



Pontificia Universidad Católica de Chile
Escuela de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Eléctrica
IEE2113 – Teoría Electromagnética

Programa del Curso

Profesor: Javier Silva Orellana (jsilva8@uc.cl)

1. Aspectos Generales

- **Cátedra:** Martes y Jueves. Módulo 3 (11:00-12:10). Sala B18.
- **Taller:** Viernes. Módulo 6 (16:00-17:10). Sala B17. (Se empleará como Cátedra, Ayudantía, y Taller Práctico).
- **Ayudantes:** Vicente Corvalán (vcorvalh@uc.cl), Jorge Matamala (jnmatamala@uc.cl), Rafael Ormazábal (riormazabal@uc.cl), Catalina Sierra (catalina.sierra@uc.cl), Sofia Urzúa (sofia.urzua@uc.cl).
- **Canales oficiales de comunicación:** Presencialidad, Canvas, correo electrónico, reuniones agendadas vía correo electrónico.

2. Integridad Académica y Código de Honor

“Este curso se compromete con la Integridad Académica, reconociéndola como pilar fundamental del proceso formativo de nuestros estudiantes, para colaborar en la construcción de una cultura de respeto e integridad en la UC. Por tanto, las estrategias metodológicas y de evaluación, debiesen favorecer la promoción de los valores de honestidad, confianza, justicia, respeto y responsabilidad, así como el desarrollo de habilidades transversales para el aprendizaje.

Además, para fortalecer esta cultura de respeto e integridad, este curso se adscribe y compromete con el Código de Honor UC:

Como miembro de la comunidad de la Pontificia Universidad Católica de Chile, me comprometo a respetar los principios y normativas que la rigen. Asimismo, me comprometo a actuar con rectitud y honestidad en las relaciones con los demás integrantes de la comunidad y en la realización de todo trabajo, particularmente en aquellas actividades vinculadas a la docencia, al aprendizaje y la creación, difusión y transferencia del conocimiento. Además, me comprometo a velar por la dignidad e integridad de las personas, evitando incurrir en y, rechazando, toda conducta abusiva de carácter físico, verbal, psicológico y de violencia sexual. Del mismo modo, asumo el compromiso de cuidar los bienes de la Universidad”

3. Descripción del curso

El curso profundiza los contenidos abordados en el curso previo de Electricidad y Magnetismo. Inicialmente, se profundizan los contenidos de Electricidad, Magnetismo, Ecuaciones de Maxwell y Propagación de Ondas electromagnéticas. Posteriormente, se abordan las distintas aplicaciones de la Teoría Electromagnética, centradas en la caracterización, análisis y diseño básico de: líneas de transmisión, guías de ondas (waveguides), y elementos radiantes (antenas simples).

4. Objetivos de Aprendizaje

- **OA-01:** Plantear y resolver ecuaciones para la determinación de Fuerzas, Campos, Flujos, Potenciales, Torques y Energías electromagnéticas en problemas de mediana complejidad.
- **OA-02:** Comprender y aplicar el concepto de expansión multipolar para la estimación precisa de campos electromagnéticos.
- **OA-03:** Comprender los conceptos base de la Teoría de la Relatividad Especial: simultaneidad de sucesos, dilatación temporal y contracción de longitudes.
- **OA-04:** Plantear y resolver problemas de mediana complejidad entre sistemas inerciales, empleando Transformaciones de Lorentz para la determinación de posición, tiempo, velocidad, energía, momento y fuerza.
- **OA-05:** Determinar e interpretar la relación entre electricidad y magnetismo, empleando los elementos de la Mecánica Relativista.
- **OA-06:** Plantear y resolver ecuaciones del electromagnetismo para resolver problemas en medios materiales (polarización y magnetización).
- **OA-07:** Plantear y resolver ecuaciones para campos magnéticos en circuitos magnéticos de complejidad media.
- **OA-08:** Formular y resolver problemas asociados a condiciones de borde en materiales eléctricos y magnéticos, utilizando las ecuaciones de Poisson y Laplace..
- **OA-09:** Distinguir las distintas formas de la Ley de Faraday y saber aplicarlas para determinar la FEM inducida en diversas situaciones de campos magnéticos variantes en el tiempo y/o trayectorias cerradas.
- **OA-10:** Distinguir el significado de la formulación diferencial e integral de las ecuaciones de Maxwell, tanto para campos estáticos como variantes en el tiempo.
- **OA-11:** Determinar las expresiones correspondientes a ondas eléctricas, magnéticas y potencia asociada para condiciones de propagación libre en distintos tipos de medios.

