



# Máster en Energías Renovables y Eficiencia Energética 66338 - Simulación avanzada de sistemas eléctricos con fuentes renovables

Guía docente para el curso 2015 - 2016

Curso: , Semestre: , Créditos: 5.0

---

## Información básica

---

### Profesores

- **María Paz Comech Moreno** mcomech@unizar.es
- **Jesús Letosa Fleta** jletosa@unizar.es
- **Antonio Usón Sardaña** auson@unizar.es

### Recomendaciones para cursar esta asignatura

Conocimientos avanzados de electrotecnia y redes.

Conocimientos básicos de Electromagnetismo.

Capacidad para realizar búsquedas autónomas de información técnica y científica.

Conocimiento suficiente de inglés para lectura de documentación.

### Actividades y fechas clave de la asignatura

La asignatura se imparte en el segundo cuatrimestre.

Al comienzo del cuatrimestre, el profesor informará de la planificación de las actividades docentes y las fechas clave de entrega de ejercicios y de realización de la prueba final de evaluación de la asignatura.

---

## Inicio

---

### Resultados de aprendizaje que definen la asignatura

**El estudiante, para superar esta asignatura, deberá demostrar los siguientes resultados...**

**1:**

Modelar y simular dispositivos y sistemas eléctricos mediante el método de elementos finitos en 2D y 3D,

Nivel básico

- 2:** Describir y establecer condiciones de estabilidad de redes eléctricas en los análisis de sistemas eléctricos de potencia
- 3:** Modelar y simular el funcionamiento en régimen estacionario y transitorio de una red eléctrica

## Introducción

### Breve presentación de la asignatura

Actualmente, los sistemas eléctricos de potencia están experimentando un gran cambio en su estructura debido a la incorporación de la generación proveniente de fuentes de energía renovables y los sistemas de generación y almacenamiento distribuido. La red, anteriormente basada en relativamente pocos generadores síncronos de gran potencia, ha evolucionado para ser una nueva organización con múltiples generadores basados en diferentes tecnologías por lo que algunas de las hipótesis empleadas en los estudios de la red de potencia que se realizaban hasta el momento han dejado de ser válidas. Debido a lo anterior, es necesario analizar el impacto que estos nuevos sistemas pueden provocar en la estabilidad del sistema y en la calidad de suministro.

El modelado y la simulación numérica son especialmente beneficiosos en situaciones donde el sistema real no existe, es demasiado caro o difícil de construir, o cuando experimentar con un sistema real puede causar pérdidas inaceptables. Este es el caso de la simulación del impacto de la generación renovable en la red y para el análisis necesario para la integración de estos nuevos generadores.

Por otra parte, gracias al incremento de la potencia de cálculo de los ordenadores en las últimas décadas, la mayoría de la aproximaciones utilizadas en la ingeniería eléctrica se están revisando, introduciendo la simulación numérica de los campos electromagnéticos involucrados en el problema. Esto permite aproximaciones mejores y optimización de los diseños finales obtenidos.

En la actualidad, uno de los procedimientos más utilizados en la simulación numérica de campos electromagnéticos es el de elementos finitos. En la asignatura, tras una sucinta explicación de las ecuaciones fundamentales y su planteamiento mediante el procedimiento citado, se realizan prácticas básicas con software de simulación en 2D y 3D.

---

## Contexto y competencias

---

### Sentido, contexto, relevancia y objetivos generales de la asignatura

**La asignatura y sus resultados previstos responden a los siguientes planteamientos y objetivos:**

- Saber analizar un sistema eléctrico bajo diferentes condiciones de funcionamiento
- Saber modelar y simular sistemas eléctricos mediante simulación dinámica o transitoria.
- Saber plantear y resolver un problema eléctrico o magnético mediante el método de elementos finitos.

### Contexto y sentido de la asignatura en la titulación

El objetivo fundamental de la asignatura es presentar algunos conocimientos y herramientas de trabajo útiles en el análisis de sistemas eléctricos.

Se trata de una asignatura eminentemente práctica en el que el alumno aprenderá el manejo de herramientas comerciales de simulación electromagnética mediante elementos finitos y de simulación de sistemas eléctricos de potencia que se emplean actualmente en el mundo profesional y de la investigación.

## **Al superar la asignatura, el estudiante será más competente para...**

### **1: Competencias específicas**

**CE1:** Determinar la eficiencia energética de equipos y sistemas eléctricos (incluyendo transporte y distribución) y de los procesos en los que intervienen, aplicando las normativas apropiadas para su determinación: diseño de ensayos, instrumentación y realización de los cálculos necesarios.

