de una familia de superficies. Integración de ecuaciones lineales de primer orden. Ecuaciones homogéneas. Generalización al caso de más de dos variables independientes. Integrabilidad de ecuaciones en diferenciales totales y métodos de integración. Obtención de ecuaciones en derivadas parciales por eliminación de constantes arbitrarias. Método de Lagrange-Charpit para obtener una integral completa. Integral general y singular. Interpretación geométrica. Curvas y bandas características. Sistemas característicos. Problema de Cauchy. Métodos de Lagrange y Darboux.

## **ECUACIONES EN DERIVADAS PARCIALES DE ORDEN SUPERIOR.**

Eliminación de funciones arbitrarias. Ecuaciones lineales de coeficientes constantes. Ecuaciones homogéneas reducibles. Integrales particulares de las ecuaciones homogéneas. Separación de variables. Ecuaciones lineales completas con homogéneas reducibles e irreducibles. Ecuaciones de Euler. Ecuaciones cuyo orden puede rebajarse. Ecuaciones con derivadas respecto a una sola variable. Reducción de las ecuaciones lineales de segundo orden a los tipos canónicos con dos o más variables.

### **NOCIONES SOBRE PROBLEMAS DE CONTORNO.**

Condiciones iniciales y de contorno. Nociones sobre la función de Green. Tipo canónico sin derivada primera. Simetría de la función de Green. Ecuaciones adjunta y auto adjunta. Problemas de contorno con valores y funciones propias. Valores propios degenerados. Ortogonalidad de las funciones propias. Aplicaciones de las ecuaciones del movimiento armónico. Ecuaciones de Legendre, Bessel, Hill y Mathieu.

### **SOLUCIONES DEFINIDAS POR SERIES.**

Método de coeficientes indeterminados. Ecuaciones de Hermite y Legendre. Ecuaciones diferenciales en el campo complejo. Singularidades. Aplicaciones a las ecuaciones de Legendre y Bessel en el campo complejo. Expresión de sus soluciones como integrales de contorno y propiedades de las mismas.

### **EL PROBLEMA DE CAUCHY EN LAS ECUACIONES EN DERIVADAS PARCIALES DE ORDEN SUPERIOR.**

Problema de Cauchy para ecuaciones con dos variables independientes. Curvas características y reducción a forma canónica. Caso de coeficientes constantes. Problema de Cauchy para ecuaciones con dos variables independientes. Curvas características y reducción a forma canónica. Caso de coeficientes constantes. Problema de Cauchy y superficies características en las ecuaciones con tres variables independientes. Reducción a los tipos canónicos. Obtención de la ecuación de las superficies características. Método de Riemann para integración de ecuaciones hiperbólicas con dos variables. Ecuaciones no lineales. Ecuaciones de Monge-Ampere. Nociones sobre integración y problemas de contorno en las ecuaciones de tipo hiperbólico, elíptico y parabólico. Nociones sobre la teoría del potencial

### **ECUACIONES EN DERIVADAS PARCIALES DE LA FÍSICA.**

Problemas de contorno lineales La cuerda vibrante-Modificaciones de 1 a ecuación Condiciones en los extremos. Otros ejemplos de ecuaciones de las ondas Conducción del calor. Discusión de la ecuación del calor. Ecuación de Laplace. Tipos de ecuaciones y condiciones.

### **SUPERPOSICIÓN DE SOLUCIONES.**

Combinaciones lineales. Series de soluciones. Convergencia uniforme. Integrales de las soluciones. Separación de variables. La serie de Fourier de senos. Cuerda pulsada. Ecuaciones diferenciales ordinarias. Las soluciones generales de las ecuaciones en derivadas parciales. Superposición. Otros métodos.

### **PROBLEMAS DE CONTORNO.**

Soluciones formales y rigurosas. La cuerda vibrante desplazada inicialmente. Discusión de la solución. Velocidad inicial dada. Ecuaciones diferenciales no homogéneas. Barra elástica Temperaturas de una barra. Otras condiciones de contorno. Series de Fourier con dos variables Aplicación de las integrales de Fourier. Temperaturas  $u(x, t)$  en un medio ilimitado Ejemplo. Soluciones de la ecuación de Laplace o de las de Poisson. Una aplicación. Soluciones de una

ecuación de las ondas.

### **FUNCIONES DE BESSEL Y SUS APLICACIONES.**

Ecuaciones de Bessel. Funciones  $J_n$  de Bessel. Algunas otras funciones de Bessel. Fórmulas de derivación y recurrencia. Formas integrales de  $J_n$ . Consecuencias de la forma integral de Bessel. Los ceros de  $J_0(x)$ . Ceros de otras funciones. Sistemas ortogonales de funciones de Bessel. Las funciones ortonormales. Series de Fourier, Bessel Temperaturas en un cilindro largo. Transmisión de calor en la superficie del cilindro. Vibración de una membrana circular Funciones de Hankel y Bessel modificadas.

### **POLINOMIOS DE HERMITE.**

Definición y expresión general. Relaciones de recurrencia. Ecuación diferencial de Hermite Funciones de Hermite. Ortogonalidad de las funciones de Hermite.

### **NOCIONES DE CÁLCULO VARIACIONAL**

La ecuación de Euler. Extremales ligadas. Aplicaciones.

### **Bibliografía:**

- *Iniciación las Ecuaciones en Derivadas Parciales y al Análisis de Fourier*, P. Pedregal, Septem Ediciones.
- *Differential equations with Mathematica*, Third Edition, M.L. Abell, J.P. Braselton, Ed. AP Professional.
- *Ecuaciones diferenciales modernas*, R. Bronson, McGraw-Hill
- *Ecuaciones diferenciales con aplicaciones*, W.R. Derrick, S.I. Grossman, Ed. Fondo Educativo Iberoamericano.
- *Ecuaciones diferenciales*, L. Ross, Ed. Reverté
- *Ecuaciones diferenciales (con aplicaciones y notas históricas)*, G.F. Simmons, McGraw-Hill.
- *Ordinary differential equations*, Carrier & Pearson, SIAM.
- *Teoría de campos y ecuaciones en derivadas parciales*, F. Periago, Escarabajal.
- *Partial differential equations. An introduction*, W.A. Strauss, John Wiley & Sons.
- *Boundary value problems of mathematical Physics*, I. Stakgold, SIAM.

La materia se imparte en un total de 120 horas lectivas.





# **ELECTROMAGNETISMO**

## **VECTORES**

Álgebra vectorial. Invarianza. La derivada temporal. El gradiente. Flujo y divergencia. El Teorema de la divergencia. Integrales curvilíneas y rotacional. El teorema de Stokes. La Laplaciana. Coordenadas curvilíneas. Coordenadas cilíndricas. Coordenadas esféricas. El gradiente. La divergencia. El rotacional. La Laplaciana.

## **CAMPOS ELECTROSTÁTICOS EN EL VACÍO.**

Ley de Coulomb. La intensidad del campo eléctrico. El potencial eléctrico. El campo eléctrico en el exterior y en el interior de medios macroscópicos. Ley de Gauss. El potencial promedio sobre una superficie esférica. Las ecuaciones de Poisson y Laplace. Conductores. Cálculo del campo eléctrico producido por una distribución sencilla de carga. Campo de una distribución de cargas esféricas uniforme. Campo  $E$  en un punto exterior. Campo  $E$  en un punto interior. El dipolo eléctrico. El cuadrípulo eléctrico lineal. Multipolos eléctricos. El campo eléctrico en el exterior de una distribución arbitraria de carga. El valor medio de la intensidad del campo eléctrico en el interior de una esfera con una distribución arbitraria de carga. Energía potencial de una distribución de cargas. Fuerzas sobre conductores. Fuerzas en un condensador plano-paralelo.

## **MATERIALES DIELECTRICOS.**

La polarización eléctrica. Campo eléctrico en un punto exterior. Las densidades de carga ligada. La densidad de corriente de polarización. Campo eléctrico en un punto interior. Intensidad del campo eléctrico debida a dipolos alejados. Intensidad del campo eléctrico debida a dipolos próximos. El campo local. La susceptibilidad eléctrica. La divergencia de  $E$ . El desplazamiento eléctrico  $D$ . La permitividad relativa. Ecuación de Poisson para dieléctricos. La densidad de carga libre y la densidad de carga ligada. Cálculo de campos eléctricos en presencia de dieléctricos. El condensador plano-paralelo con dieléctrico entre placas. La densidad de carga libre, la densidad de carga ligada y el desplazamiento eléctrico  $D$  en la separación dieléctrico-conductor. Esfera dieléctrica con una carga puntual en su centro. La barra electrete. La ecuación de Clausius-Mossotti. Dieléctricos polares. La ecuación de Langevin. La ecuación de Debye. Dependencia con la frecuencia, anisotropía e inhomogeneidad. Energía potencial de una distribución de carga en presencia de dieléctricos. Energía almacenada en un condensador de placas paralelas. Fuerzas sobre dieléctricos. Fuerza por unidad de volumen sobre el material aislante en un cable coaxial. Fuerzas sobre conductores en presencia de dieléctricos. Fuerzas sobre un condensador de placas paralelas y sumergido en un dieléctrico líquido.

## **MÉTODOS GENERALES DE SOLUCIÓN DE LAS ECUACIONES DE LAPLACE Y POISSON.**

Continuidad de  $V$ ,  $D_n$ ,  $E_t$  en la separación entre dos medios diferentes. Potencial- Componente normal del desplazamiento eléctrico. componentes tangencial de la intensidad del campo eléctrico. Curvatura de las líneas de fuerza. El teorema de unicidad. Imágenes. Carga puntual próxima a un plano conductor infinito a potencial cero. Carga puntual próxima a una esfera conductora cargada. Esfera cargada próxima a un plano conductor a potencial cero. carga próxima a un dieléctrico semi-infinito. Solución de la ecuación de Laplace en coordenadas rectangulares. Campo entre dos electrodos paralelos semi-infinito. Solución de la ecuación de

Laplace en coordenadas rectangulares. Campo entre dos electrodos paralelos semi-infinitos a potencial cero terminados por un electrodo de plano a un potencial  $V_0$ . Campo entre dos electrodos paralelos a potencial cero terminados en lados opuestos por dos placas potenciales  $V_1$  y  $V_2$ . Solución de la ecuación de Laplace en coordenadas esféricas. Ecuaciones de Legendre. Polinomios de Legendre. Esfera conductora en un campo eléctrico uniforme. Esfera dieléctrica en un campo eléctrico uniforme. Solución de las ecuaciones de Poisson para  $V$ . Diodo de unión p-n de silicio. Solución de la ecuación de Poisson para  $E$ .

### **CORRIENTES ESTACIONARIAS Y MATERIALES NO MAGNÉTICOS.**

Fuerzas magnéticas. La inducción magnética. La ley de Biot-Savart. La inducción magnética debida a una corriente que circula por un hilo recto muy largo. Fuerza entre dos hilos infinitos paralelos. La espira circular. La fuerza sobre una carga puntual que se mueve en un campo magnético. Efecto Hall en semiconductores. El hodoscopio. La divergencia de la inducción magnética. El potencial vector. Hilo recto infinito. Dos hilos paralelos infinitos. La integral curvilínea del potencial vector  $A$  sobre una curva cerrada. El rotacional de la inducción magnética  $B$ . Ley de Ampere de la circulación. Conductor cilíndrico alargado. La bobina toroidal. El solenoide alargado. Refracción de las líneas de  $B$  en una lámina de corriente. El solenoide finito. El dipolo magnético. El solenoide alargado.

### **FUERZA ELECTROMOTRIZ INDUCIDA Y ENERGÍA MAGNÉTICA.**

La ley de inducción de Faraday. La espira variable. La ley de inducción de Faraday en forma diferencial. La intensidad del campo eléctrico inducido en función del potencial vector. Fuerza electromotriz inducida en una espira por un par de hilos paralelos de gran longitud por los que circula una corriente variable. Fuerza electromotriz inducida en un sistema en movimiento. Fuerza electromotriz inducida en una espira fija en un campo magnético dependiente del tiempo. Fuerza electromotriz inducida en una espira que gira en un campo magnético fijo. Coeficiente de inducción mutua. Coeficiente de autoinducción. Autoinducción de un solenoide alargado. Autoinducción de una bobina toroidal. Coeficiente de inducción mutua entre dos solenoides coaxiales. Coeficiente de acoplamiento. Energía almacenada en un campo magnético. Energía magnética en función de la inducción magnética. Energía magnética en función de la densidad de corriente  $J$  y del potencial vector  $A$ . Energía magnética en función de la corriente  $I$  y del flujo magnético. Energía magnética en función de las corrientes y de los coeficientes de inducción. Coeficiente de autoinducción para una distribución volúmica de corriente. Coeficiente de autoinducción de una línea coaxial. Fuerzas magnéticas entre dos circuitos. Fuerza magnética con corrientes constantes. Fuerza entre dos solenoides coaxiales. Fuerza magnética con flujos constantes. Fuerza entre dos cilindros coaxiales. Par magnético. Par magnético sobre una espira de corriente. Fuerzas magnéticas en el interior de un circuito aislado. El efecto de estrangulamiento. Presión magnética. Presión magnética dentro de un solenoide alargado.

### **MATERIALES MAGNÉTICOS.**

La imanación  $M$ . La inducción magnética  $B$  en un punto exterior. La inducción magnética  $B$  en un punto interior. La divergencia de  $B$ . El campo  $B$  de un cilindro uniformemente imanado. La intensidad del campo magnético  $H$ . Ley de Ampere de la circulación. Susceptibilidad magnética y permeabilidad relativa. La densidad de corriente equivalente y la densidad de corriente libre. Histéresis. Energía disipada en un ciclo de histéresis. Condiciones de contorno. Cálculo de campos magnéticos. Los campos  $B$  y  $H$  de un imán. El imán y la barra electrete. Circuito magnético. Circuitos magnéticos con entrehierro de aire. Circuito magnético con imán permanente. Solución de la ecuación de Poisson para  $B$ . La inducción magnética en el centro

de un disco cargado en rotación.

### **LAS ECUACIONES DE MAXWELL.**

La conservación de la carga eléctrica. Densidad de carga de un conductor. Los Potenciales  $V$  y  $A$ . Los potenciales retardados. Los potenciales retardados para un Dipolo eléctrico oscilante. El potencial retardado  $A$  para un dipolo magnético oscilante. La condición de Lorentz. El condensador esférico con pérdidas por conducción (fugas). La divergencia de  $E$  y la ecuación de ondas no homogéneas para  $v$ . La ecuación de ondas no homogéneas para  $A$ . el rotacional de  $B$ . La densidad de corriente de desplazamiento en un conductor-. Las ecuaciones de Maxwell. Las ecuaciones de Maxwell en forma integral. Dualidad. Lema de Lorentz. Las ecuaciones de ondas no homogéneas para  $E$  y  $B$ .

### **ONDAS PLANAS EN MEDIOS INFINITOS.**

Ondas electromagnéticas planas en el espacio libre. El vector de Poynting Flujo de Energía a través de un cilindro imaginario. Los vectores  $E$  y  $H$  en medios homogéneos isótropos lineales y estacionarios. Propagación de ondas planas electromagnéticas en no conductores- Propagación de ondas planas electromagnéticas en medios conductores El vector de Poynting en medios conductores. Propagación de ondas planas electromagnéticas en buenos conductores. Propagación en cobre a 1 megahertz. Pérdidas Joule en buenos conductores. Propagación de ondas planas electromagnéticas en gases ionizados a bajas presiones. La conductividad de un gas ionizado. La frecuencia angular de plasma. Propagación de ondas a altas frecuencias. Propagación de ondas a bajas frecuencia. La ionosfera.

### **REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN.**

Las leyes de la reflexión y la ley de Snell de la refracción. Ecuaciones de Fresnel. Onda incidente polarizada con su vector  $E$  «normal», al plano de incidencia. Onda incidente polarizada con su vector  $E$  «paralelo» al plano de incidencia. Reflexión y refracción en la separación entre dos no conductores no magnéticos. El ángulo de Brewster. Medida de la permitividad relativa de la superficie de la Luna a radio frecuencias. Los coeficientes de reflexión y transmisión en la separación entre dos no conductores. Reflexión total en la separación entre dos no conductores no magnéticos. Emisión de la luz en un tubo de rayos catódicos. El ángulo crítico y el ángulo de Brewster. Demostración de la validez de la ley de Snell, de las leyes de reflexión y refracción y de las ecuaciones de Fresnel en el caso de reflexión total. Los números de ondas  $K_{qx}$  y  $K_{l1}$  para la onda reflejada. Los números de ondas  $K_{lx}$  y  $K_{2x}$  para la onda transmitida. Las amplitudes de  $E$  y  $H$  en las ondas reflejadas y transmitidas. El vector de Poynting para la onda transmitida. Reflexión y refracción en la superficie de un buen conductor. Comunicaciones con los submarinos. Ondas estacionarias en incidencia normal. Transmisión de una onda electromagnética a través de una lámina delgada de cobre en incidencia normal. Demostración de la validez de la ley de Snell, de las leyes de la reflexión y refracción y de las ecuaciones de Fresnel en la separación entre un dieléctrico y un buen conductor. Los números de ondas  $K_{2x}$  y  $K_{2x}$  para la refracción en un buen conductor. Presión de radiación en incidencia normal sobre un buen conductor. Reflexión de una onda electro-magnética por un gas ionizado.

### **ONDAS GUIADAS.**

Propagación en una línea recta. Onda TE y TM. Ondas TEM. Condiciones de contorno en la superficie de las guías de ondas metálicas. La línea coaxial. La guía de ondas rectangular hueca. La onda TE. Reflexiones internas. Transmisión de energía. Atenuación. Modos TE<sub>11</sub> y

TE01 en guía circular. Estudio particular del modo TEM. Concepto de línea de transmisión. Parámetros circuitales de la línea de transmisión. Algunas líneas de transmisión de interés.

