



## Grado en Ingeniería Energética

### DATOS DE LA ASIGNATURA

**Nombre:**

Operación de los Sistemas de Energía Eléctrica

**Denominación en inglés:**

Operation of Electric Power Systems

**Código:**

606711217

**Carácter:**

Obligatorio

**Horas:**

	Totales	Presenciales	No presenciales
Trabajo estimado:	150	60	90

**Créditos:**

Grupos reducidos				
Grupos grandes	Aula estándar	Laboratorio	Prácticas de campo	Aula de informática
4.5	0	0	0	1.5

**Departamentos:**

Ingeniería Eléctrica y Térmica, de Diseño y Proyectos

**Áreas de Conocimiento:**

Ingeniería Eléctrica

**Curso:**

3º - Tercero

**Cuatrimestre:**

Segundo cuatrimestre

### DATOS DE LOS PROFESORES

**Nombre:****E-Mail:****Teléfono:****Despacho:**

\*Flores Garrido, Juan Luis

juan.flores@die.uhu.es

959217584

ALPB10

\*Profesor coordinador de la asignatura

## DATOS ESPECÍFICOS DE LA ASIGNATURA

### 1. Descripción de contenidos

#### 1.1. Breve descripción (en castellano):

Flujo de cargas.  
Control de frecuencia del sistema eléctrico de potencia.  
Control de tensiones en el sistema de potencia.  
Análisis de contingencias.  
Estabilidad en los sistemas de potencia.

#### 1.2. Breve descripción (en inglés):

Power flow.  
Control of the power system frequency.  
Control of the power system voltages.  
Contingency analysis.  
Stability of the power system.

### 2. Situación de la asignatura

#### 2.1. Contexto dentro de la titulación:

Esta asignatura constituye la continuación natural de "Sistemas eléctricos de potencia", del primer cuatrimestre. Una vez conocidos los elementos de la red, su modelización y su comportamiento en distintas condiciones, se pretende dar a conocer los complejos mecanismos de análisis, regulación y operación de un sistema de potencia de grandes dimensiones. De esta forma los estudiantes tendrán una visión global completa del principal sistema de suministro de energía a los consumidores. Los conocimientos adquiridos en esta asignatura serán útiles para un mejor aprovechamiento de asignaturas impartidas simultáneamente o posteriormente, como "Generación distribuida", "Diseño y control de acondicionadores de potencia" y "Calidad del suministro eléctrico".

#### 2.2. Recomendaciones:

Es muy importante haber cursado y estudiado la asignatura "Sistemas Eléctricos de Potencia" en el primer cuatrimestre del mismo curso. También sería conveniente haber superado las asignaturas de "Física" y "Matemáticas", y estas otras: "Fundamentos de ingeniería eléctrica", "Tecnología eléctrica", "Sistemas de producción de energía eléctrica" y "Centrales eléctricas".

### 3. Objetivos (Expresados como resultados del aprendizaje):

- Entender la importancia y complejidad del control de un sistema de energía eléctrica.
- Conocer los métodos de cálculo de flujos de carga.
- Conocer la estructura y detalles del control de frecuencia.
- Entender el control de tensiones.
- Ser capaz de realizar análisis de contingencias.
- Conocer el significado de "estabilidad del sistema" y las condiciones para garantizarla.
- Ser capaz de integrarse en el entorno de trabajo de centros de control de compañías eléctricas.

### 4. Competencias a adquirir por los estudiantes

#### 4.1. Competencias específicas:

- **O01:** Conocimiento aplicado sobre operación de los sistemas de energía eléctrica
- **O21:** Resolver problemas numéricos en los que intervengan los distintos componentes de un sistema de potencia
- **O22:** Aplicar los conceptos, circuitos y métodos desarrollados, en el análisis y solución de problemas prácticos
- **O23:** Establecer los principios de funcionamiento del control y la explotación de los grandes sistemas eléctricos de potencia interconectados
- **O24:** Analizar el sistema de control moderno de potencia-frecuencia
- **O25:** Estudiar el sistema de control de tensiones
- **O26:** Establecer los fundamentos y la metodología de resolución del problema del flujo de cargas
- **O27:** Resolver cuestiones sobre contingencias en redes

