

PLAN DOCENTE DE LA ASIGNATURA

Curso académico: 2024/2025

Identificación y características de la asignatura													
Código	503028	Créditos ECTS	6										
Denominación (español)	Máquinas Eléctricas												
Denominación (inglés)	Electrical Machines												
Titulaciones	Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales												
Centro	Escuela de Ingenierías Industriales												
Semestre	6º	Carácter	Obligatoria										
Módulo	Tecnología Específica de Tecnologías Industriales												
Materia	Ingeniería Eléctrica												
Profesorado													
Nombre	Despacho	Correo-e	Página web										
María Isabel Milanés Montero	D2.10	milanes@unex.es	campusvirtual.unex.es										
Área de conocimiento	Ingeniería Eléctrica												
Departamento	Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Automática												
Profesor/a coordinador/a (si hay más de uno)													
Competencias (ver tabla en http://bit.ly/competenciasGrados)													
Competencias Básicas	Marcar con una "X"	Competencias Generales	Marcar con una "X"	Competencias Transversales	Marcar con una "X"	Competencias Específicas FB	Marcar con una "X"	Competencias Específicas CRI	Marcar con una "X"	Competencias Específicas TE	Marcar con una "X"	Competencias Específicas TE y CETFG	Marcar con una "X"
CB1	X	CG1	X	CT1	X	CEFB1		CECRI1		CETE1		CETE11	
CB2	X	CG2	X	CT2	X	CEFB2		CECRI2		CETE2	X	CETE12	
CB3	X	CG3	X	CT3	X	CEFB3		CECRI3		CETE3		CETE13	
CB4	X	CG4	X	CT4	X	CEFB4		CECRI4		CETE4		CETE14	
CB5	X	CG5	X	CT5	X	CEFB5		CECRI5		CETE5		CETE15	
		CG6	X	CT6	X	CEFB6		CECRI6		CETE6		CETE16	
		CG7	X	CT7	X			CECRI7		CETE7		CETE17	
		CG8	X	CT8				CECRI8		CETE8		CETE18	
		CG9	X	CT9				CECRI9		CETE9		CETE19	
		CG10		CT10				CECRI10		CETE10		CETE20	
		CG11						CECRI11				CETFG	
		CG12						CECRI12					

Contenidos
Breve descripción del contenido
Transformadores. Máquinas eléctricas rotativas: máquina asíncrona, máquina síncrona, máquina de corriente continua. Arranque y control de máquinas rotativas.
Temario de la asignatura
<p>Denominación del tema 1: EL TRANSFORMADOR</p> <p>Contenidos del tema 1:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Acoplamiento en paralelo de transformadores. 2. Transformadores de tres devanados. 3. Autotransformadores. Transformadores de tomas. Transformadores de medida y protección. 4. Comportamiento del transformador ante desequilibrio. <p>Descripción de las actividades prácticas del tema 1: Práctica de laboratorio LAB1: Determinación experimental del índice horario de un transformador. Duración: 2 horas (1 sesión). Seminario SEM1: Resolución de problemas del transformador. Duración: 1,5 horas (1 sesión).</p>
<p>Denominación del tema 2: ASPECTOS GENERALES DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS</p> <p>Contenidos del tema 2:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Fundamentos de la conversión electromecánica: <ol style="list-style-type: none"> a. Ley de Faraday-Lenz: Generador elemental. b. Ley de Laplace: Motor elemental. c. Reversibilidad. Simultaneidad de la acción generadora y motora. 2. Clasificación general de las máquinas rotativas. Aspectos constructivos. 3. Máquina multipolar: velocidad y pulsación. Ángulos eléctricos y mecánicos. <p>Descripción de las actividades prácticas del tema 2: Práctica de laboratorio LAB2: Constitución y funcionamiento de las máquinas rotativas. Duración: 2 horas (1 sesión).</p>
<p>Denominación del tema 3: LA MÁQUINA ROTATIVA DE CORRIENTE CONTINUA</p> <p>Contenidos del tema 3:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Aspectos constructivos. 2. Principio de funcionamiento de la máquina de corriente continua: funcionamiento como generador y como motor. 3. Reacción de inducido. 4. Generadores de corriente continua. <ol style="list-style-type: none"> a. Circuito equivalente y balance de potencias. b. Sistemas de excitación del generador de corriente continua. 5. Motores de corriente continua. <ol style="list-style-type: none"> a. Circuito equivalente y balance de potencias. b. Sistemas de excitación del motor de corriente continua. c. Características de servicio del motor de corriente continua con excitación independiente o derivación. Regulación de velocidad. <p>Descripción de las actividades prácticas del tema 3: Práctica de laboratorio LAB3: Funcionamiento del generador de corriente continua con excitación independiente. Estudio de la característica de vacío. Funcionamiento del motor de corriente continua con excitación derivación. Regulación de velocidad. Duración: 2 horas (1 sesión). Seminario SEM2: Resolución de problemas de la máquina de corriente continua. Duración: 1,5 horas (1 sesión).</p>