### **RADIACIÓN DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS.**

Radiación del dipolo eléctrico. El potencial escalar  $V$ . El potencial vector  $A$  y la intensidad del campo magnético  $H$ . Intensidad del campo eléctrico  $E$ . El vector de Poynting medio y la potencia radiada. Las líneas de fuerza eléctricas y magnéticas. La superficie  $KY$ . Radiación de una antena de media onda. La intensidad del campo eléctrico  $E$ . La intensidad del campo magnético  $H$ . El vector de Poynting medios y la potencia radiada. Agrupaciones de antenas. Radiación del cuadripolos eléctrico. Radiación del dipolo magnético. Los potenciales  $V$  y  $A$ . Los vectores  $E$  y  $H$  El vector de Poynting medio y la potencia radiada. Radiación el cuadripolo magnético. Los dipolos eléctricos y magnético como antenas receptoras. El teorema de reciprocidad.

### **LA RELATIVIDAD CLÁSICA Y EL POSTULADO DE RELATIVIDAD.**

El postulado de relatividad. Sistema de referencia. Sistema de referencia inerciales. La conservación del impulso en diferentes sistema de referencia. Velocidad absoluta frente a velocidad relativa. La velocidad relativa de dos observadores medida por cada uno de ellos

### **ONDAS LUMINOSAS Y EL SEGUNDO POSTULADO.**

Ondas. Ondas periódicas: frecuencia y longitud de ondas. El efecto Doppler. La luz es una onda. La aberración de la luz. El movimiento a través del espacio. El experimento de Michelson-Morley. El segundo postulado. Prueba experimental del segundo postulado. un corolario del segundo postulado.

### **LA DILACIÓN DEL TIEMPO: TIEMPO PROPIO Y TIEMPO IMPROPIO.**

Experimentos ideales. Medición de intervalos de tiempos propios e impropios. ¿Atrasan los relojes en movimiento? ¿Afecta el movimiento al mecanismo de un reloj? Experimentos reales de dilación del tiempo.

### **MEDICIONES DE LONGITUD.**

Contracción de una longitud. El segundo brazo del aparato de Michelson-Morley. Una tercera medición de longitud. La paradoja de las longitudes y la simultaneidad. Las longitudes perpendiculares a su movimiento no cambian.

### **VELOCIDAD Y ACELERACIÓN.**

Sumas de velocidades. La emisión de luz por objetos en movimiento. La Aceleración. La velocidad última. El efecto Doppler.

### **LA PARADOJA DE LOS MELLIZOS.**

Formulación de la paradoja. La solución en términos de la dilación del tiempo. La solución en términos de latidos de corazón. Solución en términos de latido contados por el piloto que se aleja. Discusión y un experimento.

### **LA TRANSFORMACIÓN DE LOTENTZ. NOTACIÓN.**

La transformaciones de Lorentz. Una cuestión de notación. Aplicaciones de las transformaciones de Lorente

### **VELOCIDAD PROPIA O CUADRIVELOCIDAD.**

Dos clases de velocidad. Fórmulas de adición de velocidades para la velocidad propia. En ejemplo.

### **IMPULSO Y ENERGÍA.**

Conservación no-relativista del impulso. ¿Cómo elegimos una expresión relativista para el impulso? Conservación del impulso relativista. Una nueva ley de conservación: la de la energía. Un ejemplo. Impulso y energía: Resumen. Impulso y energía relativista: experimentos. Un ejemplo: Choque elástico y simétrico entre partículas de igual masa. Un ejemplo: Choque elástico frontal. Energía e impulsos en dos sistemas de referencia diferentes.

### **PARTÍCULAS DE MASA NULA.**

Los destellos luminosos como «partículas». Fotones. Otras partículas de masa nula. Ejemplo: un átomo absorbe luz. Otro ejemplo: desintegración del mesón K

### **CENTRO DE MASA Y SISTEMAS DE PARTÍCULAS.**

¿Cuándo un objeto se encuentra en reposo? Impulso y energía totales de un grupo de partículas. El sistema de referencia del centro de masa. Importancia de la energía en el centro de masa. Ejemplo: colisión entre partículas de igual masa.

### **CUADRIVECTORES.**

El cuadrivector impulso-energía. La transformación de Lorentz como rotación en cuatro dimensiones. Escalares ordinarios. Cuadriescalares o invariantes de Lorentz. Cuadrivectores. Ejemplo: Dispersión elástica de partículas de igual masa.

### **FUERZAS Y CAMPOS ELÉCTRICOS Y MAGNÉTICO.**

Campos eléctrico y magnético entre laminas cargadas planas. Condensadores en movimiento. El campo de una carga puntual en movimiento. La ley de Gauss para una carga en movimiento. Fuerzas eléctricas. La fuerza relativista. Fuerza y desviación magnética.

### **Bibliografía:**

- *Campos y ondas electromagnéticas*, Paúl Lorrain y Dale R. Corson.
- *Circuitos eléctricos*, . Joseph A. Edminister.
- *Electricite Generales*, J. Thurin.
- *Lectures on Physics*, Tomo II. Richard P. Feymann.
- *Electricite*, G. Bruhat.
- *Clasical Electricity and Magnetism*, W.K. Panofsky.
- *Advanced Electricity and Magnetism*, .W.J. Duffin.
- *Waves, Vol. III. Berkeley Physics Course*. F.S. Grawford.
- *Radiation and Óptica*, K.J. Stone.
- *Introducción a la Relatividad Espacial*, James M. Smith.
- *The Electromagnetic Field*, Albert Shadowitz, Dover Publlication
- *Introduction to Electrodynamics*, David J. Griffiths, Prentice Hall International
- *Principles of Electrodynamics*, Melvin Schwartz, Dover Publications, inc.
- *Electromagnetic Field Theory Fundamentals*, Bhag Guru, Cambridge.

La materia se imparte en un total de 120 horas lectivas.



# **TRANSMISIÓN DEL CALOR**

## **CONDUCTIVIDAD CALORÍFICA Y MECANISMO DEL TRANSPORTE DE ENERGÍA.**

Ley de Fourier de la conducción del calor. Medida de la conductividad calorífica. Variación de la conductividad calorífica de gases y líquidos con la temperatura y la presión. Efecto de la presión sobre la conductividad calorífica. Teoría de la conductividad calorífica de los gases a baja densidad. Cálculo de la conductividad calorífica de un gas monoatómico a baja densidad. Estimación de la conductividad calorífica de un gas poliatómico a baja densidad. Predicción de la conductividad calorífica de una mezcla gaseosa a baja densidad. Teoría de la conductividad calorífica de líquidos. Predicción de la conductividad calorífica de un líquido. Conductividad calorífica de sólidos.

## **DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA EN SÓLIDOS Y EN EL FLUJO LAMINAR.**

Balance de energía aplicado a una envoltura: condiciones límites. Conducción del calor con un manantial calorífico de origen eléctrico. Voltaje necesario para producir un determinado aumento de temperatura en un alambre calentado por una corriente eléctrica. Calentamiento eléctrico de un alambre en el que varían las conductividades caloríficas y eléctrica con la temperatura. Conducción del calor con un manantial calorífico de origen nuclear. Conducción del calor con un manantial calorífico de origen viscoso. Conducción del calor con manantial calorífico de origen químico. Conducción del calor a través de paredes compuestas: suma de resistencias. Paredes cilíndricas compuestas. Conducción del calor en una aleta de enfriamiento. Error en la medida de un termopar. Convención forzada. Convención libre.

## **LAS ECUACIONES DE VARIACIÓN PARA SISTEMAS NO ISOTÉRMICOS.**

Las ecuaciones de energía. La ecuación de energía en coordenadas curvilíneas. Las ecuaciones de movimiento para convención forzada y convención libre en el flujo no isotérmico. Resumen de las ecuaciones de variación. Uso de las ecuaciones de variación en los problemas de transmisión de calor en estado estacionario. Flujo tangencial en tubos concéntricos con generación de calor de origen viscoso. Flujo estacionario de una película no isotérmica. Enfriamiento por transpiración. Transmisión de calor por convección libre desde una lámina vertical. Flujo compresible unidimensional: Gradientes de velocidad, temperatura y presión en una onda de choque estacionaria. Procesos adiabáticos sin fricción para un gas ideal. Análisis dimensional de las ecuaciones de variación. Transmisión de calor por convección forzada en un tanque agitado. Temperatura de la superficie de una espiral de calentamiento eléctrico.

## **DISTRIBUCIONES DE TEMPERATURA CON MAS DE UNA VARIABLE INDEPENDIENTE.**

Conducción no estacionaria del calor en sólidos. Calentamiento de una lámina semiinfinita. Calentamiento de una lámina finita. Enfriamiento de una esfera que está en contacto con un fluido fuertemente agitado. Conducción del calor en estado estacionario para el flujo laminar de un fluido viscoso. Flujo laminar de un tubo con densidad de flujo de calor constante en la pared: Solución asintótica para distancias pequeñas. Flujo potencial bidimensional estacionario de calor en sólidos. Distribución de temperatura en la pared. Teoría de la capa límite. Transmisión de calor por convección forzada en el flujo laminar a lo largo de una lámina plana

**DISTRIBUCIONES DE TEMPERATURA EN FLUJO TURBULENTO.** Fluctuaciones de temperatura y temperatura de tiempo ajustado. Ajuste de tiempo de la ecuación de energía. Expresiones semiempíricas para la densidad de flujo turbulento de energía. Perfiles de temperatura para el flujo turbulento estacionario en tubos circulares lisos. La doble correlación de temperatura y su propagación: ecuación de Corrsin. Ecuación de decaimiento para la doble correlación de temperatura.

**TRANSPORTE DE INTERFASE EN SISTEMAS NO ISOTÉRMICOS.**

Definición del coeficiente de transmisión de calor. Cálculo de coeficientes de transmisión de calor a partir de datos experimentales. Coeficiente de transmisión de calor para convección forzada en tubos. Diseño de un calentador tubular. Coeficiente de transmisión de calor para convección forzada alrededor de objetos sumergidos. Coeficiente de transmisión de calor para convección forzada a través de lechos de relleno. Coeficiente de transmisión de calor para convección libre. Pérdida de calor por convección libre desde una tubería horizontal. Coeficiente de transmisión de calor para condensación de vapores puros sobre superficies sólidas. Condensación de vapor de agua sobre una superficie vertical.

**TRANSPORTE DE ENERGÍA POR RADIACIÓN.**

El espectro de radiación electromagnética. Absorción y emisión en superficies sólidas. Ley de distribución en Planck, Ley de desplazamiento de Wien y la Ley de Stefan-Boitzzmann. Temperatura de emisión de energía radiante del Sol. Radiación directa sobre cuerpos negros en el vacío que están a diferente temperatura. Estimación de la constante solar. Transmisión de energía radiante entre discos. Radiación entre cuerpos no negros que están a distinta temperatura. Escudos de radiación. Pérdidas de calor por radiación y convección libre de una tubería horizontal. Convección y radiación combinadas. Transporte monocromática.

**BALANCES MACROSCÓPICOS EN SISTEMAS NO ISOTÉRMICOS.**

El balance macroscópico de energía. El balance macroscópico de energía mecánica (Ecuación de Bernouilli). Resumen de los balances macroscópicos para fluidos puros. Utilización de los balances macroscópicos para la resolución de problemas de estado no estacionario. Enfriamiento de un gas ideal. Combinadores de calor de corrientes paralelas y en contracorriente. Potencia necesaria para bombardear un fluido compresible a través de una tubería de grandes dimensiones. Mezcla de dos corrientes de gases ideales. Flujo de fluidos compresibles a través de orificios. Utilización de los balances macroscópicos para la resolución de problemas de estado no estacionario. Calentamiento de un líquido en un tanque agitado. Operación de un sistema sencillo de control de temperatura. Expansión libre de una carga de un fluido compresible.

**Bibliografía:**

- *Fenómenos de Transporte.* Bird, Steward, Lighfoot.
- *Conduction of heat in solid.* Carslaw y Jaeger.
- *Modern operational mathematics in Engineering.* Churchill.
- *Heat transfer.* Jakob.
- *Introduction to complex variables and applications.* Churchill.
- *Boundary layer theory.* Schlichting.
- *modern development in fluid dynamics.* Goldstein.

La materia se imparte en un total de 60 horas lectivas.



# **MECÁNICA DE FLUIDOS**

## **PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS COMO MEDIOS CONTINUOS.**

Constitución de los fluidos. El concepto de continuo. Dimensiones características. Problemas de paso al límite. Densidad y peso específico. Fuerzas en el seno de unos fluidos.

## **VISCOSIDAD, MECANISMO DEL TRANSPORTE DE LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO.**

Ley de viscosidad de Newton. Cálculo de la densidad de flujo de cantidad de movimiento. Fluidos No-Newtonianos. Modelo de Bingham. Modelo de Ostwald de Waete. Modelo de Eyring. Modelo de Ellis. Modelo de Reiner-Philippoff. Dependencia de la viscosidad con presión y temperatura. Estimaciones a partir de las propiedades críticas. Ábacos de Watson-Uyehara. Teoría de la viscosidad en gases de baja densidad. Potencial de Lennard Jones. Cálculo de la viscosidad de una mezcla de gases. Teoría de la viscosidad en los líquidos. Teoría de Eyring.

## **CONCEPTOS TERMODINÁMICOS.**

Modelo molecular del comportamiento de los fluidos. Energía interna. Temperatura. Variación de la cantidad de movimiento. Presión. Flujo de calor. Conceptos de Termodinámica. Gases perfectos.

## **INTRODUCCIÓN MATEMÁTICA A LA CINEMÁTICA DE LOS FLUIDOS.**

Estudio del movimiento de un fluido. Representación de Lagrange. Trayectorias. Valores locales. Derivada local y sustancial. Representación de Euler. Líneas de corriente. Movimientos estacionarios. Líneas y superficies fluidas.

## **ECUACIONES DEL TRANSPORTE DE UNA MAGNITUD FLUIDA. ECUACIÓN DE CONTINUIDAD.**

Velocidad de dilatación de unos elementos de volumen. Ecuación de continuidad en forma diferencial. Ecuación del transporte de una magnitud extensiva. Forma integral de la ecuación de continuidad. Teorema de transporte de Reynolds.

## **ANÁLISIS DEL CAMPO DE VELOCIDADES EN EL ENTORNO DE UN PUNTO.**

El tensor gradiente de velocidades. Descomposición instantánea del movimiento. Interpretación física de los componentes del tensor de velocidad de deformación. Ejes principales de deformación.

## **ESTADO DE ESFUERZOS EN UN PUNTO.**

Estudio de las fuerzas sobre un elemento diferencial de volumen. Simetría del tensor de esfuerzos. Ejes principales de esfuerzos. Descomposición del tensor de esfuerzos.

## **DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN FLUJO LAMINAR.**

Balance de cantidades de movimiento. Condiciones de contorno. Caída de un líquido en un canal rectangular, con fluidos Newtonianos y no-newtonianos. Flujo en un tubo circular. Ley de Hagen-Poiseuille. Flujo en un anillo circular de un fluido de Newton. Flujo de dos fluidos inmiscibles en un canal rectangular. Flujo anular con cilindro interior en movimiento. Análisis del medidor de flujo capital. Ejercicios de flujos en diferentes Geometrías con distintos fluidos.

### **ECUACIONES DE CONTINUIDAD Y MOVIMIENTO.**

Derivada parcial. Derivada total. Derivada sustancial. Relación entre derivada sustancial y local. Ecuación de la continuidad. Ecuación del movimiento. Tensor de velocidad de deformación. Tensor de rotación. Tensor de esfuerzos. El tensor de esfuerzos en fluidos Newtonianos. La ecuación del movimiento en forma tensorial. Particularizaciones. Ecuación de Navier-Stokes. Ecuación de Euler. La ecuación de la energía mecánica. Su forma tensorial. Las ecuaciones de continuidad y movimiento en coordenadas cartesianas, cilíndricas y esféricas.

### **APLICACIONES DE LAS ECUACIONES DE LA CONTINUIDAD Y MOVIMIENTO A LAS APLICACIONES TÉCNICAS.**

Flujo anular tangencial de unos fluidos newtonianos. Formas de la superficie de un líquido girando. Estudio analítico del viscosímetro de cono y plano. Estudio analítico del viscosímetro de Stormer. Flujo radial entre discos paralelos. Simetrías del tensor de esfuerzos. Flujo radial entre esferas concéntricas. Flujo radial entre cilindros coaxiales. Flujo lento entre esferas concéntricas.

### **LAS ECUACIONES DE CONTINUIDAD Y MOVIMIENTO EN FLUIDOS INCOMPRESIBLES NO**

#### **NEWTONIANOS.**

Modelos de Bingham, Ostwald de Waele y Reiner Philippoff. Flujo tangencial en cilindros coaxiales de un fluidos de;Bingham. Componentes del tensor flujo de cantidad de movimiento para flujo radial entre dos discos paralelos de fluidos no-newtonianos.

### **EL TRANSPORTE DE LA ENERGÍA EN LOS FLUIDOS.**

Ecuación de la energía mecánica. Ecuación de la energía interna. Ecuación de la entropía. Generalización de la Ecuación de Bernoulli para fluidos compresibles. Aplicaciones.

### **VORTICIDAD.**

Introducción. Ecuación de la vorticidad. Entropía. Vorticidad y circulación. Comportamiento de los torbellinos en un fluido ideal. Teoremas de Helmholtz. Determinación de las velocidades en función de los torbellinos. Aplicación al caso de un líquido.