#### 4.2. Competencias básicas, generales o transversales:

- **CB2:** Que los estudiantes sepan aplicar sus conocimientos a su trabajo o vocación de una forma profesional y posean las competencias que suelen demostrarse por medio de la elaboración y defensa de argumentos y la resolución de problemas dentro de, su área de estudio
- **CB4:** Que los estudiantes puedan transmitir información, ideas, problemas y soluciones a un público tanto especializado como no especializado
- **CG01:** Capacidad para la resolución de problemas
- **CG04:** Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica
- **CG06:** Actitud de motivación por la calidad y mejora continua
- **CG17:** Capacidad para el razonamiento crítico
- **T02:** Conocimiento y perfeccionamiento en el ámbito de las TIC's

## 5. Actividades Formativas y Metodologías Docentes

### 5.1. Actividades formativas:

- Sesiones de Teoría sobre los contenidos del Programa.
- Sesiones de Resolución de Problemas.
- Sesiones Prácticas en Laboratorios Especializados o en Aulas de Informática.
- Actividades Académicamente Dirigidas por el Profesorado: seminarios, conferencias, desarrollo de trabajos, debates, tutorías colectivas, actividades de evaluación y autoevaluación.

### 5.2. Metodologías docentes:

- Clase Magistral Participativa.
- Desarrollo de Prácticas en Laboratorios Especializados o Aulas de Informática en grupos reducidos.
- Resolución de Problemas y Ejercicios Prácticos.
- Tutorías Individuales o Colectivas. Interacción directa profesorado-estudiantes.
- Evaluaciones y Exámenes.

### 5.3. Desarrollo y justificación:

**SESIONES DE TEORÍA Y PROBLEMAS:** Se ofrecerá una visión general y sistemática de los temas destacando los aspectos más importantes de los mismos, ofreciendo al alumno motivación, diálogo e intercambio de ideas. Las clases teóricas y de resolución de problemas se desarrollarán en el aula. Se incluirá resolución de un elevado número de problemas numéricos para reforzar los conceptos teóricos. Se utilizarán como recursos el videoprojector, la pizarra y acceso a internet, con uso frecuente de sitios web de determinados organismos y empresas relacionadas con la operación y control del sistema eléctrico. Se facilitará al alumno abundante material de estudio para la asignatura, tanto apuntes completos de los temas, como otra documentación de interés, incluyendo vínculos a páginas web relacionadas con la asignatura. Aunque también se tomará algún libro como referencia. Se empleará el sitio web específico de la asignatura en la plataforma Moodle del Campus Virtual de la Universidad de Huelva para la difusión de materiales de estudio y comunicación con los estudiantes. <https://aulasvirtuales.uhu.es/>.

**SESIONES DE PRÁCTICAS:** Tendrán lugar en un aula de informática. Se realizará programación de cálculos, análisis y simulaciones de diversos tipos. Se emplearán principalmente las herramientas MatLab y PowerWorld. Las sesiones de prácticas serán de 1,5 horas. La asistencia a todas las prácticas no es obligatoria para aprobar la asignatura, pero será necesario haber asistido a un mínimo del 70% para poder hacer el examen de prácticas.

**ACTIVIDAD DIRIGIDA DE EVALUACIÓN:** Para hacer un seguimiento individual del estudiante se realizará una prueba en alguna de las últimas sesiones de clase, mediante un cuestionario con preguntas cortas que deberán responder. Las preguntas serán sobre los conceptos más relevantes de los diversos temas, de forma que se pueda evaluar con un pequeño peso el progreso de los estudiantes durante el periodo de clases.

**TUTORÍAS:** Los alumnos disponen de la posibilidad de acudir a tutoría en un amplio horario a lo largo de todo el curso. El profesor procurará animar a los alumnos a que acudan a tutorías individuales para mejorar la comprensión de la materia.

## 6. Temario desarrollado:

### 1. INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS DE SISTEMAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

- 1.1. Repaso de transformadores y generador síncrono.
- 1.2. Repaso de sistemas por unidad.
- 1.3. Modelo de la red.
- 1.4. El problema del flujo de potencias.
- 1.5. Pérdidas y flujos de potencia en las líneas.