**CE5:** Conocer las tecnologías más importantes para la utilización de los principales recursos energéticos renovables: energía solar, eólica y biomasa. Ser capaz de realizar dimensionamiento, selección y prediseño de dichas instalaciones.

### **2: Competencias generales**

**CG1:** Es capaz de adquirir conocimientos avanzados y demostrando, en un contexto de investigación científica y tecnológica o altamente especializado, una comprensión detallada y fundamentada de los aspectos teóricos y prácticos y de la metodología de trabajo en el ámbito de las energías renovables y la eficiencia energética.

**CG2:** Es capaz de aplicar e integrar sus conocimientos, la comprensión de estos, su fundamentación científica y sus capacidades de resolución de problemas en entornos nuevos y definidos de forma imprecisa, incluyendo contextos de carácter multidisciplinar tanto investigadores como profesionales altamente especializados en el ámbito de las energías renovables y la eficiencia energética.

**CG3:** Es capaz de evaluar y seleccionar la teoría científica adecuada y la metodología precisa de sus campos de estudio para formular juicios a partir de información incompleta o limitada incluyendo, cuando sea preciso y pertinente, una reflexión sobre la responsabilidad social o ética ligada a la solución que se proponga en cada caso en el ámbito de las energías renovables y la eficiencia energética.

**CG4:** Es capaz de predecir y controlar la evolución de situaciones complejas mediante el desarrollo de nuevas e innovadoras metodologías de trabajo adaptadas al ámbito científico/investigador, tecnológico o profesional concreto, en general multidisciplinar, en el ámbito de las energías renovables y la eficiencia energética.

**CG5:** Es capaz de transmitir de un modo claro y sin ambigüedades a un público especializado o no, resultados procedentes de la investigación científica y tecnológica o del ámbito de la innovación más avanzada, así como los fundamentos más relevantes sobre los que se sustentan en el ámbito de las energías renovables y la eficiencia energética.

## **Importancia de los resultados de aprendizaje que se obtienen en la asignatura:**

Lo aprendido en esta asignatura permite tratar muchos problemas eléctricos de una forma alternativa al estudio analítico clásico.

El enfoque numérico permite abordar los problemas de una forma más realista, teniendo en cuenta más fenómenos físicos, obteniendo en consecuencia resultados más fiables y poniendo de manifiesto fenómenos que no pueden analizarse mediante los procedimientos clásicos.

En la actualidad los procedimientos de simulación juegan un papel muy importante en el diseño y optimización de nuevos productos.

Concretamente, el método de simulación de campos electromagnéticos por elementos finitos, permite estudiar problemas de interés práctico, tanto eléctricos (aislamientos, situaciones de ruptura dieléctrica etc.) como magnéticos (transformadores, máquinas rotativas, imanes permanentes, etc.).

Respecto a los estudios en régimen permanente, el estudio de flujo de cargas permite analizar el funcionamiento del sistema eléctrico dadas unas condiciones de operación. Con ello se puede comprobar el nivel de carga de los diferentes

componentes del sistema eléctrico (líneas, transformadores, etc.) para así poder evitar sobrecargas en el sistema. El estudio de cortocircuitos permite obtener las corrientes en caso de producirse un cortocircuito en la red y diseñar el sistema de protecciones necesario.

Los estudios en régimen dinámico y en régimen transitorio permiten analizar el comportamiento del sistema eléctrico a lo largo del tiempo tras producirse una perturbación, como puede ser un cortocircuito en la red, la apertura de una línea, la conexión/desconexión de un generador. El objetivo es poder observar posibles problemas de estabilidad en la red. La diferencia entre estos dos tipos de estudios radica en el rango de tiempos de estudio y en los fenómenos que se analizan.

---

## Evaluación

---

### Actividades de evaluación

**El estudiante deberá demostrar que ha alcanzado los resultados de aprendizaje previstos mediante las siguientes actividades de evaluación**

**1:** Existen dos opciones para la evaluación de esta asignatura: Evaluación global y Evaluación Continua

**2:** **Opción 1: (Evaluación global)**

Como regla general para los alumnos que sigan la asignatura de forma independiente al desarrollo de las clases o no deseen participar en las actividades propuestas, la nota de la asignatura es la obtenida en las pruebas de las convocatorias oficiales que consistirán en:

Prueba final, escrita, individual, con varios ejercicios de aplicación o preguntas cortas con las que el estudiante debe demostrar su competencia en los resultados de aprendizaje.

**3:** **Opción 2: (Evaluación continua)**

El estudiante deberá mantener una carpeta individual con las actividades que se realicen en clase, debidamente aclaradas, ordenadas y puestas en limpio siguiendo el formato que se le indique a principio de la asignatura.

El estudiante deberá realizar un trabajo práctico de los que se le propongan durante el desarrollo de la asignatura.