### **ECUACIONES REFERIDAS A UN SISTEMA DE EJES EN MOVIMIENTO.**

Movimiento relativo. Relación entre derivadas locales. Ecuación de la continuidad, movimiento y energía. Forma integral de las ecuaciones referidas a los ejes móviles. Particularización para el caso de movimiento de rotación uniforme

### **FLUIDOSTÁTICA. ,**

El equilibrio de los fluidos. Equilibrio de líquidos. Equilibrio de gases perfectos. Equilibrio atmosférico. Equilibrio de cuerpos. Principio de Arquímedes. Resultante de las fuerzas de presión sobre una superficie en contacto con un líquido en equilibrio. Acción sobre una superficie plana.

### **SOLUCIONES EXACTAS. CORRIENTES DE COUETTE Y POISEUILLE.**

Introducción. Corriente de Couette. Movimiento estacionario. Movimiento impulsivo. Corrientes de Couette compresible. Corrientes de Poiseuille.

## **SOLUCIONES EXACTAS. DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN ESTADO NO ESTACIONARIO.**

Repaso de los métodos matemáticos en la resolución de las ecuaciones diferenciales de la mecánica de fluidos con dependencia del tiempo. Separación de variables. Transformadas de Laplace y Fourier. Funciones de Bessel y Legendre. Cálculo de constantes. Distribución de velocidades de un fluido cerca de una pared puesta en movimiento. Flujo dependiente del tiempo en un cilindro. Flujo radial en un medio poroso.

## **SOLUCIONES EXACTAS.**

Movimiento impulsivo de una placa plana. Movimiento oscilatorio de una placa plana. Movimiento en las proximidades de un punto remanso. Movimiento giratorio de un plano. Movimiento de succión. Movimiento entre cilindros circulares.

## **ANÁLISIS DIMENSIONAL.**

Ecuación de dimensiones. Leyes que regulan el análisis adimensional. Teorema P1 de Buckingham. Formación de juegos Pl. Las ecuaciones de la Mecánica de Fluidos y transmisión del calor en forma adimensional. Números de Reynolds, Froude, Brinkman, Prandtl, Grasshof. Significado físico. Modelos. Verticidad. Predicción de la profundidad del vértice en un tanque agitado. Transmisión del calor por convección forzada en un tanque agitado. Temperatura superficial de un calentador eléctrico.

## **MOVIMIENTO DE SUPERFICIES LIBRES EN LÍQUIDOS BAJO LA ACCIÓN DEL CAMPO GRAVITATORIO TERRESTRE.**

Ecuaciones generales. Condiciones de contorno. Su solución. Movimiento de onda simple.

## **FUERZAS DE RESISTENCIAS AL AVANCE.**

Tratamiento general. Formación del tren de olas.

## **PROBLEMAS RELACIONADOS CON LA VISCOSIDAD CAPA LIMITE.**

Introducción y planteamiento. La capa límite en el flujo de fluidos. Ecuación integral de Karman. Ecuación diferencial aproximada de Karman. Desarrollo de la teoría en el caso general. Condiciones de contorno y cálculo de constante. Aplicaciones: Flujo cerca de una pared en movimiento. Flujo cerca del borde de un plano. Desprendimiento de corriente. Teoría de la capa límite térmica.

## **MOVIMIENTOS DE PLANOS POTENCIALES.**

Introducción. Variable compleja. Líneas de corriente. Función potencial de velocidades. Funciones analíticas. Determinación de funciones de potencial y corriente: Flujo alrededor de un cilindro. Flujo en un canal rectangular. Traslación en una dirección cualquiera. Fuente o sumidero. Torbellino potencial. Campos potenciales de fuente y torbellino. Doblete. Con traslación. Doblete con traslación y torbellino. Perfiles de Yukowski. Transformación conforme. Teorema de Riemann. Estudio analítico de la transformación círculo a eclipse. Cálculo de curvaturas. Cálculo de espesores. Ecuaciones de transformaciones para valores dados de la característica del perfil. Perfiles en el seno de un fluido.

### **MOVIMIENTOS UNIDIMENSIONALES.**

Gases ideales. Velocidad del sonido. Número de Mach. Relaciones entre la velocidad del sonido y la forma del tubo. Movimiento unidimensional isentrópico por conducto. Aplicaciones. Toberas y Difusores. Movimiento no isentrópico de choque.

### **FLUJO TURBULENTO.**

Fluctuaciones. Velocidad promedio. Perturbaciones. Ecuaciones de la continuidad y movimiento para el régimen turbulento de un fluido incomprensible. Expresiones semiempíricas del tensor de flujo turbulento de cantidad de movimiento. Coeficiente turbulento de la viscosidad de Boussinesq. Prandtl, Von Karman y Deissier. Cálculo de la velocidad del flujo turbulento en un tubo: cerca de la pared, zona de transición, zona de turbulencia. El tensor de segundo orden de Von Karman.

### **TRANSPORTE DE INTERFASE EN SISTEMAS ISOTÉRMICOS.**

Definición de factores de fricción. Factores de fricción para el flujo en tubos. Diferencia de presión necesaria para una velocidad e flujo. Velocidad de flujo para una determinada diferencia de presión. Factores de fricción alrededor de una esfera. Determinación del diámetro de una esfera descendente. Factores de fricción para columnas de relleno.

### **BALANCES MACROSCÓPICOS EN SISTEMAS ISOTERMOS.**

Balance macroscópico de materia. Balance macroscópico de cantidad de movimiento. Balance macroscópico de energía mecánica (Bernoulli). Estimación de las pérdidas por fricción. Potencia necesaria para el flujo en una conducción. Utilización de los balances macroscópicos para el planteamiento de problemas de flujo estacionario. Aumento de presión y pérdidas por fricción en un ensanchamiento brusco. Eficacia de un eyector líquido. Fuerza sobre la curvatura de una tubería. Flujo isotérmico de un líquido a través de un orificio. Utilización de los balances macroscópicos para problemas de flujo no estacionario. Tiempo de vertido para el flujo en un embudo. Oscilaciones de un manómetro amortiguado.

### **Bibliografía:**

- *Fenómenos de Transporte*. Bird Steward, Lightffot.
- *Apuntes de Mecánica de fluidos*. ETS de Ingenieros Navales. Madrid.
- *An Introduction to Fluid Dynamics*. Batchellor Cambridge University Press.
- *Introduction Matématique a la Mecanique des Fluides*. Jacob.
- *Vectors, Tensors and the Basic Equations of Fluid Mechanics*. Aris.
- *Variable Compleja*. Phillips.
- *Tensores*. Sokolnikof.
- *Tensores*. Spain.

La materia se imparte en un total de 60 horas lectivas.

## **MECÁNICA II**

### **PRINCIPIOS ELEMENTALES**

Repaso de los principios elementales. Mecánica de una partícula. Mecánica de un sistema de partículas. Ligaduras. Principio de d'Alambert y ecuaciones de Lagrange. Aplicaciones sencillas de la formulación lagrangiana.

### **CÁLCULO VARIACIONAL**

Principios variacionales y ecuaciones de Lagrange. Principio de Hamilton. Algunas técnicas del cálculo de variaciones. Ecuaciones de Lagrange a partir del principio de Hamilton. Teoremas de conservación y propiedades de simetría.

### **EL PROBLEMA DE DOS CUERPOS**

Reducción al problema equivalente de un cuerpo. Ecuaciones del movimiento e integrales primeras. Problema unidimensional equivalente y clasificación de órbitas. Ecuación diferencial de la órbita y potenciales de fuerzas integrables.

### **ECUACIONES DE HAMILTON**

Transformaciones de Legendre y ecuaciones de Hamilton. Coordenadas cíclicas y teoremas de conservación. Deducción a partir de un principio variacional. Principio de mínima acción.

### **TRANSFORMACIONES CANÓNICAS**

Ecuaciones de la transformación canónica. Ejemplos. Método symplectico. Corches de Poisson y otros invariantes. Ecuaciones de movimiento. Teorema de Liouville.

### **TEOREMA DE HAMILTON-JACOBI**

Ecuación de Hamilton-Jacobi para la función principal de Hamilton. El oscilador armónico. Ecuación de Hamilton-Jacobi para la función característica de Hamilton. Separación de variables. Variables acción-ángulo en sistemas de un grado de libertad. Variables acción-ángulo para sistemas totalmente separables. Problema de Kepler en variables acción-ángulo.

### **TEORÍA CANÓNICA DE PERTURBACIONES**

Introducción. Perturbación dependiente del tiempo; ejemplos. Perturbación independiente del tiempo en primer orden con un grado de libertad. Perturbación independiente del tiempo para un orden superior al primero. Invariantes adiabáticos.

### **RELATIVIDAD RESTRINGIDA**

Fundamentos. Transformación de Lorentz. Formulaciones covariantes. Ecuaciones de la fuerza y la energía. Formulación lagrangiana. Formulación de hamiltoniana.

### **Bibliografía:**

- *Mecánica Clásica*. H. Goldstein. Editorial Reverté.
- *Mecánica*. K.R. Symon.
- *Mecánica Teórica*. J.M. Iñiguez y R. Cid.

La materia se imparte en un total de 60 horas lectivas.



# **SISTEMAS LINEALES DIGITALES Y ANALÓGICOS**

## **INTRODUCCIÓN**

Señales y Sistemas. Problemas de Procesado de Señales. Clases de Señales. Ejemplos de señales y sistemas.

## **SEÑALES Y SISTEMAS**

Señales continuas y discretas: Clases de señales, Señales Periódicas y Parámetros de interés. Sistemas continuos y discretos: Ejemplos de señales, Propiedades básicas e Interconexión de sistemas. Sistemas elementales (transformación de la variable independiente). Señales elementales.

## **SISTEMAS LINEALES INVARIANTES EN EL TIEMPO**

Introducción. Caracterización de los sistemas LTI discretos. Propiedades de la convolución discreta. Sistemas LTI continuos. Propiedades de los sistemas LTI. Sistemas descritos mediante ecuaciones en diferencias y diferenciales. Diagramas de bloques.

## **ANÁLISIS DE FOURIER PARA SEÑALES CONTINUAS**

Señales exponenciales. Autofunciones. Representación de señales periódicas. Series de Fourier: Serie de Fourier de señales reales. Convergencia de las series continuas de Fourier. Propiedades de la serie continua de Fourier. Representación de señales aperiódicas: la transformada de Fourier. Convergencia de la transformada de Fourier. Transformada de Fourier de señales periódicas. Propiedades de la Transformada de Fourier: Propiedad de Convolución, Otras propiedades. Sistemas descritos mediante ecuaciones diferenciales.

## **FILTRADO**

Introducción. Filtros selectivos en frecuencia ideales: Caracterización en el dominio de la frecuencia. Caracterización en el dominio temporal. Filtros selectivos en frecuencia no ideales.

## **MODULACIÓN**

Introducción. Modulación de Amplitud Senoidal Continua en el Tiempo: Aplicaciones. Modulación de Amplitud en Banda Lateral Única. Modulación de Amplitud de Pulso y Multiplexado por División en el Tiempo. Modulación de Amplitud Discreta en el Tiempo. Modulación de Frecuencia Continua en el Tiempo.

## **MUESTREO**

Introducción. Muestreo. Teorema del muestreo. Interpolación.- Procesado discreto de señales continuas.

## **TRANSFORMADA**

Introducción. Regiones de convergencia. Transformada inversa. Propiedades. Análisis y caracterización de sistemas LTI mediante la Transformada Z.

## **TRANSFORMADA DE LAPLACE**

Introducción. Regiones de convergencia. Transformada inversa. Propiedades Análisis y caracterización de sistemas LTI mediante la TL.

## **SEÑALES Y SISTEMAS PASO BANDA**

Transformada de Hilbert. Pre-envolvente. Señales paso banda. Sistemas paso banda.

## **SISTEMAS DE LINEALES REALIMENTADOS**

Introducción. Aplicaciones y consecuencias de la realimentación. Análisis del lugar de las raíces de sistemas realimentados.- Criterio de estabilidad de Nyquist. Márgenes de ganancia y de fase.

### **Bibliografía:**

- *Signal and Systems*. V. Oppenheim, A.S. Willsky, I.T. Young. Prentice-Hall, 1997.
- *Signal and Systems*. B. Girod, R. Rabenstein, A. Stenger. Wiley, 2001.
- *Continuous and discrete signals and systems*. S.S. Soliman, M.D. Srinath. Prentice-Hall, 1998.
- *Modern Signals and Systems*. H. Kwakernaak, R. Siván. Prentice Hall International, 1991.
- *Introducción a los sistemas de comunicación*. F.G. Stremler. Addison Wesley, 1999.
- *Principles of signals and systems*. F.J. Taylor. Mc Graw-Hill International, 1994.
- *Structure and interpretation of signals and systems*. E.A. Lee, P. Varaiya. Addison Wesley, 2003.
- *Señales y sistemas. Modelos y comportamiento*. M.L. Meade, C.R. Dillon. Addison Wesley - Iberoamericana, 1993.

La materia se imparte en un total de 80 horas lectivas.



# **FUNDAMENTOS DE ARQUITECTURAS DIGITALES**

## **ESTRUCTURA, FUNCIONAMIENTO Y PROGRAMACIÓN DE LOS COMPUTADORES**

Estructura, funcionamiento y programación de los computadores. Instrucciones: El motor de la máquina. Operadores: Maquinaria para ejecutar las instrucciones. La Unidad de Control: Elemento “inteligente” de la máquina. La memoria: Almacén de datos e instrucciones.- Entradas y salidas.

## **ESTRUCTURA Y PROGRAMACIÓN DE MICROCONTROLADORES**

Estructura y funcionamiento del microcontrolador PIC16F87x.- Repertorio de instrucciones y herramientas didácticas y profesionales. Actuadores para diversas aplicaciones: los motores.

## **PRINCIPALES REGISTROS DE CONTROL Y MANEJO DE LAS MEMORIAS FLASH Y EEPROM.**

Los registros de control. Registro de estado. Registro de opciones. Registro para controlar las interrupciones. Lectura y escritura de las memorias EEPROM y FLASH.

## **LAS PUERTAS DE E/S Y RECURSOS ESPECIALES DEL PROCESADOR**

Puertas de E/S. Palabras de configuración. Palabras de identificación. Reinicialización o reset. Perro guardián. Modo de reposo o de bajo consumo. Programación de los PIC16F87x.

## **LOS TEMPORIZADORES**

Tipos y características generales. Estructura interna y funcionamiento del TMR1. Registro de control del TMR1. Funcionamiento y programación del TMR2.

## **MÓDULOS DE CAPTURA, COMPARACIÓN Y MODULACIÓN DE ANCHURA DE PULSOS**

Introducción a los módulos CCP.- Modo captura. Modo comparación. Modo de modulación de anchura de pulsos (PWM).

## **EL CONVERTOR A/D**

Presentación del convertor analógico/digital. Registros de trabajo. Estructura interna y configuración del C A/D.

## **MODULO DE COMUNICACIÓN SERIE SINCRONA: MSSP**

Introducción.- Modo SPI.- Manejo y programación en el modo SPI. Módulo MSSP trabajando en modo I2C.- Conceptos fundamentales sobre el bus I2C. Características generales. Direccionamiento. Especificaciones eléctricas. El bus I2C y los PIC16F87x. Funcionamiento del modo maestro.

## **EL USART: TRANSMISOR/RECEPTOR ASÍNCRONO SERIE**

Comunicación serie asíncrona. Generador de baudios. Transmisor asíncrono. Receptor asíncrono.

## **PRACTICAS DE LABORATORIO**

Manejo de memorias FLASH de código y EEPROM de datos. Periféricos para el trabajo con PIC. Utilización de recursos del PIC. Medida del Tiempo. Trabajo con los módulos CCP.

Adquisición de valores con los conversores A/D. Visualización de valores por pantallas LCD. Comunicación mediante el módulo MSSP. Comunicación serie con el USART.

**Bibliografía:**

- *Manuales de Microchip: PIC16F87x Data sheet (DS30292C)*. <http://www.microchip.com>.
- *Microcontroladores PIC. Diseño práctico de aplicaciones, Segunda parte PIC16F87x*. J.M. Angulo, S. Romero, I. Angulo, Mc Graw Hill, 2002.
- *Fundamentos y estructura de Computadores*. J.M. Angulo, J. García, I. Angulo, Thomson–Paraninfo, 2003.

La materia se imparte en un total de 75 horas lectivas.

# **ELECTRÓNICA DIGITAL**

## **ALGEBRA DE CONMUTACIÓN**

Algebra de Boole. Realización de funciones lógicas mediante funciones básicas.- Representación de variables lógicas.

## **SIMPLIFICACIÓN DE EXPRESIONES BOOLEANAS**

Tablas de Karnaugh–Veitch. Implicantes. Multifunciones. Método de Quine–McCluskey.

## **REPRESENTACIÓN DIGITAL DE INFORMACIÓN**

Señales y registros. Codificación de la información. Sistemas y códigos de numeración. Representación de funciones y operaciones.

## **CIRCUITOS DIGITALES INTEGRADOS: FAMILIAS LÓGICAS**

Caracterización de un circuito digital integrado. Estructura básica de una puerta TTL. Estructura básica de una puerta ECL. Estructura básica de una puerta n–MOS y CMOS.

## **CIRCUITOS COMBINACIONALES I: OPERACIONES ARITMÉTICAS Y LÓGICAS**

Sumadores binarios (semisumador, sumador completo, sumador rápido, sumador serie,...). Acumulador. Resta binaria (complemento a uno, complemento a dos). Sumador/restador, multiplicador y divisor. Generador–comprobador de paridad. Decisiones y operaciones de relación. Comparador binario de magnitud. Unidad aritmético-lógica.

## **CIRCUITOS COMBINACIONALES II**

Multiplexores. Aplicaciones. Codificadores. Conversores de código. Decodificadores. Aplicaciones. PLA's.