Denominación del tema 4: LA MÁQUINA ROTATIVA DE CORRIENTE ALTERNA

Contenidos del tema 4:

1. Principio de funcionamiento de las máquinas rotativas de corriente alterna. Teorema de Ferraris.
2. Fuerza electromotriz en las fases de un bobinado distribuido de corriente alterna. Factores de corrección.
3. Clasificación de las máquinas rotativas de corriente alterna. Deslizamiento.

Descripción de las actividades prácticas del tema 3:

Práctica de informática INF1: Simulación del Teorema de Ferraris.

Duración: 1,5 hora (1 sesión).

Denominación del tema 5: LA MÁQUINA DE INDUCCIÓN

Contenidos del tema 5:

1. Aspectos constructivos.
2. Principio de funcionamiento de la máquina de inducción: funcionamiento como motor, transformador, generador y freno.
3. Circuito equivalente de la máquina real.
4. Circuito equivalente a frecuencia única.
5. Balance de potencias.
6. Curvas par-deslizamiento y par-velocidad.
7. Ensayos.
8. Arranque de un motor de inducción.
 - a. Arranque directo
 - b. Arranque por autotransformador
 - c. Arranque estrella-triángulo
 - d. Arranque por inserción de resistencias rotóricas
 - e. Arranque con convertidores electrónicos
9. Motor de inducción monofásico.

Descripción de las actividades prácticas del tema 4:

Práctica de laboratorio LAB4: Ensayos de la máquina asíncrona.

Duración: 2 horas (1 sesión).

Seminario SEM3: Resolución de problemas de la máquina asíncrona.

Duración: 1,5 horas (1 sesión).

Denominación del tema 6: LA MÁQUINA SÍNCRONA

Contenidos del tema 5:

1. Aspectos constructivos. Sistema de excitación.
2. Principio de funcionamiento de la máquina síncrona: funcionamiento como generador y como motor.
3. Funcionamiento del alternador en vacío y en carga. Reacción de inducido.
4. Diagrama vectorial y circuito equivalente.
 - a. Máquina síncrona con rotor liso.
 - b. Máquina síncrona con rotor de polos salientes.
5. Características de vacío y cortocircuito de la máquina síncrona. Determinación de la impedancia síncrona.
6. Cálculo de potencia activa y reactiva en un alternador.
 - a. Máquina síncrona con rotor liso.
 - b. Máquina síncrona con rotor de polos salientes.
7. El generador síncrono en funcionamiento aislado.
8. El generador síncrono acoplado a una red de potencia infinita.
9. Motor síncrono.

Descripción de las actividades prácticas del tema 5:

Práctica de laboratorio LAB5: Relaciones velocidad-frecuencia en máquinas rotativas.

Duración: 2 horas (1 sesión).

Práctica de laboratorio LAB6: Ensayos de la máquina síncrona.

Duración: 2 horas (1 sesión).

Práctica de laboratorio LAB7: Acoplamiento de un generador síncrono a la red eléctrica.

Duración: 2 horas (1 sesión).

Seminario SEM4: Resolución de problemas de la máquina síncrona.

Duración: 1,5 horas (1 sesión).