- **OA-12:** Determinar las expresiones para ondas eléctricas y magnéticas en casos de incidencia normal y oblicua entre dos o mas medios
- **OA-13:** Utilizar el método de diferencias finitas en el dominio del tiempo para determinar campos eléctricos y magnéticos en propagación libre, o en dos o más medios en incidencia normal (caso unidimensional).
- **OA-14:** Distinguir las ecuaciones y el significado de una línea de transmisión general y las versiones correspondientes para líneas sin pérdidas, para pérdidas bajas, para pérdidas altas, y para líneas sin distorsión.
- **OA-15:** Calcular una línea de transmisión de alambres paralelos, coaxial o microstrip dada una impedancia característica determinada.
- **OA-16:** Utilizar la carta de Smith para compensar líneas de transmisión sin perdidas y para determinar parámetros de impedancia, voltaje y corriente a lo largo de la linea.
- **OA-17:** Caracterizar y analizar el comportamiento de líneas de transmisión mediante software de simulación circuital (LTSpice).
- **OA-18:** Diseñar una guía de onda rectangular y determinar sus modos de propagación posibles, así como las pérdidas provocadas por el uso de conductores no perfectos.
- **OA-19:** Calcular los campos y el patrón de radiación para configuraciones de antenas básicas: dipolo hertziano, dipolo de media longitud de onda, y monopolo de cuarto de longitud de onda.
- **OA-20:** Evaluar la ganancia, impedancia de entrada y polarización de antenas dipolo.
- **OA-21:** Evaluar la intensidad de señal y potencia transmitida y recibida para simples enlaces entre dipolos.
- **OA-22:** Evaluar parámetros de diseño y caracterización de antenas mediante simulación en software (4NEC2): modelo 3D, patrones de radiación, ancho de haz, ganancia máxima, adaptación de impedancia, tipos de tierra, carta de Smith, y optimización de parámetros.
- **OA-23:** Comprender la teoría y determinar las ecuaciones fundamentales de la adquisición de Imágenes por Resonancia Magnética MRI, así como la estimación de Mapas Cuantitativos de Susceptibilidad (QSM).

5. Contenidos

- **Electrostática:** Ley de Coulomb, campo eléctrico, flujo eléctrico, potencial escalar eléctrico, densidad de energía eléctrica, expansión multipolar, dipolo eléctrico, conductores, dieléctricos, polarización, materiales eléctricos.
- **Teoría de la Relatividad Especial:** sistemas inerciales, postulados de la relatividad especial, simultaneidad de sucesos, dilatación temporal, contracción de longitudes, transformaciones de Lorentz, mecánica relativista, electromecánica relativista.
- **Magnetostática:** Ley de Biot-Savart, Ley de Ampère, flujo magnético, potencial vectorial magnético, Ley de Lorentz, torque magnético, dipolo magnético, magnetización, materiales magnéticos, inductancia, circuitos magnéticos. Condiciones de Borde: Ecuación de Laplace, Ecuación de Poisson, Condiciones de Borde Eléctricas, Condiciones de Borde Magnéticas, Método de las diferencias finitas en tiempo discreto (DFDT).
- **Ecuaciones de Maxwell:** Ecuaciones de Maxwell para campos estáticos, Ley de Faraday, Fuerza Electromotriz (FEM), corriente de desplazamiento, Ecuaciones de Maxwell finales, potenciales variantes en el tiempo, campos armónicos en el tiempo.
- **Ondas Monocromáticas Planas:** Ecuación de onda, Propagación de ondas planas, reflexión normal de ondas planas, reflexión oblicua de ondas planas, potencia y vector de Poynting.
- **Líneas de Transmisión:** Modelo de parámetros distribuidos, régimen transitorio en líneas sin pérdidas, excitación sinusoidal en régimen permanente, líneas sin distorsión, aproximación para líneas con pérdidas, líneas no disipativas, carta de Smith, igualación de impedancias con acopladores, simulación de líneas de transmisión (LTSpice).
- **Guías de Ondas:** Guías rectangulares, modos TM y TE, Velocidad de propagación y atenuación de la onda.
- **Antenas:** Dipolo Hertziano, dipolo de media onda, monopolo de cuarto de onda, caracterización de antenas, ecuación de Friis, ecuación de radar, simulación de antenas en 4NEC2.
- **Otras Aplicaciones:** Resonancia Magnética (MR), Mapas Cuantitativos de Susceptibilidad (QSM), física de semiconductores.

6. Evaluaciones

[25 %] Controles (NC)

Se contará con 2 tipos de controles: Sorpresa y no-Sorpresa (Actividades).