## **ANÁLISIS Y DISEÑO DE CIRCUITOS SECUENCIALES SÍNCRONOS**

Modelos básicos de máquinas secuenciales (Mealy y Moore). Diagramas de estado. Tablas de transiciones. Equivalencia Mealy–Moore. Análisis de circuito secuenciales síncronos. Síntesis de sistemas secuenciales síncronos. Minimización de máquinas secuenciales. Síntesis de sistemas complejos.

## **BIESTABLES**

Básculas: R–S NOR, R–S NAD. Biestables síncronos. Entradas asíncronas. Biestables: J–K, T, D. Parámetros de los flip-flops.

## **CIRCUITOS INTEGRADOS SECUENCIALES: REGISTROS Y CONTADORES**

Registros de desplazamiento (serie–serie, serie–paralelo, paralelo–serie, bidireccional, dinámico y en anillo). Registro y transferencia de información. Contadores asíncronos. Contadores síncronos (década, reversible, basado en registro de desplazamiento. Introducción a los sistemas MOS/LSI.

## **MEMORIAS**

Clasificación de las memorias (por acceso, tipos de operaciones, tecnologías, otros conceptos). Memorias de acceso aleatorio: RAM (bipolares, con MOST). Caracterización de las memorias en lectura y escritura (parámetros de tiempo). Memorias de sólo lectura: ROM (bipolares, con

MOST). Memorias ROM programables. Aplicaciones de las memorias ROM. Extensión de memorias (de posiciones, de longitud de palabra). Conexión con un sistema microcomputador. Memorias de acceso secuencial. Memorias de burbujas. Estado actual y tendencias de las memorias.

### **CONVERTIDORES DE DATOS**

Circuitos de muestreo y retención. Convertidores digital–analógicos (con resistencias ponderadas, con red R–2R). Convertidores analógicos–digital (con comparadores, a ancho de impulso, doble rampa, con contadores, de aproximaciones sucesivas). Otros tipos de conversores: v/f, para telefonía. Especificaciones de los convertidores de datos. Formatos de las señales de entrada y salida. Selección de un convertidor. Unidades de adquisición de datos. Aplicaciones de los convertidores A/D y D/A.

### **Bibliografía:**

- *Introducción al Diseño Lógico Digital*. J.P. Hayes. Ed. Addison Wesley Iberoamericana. (1996).
- *Teoría de Conmutación y Diseño Lógico*. F.J. Hill y G.R. Peterson. Ed. Limusa (1987).
- *Digital Systems and Hardware/Firmware Algorithms*. M.D. Ercegovic, T. Lang. Ed. John Wiley & Sons (1985).
- *Circuitos electrónicos (Tomo IV): Digitales II*. E. Muñoz Merino. Ed. ETSI de Telecomunicación. UPM (1981).
- *Digital Integrated Electronics*. H. Taub y D. Chilling. Ed. Mc Graw Hill (1977).
- *Fundamentos de Computadoras Digitales*. T.C. Bartee. Ed. McGraw Hill (1981).
- *Computer Networks*. A.S. Tanenbaum. Ed. Prentice-Hall (1981).
- *Sistemas Electrónicos Digitales*. E. Mandado. Ed. Marcombo (1991).
- *Introducción a los Sistemas Digitales*. J.E. Palmer, D.E. Perlman. Ed. McGraw-Hill (1995).
- *Problemas de Circuitos y Sistemas Digitales*. Baena, Bellido, Molina, Parra, Valencia. Ed. McGraw-Hill (1997).

La materia se imparte en un total de 60 horas lectivas.

# **TEORÍA DE LA COMUNICACIÓN**

## **ÁMBITO DE LA TEORÍA DE LA COMUNICACIÓN.**

La teoría de la comunicación. Los sistemas de telecomunicaciones: modelos de sistemas, características del medio, el receptor. La señal eléctrica y su descripción en el dominio del tiempo, en el de la frecuencia y en el de amplitudes.

## **FASORES.**

Diagrama fasorial y representación espectral de señales sinusoidales. Desarrollo en serie de Fourier y su interpretación espectral. Potencia media (Teorema de Parseval). Fenómeno de Gibbs. La función sinc.

## **TRANSFORMACIÓN DE FOURIER.**

Señales no periódicas. Interpretación de la transformada. Energía y densidad espectral de energía. Transformadas en el límite. El impulso unidad o función generalizada Delta de Dirac. Utilización de la Delta de Dirac en el cálculo de las transformadas.

## **CONVOLUCIÓN.**

Definición. Propiedades elementales. Convolución con un Delta de Dirac. Convolución con un fador. Teorema de Plancherel. Cálculo de la integral de convolución.

## **CORRELACIÓN DE SEÑALES.**

Introducción. Correlación de señales definidas en términos de energía y sus propiedades. Correlación de señales definidas en términos de Potencia y sus propiedades. Funciones de correlación de fasores. Teorema de Wiener-Kintchine. Incorrelación e incoherencia.

## **FILTROS LINEALES. DISTORSIÓN.**

Definiciones. Respuesta impulsiva. Funciones de transferencia. Distorsión de la señal de un medio de transmisión: distorsión en amplitud, distorsión de fase y retardo, retardo de la envolvente. Distorsión no lineal.

## **MUESTREO DE SEÑALES. TEOREMA DE MUESTREO.**

Muestreo teórico. Teorema de muestras. Filtro interpolador. Muestreo práctico. Estudio espectral del muestreo práctico. Influencia de los filtros. Señales no, limitadas en banda. Efecto de solapamiento. El teorema de muestras práctico.

## **TRATAMIENTO DE SECUENCIAS.**

Señales discretas y secuencias. Definición de secuencias. Transformación de Fourier de una secuencia. Convolución. Filtros lineales discretos. Relación entre las transformadas de una señal continua y de una secuencia.

## **TRANSFORMACIÓN Z.**

Transformación Z. Definición. Transformadas elementales. Transformación inversa. Convolución. Convolución compleja. Aplicaciones de la transformación Z.

### **TRANSFORMACIÓN DISCRETA DE FOURIER.**

Transformada discreta de Fourier (DFT). Propiedades de la DFT. Relación con la transformación continua. DFT de señales de banda limitada. Interpolación.

### **CONVOLUCIÓN Y CORRELACIÓN DISCRETAS.**

Introducción. Convolución circular. Cálculo de la convolución circular. Relación entre la convolución lineal y circular. Correlación circular discreta.

### **Bibliografía:**

- *Teoría de la Comunicación, Vol I.* José M<sup>a</sup> Hernando Rábanos. ETS Ingenieros de Telecomunicaciones, Madrid (1982).

La materia se imparte en un total de 70 horas lectivas.

## **TRANSFORMADAS DE LAPLACE**

### **TRANSFORMADAS DE LAPLACE.**

Definición de la transformada de Laplace. Transformadas de Laplace de algunas funciones elementales. Continuidad seccional o a trazos. Funciones de orden exponencial. Condiciones suficientes para la existencia de la transformada de Laplace. Algunas propiedades importantes de la transformada de Laplace. Propiedad de la linealidad. Primera propiedad de traslación. Segunda propiedad de traslación. Propiedad de cambio de escala. La transformada de Laplace de las derivadas. Transformada de Laplace de integrales. Multiplicación de  $t^n$ . División por «t». Funciones periódicas. Teorema del valor inicial. Teorema del valor final. Generalización del teorema del valor inicial. Generalización del teorema del valor final.

### **CALCULO DE TRANSFORMADAS.**

Método para calcular transformadas de Laplace. Método directo. Método de las series. Método de las ecuaciones diferenciales. Derivación con respecto a un parámetro. Mediante el uso de las tablas. Evaluación de integrales. Algunas funciones especiales. La función gamma. Funciones de Bessel. Función de error. Función complementaria de error. Integrales de seno y coseno. Integral exponencial. Función escalonada unitaria. Función de impulso unitario o función delta de Dirac.

### **CONVOLUCIÓN.**

Definición. Propiedades de la convolución. Propiedades elementales. Convolución con un Delta de Dirac. Convolución con un fasor. Teorema de Plancherel. Cálculo de la integral de convolución.

### **TRANSFORMADA INVERSA DE LAPLACE.**

Definición de la transformada inversa de Laplace. Unicidad de la transformada inversa de Laplace (Teorema de Lerch). Algunas transformadas inversas de Laplace. Algunas propiedades importantes de la transformada inversa de Laplace. Linealidad. Primera propiedad de traslación. Segunda propiedad de traslación. Propiedad del cambio de escala. Transformada inversa de Laplace de las derivadas. Transformada inversa de Laplace de las integrales. Multiplicación por “s”. División por «s». Propiedad de la convolución. Métodos para hallar la transformada inversa de Laplace. Método de las fracciones parciales. Método de las series. Métodos de las ecuaciones diferenciales. Derivación con respecto a un parámetro. Distintos métodos que utilizan los teoremas anteriores. Uso de tablas. Desarrollo de Heavyside.

### **APLICACIONES A LAS ECUACIONES DIFERENCIALES.**

Ecuaciones diferenciales ordinarias con coeficiente constantes. Ecuaciones diferenciales ordinarias con coeficientes variables. Ecuaciones diferenciales ordinarias simultáneas. Aplicaciones a la mecánica. Aplicaciones a los circuitos eléctricos. Aplicaciones a las vigas. Ecuaciones diferenciales parciales.

### **APLICACIONES A LAS ECUACIONES INTEGRALES Y DE DIFERENCIAS.**

Ecuaciones integrales. Ecuaciones integrales de tipo convolutorio. Ecuación integral de Abel. Problema de la tautócrona. Ecuaciones integro-diferenciales. Ecuaciones de diferencias. Ecuaciones diferenciales de diferencias.

## **Bibliografía:**

- *Teoría y Problemas de Transformadas de Laplace*, M.R.Spiegel. Serie de Compendios Schaum”. McGraw-Hill. Bogotá, Colombia (1981).
- *Teoría de la Comunicación, Vol I*. José M<sup>a</sup> Hernando Rábanos. ETS Ingenieros de Telecomunicaciones, Madrid (1982).

La materia se imparte en un total de 30 horas lectivas.



# **TEORÍA DE FUNCIONES DE VARIABLE COMPLEJA**

## **FUNCIONES DE VARIABLE COMPLEJA.**

Funciones de una variable compleja. Continuidad. Diferenciabilidad. Funciones regulares. Funciones elementales uniformes. Funciones multiformes. Aplicaciones a las transformaciones isogonal y conforme. Funciones armónicas. Dilatación superficial. Transformación bilineal. Inversión geométrica. Puntos críticos. Haces de circunferencias. Conservación de la razón doble. Transformaciones especiales, potencial, exponencial y logarítmica. Transformaciones mediante funciones multiformes.

## **CALCULO INTEGRAL EN EL CAMPO COMPLEJO.**

Integración. Cota superior en una integral de contorno. Teorema de Cauchy y derivadas de una función regular. Teoremas de Taylor, Liouville y Laurent. Ceros y puntos singulares. Punto del infinito. Singularidades esenciales. Funciones racionales y meroformas. Polos y ceros de las funciones meromorfas. Teorema de Rouché. Prolongación analítica. Superficie de Riemann.

## **CALCULO DE RESIDUOS.**

Teorema de los residuos. Integración a lo largo de la circunferencia unidad. Aplicaciones al cálculo de integrales impropias. Lema de Jordán y sus aplicaciones. Integración de funciones multiformes. Aplicaciones al cálculo de integrales a partir de otras conocidas. Desarrollo de funciones meromorfas. Suma de series mediante el cálculo de residuos. Períodos relativos a los puntos de ramificación. Nociones sobre las funciones múltiplemente periódicas.

## **TRANSFORMADA INVERSA DE LAPLACE.**

Fórmula de inversión compleja. El contorno de Bromwich. Utilización del teorema de los residuos para la transformada inversa de Laplace. Modificación del contorno de Bromwich para el caso de funciones multiformes. Caso de infinitas singularidades.

## **Bibliografía:**

- *Variable Compleja*, M.R.Spiegel. Serie de Compendios Schaum". McGraw-Hill. Bogotá, Colombia (1988).
- *Teoría de funciones de Variable Compleja*. R. V. Churchill. Ediciones del Castillo, Madrid (1968).

La materia se imparte en un total de 60 horas lectivas



# **PROGRAMACIÓN**

## **PROGRAMACIÓN CIENTÍFICA CON FORTRAN**

### **INTRODUCCIÓN**

Ordenadores: principios de funcionamiento. Unidad central de proceso y dispositivos periféricos. El sistema operativo. Representación binaria de la información. La notación en coma flotante: precisión y rango de valores. Programación. Lenguajes y programas: edición, compilación y enlace. Entornos de programación

### **ELEMENTOS BÁSICOS DE FORTRAN**

Constantes. Tipos. La declaración PARAMETER Variables. Tipos. Definiciones implícitas y explícitas. La declaración DATA. Expresiones aritméticas. Jerarquía de las operaciones. Aritmética entera, real y mixta. La sentencia de asignación Funciones intrínsecas. Estructura del código. Fortran 77, 90/95 y 2003.

### **SECUENCIAS DE CONTROL**

Programación secuencial. Algoritmos. Organigramas: estructuras de decisión y bucles. Expresiones lógicas. Jerarquía de las operaciones. La estructura IF. El bucle DO. La instrucción GO TO.

### **LECTURA Y ESCRITURA DE DATOS**

Expresiones simbólicas. Tipo carácter. Concatenación de caracteres. Manejo de archivos. Registros. Formatos.

### **VECTORES Y MATRICES**

La declaración DIMENSIÓN. Almacenamiento de matrices

### **ESTRUCTURAS MODULARES. SUBPROGRAMAS**

Construcción de programas modulares. Funciones y subrutinas. Argumentos de entrada y salida. Parámetros por valor y por dirección. Declaraciones INTRINSIC y EXTERNAL. Variables locales y globales. Las sentencias COMMON y SAVE. Variables mudas y reserva estática de memoria. Reserva dinámica de memoria. Funciones recurrentes.

### **ALGUNAS APLICACIONES CIENTÍFICAS**

Búsqueda de raíces: método de Newton-Raphson. Sistemas de ecuaciones lineales: matrices regulares y singulares. Ajuste de curvas: método de mínimos cuadrados. Integración numérica: regla del trapecio; la regla de Simpson. Resolución numérica de ecuaciones diferenciales. Análisis de errores.

## **INTRODUCCIÓN A LOS LENGUAJES DE CÁLCULO TÉCNICO**

### **MATLAB Y SU ENTORNO.**

¿Qué es Matlab?. Configuración del entorno. La línea de comandos. El espacio de trabajo. El historial El editor y el depurador.

### **MANIPULACIÓN BÁSICA DE MATRICES.**

Vectores, matrices y arrays. Filas, columnas y subíndices. El operador. Operaciones elementales de matrices.

### **GRÁFICOS**

Gráficos 2D. Gráficos 3D y mapas. Imágenes. Animaciones. Propiedades de los gráficos.

### **INTRODUCCIÓN A LA PROGRAMACIÓN**

Control de flujo. Tipos de datos y estructuras. Scripts y funciones.

### **MATRICES Y ÁLGEBRA LINEAL.**

Resolución de ecuaciones lineales. Matriz inversa y determinantes. Factorización LU y QR. Polinomios e interpolación

### **ANÁLISIS DE DATOS Y ESTADÍSTICA.**

Funciones básicas de análisis de datos. Regresión lineal y ajuste de curvas. Ecuaciones de diferencias (Filtrado de datos). Transformada discreta de Fourier.

### **Bibliografía:**

- *Programación en Fortran 77*, G.J. Borse. Serie de Compendios Schaum”. ANAYA (1989)
- *Using MATLAB*. Editorial Math Works Inc (1999).
- *Compaq® Fortran, Language Reference Manual*, DEC, 1999.

La materia se imparte en un total de 120 horas lectivas

**CURSO MASTER EN  
ASTRONOMÍA Y GEOFÍSICA  
PRIMER AÑO**



# **ASTRONOMÍA FUNDAMENTAL I**

## **COORDENADAS ASTRONÓMICAS**

Sistemas de coordenadas. Coordenadas horizontales. Coordenadas ecuatoriales horarias. Coordenadas ecuatoriales absolutas. Coordenadas eclípticas. Coordenadas galácticas. Transformación de coordenadas. Coordenadas de un punto sobre el elipsoide terrestre. Movimientos de los polos de la Tierra por su superficie.

## **MOVIMIENTOS DIURNOS Y ANUOS**

Movimiento diurno de la esfera celeste. Movimiento anuo del Sol. Eclíptica media y verdadera. Variación de las coordenadas del Sol en su movimiento anuo. Tiempos sidéreo medio y aparente. Movimiento diurno del Sol. Duración del día según la época del año. Crepúsculos. Refracción astronómica. Semidiámetro aparente. Movimiento diurno desde distintas latitudes. Tiempos solares verdadero y medio. Tiempo civil y longitud geográfica. Tiempo Universal. Ecuación de Tiempo. Problemas del movimiento diurno. Paso por un vertical de acimut dado. Paso por un almicantrat de altura dada. Orbita aparente del Sol. Elementos de la órbita aparente. Movimiento geocéntrico del Sol. Años y Estaciones. Calendarios juliano y gregoriano. Las fechas en astronomía. Sol medio. Relaciones de conversión entre los tiempos sidéreo y medio.

## **CORRECCIÓN DE COORDENADAS**

Refracción astronómica. Primera aproximación. Fórmula de Laplace. Refracción en las proximidades del horizonte. Corrección de refracción en coordenadas horizontales y horarias. Aberración de la luz. Aberración anua. Aberración diurna. Paralaje y medida de distancias. Paralaje diurna. Paralaje de la Luna. Paralaje del Sol. Paralaje anual. Precesión y nutación. Precesión luni solar. Precesión planetaria. Precesión general. Ecuación del centro y reducción al ecuador. Fórmulas exactas de la Precesión. Nutación. Matriz de precesión nutación. Movimientos propios estelares. El apex solar.