Actividades formativas

Horas de trabajo del estudiante por tema		Horas Gran grupo	Actividades prácticas				Actividad de seguimiento	No presencial
Tema	Total		CH	L	O	S		
1	12,5	3		2		1,5		6
2	7	2		2				3
3	21	4		2		1,5	1,5	12
4	7,5	2			1,5			4
5	29,5	6		2		1,5		20
6	33,5	6		6		1,5		20
Evaluación	39	7		1			1,5	29,5
Act. Ev.1-T1	4	1						3
Act. Ev.2-T3	4	1						3
Act. Ev.3-T5	4	1						3
Act. Ev.4-T6	4	1						3
Act. Ev.5-ABP	2,5						1,5	1
Prueba Final	20,5	3		1				16,5
TOTAL	150	30		15	1,5	6	3	94,5

GG: Grupo Grande (85 estudiantes).

PCH: Actividades de prácticas clínicas hospitalarias (7 estudiantes)

L: Actividades de laboratorio o prácticas de campo (15 estudiantes)

O: Actividades en sala de ordenadores o laboratorio de idiomas (20 estudiantes)

S: Actividades de seminario o de problemas en clase (40 estudiantes).

TP: Tutorías Programadas (seguimiento docente, tipo tutorías ECTS).

EP: Estudio personal, trabajos individuales o en grupo, y lectura de bibliografía.

Metodologías docentes

De entre las metodologías docentes incluidas en el plan de estudios del título, en la presente asignatura se utilizan las siguientes:

Metodologías docentes	Se indican con una "X" las utilizadas
1. Clase magistral. Exposición de contenidos por parte del profesor.	X
2. Sesiones de trabajo utilizando metodología del caso.	X
3. Sesiones de trabajo en el aula para la resolución de ejercicios.	X
4. Desarrollo de prácticas en espacios con equipamiento especializado (laboratorios, aulas de informática, trabajo de campo, empresas).	X
5. Visitas técnicas a instalaciones.	X
6. Desarrollo, redacción y análisis, individualmente o en grupo, de trabajos, memorias, ejercicios, problemas, y estudios de caso, sobre contenidos y técnicas, teóricos y prácticos, relacionados con la materia.	X
7. Pruebas, exámenes, defensas de trabajos, prácticas, etc. Pudiendo ser orales o escritas e individuales o en grupo.	X
8. Estudio del alumno. Preparación y análisis individual de textos, casos, problemas, etc.	X
9. Aprendizaje supervisado y tutelado por el profesor para, a través de la interacción individual entre alumno y tutor, detectar posibles problemas del proceso formativo, conocer los resultados del aprendizaje fuera del escenario del aula y programar los procesos de trabajo del alumno en actividades no presenciales como memorias, trabajo fin de grado, preparación de la defensa del mismo, etc.	X

Resultados de aprendizaje

Adquirir una visión generalizada de los principios de conversión electromagnética y electromecánica y los conocimientos de Teoría General de Máquinas Eléctricas necesarios para aplicarlos al cálculo y análisis de máquinas eléctricas. Identificar las características de las máquinas eléctricas presentes habitualmente en un sistema de energía eléctrica en función de su aplicación. Conocer el principio de funcionamiento y reversibilidad de las máquinas eléctricas. Profundizar en el análisis en régimen permanente del transformador y de las máquinas eléctricas rotativas de corriente continua y corriente alterna síncronas y asíncronas. Manejar adecuadamente la instrumentación y material de laboratorio necesarios para realizar ensayos y puesta en carga de máquinas eléctricas. Conocer los métodos básicos de arranque y control de las máquinas eléctricas y los fundamentos de los accionamientos.

Sistemas de evaluación

Criterios de evaluación:

CE1. Demostrar la comprensión de los principales conceptos de la asignatura, exponiendo con claridad y rigor los conocimientos adquiridos.

Relacionado con las competencias CETE2, CB1, CB2, CB4, CB5, CG1, CG2, CG5-CG7, CT3-CT5, CT6

CE2. Demostrar la capacidad técnica para analizar los transformadores y las máquinas eléctricas rotativas en régimen permanente.