### 2. MÉTODO DE GAUSS-SEIDEL

- 2.1. Demostración del método.
- 2.2. Pasos del método.
- 2.3. Resolución de problemas.

### 3. MÉTODO DE NEWTON-RAPHSON

- 3.1. Demostración del método.
- 3.2. Pasos del método.
- 3.3. Resolución de problemas.

### 4. MÉTODO DESACOPLADO RÁPIDO

- 4.1. Demostración del método.
- 4.2. Pasos del método.
- 4.3. Resolución de problemas.

### 5. MÉTODO DE FLUJO DE POTENCIAS EN CONTINUA.

- 5.1. Demostración del método.
- 5.2. Pasos del método.
- 5.3. Resolución de problemas.

### 6. OPERACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN

- 6.1. Introducción.
- 6.2. Despacho económico en red sin pérdidas.
- 6.3. Despacho económico en red con pérdidas.
- 6.4. Cálculo de los factores de penalización.
- 6.5. Flujo óptimo de potencias.
- 6.6. Efectos del mercado eléctrico y de centrales especiales.

### 7. ESTABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE POTENCIA

- 7.1. El problema de la estabilidad transitoria.
- 7.2. Ecuación de oscilación.
- 7.3. La máquina síncrona en estudios de estabilidad.
- 7.4. Estabilidad de pequeña perturbación. Criterio de igualdad de áreas.
- 7.5. Solución numérica de la ecuación de oscilación.
- 7.6. Factores que afectan a la estabilidad.

### 8. CONTROL DEL SISTEMA

- 8.1. Introducción.
- 8.2. Potencia reactiva y control de tensiones.
- 8.3. Sistemas de control.
- 8.4. Control primario de frecuencia en un generador.
- 8.5. Control primario de frecuencia en un área.
- 8.6. Control secundario de frecuencia y AGC.
- 8.7. Centros de control

### PRÁCTICAS DE SIMULACIÓN:

- Práctica 1. Análisis mediante Gauss Seidel con MatLab.
- Práctica 2. Análisis mediante Newton Raphson con MatLab.
- Práctica 3. Análisis mediante método Desacoplado Rápido con MatLab.
- Práctica 4. Métodos de análisis con PowerWorld.
- Práctica 5. Despacho económico y flujo óptimo de potencias.
- Práctica 6. Control de tensiones y flujos de potencia. Análisis de contingencias.
- Práctica 7. Análisis de estabilidad transitoria.

## 7. Bibliografía

### 7.1. Bibliografía básica:

- "SISTEMAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA", F. Barrero, Thomson, 2004.
- "SISTEMAS DE POTENCIA: ANÁLISIS Y DISEÑO", J. D. Glover, M. S. Sarma. Thomson, 2004.
- "POWER SYSTEM ANALYSIS AND DESIGN", 6th ed., J. D. Glover, Overbye, Sarma. Cengage, 2016.
- "POWER SYSTEM ANALYSIS", Hadi Saadat. PSA Publishing, 2010.
- "SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA", Kothari, D.P. McGraw Hill Interamericana, 2008

### 7.2. Bibliografía complementaria:

"ANÁLISIS Y OPERACIÓN DE SISTEMAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA", A. Gómez Expósito, McGraw-Hill, 2002  
"SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA. PROBLEMAS Y EJERCICIOS RESUELTOS", A. Gómez Expósito y otros, Prentice Hall, 2002.  
"SIMULACIÓN DE SISTEMAS ELÉCTRICOS", M. I. Zamora y otros, Pearson - Prentice Hall, 2005.  
"PROBLEMAS RESUELTOS DE SISTEMAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA", I. J. Ramírez y otros, Thomson, 2007.  
"ANÁLISIS DE SISTEMAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA", J. Coto Aladros, Servicio de Publicaciones Universidad de Oviedo, 2002.  
"POWER SYSTEM MODELLING AND SCRIPTING", F. Milano, Springer Verlag, 2010.  
"MODERN POWER SYSTEMS ANALYSIS" Xi Fan Wang, Springer Verlag, 2008.