## **EL TIEMPO**

Tiempo sidéreo. Tiempo solar. Tiempo Universal. Tiempo de efemérides. Tiempo Atómico Internacional. Tiempo Universal Coordinado. Tiempos Baricéntricos Coordinados. Relación entre las distintas escalas de tiempo.

## **INTRODUCCIÓN A SISTEMAS DE REFERENCIA**

Concepto de sistemas dinámicos y cinemáticos. Sistema dinámico en época J2000.0. Sistema de referencia celeste internacional (ICRS). Materialización de los sistemas de referencia (ICRF). Sistema de coordenadas terrestre (ITRF). Coordenadas astronómicas topocéntricas. Orientación de la Tierra. Transformaciones entre el ITRF e ICRF. Catálogos estelares pre Hipparcos. Catálogos relativos a Hipparcos. Densificación del sistema de referencia óptico.

## **BREVES NOCIONES SOBRE RADIACIÓN**

Introducción. Radiación del cuerpo negro. Magnitudes estelares. Sistemas de magnitudes. Magnitudes Bolométricas. Espectro atómico y clasificación espectral.

## **MOVIMIENTOS GEOCÉNTRICOS EN EL SISTEMA SOLAR**

Movimiento geocéntrico de los planetas. Planetas interiores. Planetas exteriores. Puntos estacionarios en el movimiento. Semidiámetros. Fases. Magnitud aparente de un planeta.

## **REDUCCIÓN DE OBSERVACIONES**

Refractor fotográfico. Introducción a los detectores CCD. Transformación del campo al foco. Proyección central sobre el plano tangente. Coordenadas estándar. Efectos de curvatura y velocidad diferencial. Introducción a la reducción de datos por el método de los mínimos cuadrados.

## **OCULTACIONES, ECLIPSES Y TRÁNSITOS**

Ocultaciones de estrellas por la Luna. Condiciones geométricas de una ocultación. Eclipses de Luna. Eclipses de Sol. Frecuencia y repetición de eclipses. Tránsitos. Detección de planetas extrasolares por tránsito.

## **Bibliografía**

- *Apuntes de Astronomía*, Orús Navarro y Catalá Poch.
- *Textbook on Spherical Astronomy*, W.M. Smart.
- *Curso de Astronomía*, Alberto Abad, José Angel Docobo y Antonio Elipe.
- *Notas y apuntes de trigonometría esférica y astronomía de posición*. Manuel Berrocoso et. al.
- *Fundamentals of Astrometry*, Kovalevsky and Seidelman.
- *Modern Astrometry*, J. Kovalevsky.
- *Astronomy*, Roy and Clarke.

La materia se imparte en un total de 200 horas lectivas.



# **EFEMÉRIDES Y MECÁNICA CELESTE I**

## **FUNDAMENTOS ASTRONÓMICOS**

Sistemas de coordenadas terrestres. Sistemas de coordenadas astronómicas. Rotación de la Tierra. Conexión entre ambas coordenadas.

## **ESCALAS DE TIEMPO**

Tiempo atómico. Tiempo dinámico. Tiempo sidéreo. Tiempo Universal. Tiempo Universal Coordinado. Coordenadas tiempo. Meridiano de efemérides. Fecha juliana. Husos horarios. Calendarios.

## **SISTEMAS DE REFERENCIA**

ICRS e ICRF. Fundamento de la reducción de coordenadas astronómicas. Coordenadas aparentes y topocéntricas. Astrometría diferencial.

## **FENÓMENOS ASTRONÓMICOS**

Salidas, puestas, ortos, ocasos y crepúsculos. Pasos por el meridiano. Conjunción, oposición y elongación. Eclipses de Sol. Eclipses de Luna. Tránsitos planetarios. Ocultaciones de estrellas por la Luna.

## **ÓRBITAS CENTRALES**

Propiedades generales. Estabilidad de las órbitas circulares. Otras fórmulas básicas. Atracción newtoniana. Modificación de Einstein de la ecuación de la órbita. Casos particulares. Universalidad de la ley de Newton.

## **EL PROBLEMA DE DOS CUERPOS**

Movimiento del centro de masas. Movimiento relativo. La órbita; propiedades. Ecuación de Kepler. Funciones  $f$  y  $g$ . Valores iniciales. Problemas de contorno: aplicación del teorema de Lambert; método de Gauss; método de Herrick y Liu. Desarrollos en serie en el movimiento elíptico. Órbita en el espacio. Coordenadas geocéntricas. Aberración planetaria y paralaje.

## **DETERMINACIÓN DE ÓRBITAS**

Introducción. Método de Laplace. Método de Gauss. Método de Herget. Correcciones diferenciales. Métodos recurrentes.

## **EL PROBLEMA DE TRES CUERPOS**

El problema restringido de tres cuerpos: integral de Jacobi. Criterio de Tisserand para identificar cometas. Superficies de velocidad relativa nula. Posiciones de equilibrio.

Estabilidad de los puntos de equilibrio. Soluciones Lagangianas del movimiento de tres cuerpos finitos.

### **EL PROBLEMA DE $n$ CUERPOS**

Centro de masas y plano invariante. Integral de la energía y función fuerza. Teorema del virial. Fuerzas perturbadoras. Aplicación al sistema solar.

### **PERTURBACIONES**

Introducción. Método de Cowell. Método de Encke. Órbita osculatriz. Método de Hansen. Ecuaciones planetarias de Lagrange. Función perturbadora. Discusión general de la solución de primer orden de las ecuaciones planetarias. Perturbaciones seculares. Movimiento de un satélite en el campo de un planeta achatado. Cálculo de las variaciones de los elementos. Métodos generales.

### **TRASLACIÓN DE LA LUNA**

Introducción. Fuerzas perturbadoras. Perturbación de los nodos. Perturbación de la inclinación. Perturbaciones la excentricidad y el perigeo. La Variación. Perturbación del período y ecuación anua. Desigualdad paraláctica. Aceleración secular. Teorías del movimiento de la Luna

### **ROTACIÓN TERRESTRE**

Movimiento euleriano de la Tierra. Acción de un cuerpo distante. Acción del Sol y la Luna. Precesión lunisolar. Nutación.

### **ROTACIÓN DE LA LUNA**

Oscilaciones en la rotación de la Luna. Leyes de Cassini. Ecuaciones de Euler. Libraciones en longitud. Otras oscilaciones.

### **Bibliografía:**

- *Fundamentals of Celestial Mechanics*. J.M.A: Danby, Willmann-Bell, Inc.
- *Spherical Astronomy*. W.M. Smart, Cambridge University Press.
- *Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac*. P.K. Seidelmann Edt., University Science Books.
- *Teoría de eclipses, ocultaciones y tránsitos*. F.J. Gil Chica, Universidad de Alicante.
- *Curso de Astronomía*. A. Abad, J.A. Docobo y A. Elipe. Prensas Universitarias de Zaragoza.

La materia se imparte en un total de 200 horas lectivas.

# **GEODESIA Y GEOFÍSICA I**

## **INTRODUCCIÓN.**

Definiciones y división de la Geodesia

## **GEOMETRÍA DIFERENCIAL: TEORÍA DE CURVAS Y SUPERFICIES**

Representación paramétrica de curvas. Representación paramétrica de superficies. Primera y Segunda forma diferencial: el teorema de Meusnier. Direcciones principales y líneas de curvatura. Símbolos de Christoffel. Teorema Egregium y curvatura de Gauss. Curvatura y torsión geodésicas. Teorema de Gauss-Bonet. Teorema de Clairaut.

## **GEOMETRÍA DEL ELIPSOIDE DE REVOLUCIÓN**

Introducción. Elementos de la elipse meridiana. Geometría diferencial del elipsoide de revolución. Radios de curvatura Longitud de arcos de meridiano y de paralelo. Líneas geodésicas. Fórmula de Clairaut. Radio de curvatura de una geodésica. Fórmula de Laplace. Sistemas de coordenadas: astronómicas, geodésicas, geodésicas topocéntricas. Relaciones.

## **PROBLEMAS FUNDAMENTALES DE LA GEODESIA GEOMÉTRICA**

Introducción. Medidas clásicas: distancias, acimutes, distancias cenitales. Secciones normales recíprocas. Relaciones. Longitud de un arco de sección normal. Diferencia de acimutes entre las secciones normales. Problemas de la geodesia desde el punto de vista geométrico. Método de Legendre. Elementos de arco y de longitud. Líneas geodésicas: métodos de integración. Problemas directo e inverso. Diferencias de acimutes entre secciones normales y líneas geodésicas.

## **INTRODUCCIÓN A LA GEODESIA ESPACIAL**

Objeto de la geodesia espacial. Conceptos básicos. Desarrollo histórico. Aplicaciones. Sistema GPS

## **SISTEMA GPS: DESCRIPCIÓN**

Segmento Espacial. Segmento de Control. Segmento de usuarios. Señales del satélite. Códigos actuales y previstos. Mensaje de navegación. Comparación con los sistemas GLONASS y Galileo

## **SISTEMAS DE REFERENCIA**

Introducción. Sistemas de referencia espacial: sistema celeste y sistema terrestre. Sistemas de referencia temporal: relacionados con el movimiento de rotación terrestre, relacionados con el movimiento de traslación terrestre, relacionados con oscilaciones atómicas.

## **MOVIMIENTO ORBITAL**

El problema de los dos cuerpos. Movimiento perturbado. Principales perturbaciones. Ejercicios.

## **OBSERVABLES GPS**

Pseudodistancias. GPS diferencial. Medidas de fase de la portadora. Combinaciones de medidas de fase. El problema de la ambigüedad. Observaciones estáticas y cinemáticas. Influencia de la propagación atmosférica: ionosfera y troposfera.

## **PRECISIÓN**

Geometría de la constelación. Efecto multicamino. Pérdida de ciclos. Efectos relativistas. Estaciones GPS permanentes: series temporales, conceptos básicos

## **INTRODUCCIÓN AL SISTEMA SLR**

Introducción al sistema láser de observación de satélites artificiales. Tipos de los satélites observables. Componentes del sistema. Observables y compresión de datos. Aplicaciones geodésicas. Aplicaciones a otras ciencias. Visita a la estación láser del Observatorio.

## **FIGURA DE LA TIERRA Y CAMPO DE LA GRAVEDAD**

CAMPO DE LA GRAVEDAD DE UNA TIERRA ESFÉRICA. POTENCIAL DE LA GRAVEDAD. INTERPRETACIÓN FÍSICA. FORMA DE LA TIERRA. ACELERACIÓN DE LA GRAVEDAD. APROXIMACIONES DE ORDEN SUPERIOR.

## **ALTITUDES Y ANOMALÍAS DE LA GRAVEDAD. ISOSTASIA**

Concepto de altitud. Tipos de altitudes. El geoide. Anomalías de la gravedad. Reducciones gravimétricas. Determinación del geoide. Modelos de Tierra. Hipótesis de Airy y Pratt. Correcciones isostáticas. Anomalías regionales y estructura de la corteza. Anomalías locales.

## **GRAVÍMETROS Y TRATAMIENTO DE DATOS GRAVIMÉTRICOS**

Medidas absolutas de la gravedad. Medidas relativas. Tipos de gravímetros. Planificación y ejecución de campañas gravimétricas terrestres y marinas. Reducción de datos gravimétricos e interpretación.

## **MAREAS TERRESTRES**

El Potencial de las mareas. Altura de la marea estática de equilibrio. Análisis de las mareas. Constituyentes principales. Mareas terrestres.

## **PROPAGACIÓN DE ONDAS SÍSMICAS. ONDAS INTERNAS Y ONDAS SUPERFICIALES**

Mecánica de un medio elástico. Ondas internas. Desplazamientos de las ondas P y S. Reflexión y Refracción. Trayectorias y tiempos de llegada en una Tierra plana y en una Tierra esférica. Ondas superficiales en un medio semi-infinito y en una capa. Velocidad de fase y de grupo.

## **DROMOCRÓNICAS Y ESTRUCTURA INTERNA DE LA TIERRA**

Corteza y Manto superior. Manto Inferior y Núcleo. Densidad y parámetros elásticos.

## **PARÁMETROS DE LOS TERREMOTOS. SISMICIDAD Y RIESGO SÍSMICO**

Localización y hora origen. Intensidad, magnitud y energía. . Mecanismo de los terremotos. Parámetros de una falla. Distribución espacial, temporal y de magnitudes de los terremotos. Premonitores, réplicas y enjambres. Peligrosidad y riesgo sísmico.

## **INSTRUMENTACIÓN SISMOLÓGICA Y TRATAMIENTO DE DATOS**

Sismógrafos mecánicos. Sismógrafos electromagnéticos. Sismogramas. Instalaciones permanentes y temporales. Campañas sísmicas terrestres y marinas. Reducción de datos sísmicos e interpretación.

## **CAMPOS MAGNÉTICOS INTERNO Y EXTERNO DE LA TIERRA**

Componentes del campo magnético terrestre. Campo magnético de un dipolo. El dipolo terrestre. Coordenadas geomagnéticas. Introducción al análisis armónico del campo geomagnético. El campo geomagnético internacional de referencia.

### **VARIACIONES DEL CAMPO MAGNÉTICO. MAGNETOSFERA**

Variación secular. Origen del campo magnético interno. La dinamo autoinducida. Variaciones dependientes del Sol y la Luna en días tranquilos. Tormentas magnéticas. Estructura de la magnetosfera.

### **OBSERVACIÓN DEL CAMPO MAGNÉTICO Y ANOMALÍAS**

Observaciones absolutas y relativas. Instrumentación. Anomalías geomagnéticas debidas a polos y dipolos enterrados. Campañas geomagnéticas terrestres y marinas. Reducción de datos e interpretación.

### **PALOMAGNETISMO**

Minerales magnéticos en las rocas. Mecanismos de magnetismo remanente. Polos virtuales paleomagnéticos. Migración de polos y continentes. Inversiones del campo magnético.

### **GEODINÁMICA**

Ideas fundamentales de la tectónica de placas. Naturaleza y procesos en los márgenes de placas. Orogénesis y vulcanismo. Deriva de los continentes. Mecanismo del movimiento de las placas.

### **Bibliografía:**

- *Curso de Geodesia Geométrica.* Cid Palacios, R.; Universidad de Zaragoza. 1995
- *Geodesia Física.* Heiskanen, W.A.; Moritz, H. IGN, Madrid, 1985
- *Geodesie Generale.* Levallois, JJ.; Kovalevsky. Editions Eyrolles. Paris 1970
- *Satellite Geodesy.* Seeber, G.; Ed. Walter de Gruyter. Nueva York. 1993
- *Geodesia Espacial: GPS.* Gárate, J. Boletín ROA 3/97. San Fernando, 1997
- *Geodesie Generale, vol 4: Geodesie spatiale.* Levallois, JJ. Editions Eyrolles. Paris, 1970.
- *GPS: Theory an Practice.*-Hofmann-Wellenhof, B et. Al. Springer (Wien - NY) 2001
- *«GPS Satellite Surveying.*-Leick,A. 2ª Edición, John Wiley & Sons, Nueva York,1995
- *GPS for Geodesy.*-Teunissen, P.J.G. 2ª Edición, Springer Verlag, Berlin 1998
- *Fundamentos de Geofísica.* Udías & Mezcua
- *Fundamentos de Geofísica.*-Lowrie
- *Introduction to Geophysical Prospecting.*-Dobrin & Savit
- *Applied Geophysics.*-Telford & Geldat & Sheriff
- *Marine Geophysics.*-E.J.W. Jones
- *Temas de Geofísica.*- Peter J. Smith

La materia se imparte en un total de 200 horas lectivas.



# **TIEMPO Y FRECUENCIA I**

## **ANÁLISIS DE ERRORES. El estudio de las Incertidumbre en las Medidas Físicas**

### **DESCRIPCIÓN PRELIMINAR DEL ANÁLISIS DE ERRORES**

Errores como Incertidumbres. La Incertidumbre siempre está presente. Importancia de conocer las Incertidumbres. Estimación de Incertidumbres cuando se leen Escalas. Estimación de Incertidumbres en Medidas Repetibles.

### **DESCRIPCIÓN Y USO DE LAS INCERTIDUMBRES**

Mejor Estima  $\pm$  Incertidumbre. Cifras Significativas. Discrepancia. Comparación de Valores Medidos y Aceptados. Comparación de dos Números Medidos. Comprobando las Relaciones con un Gráfico. Incertidumbres Relativas. Cifras Significativas e Incertidumbres Relativas. Multiplicando Dos Números Medidos.

### **PROPAGACIÓN DE INCERTIDUMBRES**

Incertidumbres en Medidas Directas. Regla de la Raíz Cuadrada en un Experimento de Conteo. Sumas y Diferencias; Productos y Cocientes. Incertidumbres Independientes en una Suma. Más Acerca de Incertidumbres Independientes. Funciones Arbitrarias de Una Sola Variable. Propagación Paso a Paso. Ejemplos. Fórmula General para la Propagación de Errores.

### **ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE INCERTIDUMBRES ALEATORIAS**

Errores Aleatorios y Sistemáticos. La Media y la Desviación Estándar. La Desviación Estándar como Incertidumbre en una Simple Medida. La Desviación Estándar de la Media. Ejemplos. Errores Sistemáticos.

### **LA DISTRIBUCIÓN NORMAL**

Histogramas y Distribuciones. Distribuciones Límite. La Distribución Normal. La Desviación Estándar como Límite de Confianza 68%. Justificación de la Media como Mejor Estima. Justificación de la Suma en Cuadratura. Desviación Estándar de la Media. Aceptabilidad de un Resultado Medido.

### **RECHAZO DE DATOS**

El Problema de Rechazar Datos. Criterio de Chauvenet. Discusión.

### **MEDIAS PONDERADAS**

El Problema de Combinar Medias Separadas. La Media Ponderada. Un Ejemplo.