La evaluación de la asignatura se compondrá del siguiente modo:

Nota final = 30 % evaluación del trabajo del estudiante en clase + 70 % evaluación del trabajo práctico

El trabajo en clase de los estudiantes se evaluará mediante la revisión de la carpeta y mediante las pruebas cortas en clase que el profesor considere oportunas.

El trabajo práctico de la asignatura se evaluará mediante una rúbrica que se entregará el primer día de clase.

---

## Actividades y recursos

---

### Presentación metodológica general

**El proceso de aprendizaje que se ha diseñado para esta asignatura se basa en lo siguiente:**

De acuerdo al nuevo marco de Bolonia en esta asignatura están planificadas tanto las actividades presenciales como las no presenciales de los estudiantes. Esta planificación estará a disposición de los estudiantes al principio de la misma.

Dado que la asignatura está dividida en dos partes, con profesores diferentes en cada una de ellas, en cada parte se seguirá la metodología docente que el profesor encargado de cada parte considera más efectiva para conseguir los objetivos que se persiguen.

Todos los materiales del curso se facilitan en formato electrónico en Moodle (Anillo Digital Docente de la Universidad de Zaragoza), con información complementaria para que el alumno que lo desee pueda profundizar particularmente en alguno de los temas.

## **Actividades de aprendizaje programadas (Se incluye programa)**

### **El programa que se ofrece al estudiante para ayudarle a lograr los resultados previstos comprende las siguientes actividades...**

- 1:** Sesiones de teoría: exposición de los conceptos técnicos de las materias abordadas a través de clases magistrales. Parte de la materia se abordará a través de artículos de investigación, los cuales se discutirán en clase como ejercicio de autoaprendizaje.
- 2:** Realización de ejercicios prácticos: Estos ejercicios los resuelve siempre el alumno (normalmente en pequeños grupos), se discute entre grupos y son el apoyo para fijar la comprensión de los conceptos teóricos expuestos.
- 3:** Sesiones de laboratorio: consisten en análisis por simulación de los casos propuestos por el profesor en cada una de las sesiones.
- 4:** La realización de un trabajo de asignatura: tendrá un enfoque de introducción a la investigación. En este trabajo, los alumnos deberán estudiar y analizar nueva documentación sobre un tema concreto asignado por el profesor y obtener y presentar sus propias conclusiones en un aspecto concreto de la asignatura, con mayor profundidad.

## **Planificación y calendario**

### **Calendario de sesiones presenciales y presentación de trabajos**

La asignatura está dividida en dos partes cuyos contenidos se detallan a continuación:

#### **Parte I: El método de elementos finitos para la resolución de problemas electromagnéticos**

##### Parte teórica:

Fundamentos de teoría electromagnética: Problemas estáticos, Problemas electrodinámicos de baja frecuencia, Condiciones de contorno.

##### Parte práctica:

Introducción al manejo de programas 2D y 3D de elementos finitos. Resolución de ejemplos básicos.

#### **Parte II: Simulación de sistemas eléctricos de potencia**

##### Parte teórica:

Estabilidad en sistemas eléctricos de potencia

Introducción a la simulación de sistemas eléctricos de potencia.

##### Parte práctica:

Introducción al manejo de programas comerciales de simulación en régimen permanente. Resolución de ejemplos básicos.

Introducción al manejo de programas comerciales de simulación en régimen dinámico. Resolución de ejemplos básicos.

Introducción al manejo de programas comerciales de simulación en régimen transitorio. Resolución de ejemplos básicos.

## **Referencias bibliográficas de la bibliografía recomendada**

- Anderson, Paul M.. Power system control and stability / P.M. Anderson, A.A. Fouad . - 2nd ed. Piscataway, NJ : IEEE Press, cop. 2003
- Brauer. J.R.. What every engineer should know about Finite Element Analysis / J.R. Brauer Marcel Dekker, Inc. 1993.
- Grainger, John J.. Análisis de sistemas de potencia / John J. Grainger, William D. Stevenson ; traducción Carlos Lozano Sousa ; revisión técnica Pedro Rendón Torres . - 1a ed. en español México : McGraw-Hill, 1996
- Hammond, P.. Engineering electromagnetism : physical processes and computation / P. Hammond and J.K. Sykulski . - Reprint. 1995 New York [etc.] : Oxford University Press, 1995
- Lowther, D.A.. Computer-Aided Design in Magnetics / D.A.Lowther, P.P. Silvester Springer-Verlag, NY,1986
- Sistemas eléctricos de potencia : problemas y ejercicios/ Antonio Gómez Expósito...[et al.] Madrid [etc.] : Prentice Hall, D.L. 2002