- **Controles Sorpresa:** Evaluaciones cortas de 10 a 15 minutos de contenido teórico y/o cálculos relativamente sencillos. El contenido a evaluar podrá ser de la clase 01 hasta la clase anterior a la toma del control. Estos controles pueden ser tomados **al inicio, durante, o al final** de la clase.
- **Controles no-Sorpresa:** Actividades en clase. La duración de esta dependerá de la actividad. Algunas serán desarrolladas durante el módulo de la clase, mientras que otras podrían entregarse al iniciar la clase siguiente.

En total, se espera realizar entre 10 a 15 controles. Se podrán borrar los 3 peores, bajo las siguientes condiciones:

1. Haber rendido $N - 1$ controles, es decir, solo puede haber faltado a 1 de ellos.
2. Promedio de los N controles ≥ 3.5 .

Solo se admitirán 2 inasistencias justificadas a los controles. En dicho caso, la nota será remplazada por la del control siguiente. **En caso de faltar al último control, este se reemplazará por la nota más baja de los controles rendidos.** En caso de más inasistencias, el control correspondiente será evaluado con nota mínima (1.0).

[25 %] Tareas (NT)

Corresponderán a ejercicios de mayor complejidad, e involucrarán el uso de software. La duración de estas tareas será de 2 a 3 semanas, y se espera un total de 3 a 4 tareas.

Cada tarea contará con un conjunto de reglas en términos de formato y tiempos de entrega. En caso de no ser cumplidas se aplicarán penalizaciones, las cuales van desde descuentos en puntaje hasta calificación de la entrega con nota 1.2.

Se podrá borrar la peor tarea, bajo las siguientes condiciones:

1. Nota de cada tarea ≥ 3.0 .
2. Promedio de las M tareas ≥ 3.5 .

[50 %] Pruebas (NP)

La estructura de las interrogaciones será de 4 a 6 preguntas, las cuales abordan tanto contenido teórico como resolución de problemas. La duración de cada una de estas evaluaciones será de 2 horas.

En total se realizarán 3 pruebas, con un 50 % de exigencia, en las siguientes fechas:

- Prueba 1: 9 de Abril.
- Prueba 2: 4 de Junio.
- Prueba 3: 6 de Julio.

La inasistencia a una prueba implica la aplicación de una prueba recuperativa. Solo se permitirá una inasistencia. En caso de una segunda inasistencia, la evaluación correspondiente tendrá nota mínima (1.0).

La inasistencia a las pruebas puede ser justificada o injustificada, no obstante, dependiendo del caso esto afectará el porcentaje de exigencia de la evaluación:

- Inasistencia justificada: 50 % de exigencia.
- Inasistencia injustificada: 70 % de exigencia.

7. Criterios de Aprobación

El curso cuenta con dos posibles criterios de aprobación:

- **Criterio 1:**

$$0.25 \cdot NC + 0.25 \cdot NT + 0.5 \cdot NP \geq 4.5$$

- **Criterio 2:**

$$4.5 \geq 0.25 \cdot NC + 0.25 \cdot NT + 0.5 \cdot NP \geq 4$$

$$NT \geq 4, \quad NC \geq 4, \quad NP \geq 4$$

En caso de reprobar, $NF = \min(0.25 \cdot NC + 0.25 \cdot NT + 0.5 \cdot NP, 3.9)$

8. Política de Recorrección

Las correcciones de Controles, Tareas y Pruebas se harán vía formulario de corrección. Se deberá señalar pregunta, puntaje obtenido, puntaje solicitado y justificación. La justificación deberá estar sólidamente basada en la pauta o rúbrica de la evaluación correspondiente.

Las correcciones pueden subir o bajar el puntaje de la evaluación. En caso de que la corrección sea aceptada, se incorporará una décima adicional a la nueva calificación de la evaluación. En caso contrario, se descontará una décima de la nota corregida.

9. Política ante casos de Copia y/o Plagio

En caso de detectar copia o plagio en alguna evaluación (Control, Tarea, Prueba) y dependiendo de la gravedad de la situación (a criterio del equipo docente), la medida a tomar podrá ser:

- Calificación con nota 1.1 en la evaluación correspondiente.
- Reprobación inmediata del curso y notificación a la Dirección de Pregrado.

10. Bibliografía

- Sadiku, M. (2002). Elements of Electromagnetics, 3d ed. Oxford University Press.
- Griffiths, D. (2013). Introduction to Electrodynamics, 4th ed. Pearson.
- Kraus, J & Fleisch, D. (2000). Electromagnetics with Applications, 5th ed. McGraw-Hill.
- Cheng, D. (1997). Fundamentals of Engineering Electromagnetics. Addison Wesley Longman.
- Ramo, S, et. al. (1984). Fields and waves in communication electronics, 2nd ed. New York, John Wiley.