### **AJUSTE POR MÍNIMOS CUADRADOS**

Datos que Deberían Ajustarse a una Línea Recta. Cálculo de las Constantes A y B. Incertidumbre en las Medidas de y. Incertidumbre en las constantes A y B. Un Ejemplo. Ajustes por Mínimos Cuadrados a otras Curvas.

### **COVARIANZA Y CORRELACIÓN**

Repaso de la Propagación de Errores. Covarianza en la Propagación del Error. Coeficiente de Correlación Lineal. Significancia Cuantitativa de r. Ejemplos.

## **LA DISTRIBUCIÓN BINOMIAL**

Distribuciones. Probabilidades en Lanzamiento de Dados. Definición de Distribución Binomial. Propiedades de la Distribución Binomial. La Distribución de Gauss para Errores Aleatorios. Aplicaciones: Probando Hipótesis.

## **LA DISTRIBUCIÓN DE POISEEN**

Definición de la Distribución de Poisson. Propiedades de la Distribución de Poisson. Aplicaciones. Sustrayendo en Trasfondo.

## **LA PRUEBA CHI-CUADRADO PARA UNA DISTRIBUCIÓN**

Introducción al Chi-cuadrado. Definición General del Chi-cuadrado. Grados de Libertad y Chi-cuadrado reducida. Probabilidades para Chi-cuadrado. Ejemplos.

## **REQUISITOS GENERALES PARA LA COMPETENCIA DE LOS LABORATORIOS DE ENSAYO Y DE CALIBRACIÓN (UNE-EN ISO/IEC 17025:2005)**

### **INTRODUCCIÓN**

Estructura de la Guía. Prólogo. Introducción. Objeto y Campo de Aplicación. Referencias normativas. Términos y definiciones.

### **REQUISITOS RELATIVOS A LA GESTIÓN**

Organización. Sistema de gestión. Control de los documentos: Generalidades, Aprobación y emisión de los documentos, Cambios a los documentos. Revisión de los pedidos, ofertas y contratos. Subcontratación de ensayos y de calibraciones. Compras de Servicios y de Suministros. Servicio al cliente. Quejas. Control de trabajos de ensayos o de calibraciones no conformes. Mejora. Acciones correctivas: Generalidades, Análisis de las causas, Selección e implementación de las acciones correctivas, Seguimiento de las acciones correctivas, Auditorías adicionales. Acciones preventivas. Control de los registros: Generalidades, Registros técnicos. Auditorías internas. Revisiones por la dirección.

### **REQUISITOS TÉCNICOS**

Generalidades. Personal. Instalaciones y condiciones ambientales. Métodos de ensayo y de calibración y validación de los métodos: Generalidades, Selección de los métodos, Métodos desarrollados por el laboratorio, Métodos no normalizados, Validación de los métodos, Estimación de la incertidumbre de la medición, Control de los datos. Equipos. Trazabilidad de las mediciones: Generalidades, Requisitos específicos en Calibraciones y en Ensayos, Patrones de referencia y materiales de referencia. Muestreo. Manipulación de los ítems de ensayo o de calibración. Aseguramiento de la calidad de los resultados de ensayo y de calibración. Informe de los resultados: Generalidades, Informes de ensayos y certificados de calibración, Informes de ensayos, Certificados de calibración, Opiniones e interpretaciones, Resultados de ensayo y calibración obtenidos de los subcontratistas, Transmisión electrónica de los resultados, Presentación de los informes y de los certificados, Modificaciones a los informes de ensayo y a los certificados de calibración.



## **ANEXOS A LA NORMA**

Anexo A: Referencias cruzadas nominales a la Norma ISO 9001:2000. Anexo B: Directrices para establecer aplicaciones para campos específicos.

## **GUÍA PARA LA EXPRESIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE MEDIDA.**

### **ANTECEDENTE, OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN**

Necesidad de fijar criterios universales para el establecimiento de la Incertidumbre en la Medida. Los objetivos de la Guía sobre la Expresión de las Incertidumbres. Incertidumbre como medida de la Calidad del Resultado. Guía sobre la Expresión de las Incertidumbres como complemento a la utilización del Sistema Internacional de Unidades. Criterios de Universalidad, Consistencia y Transferibilidad. Objeto y Campo de Aplicación. Estructura de la Guía sobre la Expresión de las Incertidumbres.

### **DEFINICIONES**

Términos metrológicos generales. El término “incertidumbre”. Términos específicos de la Guía sobre la Expresión de las Incertidumbres. Definición de algunos de Términos más importantes: Incertidumbre Típica, evaluación de Incertidumbre tipo A, evaluación de Incertidumbre tipo B, Incertidumbre Típica Combinada, Incertidumbre Expandida, Factor de Cobertura.

### **CONCEPTOS BÁSICOS**

Medición. Errores, Efectos y Correcciones. Incertidumbre. Consideraciones Prácticas.

### **EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE**

Modelo de la Medición. Evaluación de Tipo A de la Incertidumbre Típica. Evaluación de Tipo B de la Incertidumbre Típica. Ilustración gráfica de la evaluación de la Incertidumbre Típica.

### **DETERMINACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE TÍPICA COMBINADA**

Magnitudes de entrada No Correlacionadas. Magnitudes de entrada Correlacionadas.

### **DETERMINACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE TÍPICA EXPANDIDA**

Introducción. Incertidumbre Expandida. Elección de un Factor de Cobertura.

### **EXPRESIÓN DE LA INCERTIDUMBRE**

Consejos generales. Consejos específicos.

### **TÉRMINOS METROLÓGICOS GENERALES**

Origen de las Definiciones. Definiciones: Magnitud (mensurable), Valor (de una magnitud), Valor Verdadero (de una magnitud), Valor Convencionalmente Verdadero (de una magnitud), Medición, Principio de Medida, Método de Medida, Procedimiento de Medida, Mesurando, Magnitud de Influencia, Resultado de una Medición, Resultado no Corregido, Resultado Corregido, Exactitud de Medida, Repetibilidad (de resultados de mediciones), reproducibilidad (de resultados de mediciones), Desviación Típica Experimental, Incertidumbre (de medida), Error (de medida), Error Relativo, Error Aleatorio, Error Sistemático, Corrección, Factor de Corrección.

### **CONCEPTOS ESTADÍSTICOS BÁSICOS**

Origen de las definiciones. Definiciones: Probabilidad, Variable Aleatoria, Distribución de Probabilidad, Función de Distribución, Función de Densidad de Probabilidad (para una

variable aleatoria continua), Función de Probabilidad (para una variable aleatoria discreta), Parámetro, Correlación, Esperanza Matemática (de una variable aleatoria o de una distribución de probabilidad), Variable Aleatoria Centrada, Varianza (de una variable aleatoria o de una distribución de probabilidad), Desviación Típica (de una variable aleatoria o de una distribución de probabilidad), Momento Central de orden  $q$ , Distribución Normal, Característica, Población, Frecuencia, Distribución de Frecuencia, Media Aritmética, Varianza, Desviación Típica, Momento Central de orden  $q$ , Estadístico, Estimación (proceso), Estimador, Estimación (valor estimado), Intervalo de Confianza Bilateral, Intervalo de Confianza Unilateral, Nivel de Confianza, Intervalo de Cobertura Estadística, Grados de Libertad. Elaboración de Términos y Conceptos: Esperanza Matemática, Varianza, Desviación Típica, Covarianza, Matriz de Covarianzas, Coeficiente de Correlación, Independencia, La Distribución  $t$  o de Student.

### **VERDADERO VALOR, ERROR E INCERTIDUMBRE**

Introducción. El Medir. Magnitud obtenida. El Valor “verdadero” y el Valor corregido. Error. Incertidumbre. Representación Gráfica.

### **CONSEJOS PRÁCTICOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE**

Componentes evaluadas a partir de observaciones repetidas: evaluación de tipo A de la incertidumbre: Azar y observaciones repetidas, Correlaciones. Componentes evaluadas por otros medios: evaluación de tipo B de la incertidumbre típica: La necesidad de evaluaciones tipo B, Distribuciones determinadas matemáticamente (Resolución de una indicación digital, Histéresis, Cálculos de precisión limitada), Valores de entrada de origen externo, Valores de entrada medidos (Observación única con instrumentos calibrados o verificados, Magnitudes bajo control, Magnitudes asimétricas de valores posibles, Incertidumbre cuando no se aplica correcciones derivadas de una curva de calibración), Incertidumbre debida al método de medida, Incertidumbre debida a la muestra.

### **GRADOS DE LIBERTAD Y NIVELES DE CONFIANZA**

Introducción. Teorema del Límite Central. La distribución  $t$  y los grados de libertad. Número efectivo de Grados de Libertad. Otras consideraciones. Resumen y conclusiones.

### **EJEMPLOS**

Calibración de boques patrón longitudinales: Definición del problema, El modelo matemático, Contribución de Varianzas, Incertidumbre Típica Combinada, Resultado final, Incertidumbre Expandida, Términos de segundo orden. Medición simultánea de una resistencia y una reactancia: Definición del problema de medición, El modelo matemático, Resultados: aproximación n°1, Resultados: aproximación n°2. Calibración de un termómetro: Definición del problema de medición, Ajuste por el método de mínimos cuadrados, Obtención de los resultados, Incertidumbre de un valor predicho, eliminación de la correlación entre la pendiente y la ordenada, Otras consideraciones. Medición de actividad radiactiva: Definición del problema de medición, Análisis de los datos, Obtención de los resultados finales, Resultados: aproximación n°1, Resultados: aproximación n°2. Análisis de la Varianza. Definición del problema de medición. Ejemplo numérico. Papel del análisis de la varianza en la medición. Mediciones respecto a una escala de referencia: dureza: Definición del problema de medición, Modelo matemático, Contribución de varianzas, La Incertidumbre Típica Combinada  $u_c(h)$ , Ejemplo numérico.

## **EVOLUCIÓN DE LA GUIA PARA LA EXPRESIÓN DE LA INCERTIDUMBRE**

Introducción. Conjunto de documentos en elaboración bajo el epígrafe “Evaluación de datos de medida”: Una introducción a la “Guía para la Expresión de la Incertidumbre en la Medida” y documentos relacionados, Conceptos y principios básicos, Suplemento 1 a la GUM - Propagación de distribuciones usando un Método de Montecarlo, Suplemento 2 a la GUM - Modelos con cualquier número de cantidades de salida, Suplemento 3 a la GUM - Modelado, El papel de la Incertidumbre en la Medida en la decisión de conformidad a requisitos especificados, Aplicaciones del método de Mínimos Cuadrados.

## **CURSO INICIAL DE TIEMPO Y FRECUENCIA**

### **INTRODUCCIÓN AL TIEMPO Y FRECUENCIA**

Historia del Tiempo, de los relojes y osciladores Generalidades sobre el Tiempo. Concepto de Frecuencia y Tiempo. Otros Términos en Uso. Escala de Tiempo.

### **FUENTES DE SEÑALES DE TIEMPO Y FRECUENCIA**

Resonadores y Osciladores. Osciladores de Cristal de Cuarzo. Utilización del átomo como resonador.

### **PATRONES ATÓMICOS DE FRECUENCIA**

Osciladores a vapor de Rubidio, Patrones de Haz de Cesio y Maser de Hidrógeno.

### **ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE EN LA MEDIDA Y EN OSCILADORES**

Incertidumbre en la medida. Caracterización de Osciladores: Variaciones Sistemáticas y Fluctuaciones estadísticas. Ruidos Típicos en los Relojes. La Varianza de Allan. La Varianza de Allan Modificada. Otras Caracterizaciones.

### **TÉCNICAS DE MEDIDAS DE TIEMPO Y FRECUENCIA**

Medidas de Frecuencia y Periodo. Medidas de Intervalo de Tiempo y Fase. Generalidades sobre Sistemas de Medida de Tiempo y Frecuencia. Ejemplos de Medidas de Tiempo y Frecuencia. *Software* de Análisis de Datos.

### **DEMOSTRACIÓN EN LABORATORIO**

Demostración de Medidas en Tiempo y Frecuencia. Interpretación de Datos ([xls](#)).

### **TRANSFERENCIA Y DISEMINACIÓN DE TIEMPO Y FRECUENCIA**

Breve introducción al GPS. Transferencia de Tiempo y Frecuencia mediante GPS. Glonass y Galileo como Sistemas de Transferencia. Otros Sistemas de Transferencia y Difusión.

### **PRESENTE Y FUTURO DE LA GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DEL TIEMPO**

Utilización actual de los Osciladores de Tiempo y Frecuencia. Lo que nos aguarda en el futuro. Conclusiones.

## **Bibliografía:**

- *An Introduction of Uncertainties in Physical Measurements*. John R. Taylor.
- *Guía para la Expresión de la Incertidumbre en la Medida*. Ed. Español (CEM, 2000), NIPO: 165-00-004-0.
- *Evolution of the "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement"*, W. Bich et al, Metrologia 43 S161 - S166.
- *GUÍA ISO IEC 17025\_2005*
- *Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de ensayo y de calibración ISO/IEC 17025:2005(ES)*.
- *Transición de UNE-EN ISO/IEC 17025:2005 y CGA-ENAC-LEC Rev.3 (TR 17025:2005 Rev. 1. Julio 2005)*

La materia se imparte en un total de 200 horas lectivas.

# **HISTORIA DE LA CIENCIA**

## **LA HISTORIA DE LA CIENCIA COMO DISCIPLINA**

El proceso de institucionalización. La polémica entre internalismo y externalismo. La historia de la ciencia en España.

## **LA ASTRONOMÍA Y LOS ORÍGENES DE LA CIENCIA MODERNA**

La revolución astronómica. Principales consecuencias de las teorías newtonianas. Las primeras instituciones astronómicas. Mejoras en la construcción de los instrumentos. Técnicas e instrumentos de astronomía náutica. La introducción en España de la ciencia moderna.

## **CIENCIA E ILUSTRACIÓN EN ESPAÑA**

El movimiento “Novator” y la crisis de los Austrias. La política científica borbónica. Las etapas de la ciencia ilustrada.

## **LAS INSTITUCIONES CIENTÍFICAS ESPAÑOLAS EN EL SIGLO XVIII**

La Corona y la ciencia La ciencia en las universidades. La expedición geodésica al ecuador.

## **LAS INSTITUCIONES NÁUTICAS ESPAÑOLAS EN EL SIGLO XVIII**

La astronomía y la navegación. Los Colegios de San Telmo. Las Academias de Guardias Marinas.

## **LA MARINA Y LA CIENCIA**

La fundación del Real Observatorio de Cádiz. Las observaciones astronómicas. El cálculo de efemérides. El Atlas Marítimo de Tofiño Las expediciones científicas. Las expediciones hidrográficas.

## **EL DESARROLLO DE LA CIENCIA CONTEMPORÁNEA**

La ciencia en el siglo XIX. La evolución de las ciencias físicas y matemáticas. La astronomía tradicional y la astrofísica.

## **LA CIENCIA ESPAÑOLA EN EL SIGLO XIX**

Fernando VII y el colapso de la ciencia española. La recuperación: el período isabelino. Las universidades y la Real Academia de Ciencias. Las actividades científicas en la Restauración.

## **CARTOGRAFÍA E HIDROGRAFÍA EN LA ESPAÑA DEL SIGLO XIX**

La cartografía terrestre española en el siglo XIX. La cartografía náutica española en el siglo XIX. El Observatorio Astronómico de Madrid.

## **EL OBSERVATORIO DE SAN FERNANDO DURANTE EL SIGLO XIX**

El Observatorio en los inicios del siglo XIX. La astrometría en San Fernando. Los programas de renovación instrumental. El Depósito de cronómetros e instrumentos de la Marina. El Servicio de Meteorología Marítima. El Centro de Agujas Magnéticas. Las observaciones astronómicas extraordinarias. La Carta Fotográfica del Cielo. Observaciones meteorológicas, magnéticas y sísmicas.

## **LAS CIENCIAS DEL UNIVERSO Y DE LA TIERRA EN EL SIGLO XX**

Los grandes progresos científicos del siglo XX. Astronomía y geofísica en el siglo XX. La colaboración científica internacional.

### **LA CIENCIA EN LA ESPAÑA DEL SIGLO XX**

La ciencia española hasta la Guerra Civil. La lenta recuperación de la segunda mitad del siglo.

### **LA ASTRONOMÍA EN LA ESPAÑA DEL SIGLO XX**

Los observatorios astronómicos. Los institutos de astrofísica. La astronomía española en la última parte del siglo XX.

### **EL OBSERVATORIO DE SAN FERNANDO DURANTE EL SIGLO XIX**

El Observatorio hasta 1921. El Observatorio entre 1922 y 1944. El Observatorio entre 1945 y 1971. El Observatorio entre 1972 y 2000.

### **Bibliografía**

- *Astronomía y navegación en España. Siglos XVI-XVIII*. González, F.J. Madrid, 1992.
- *El Observatorio de Cádiz (1753-1831)*. Lafuente, A., Sellés, M. Madrid, 1988.
- *El Observatorio de San Fernando (1831-1924)*. González, F.J. Madrid, 1992
- *El Observatorio de San Fernando en el siglo XX*. González, F.J. Madrid, 2004
- *La Dirección de Trabajos Hidrográficos (1797-1908)*. González, F.J., Martín-Merás, L., Madrid, 2004

La materia se imparte en un total de 80 horas lectivas.

# **ÓPTICA GEOMÉTRICA**

## **ÓPTICA GEOMÉTRICA**

Introducción histórica.- Naturaleza de la luz.

### **2CONCEPTOS Y LEYES FUNDAMENTALES.**

Óptica Geométrica.- Concepto de rayo luminoso.- Leyes de la reflexión y la refracción.- Construcción gráfica del rayo refractado.- Principio de reversibilidad.- Camino óptico.- Principio de Fermat.- Ecuación de las trayectorias.- Teorema de Malus-Dupin.- Superficie de onda cáustica.- Dispersión cromática.