## 8. Sistemas y criterios de evaluación.

### 8.1. Sistemas de evaluación:

- Examen de teoría/problemas
- Examen de prácticas

### 8.2. Criterios de evaluación y calificación:

La evaluación se realizará en base a los resultados de las prácticas y un examen final escrito. Para aprobar la asignatura hay que aprobar el examen final escrito (mitad de la nota). Una vez aprobado el examen se suma la nota obtenida en prácticas. Se ha de obtener una nota total de 5 sobre 10 para aprobar la asignatura. Si no se asiste a un mínimo del 70% de las prácticas de laboratorio no se podrá hacer el examen de prácticas. En algunos casos excepcionales en que se tenga buena nota de prácticas y se haya demostrado buena participación en las clases, y en el examen final falten pocas décimas para el aprobado, el profesor podrá decidir hacer un redondeo y aprobar con una nota global de 5. El peso de las actividades de evaluación es el siguiente:

- Examen final escrito de teoría y problemas (75%)
- Prácticas (20%).
- Seguimiento del estudiante (5%).

**EXAMEN FINAL ESCRITO (75%):** Constará de dos partes, cada una de 5 puntos sobre 10. Cada parte corresponderá a un bloque de temas (flujo de cargas por un lado, y el resto de temas por otro). En cada parte habrá preguntas teóricas y problemas. Hay que demostrar unos conocimientos mínimos en ambos bloques de temas, alcanzando al menos un tercio de la nota correspondiente a cada una de las partes para poder aprobar. Es importante la notación y nomenclatura exacta tanto en la teoría como en los problemas. Por otro lado se darán indicaciones sobre el uso permitido de calculadoras para que todos los alumnos estén en igualdad de condiciones. Se evaluará con este examen la adquisición de las competencias O01, O21, O22, O23, O24, O26, O27, CG01, CG06.

**EXAMEN DE PRÁCTICAS (20%):** Examen práctico final en el aula de informática. El examen práctico final se realizará sólo una vez, al final del cuatrimestre. En caso de haber asistido a las prácticas y no haber hecho el examen de prácticas, si se aprueba el examen final escrito y la nota total no alcanza los 5 puntos, se tendrá derecho a realizar el examen práctico con posterioridad. La nota de prácticas se mantiene en futuras convocatorias. En caso de repetir la asignatura, se deberá optar entre mantener la nota obtenida con anterioridad, asistir de nuevo a las prácticas y hacer el examen, o sólo hacer el examen práctico (si se asistió a la mayoría de prácticas el año anterior). Se evaluarán con este examen las competencias CB2, CG04, CG06, CG17, T02.

**SEGUIMIENTO INDIVIDUAL DEL ESTUDIANTE (5%):** En alguna de las últimas sesiones de clase se pasará un cuestionario con preguntas cortas sobre los aspectos más relevantes de los temas impartidos, para fomentar un poco el estudio temprano de la materia y disponer de una herramienta adicional (además de la participación observada en clases y prácticas) para seguimiento individual del estudiante. Se podrá proponer desde la plataforma moodle la consulta de determinadas cuestiones en sitios web en inglés y/o la realización de ejercicios de simulación de sistemas eléctricos. Se evalúan las competencias CB4, CG17, T02

**9. Organización docente semanal orientativa:**

	Semanas	Grupos Grandes	Grupos Reducidos Aula Estándar	Grupos Reducidos Aula de Informática	Grupos Reducidos Laboratorio	Grupos Reducidos prácticas de campo	Pruebas y/o actividades evaluables	Contenido desarrollado
#1	3	0	0	0	0			Tema 1
#2	3	0	0	0	0			Tema 1
#3	3	0	0	0	0			Tema 2
#4	3	0	1.5	0	0			Tema 2
#5	3	0	1.5	0	0			Tema 3
#6	3	0	1.5	0	0			Tema 3
#7	3	0	1.5	0	0			Tema 4
#8	3	0	1.5	0	0			Tema 4
#9	3	0	1.5	0	0			Tema 5
#10	3	0	1.5	0	0			Tema 6
#11	3	0	1.5	0	0			Tema 6
#12	3	0	1.5	0	0			Tema 7
#13	3	0	0	0	0	Cuestionario seguimiento		Tema 7
#14	3	0	1.5	0	0	Examen de prácticas		Tema 8
#15	3	0	0	0	0			Tema 8
	45	0	15	0	0			