Relacionado con las competencias CETE2, CB1-CB3, CB5, CG1,CG2, CG4-CG7, CT1-CT6

- CE3. Ser capaz de realizar montajes experimentales para ensayar y analizar el funcionamiento de los transformadores y las máquinas eléctricas rotativas.
Relacionado con las competencias CETE2, CB2, CB3, CG3-CG6, CT1-CT3, CT6
- CE4. Analizar críticamente y con rigor los resultados de las actividades prácticas.
Relacionado con las competencias CETE2, CB2-CB3, CG4-CG7, CT2, CT3, CT5, CT6
- CE5. Participar activamente en las actividades grupales, demostrando capacidad de cooperación con el resto de los integrantes del grupo y capacidad de liderazgo en las actividades que coordine.
Relacionado con las competencias CETE2, CB2, CB5, CG1, CG2, CG4, CG6, CG8-CG9 CT2, CT3, CT5
- CE6. Desarrollar en equipo un proyecto a partir de unas especificaciones y ser capaz de realizar una presentación técnica del proyecto con concreción y claridad.
Relacionado con las competencias CETE2, CB2-CB5, CG1-CG4, CG6, CG8-CG9, CT1-CT4, CT7
- CE7. Demostrar un adecuado manejo de la instrumentación y material de laboratorio, así como de los programas de simulación empleados en la asignatura.
Relacionado con las competencias CETE2, CB2, CB5, CG3, CG6, CT1, CT4, CT5, CT7

Actividades de evaluación:

De entre las actividades de evaluación incluidas en el plan de estudios del título, en la presente asignatura se utilizan las siguientes:

	Rango establecido	Convocatoria ordinaria	Convocatoria extraordinaria	Evaluación global
1. Examen final teórico/práctico y/o exámenes parciales acumulativos y/o eliminatorios.	0%-80%	80%	80%	65%
2. Aprovechamiento de actividades prácticas realizadas en: aula, laboratorio, sala de ordenadores, campo, visitas, etc.	0%-50%			
3. Resolución y entrega de actividades (casos, problemas, informes, trabajos, proyectos, etc.), individualmente y/o en grupo (GG, SL, ECTS).	0%-50%	20% NO RECUPERABLE	20% NO RECUPERABLE	35%
4. Participación activa en clase.	0%-10%			
5. Asistencia a las actividades presenciales.	0%-10%			

Descripción de las actividades de evaluación:

POR MOTIVOS DE SEGURIDAD, LA ASISTENCIA A CADA PRÁCTICA DE LABORATORIO ESTARÁ CONDICIONADA POR LA SUPERACIÓN DE UN TEST PREVIO SOBRE CUESTIONES BÁSICAS RELACIONADAS CON LA PRÁCTICA Y/O LA ENTREGA DE UN PRELAB. SERÁ IMPRESCINDIBLE TRAER IMPRESO O DESCARGADO EN UN PORTÁTIL/TABLETA EL GUIÓN DE LA PRÁCTICA DE LABORATORIO/INFORMÁTICA A LA SESIÓN CORRESPONDIENTE (NO SE PERMITE USAR EL MÓVIL PARA SEGUIR EL GUIÓN DE LA PRÁCTICA).

EVALUACIÓN CONTINUA

ACTIVIDAD 1 (RECUPERABLE en la convocatoria extraordinaria):

1.1.- Prueba final-Examen escrito (65% de la nota final)

El examen escrito constará de 4 partes:

1. Transformador
2. Máquina de corriente continua
3. Máquina asíncrona
4. Máquina síncrona

Cada parte, que constará de cuestiones teóricas y/o prácticas, se calificará entre 0 y 10 puntos. Podrá hacerse media entre las partes a partir de una calificación no inferior a 4 puntos, siendo necesaria, una nota media de **5 puntos para superar este examen.**

1.2.- Prueba final-Examen práctico (15% de la nota final)

Los alumnos que superen el examen escrito serán convocados a un examen práctico de la asignatura, consistente en el montaje de una práctica similar a las realizadas en el laboratorio o aula de informática a lo largo del curso. Este examen se calificará entre 0 y 10 puntos según la aptitud demostrada y contribuirá con un **10%** en la calificación final de la asignatura. Será necesario obtener una calificación igual o superior a **5 puntos para superar este examen**.

La memoria de la práctica de laboratorio/informática que ha correspondido al alumno en el examen práctico será calificada entre 0 y 10 puntos, contribuyendo con un **5%** en la calificación final de la asignatura. Si el alumno no asistió a esa práctica cuando fue convocada por causa injustificada, o no subió la memoria de la práctica a la tarea correspondiente del Campus Virtual en tiempo y forma, tendrá 0 puntos en esta prueba.