### **SUPERFICIES PLANAS**

Haz de la luz paralela.- ángulo límite y reflexión total.- Reflexión de rayos divergentes.- Refracción de rayos divergentes.- Imágenes formadas por rayos paraxiales.- Lámina plano-paralela.- Refracción de un prisma; desviación mínima.- Prismas delgados.- Combinación de prismas delgados.- Método gráfico para el trazado de rayos.- Prismas de visión directa.

### **SUPERFICIES ESFÉRICAS.**

Focos y distancias focales.- Formación de imágenes.- Imágenes virtuales.- Puntos y planos conjugados.- Convenios de signo.- Espacio objeto y espacio imagen.- Construcciones gráficas.- Método del rayo paralelo.- Método del rayo oblicuo.- Aumento.- Vergencia reducida.- Deducción de la fórmula de Gauss.- Nomografía.

### **ÓPTICA PARAXIAL**

Definición.- La esfera en zona paraxial, invariante de Abbe.- Ecuación de Lagrange- Helmholtz. Comportamiento de un sistema centrado en zona paraxial.- Aumentos.- Aumento lateral en función de las distancias frontales.- Elementos cardinales.- Foco y planos focales.- Planos y puntos principales.- focal y potencia de un sistema.- Cálculo de la focal de un sistema. Relación entre las distancias focales objeto e imagen de un sistema.

### **LENTE DELGADAS**

Focos y distancias focales.- Formación de imágenes.- Puntos y planos conjugados.- Método del rayo paralelo.- Método del rayo oblicuo.- Uso de la fórmula de las lentes.- Aumento lateral.- Imágenes virtuales.- Fórmula del constructor de lentes.- Combinaciones de lentes delgadas.- Espacio objeto y espacio imagen.- Potencia de una lente delgada.- Lentes delgadas en contacto.- Deducción de la fórmula de las lentes.- Obtención de la fórmula del constructor de lentes.

### **LENTE GRUESAS**

Dos superficies esféricas.- Método del rayo paralelo.- Focos y puntos principales.- Relaciones conjugadas.- Método del rayo oblicuo.- Fórmulas generales de las lentes gruesas.- Lentes gruesas especiales.- Puntos nodales y centro óptico.- Otros puntos fundamentales.- Combinaciones de lentes delgadas consideradas como una lente gruesa.- Combinación de lentes gruesas.- Platina nodal

### **ESPEJOS ESFÉRICOS**

Focos y distancias focales.- Construcciones gráficas.- fórmula de los espejos.- Potencia de un espejo.- Espejos gruesos.- Fórmula de los espejos gruesos.- Otros espejos gruesos.- Aberración de esfericidad.- Astigmatismo.

## **LIMITACIÓN DE RAYOS**

Diafragma de apertura. Pupilas.- Diafragma de campo. Lucarnas.- Rayo principal.- Diafragma frontal.- Diafragma entre dos lentes.- Dos lentes sin diafragma.- Determinación del diafragma de apertura.- Campo visual.- Campo de un espejo plano.- Campo de un espejo convexo.- Campo de una lente convergente.- Brillo fotométrico e iluminación.- Brillo de una imagen.- Aumento normal.- Iluminación de una imagen.- Imagen de un manantial puntual.- Iluminación fuera del eje.- Efecto marginal.

## **TRAZADO DE RAYOS**

Rayos oblicuos.- Método gráfico para el trazado de rayos.- Fórmulas del trazado de rayos.- Ejemplo de cálculo para el trazado de rayos.

## **ABERRACIONES DE LAS LENTES**

Desarrollo del seno y teoría de primer orden.- Teoría de tercer orden de las aberraciones.- Aberración de esfericidad de una sola superficie.- Aberración de esfericidad de un lente delgada.- Resultado de la teoría de tercer orden.- Aberración de esfericidad de quinto orden.- Coma.- Puntos aplanáticos de una superficie esférica.- Astigmatismo.- Curvatura de campo.- Distorsión.- Teorema de los senos y condición de los senos de Abbe.- Aberración cromática.- Doblete separado.

## **INSTRUMENTOS ÓPTICOS.**

Objetivos fotográficos.- Rapidez de los objetivos.- Meniscos.- Lentes simétricas.- Tripletes anastigmáticos.- Teleobjetivos.- lupas.- Tipos de lupas.- Microscopios.- Objetivos de microscopios.- Anteojos astronómicos.- Oculares.- Ocular de Huygens.- Ocular de Ramsden.- Kellner u ocular de Ramsden acromático.- Oculares especiales.- Prismáticos.- El sistema óptico de Kellner Schmidt.- Sistemas ópticos concéntricos.

## **Bibliografía**

- *Fundamentos de Óptica* .Jenkins, F., White, H.Ed Aguiar, Madrid 1963.
- *Concepts of Classical Optics*. J.Strong, Courier Dover Publications, 2004.
- *Optique*, Bruhat, G., Ed Dunod, 2005.
- *Problems in Optics*, Rousseau, M., Mathieu, J. P., Ed Pergamon Press, 1973.

La materia se imparte en un total de 80 horas lectivas.



**CURSO MASTER EN  
ASTRONOMÍA Y GEOFÍSICA  
SEGUNDO AÑO**



# **EFEMÉRIDES ASTRONÓMICAS II**

## **LA UNIÓN ASTRONÓMICA INTERNACIONAL**

Historia. Misiones y organización: Asamblea General; Divisiones; Comisiones. Simposios y coloquios. Recomendaciones.

## **ESCALAS DE TIEMPO**

Tiempo atómico. Tiempo dinámico. Tiempo sidéreo. Tiempo Universal. Tiempo Universal Coordinado. Coordenadas tiempo. Meridiano de efemérides. Fecha juliana. Husos horarios. Calendarios

## **SISTEMAS DE REFERENCIA**

Sistemas de coordenadas astronómicas. Coordenadas terrestres. Rotación de la Tierra. Reducción de coordenadas celestes. Coordenadas topocéntricas y aparentes. Astrometría diferencial

## **EFEMÉRIDES ORBITALES DE LOS CUERPOS MAYORES DEL SISTEMA SOLAR**

Sol. Luna. Planetas. Planetas enanos. Planetillas. Cometas.

## **ANILLOS Y EFEMÉRIDES ORBITALES DE SATÉLITES**

Fundamentos. Satélites de Marte. Satélites de Júpiter. Anillos y satélites de Saturno. Anillos y satélites de Urano. Satélites de Neptuno.

## **EFEMÉRIDES PARA OBSERVACIONES FÍSICAS**

Fundamentos. Sol. Luna. Planetas: Marte, Júpiter, Saturno, Urano, Neptuno y Plutón. Satélites.

## **ESTRELLAS Y SISTEMAS ESTELARES**

Catálogos estelares. Estrellas en las “Efemérides Astronómicas.

## **FENÓMENOS ASTRONÓMICOS**

Salidas, puestas, ortos, ocasos y crepúsculos. Pasos por el meridiano. Conjunción, oposición y elongación. Eclipses de Sol. Eclipses de Luna. Tránsitos planetarios. Ocultaciones de estrellas por la Luna.

## **OTRAS PUBLICACIONES**

Almanaque Náutico. Almanaque Náutico para PC. Fenómenos Astronómicos.

## **EDICIÓN DE PUBLICACIONES**

Fundamentos de LaTeX y TeX. Diseño de tablas: densidad y claridad. Programación genérica. Mapas de eclipses.

## **Bibliografía:**

- *Almanaque Náutico*. Real Instituto y Observatorio de la Armada.
- *Efemérides Astronómicas*. Real Instituto y Observatorio de la Armada.
- *Fenómenos Astronómicos*. Real Instituto y Observatorio de la Armada.
- *Almanaque Náutico para PC*. Real Instituto y Observatorio de la Armada.
- *Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac*. P.K. Seidelmann Edt., University Science Books.
- *LaTeX : A Documentation Preparation System User's Guide and Reference Manual*. L. Lamport, Addison-Wesley Pub Co.,1994.
- *The TeXbook*.. D.E. Knuth, Addison-Wesley Pub Co., 1987

# **GEOFÍSICA Y GEODESIA II**

## **ELEMENTOS DE GEOLOGÍA**

### **INTRODUCCIÓN**

Estructura, composición y energía del interior de la Tierra: El núcleo, el manto y la corteza terrestre. Estructura geológica de la Tierra. La litosfera: régimen térmico y estructura. La corteza terrestre.

### **LOS MATERIALES GEOLÓGICOS**

Minerales y rocas. Rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias. El ciclo petrogenético y la evolución de la corteza.

### **EL TIEMPO EN GEOLOGÍA. GEOCRONOLOGÍA RELATIVA**

La evolución de los seres vivos. Filogenias. Geocronología absoluta. La escala de los tiempos geológicos.

### **LA DEFORMACIÓN DE LAS ROCAS**

Geometría, cinemática y dinámica. Pliegues, fallas, estructuras diapíricas y cuerpos ígneos.

### **GEOMORFOLOGÍA**

Procesos dinámicos externos y formas del relieve. La evolución geomorfológica. Geomorfolología aplicada a los riesgos geológicos.

### **GEODINÁMICA**

Tectónica de Placas y Deriva Continental. Ciclo de Wilson. Regímenes tectónicos resultantes de la interacción de las placas. Zonas tectónicamente activas y zonas estables. Cadenas de montañas y cuencas. Actividad tectónica, volcanismo y sismicidad.

## **Bibliografía:**

- *Tratado de Geología T.3. Tectónica, Tectonofísica, Morfología.* Auboin, Brousse y Lehman, J.P. (1980). Ed. Omega.
- *Geología de los márgenes continentales.* Boillot, G. (1984). Ed. Mascon.
- *Geological Structures and Moving Plates,*. Park, R.G. (1988). Ed. Blackie.
- *Principios, Métodos y Aplicaciones.* De Pedraza J. (1996). Ed. Rueda.
- *The Continental Crust: its composition and Evolution.* Taylor & McLennan. (1985). Ed. Blackwell Scientific Publications.
- *Mountain Building Processes.* Edited by Kenneth J. Hsu. (1982). Academic Press.
- *Structural Geology.* Twiss & Moores. (1992). Ed Freeman.
- *Principles of Structural Geology.* Suppe, John. (1985). Ed. Prentice-Hall.

## OCEANOGRAFÍA FÍSICA

INTRODUCCIÓN.

PROPIEDADES DEL AGUA DEL MAR.

NOCIONES DE OCEANÓGRAFA SINÓPTICA.

LAS ECUACIONES HIDRODINÁMICAS.

MOVIMIENTO PRODUCIDO POR LA ROTACIÓN DE LA TIERRA Y LA DISTRIBUCIÓN DE LA MASA.

LA CORRIENTE GEOSTRÓFICA.

CORRIENTES INERCIALES Y ECUACIONES DE VORTICIDAD.

FENÓMENOS DE TRANSFERENCIA: TURBULENCIA.

CORRIENTES CON ROZAMIENTO.

MODELOS DE CIRCULACIÓN OCEÁNICA.

OLAS Y OLEAJE.

INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO DE LAS MAREAS.

### **Bibliografía:**

- *An Introduction to Physical Oceanography*. Von Arx. Ed. Addison Wesley.
  - *Elements of Physical Oceanography*. Mc Lellan. Ed. Pergamon
  - *Principles of Physical Oceanography*. Neumann-Pierson. Ed. Prentice Hall
  - *Introductory Dynamic Oceanography*. Pickard-Pond. Ed. Pergamon
  - *Cours d'Océanographie Physique*. Lacombe . Ed. Gautier Villard.
  - *Physical Oceanography*. Defant. Ed. Pergamon Press.
- Asignaturas que se recomienda haber cursado 370**  
**Asignaturas en cuyo desarrollo influye**

## ONDAS SÍSMICAS

- 1.- La Tierra como medio elástico. Esfuerzos y deformaciones. Ecuación del movimiento: ondas y modos de vibración. Funciones de Green.
- 2.- Ecuación de ondas en un medio infinito. Ondas internas. Geometría de los desplazamientos.
- 3.- Medios estratificados. Reflexión y refracción. Refracción crítica y supercrítica.
- 4.- Teoría general de rayos. Parámetro del rayo. Curvas dromocronas.
- 5.- Rayos en un medio estratificado plano. Velocidad constante y velocidad variable.
- 6.- Rayos en una Tierra esférica.
- 7.- Generación de ondas superficiales. Ondas Rayleigh y ondas Love. Velocidad de grupo y de fase.
- 8.- Oscilaciones propias de la Tierra.

### **Bibliografía:**

- *Quantitative Seismology*. K. Aki y P. G. Richards. Ed. W. H. Freeman, San Francisco, 1980
- *Modern global Seismology*. T. Lay y T. Wallace. Academic Press. 1995.
- *Elastic wave propagation and generation in Seismology*. J. Pujol. Cambridge University Press, Cambridge, 2003.
- *Principles of Seismology*. A. Udías. Cambridge University Press, Cambridge, 1999

## **SISMOLOGÍA**

### **INTRODUCCIÓN**

El origen de los terremotos: distintas teorías. Teoría del rebote elástico.

### **SISMOMETRÍA**

Sismómetro mecánico: su ecuación. Instrumentos analógicos y digitales. Sismogramas y acelerogramas.

### **ESTRUCTURA DE LA TIERRA**

Métodos: ondas internas y superficiales. Tomografía. Estructura de la corteza, el manto y el núcleo.

### **FUENTE SÍSMICA**

Fractura de cizalla: parámetros. Foco puntual: fuerzas equivalentes. Tensor momento sísmico. Leyes de escalamiento. Cinemática y dinámica de la fuente.

### **PARÁMETROS DE LOS TERREMOTOS**

Localización: métodos. Intensidad. Magnitud

### **SISMOTECTÓNICA**

Sismicidad en los distintos límites de placa. Terremotos intraplaca. El ciclo sísmico.

### **RIESGO SÍSMICO Y PREDICCIÓN**

Peligrosidad sísmica: métodos deterministas y probabilistas. Fenómenos precursores.

### **Bibliografía:**

- *Modern global Seismology*. T. Lay y T. Wallace. Academic Press. 1995.
- *The mechanics of earthquakes and faulting*. C.H. Scholz. Cambridge Uni. Press, 1990.
- *Principles of Seismology*. A. Udías. Cambridge University Press, 1999.
- *Quantitative Seismology*. K. Aki y P. G. Richards. Ed. W. H. Freeman, San Francisco, 1980.
- *An introduction to the theory of Seismology*. K.E. Bullen y B. A. Bolt. Cambridge Uni. Press. 1985.



## **GEOMAGNETISMO: CAMPO INTERNO**

### **DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CAMPO MAGNÉTICO DE LA TIERRA**

Introducción. Aspectos históricos. Sistemas de Referencia. Elementos magnéticos. Campos constituyentes. Cartas magnéticas.

### **CONCEPTOS FUNDAMENTALES DEL ELECTROMAGNETISMO APLICADOS AL ESTUDIO DEL CAMPO MAGNÉTICO DE LA TIERRA**

Ecuaciones de Maxwell. Transmisión de ondas electromagnéticas. Dipolos y multipolos. Líneas de fuerza de un campo dipolar. Densidad de energía. Apantallamiento magnético. Bobinas de Hemholtz.

### **OBSERVACIÓN Y MEDIDA DEL CAMPO MAGNÉTICO DE LA TIERRA**

Mediciones absolutas y relativas. Métodos clásicos para la medición de D, H e I. Equipos modernos: Magnetómetro de Protones; Magnetómetro de Bombeo Óptico. Magnetómetro de Núcleo Saturado. SQUID. Variógrafos y magnetogramas. Observatorios magnéticos. Bancos de datos.

### **ANÁLISIS ARMÓNICO DEL CAMPO PRINCIPAL**

Definición de Campo Principal. Análisis armónico. Origen interno del Campo Principal. Significado físico de los coeficientes. Aproximaciones sucesivas. Terminología. Coordenadas geomagnéticas.

### **VARIACIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DEL CAMPO INTERNO**

Modelos de Campo Interno: IGRF. Variación Secular e Inversiones de Polaridad. Excursiones y Sacudidas magnéticas.

### **PALEOMAGNETISMO. MAGNETISMO DE LAS ROCAS**

Propiedades magnéticas de la materia. Materiales ferromagnéticos; ciclo de histéresis. Teoría de Neel. Tipos de magnetización remanente. Magnetismo de las rocas. Minerales de interés paleomagnético; métodos para su identificación. Tratamiento de datos paleomagnéticos. Aplicaciones del Paleomagnetismo.

### **GENERACIÓN DEL CAMPO INTERNO. MAGNETOHIDRODINÁMICA. PRINCIPIO DE LA DINAMO**

Condiciones planteadas por la observación. Características del núcleo externo. Introducción a la magnetohidrodinámica. Ecuación de inducción magnética. Teorema del flujo congelado. Difusión del campo magnético. Principio de la dinamo. Teorema de Cowling. Análisis matemático de la dinamo cinemática: Campos poloidal y toroidal. Efectos  $\alpha$  y  $\omega$ . Modelo de Bullard y Gellman. Fuentes de energía de la dinamo: Hipótesis de la convección térmica; Teoría de la convección gravitatoria; Modelo del par de precesión.

### **MODELOS EXPLICATIVOS DE LA VARIACIÓN SECULAR Y LAS INVERSIONES MAGNÉTICAS**

Origen de la variación secular del Campo Interno: Modelo de Bullard. Ondas magnetohidrodinámicas y ondas planetarias. Modelos explicativos de las inversiones magnéticas. Modelos mecánicos y modelos probabilistas. Caos determinista.

## **Bibliografía:**

- *Introduction to Geomagnetic Fields*, Campbell, W.H., 1997, Cambridge University Press, Cambridge.
- *Geomagnetism* (Tomos 1 y 2), Jacobs, J.A. (Editor), 1987-1991, Academic Press, Londres.
- *The Magnetic Field of the Earth*, Merrill, R.T, M. McElhinny y P. McFadden, 1996, Academic Press, Boston.
- *Introduction to Geomagnetism*, Parkinson, W.D., 1983, Elsevier, Amsterdam.

## **GEOMAGNETISMO: CAMPO EXTERNO**

### **CAMPOS GEOMAGNÉTICOS DE ORIGEN EXTERNO**

Introducción: Los campos de origen externo en el contexto del Magnetismo Terrestre. Características de la alta atmósfera y del espacio exterior. Propiedades físicas del geoespacio: colisiones, continuidad, difusión. Concepto de plasma. Energía en un magnetoplasma. Movimiento de partículas cargadas en un plasma. Invariantes adiabáticos. Espejos magnéticos.

### **ESTUDIO DE LA IONOSFERA**

Composición. Teoría de Chapman sobre la formación de las capa ionosféricas. Transmisión de ondas electromagnéticas en la ionosfera. Ecuación de Appleton-Hartree. Ionogramas. Colisiones y conductividades. Fotoquímica de la Ionosfera. Auroras y Airglow.

### **ESTUDIO DE LA MAGNETOSFERA**

Principales características del Sol y su campo magnético. Interacción Sol-Tierra: viento solar y campo magnético interplanetario. Formación y estructura de la Magnetosfera. Reconexión magnética. Cinturones de Van Allen.

### **VARIACIONES PERIÓDICAS DEL CAMPO EXTERNO**

Variaciones periódicas asociadas al Sol y la Luna. Análisis de Sq, Sd, S y L. Aplicaciones. Sistemas de corrientes equivalentes. Dinamo atmosférica. Electrochorro ecuatorial.

### **VARIACIONES NO PERIÓDICAS DEL CAMPO EXTERNO**

Índices de actividad magnética. Efectos de las fulguraciones y las eyecciones de masa coronal. Tormentas magnéticas. Subtormentas. Notación de la actividad magnética. Origen de las tormentas. Bahías. Pulsaciones magnéticas.

### **METEOROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA ESPACIALES**

Conceptos básicos. Parámetros de evaluación del tiempo espacial. Efectos de las variaciones del tiempo espacial.

### **Bibliografía:**

- *The Upper Atmosphere*, Dieminger, W., G.K. Hartmann and R. Leitinger (Editors), 1996, Springer Verlag, Berlin.
- *The Solar-Terrestrial Environment*, Hargreaves, J.K., 1992, Cambridge Univ. Press.
- *Tendencias actuales en la investigación de la Ionosfera*, Herraiz, M. y B. A. de La Morena (Editores), 2000, Física de la Tierra nº 12, Universidad Complutense, Madrid.
- *Geomagnetism*, Jacobs, J.A. (Editor), 1991, (Tomos 3 y 4), Academic Press, New York.
- *Physics of the Earth's Space Environment*, Pröls, G.W., 2004, Springer Verlag, Berlin.
- *An Introduction to the Ionosphere and Magnetosphere*, Ratcliffe, J.A., 1972, Cambridge University Press.

## **GRAVIMETRÍA**

1. Introducción a la Gravimetría. Historia. Objetivos y Métodos.
2. El Campo de la gravedad. Potencial de la gravedad. Geoide.
3. Fundamentos de la teoría del potencial. Ecuación de Laplace. Desarrollo en armónicos esféricos del potencial de la gravedad.
4. Tratamiento global del campo de la gravedad. Superficies de nivel y líneas de la plomada. Curvatura de las líneas de la plomada.
5. Modelos de referencia. Elipsoide internacional. Campo normal de la gravedad. Fórmula internacional de la gravedad.
6. Campo anómalo. Ondulaciones del geoide y desviaciones de la vertical. Anomalías de la gravedad.
7. Determinación de la figura de la Tierra a partir de las perturbaciones orbitales de los satélites artificiales.
8. Determinación de la figura de la Tierra a partir de medidas gravimétricas. Reducción de las anomalías de la gravedad.
9. Posicionamiento vertical relativo. Altitudes.
10. Aplicaciones geofísicas de las anomalías gravimétricas. Determinación de estructuras.
11. Rotación de la Tierra.
12. Mareas terrestres.

### **Bibliografía:**

- *Geodesia Física*. Heiskanen, W. y Moritz, H. Instituto Geográfico Nacional. 1985.
- *Geodesy*. Torge, W. Ed. Walter de Gruyter. Berlin, 1991.
- *Gravimetry*. Torge, W. Ed. Walter de Gruyter. Berlin, 1989.

## **PROSPECCIÓN GEOFÍSICA ELECTROMAGNÉTICA**

1. Introducción a los métodos geofísicos de prospección. Los métodos electromagnéticos. Aplicaciones.
2. Conceptos y dispositivos fundamentales en prospección eléctrica en corriente continua. Propiedades electromagnéticas de minerales y rocas.
3. El Sondeo Eléctrico Vertical (SEV): Teoría , trabajo de campo e interpretación.
4. Sondeos dipolares.
5. Calicatas eléctricas.
6. Método del potencial espontáneo.
7. Conceptos y dispositivos fundamentales en prospección eléctrica por campos variables.
8. Sondeos electromagnéticos. Sondeos magnetotelúricos.
9. Calicatas electromagnéticas.
10. Método de Polarización inducida (PI).
11. El sónar de barrido lateral y el geo-radar.
12. Aplicaciones y limitaciones de los métodos geoelectricos.
13. Otros métodos geofísicos. El método radioactivo: aplicaciones.

### **Bibliografía:**

- *Prospección Geoelectrica en corriente continua*. Orellana, E., Paraninfo, 1982.
- *Prospección Eléctrica por campos variables*. Orellana, E., Paraninfo, 1974.
- *Applied Geophysics*. Telford, W.M., Geldart, L.P. Sheriff, R.E., Cambridge University Press, 1990.

## **PROSPECCIÓN GEOFÍSICA SÍSMICA Y GRAVIMÉTRICA**

1. Introducción. Objetivos de la Prospección Geofísica. Métodos geofísicos de prospección
2. Método gravimétrico. Bases físicas. Posibilidades y limitaciones del método gravimétrico. Densidad de los minerales y rocas. Cálculo de la gravedad para distintos modelos de Tierra. Programación de una campaña. Medida de la gravedad terrestre. Anomalías de la gravedad.
- 3-. Método magnético. El campo magnético de la Tierra. Bases físicas. Posibilidades y limitaciones del método magnético. El magnetismo de los minerales y rocas. Programación de una campaña. Medida del campo magnético terrestre. Anomalías magnéticas. Anomalías teóricas producidas por cuerpos de forma geométrica sencilla.
4. Tratamiento numérico de las anomalías gravimétricas y magnéticas. Interpretación de las anomalías.
5. Métodos sísmicos. Bases físicas. Reflexión y refracción de ondas sísmicas en medios estratificados. Emisores y detectores. Trabajo de campo. Filtrado de la señal.
6. Método de refracción. Dispositivos. Interpretación.
7. Método de reflexión. Dispositivos. Tratamiento de los datos. Determinación de velocidades sísmicas. Secciones sísmicas. Migración. Interpretación.

### **Bibliografía:**

- *Enciclopedia Dictionary of Exploration Geophysics*. SEG., Sheriff, R.E., 1984.
- *Applied Geophysics*. Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., Cambridge University Press, 1990.

## **GEOFÍSICA INTERNA Y TECTONOFÍSICA**

1. Introducción a la Tectonofísica. Historia. Objetivos y Métodos
2. - Estructura de la Tierra.
3. Flujo Geotérmico.
4. Radiactividad, edad y evolución térmica de la Tierra.
5. Conceptos básicos de la Tectónica de Placas.
6. Polos de Euler y rotaciones finitas.
7. Paleomagnetismo y anomalías magnéticas.
8. Elasticidad y flexión.
9. Fluidos geofísicos.
10. Reología.
11. Planetología comparada.

### **Bibliografía:**

- *Paleomagnetism*. Butler, R.F. 1992. Blackwell Scientific Publications.
- *Plate Tectonics: How it works*. Cox, A. y Hart, R.B. 1986. Blackwell Scientific Publications.
- *Geodynamics*. 1982. Turcotte, D.L. y Schubert, G. John Willey & Sons, Inc. New York.
- *Fundamentos de Geofísica*. Udías, A. y Mézcua, J. 1997. Alianza Universidad Textos.





# **ASTRONOMÍA FUNDAMENTAL II**

## **ASTROMETRÍA MERIDIANA**

Principios y descripción del Círculo Meridiano. Errores del Círculo Meridiano. Funcionamiento de los Círculos Meridianos Automáticos Carlsberg y San Fernando. Catálogos astrométricos Hipparcos y Tycho2. Generación de los catálogos CMC-14 y HAMC2.

## **INSTRUMENTACIÓN Y TÉCNICAS OBSERVACIONALES**

Principios básicos. Difracción en una apertura circular. Point Spread Function (PSF). Límite de difracción. Poder de resolución. Defectos instrumentales. Aberraciones. Deconvolución. Efectos atmosféricos en la formación de imágenes. Modelos atmosféricos, turbulencia y fluctuaciones. Imágenes Speckle. Interferometría óptica. Detectores CCD. Principios generales. Calibración de imágenes. Detección y centrado de imágenes. Fotometría. Observación en drift-scan y TDI. Astrometría fotográfica. Medición de placas. Carta del Cielo y Catálogo Astrofotográfico. Astrometría con grandes telescopios. Cámaras con mosaicos de CCDs

## **SISTEMAS DE REFERENCIA**

Sistema de referencia celeste internacional (ICRS). Materialización de los sistemas de referencia (ICRF). Sistema de coordenadas terrestre (ITRF). Transformaciones entre GCRS y BCRS. Consecuencias de la adopción del ICRS y ICRF. Nueva definición del sistema de referencia dinámico y puntos de referencia. Observación y descripción de la rotación de la Tierra. Parámetros de orientación de la Tierra. Transformaciones del ITRF al ICRF. Tiempo Universal.

## **ASTROMETRÍA DESDE EL ESPACIO**

Las misiones GAIA y SIM

## **ASTROMETRÍA RELATIVISTA**

Bases de relatividad especial y general necesarias para astrometría al microsegundo de arco. Sistemas de coordenadas espacio-temporales. Escalas de tiempo. Efectos astrométricos.

## **ASTROMETRÍA EN EL SISTEMA SOLAR**

Detección de NEOs, pequeños planetas y cometas. Ocultaciones Lunares. Basura espacial y posicionamiento astrométrico de satélites geoestacionarios. Planetas extra-solares.

## **ASTROMETRÍA EN ESTRUCTURA GALÁCTICA Y COSMOLOGÍA**

Estructura y Dinámica Galáctica con GAIA. El papel de la astrometría en la definición de la estructura espacial, cinemática y dinámica de la Vía Láctea y el Grupo Local. Astrometría y los parámetros Cosmológicos. Astrometría de los GRBs.

## **ASTRONOMÍA ESTADÍSTICA Y TRATAMIENTO DE DATOS**

Errores aleatorios y sistemáticos. Determinación de errores en los catálogos. Errores externos e internos. Corrección de modelos. Las correcciones Malmquist y Lutz-Kelker. Modelos Monte Carlo. Método de los mínimos cuadrados.

## **EL OBSERVATORIO VIRTUAL**

Versiones nacionales del VO. EL catálogo astrométrico del VO, NOMAD. Herramientas del VO, Vizier, Aladin. Publicación de datos en VO.

### **Bibliografía:**

- *Fundamentals of Astrometry*, Kovalevsky and Seidelman.
- *Modern Astrometry*, J. Kovalevsky.
- *Astronomy*, Roy and Clarke.

## **TIEMPO Y FRECUENCIA II**

### **RESONADORES Y DISPOSITIVOS DE MEDIDA**

Introducción.- El Cristal y su Circuito Equivalente: El Circuito Resonador y su Equivalente Eléctrico, Propiedades del Mecanismo del Cristal, Parámetros que caracterizan a un Cristal.- Medidas en los Resonadores de Cristal: Generalidades, Instrumentos de Medida de Resonadores, Métodos de Medida.

### **OSCILADORES DE PRECISIÓN**

Consideraciones de Diseño.- Medida y Especificación de la Estabilidad en Frecuencia.

### **CONTROL Y COMPENSACIÓN DE TEMPERATURA**

Control de Temperatura: Pérdida Térmica, Consideraciones del *Warm-Up*. Compensación de la Temperatura: Compensación de Temperatura Analógica, Compensación de Temperatura Digital, Compensación de Temperatura mediante Microprocesador.

### **PATRONES DE FRECUENCIA Y TIEMPO DE MICROONDAS**

Conceptos, Diseño y Desarrollo: Perspectiva Histórica, Concepto de Resonador Atómico, Principios de Diseño, Principios de Desarrollo, Sistemas Electrónicos Activos y Pasivos, Bucles de Enganche en Fase, Bucles de Enganche en Frecuencia, Sistemas Electrónicos.- Patrones de Haz Pasivo: Generación del Haz, Selección Espacial del Estado Energético, Interrogación de Microondas, Detección de Átomos, Patrón de Haz de Cesio, Otros Patrones de Haz Pasivos.- Patrones de Celda de Gas: Principios de la Celda de Gas, Selección Óptica del Estado Energético, El Patrón de Rubidio, Otros Patrones de Celda de Gas.- Máseres de Hidrógeno: Principios del Máser de Hidrógeno, Máseres de Hidrógeno Activos y Pasivos, Exactitud y Estabilidad en Frecuencia, Otros Máseres.- Otros Patrones de Frecuencia de Microondas: Máser de Amonio.- Trampa de Iones: Confinamiento de Iones en Trampas de Radiofrecuencia, Confinamiento de una Nube de Iones, Propiedades Metrológicas de estos Patrones de Frecuencia, Trampas de Iones con Enfriamiento Láser.- Otros Patrones Atómicos de Frecuencia: Patrón de Frecuencia de Haz de Magnesio, Patrón de Frecuencia Óptico. Patrón de Frecuencia Óptico basado en un único Ión en Reposo. Patrones de Frecuencia para Medidas de Tiempo.

### **MEDIDA Y CARACTERIZACIÓN DEL TIEMPO Y DE LA FRECUENCIA**

Conceptos, Definiciones y Medidas de la Estabilidad: Relación entre el Espectro de Potencia y el Espectro de Fase, Recomendaciones Internacionales en las Medidas de la Estabilidad en Frecuencia, Dominio de la Frecuencia y Dominio del Tiempo, Distintos tipos de Ruidos en los Patrones de Frecuencia, Relación entre la Densidad Espectral de Frecuencia y la Varianza de *Allan*, Varianza de *Allan* Modificada, Varianza de *Hadamard*, Varianza  $\text{Thêol}$ , Determinación de la Frecuencia Media y de la Deriva en Frecuencia de un Oscilador, Intervalo de Confianza de la Estima y Muestras Solapadas, Uso Eficiente de los Datos y Determinación de los Grados de Libertad, Determinación de la Estabilidad de un Oscilador, Técnicas de desacoplo de ruido: Sombrero de Tres Puntas.- Medida Digital Directa: Medidas de Intervalo de Tiempo, Medidas de Frecuencia, Medidas de Periodo.- Métodos de Mejora de la Sensibilidad: Técnicas Heterodinas, Técnicas Homodinas, Métodos de Conversión Múltiple.

## **COORDINACIÓN, COMPARACIÓN Y DISEMINACIÓN DE TIEMPO Y FRECUENCIA**

Introducción: Perspectivas Históricas y Métodos de Comparación, Patrones de Tiempo y Frecuencia.- Métodos de Comparación o Diseminación Terrestre de Tiempo y Frecuencia: Alta y Media Frecuencia, Transmisiones de Baja y Muy Baja Frecuencia, Otros Métodos.- Métodos de Comparación o Diseminación Extraterrestres de Tiempo y Frecuencia: Satélites Geostacionarios de Telecomunicaciones, Satélites GNSS, Técnicas Experimentales Basadas en Satélites, Radiofuentes Espaciales muy Lejanas.

### **TIEMPO ATÓMICO**

Definición del segundo.- Establecimiento del Tiempo Atómico Internacional (TAI): Algoritmos de las Escalas de Tiempo, Algoritmo del TAI.- Propiedades del TAI y del Tiempo Universal Coordinado (UTC): Fiabilidad, Exactitud y Trazabilidad, Estabilidad y Exactitud en Frecuencia, Tiempo Universal Coordinado, UTC locales.

### **TIEMPO ASTRONÓMICO**

Tiempo Universal: Definición, Definición Práctica del UT1, Otras formas de Tiempo Universal, Irregularidades en la Rotación de la Tierra.- Tiempo de Efemérides: Definición, Determinación del Tiempo de Efemérides, Dificultades y Soluciones Actuales.- Tiempo Pulsar.

### **OTROS MEDIOS PARA CONTROL DE FRECUENCIA DE PRECISIÓN**

Introducción.- Dispositivos de Baja Frecuencia: “Tenedores” de Sintonía de Cuarzos, Otros Dispositivos de Baja Frecuencia.- Dispositivos de Microondas: Cavidades Superconductoras, Cavidades Dieléctricamente Cargadas.

## **Bibliografía:**

- *Precision Frequency Control (Vol. I). Acoustic Resonators and Filters.* Eduard A. Gerber, Arthur Ballato. Academic Press, Inc. (London), 1985.
- *Precision Frequency Control (Vol. II). Oscillators and Standards.* Eduard A. Gerber, Arthur Ballato. Academic Press, Inc. (London), 1985.
- *The Measurement of Time: Time, Frequency, and the Atomic Clock.* Claude Audoin, Bernard Guinot. Cambridge University Press, 2001.