ACTIVIDAD 3 (NO RECUPERABLE en la convocatoria extraordinaria. La calificación obtenida en la convocatoria ordinaria será sumada a la nota final de la convocatoria extraordinaria):

3.1.- Resolución de ejercicios/problemas (10% de la nota final)

Se propondrán 4 ejercicios escritos de 1 hora de duración cada uno, tras finalizar los temas 1, 3, 5 y 6. Estas pruebas serán calificadas entre 0 y 10 puntos, contribuyendo con un **10%** en la calificación final de la asignatura.

3.2.- Proyecto ABP (10% de la nota final)

La defensa individual y/o grupal de un Proyecto será calificada entre 0 y 10 puntos, contribuyendo con un **10%** en la calificación final de la asignatura.

Con esta actividad de evaluación los alumnos trabajan las competencias transversales de ENAEE CTE1 - Funcionar de forma efectiva tanto de forma individual como en equipo y CTE2 - Utilizar distintos métodos para comunicarse de forma efectiva con la comunidad de ingenieros y con la sociedad en general.

Los alumnos que no superen la actividad 1.1, tendrán como nota final de la asignatura el mínimo entre 4 y la calificación obtenida en la actividad 1.1.

Los alumnos que, superando la actividad 1.1 no superen el examen práctico de la actividad 1.2, tendrán como nota final de la asignatura el mínimo entre 4,5 y la calificación obtenida a partir de las actividades 1.1 y 1.2 valoradas con su correspondiente ponderación.

EVALUACIÓN GLOBAL

La **evaluación global** tendrá lugar el mismo día asignado al examen final de cada convocatoria por la Subdirección de Ordenación Académica de la E.II.II. Constará de las siguientes pruebas:

ACTIVIDAD 1 (RECUPERABLE en la convocatoria extraordinaria):

Prueba final-Examen escrito (65% de la nota final)

El examen escrito constará de 4 partes:

1. Transformador
2. Máquina de corriente continua
3. Máquina asíncrona
4. Máquina síncrona

Cada parte, que constará de cuestiones teóricas y/o prácticas, se calificará entre 0 y 10 puntos. Podrá hacerse media entre las partes a partir de una calificación no inferior a 4 puntos, siendo necesaria, una nota media de **5 puntos para superar este examen**.

ACTIVIDAD 3 (RECUPERABLE en la convocatoria extraordinaria):

Prueba de laboratorio/informática (35% de la nota final)

Prueba consistente en el montaje de una práctica similar a las realizadas en el laboratorio o aula de informática a lo largo del curso y la resolución de una memoria técnica sobre la práctica. Esta prueba se calificará entre 0 y 10 puntos según la aptitud demostrada y contribuirá con un **35%** en la calificación final de la asignatura. Será necesario obtener una calificación igual o superior a **5 puntos para superar este examen**.

Los alumnos que no superen la actividad 1 y/o la actividad 3, tendrán como nota final de la asignatura el mínimo entre 4 y la calificación obtenida a partir de las actividades 1 y 3 valoradas con su correspondiente ponderación.

Bibliografía (básica y complementaria)

Bibliografía Básica:

1. **J. Fraile Mora, "Máquinas Eléctricas". 8ª Edición. Ed. Garceta. 2016. ISBN: 978-84-1622-866-9**
2. J. Sanz Feito, "Máquinas Eléctricas". Ed. Pearson Education. 2002. ISBN: 978-84-2053-391-9

Bibliografía Complementaria:

1. **J. Fraile Mora, J. Fraile Ardanuy, "Problemas de máquinas eléctricas". 2ª Edición. Ed. Garceta. 2015. ISBN: 978-84-1622-814-0**
2. S. Chapman, "Máquinas Eléctricas". 5ª Edición. Ed. McGraw-Hill. 2012. ISBN: 978-60-7150-724-2
3. S. Umans, A. Fitzgerald, C. Kingsley, "Electric Machinery". 7ª Edición. Ed. McGraw-Hill Higher Education, 2013. ISBN: 978-00-7742-850-1
4. M. Cortés Cherta, J. Corrales Martín, A. Enseñat Badia, "Teoría general de máquinas eléctricas" Ed. Universidad Nacional de Educación a Distancia. 1995. ISBN: 978-84-362-0638-8
5. UNE-EN 60076-1:2013 Transformadores de Potencia. Parte 1: Generalidades. AENOR. 2013
6. UNE-EN 60034-1:2011 Máquinas Eléctricas Rotativas. Parte 1: Características asignadas y características de funcionamiento. AENOR. 2011
7. UNE-EN 60034-2-1:2024 Máquinas Eléctricas Rotativas. Parte 2-1: Métodos normalizados para la determinación de las pérdidas y del rendimiento a partir de ensayos (excepto las máquinas para vehículos de tracción). AENOR. 2014

Otros recursos y materiales docentes complementarios

1. <http://campusvirtual.unex.es/>
2. <http://personales.unican.es/rodrigma/primer/publicaciones.htm>. Página web con material elaborado por M. A. Rodríguez Pozueta, Universidad de Cantabria.
3. <http://new.abb.com/motors-generators/es#>. Página web de ABB, fabricante de material eléctrico y soluciones energéticas
4. <http://www.alstom.com/products-services/product-catalogue/rail-systems/components/motors/>. Página web de Alstom, empresa de equipos y servicios para el sector de transportes
5. <http://ecatalog.weg.net/>. Página web de WEG, empresa fabricante de motores y equipos eléctricos
6. <https://www.ingeteam.com/indar/es-es/inicio.aspx>. Página web de Indar, grupo Ingeteam, fabricante de máquinas eléctricas rotativas
7. <https://www.youtube.com/watch?v=QfNrEBODs3s>. Vídeo divulgativo sobre la fabricación de un motor eléctrico. Empresa de fabricación de motores Lancor

Vídeos de transformadores

8. https://www.youtube.com/watch?v=A951LRFRL_M. Vídeo de construcción de transformadores. ABB.
9. https://www.youtube.com/watch?v=wM4fS_RyGik. Validación del cableado de transformadores de corriente y de tensión. Omicron.
10. <https://www.youtube.com/watch?v=32Vw40nUSwA>. Vídeo sobre transformadores de corriente. EATON
11. <https://www.youtube.com/watch?v=AZYBPOZljVE>. Animación funcionamiento de un transformador de tomas

Vídeos de máquinas de corriente continua

12. <https://www.youtube.com/watch?v=ehJV2m27Ug8>. Vídeo de construcción del devanado de inducido de una máquina de corriente continua. Florida Bearings, división de la empresa de tecnología industrial KAMAN
13. <https://www.youtube.com/watch?v=u5RN-EW0Cxs>. Vídeo de construcción de una máquina de corriente continua. HiTRAX

Vídeos de máquinas rotativas de corriente alterna

14. <http://www.aulamoisan.com/software-moisan/campos-magneticos>. Simulador del Teorema de Ferraris. Departamento de Ingeniería Eléctrica. Universidad de Valladolid.
15. <https://www.youtube.com/watch?v=KFY84ZiwEi0>. Vídeo de animación del campo magnético giratorio. Teesside University

Vídeos de máquinas de corriente alterna asíncronas

16. <https://www.youtube.com/watch?v=h0GEuGzeWIU>. Vídeo de construcción de un motor asíncrono con rotor bobinado. BALDOR
17. https://www.youtube.com/watch?v=_65mXQ-GNVM. Vídeo de la fabricación del devanado del estator y del rotor de un motor asíncrono con rotor bobinado para un submarino. KOFFLER
18. <https://www.youtube.com/watch?v=7MCEtARoOp0>. Vídeo de fabricación de un motor asíncrono de jaula de ardilla. J.R. Perreault & Fils Ltd.

Vídeos de máquinas de corriente alterna síncronas

19. https://www.youtube.com/watch?v=5qm7xnxT_Wk. Vídeo sobre la fabricación de un hidrogenerador. Yukon Energy
20. <https://www.youtube.com/watch?v=SK82rULkbac>. Vídeo sobre la construcción de un turbogenerador. Toshiba
21. <https://www.youtube.com/watch?v=tikH48EMgKE>. Vídeo explicativo sobre el principio de funcionamiento de un alternador
22. <https://www.youtube.com/watch?v=VkJ2jDXxZIhs>. Vídeo explicativo sobre el principio de funcionamiento de un motor síncrono