

## FICHA TÉCNICA DE LA ASIGNATURA

<b>Datos de la asignatura</b>	
<b>NombreCompleto</b>	Optativa complementaria. FACTS and HVDC Transmission
<b>Código</b>	DIE-OPT-611
<b>Impartido en</b>	Máster Universitario en Ingeniería Industrial [Segundo Curso] Máster Universitario en Ingeniería Industrial y Máster Universitario en Administración de Empresas [Segundo Curso] Máster Universitario en Ingeniería Industrial y Máster Universitario en Sector Eléctrico [Primer Curso] Máster Universitario en Ingeniería Industrial y Máster Universitario en Sector Eléctrico [Segundo Curso] Máster Universitario en Ingeniería Industrial y Máster Universitario en Sistemas Ferroviarios [Segundo Curso] Máster Universitario en Ingeniería Industrial y Mast. Univ. Inves. en Modelado de Sistemas de Ingen. [Segundo Curso]
<b>Nivel</b>	Postgrado Oficial Master
<b>Cuatrimestre</b>	Semestral
<b>Créditos</b>	3,0
<b>Carácter</b>	Optativa (Grado)
<b>Departamento / Área</b>	Departamento de Ingeniería Eléctrica
<b>Responsable</b>	Luis Rouco Rodríguez
<b>Horario</b>	Jueves de 15 a 17 horas
<b>Horario de tutorías</b>	Previa petición por correo electrónico

<b>Datos del profesorado</b>	
<b>Profesor</b>	
<b>Nombre</b>	Aurelio García Cerrada
<b>Departamento / Área</b>	Departamento de Electrónica, Automática y Comunicaciones
<b>Despacho</b>	Alberto Aguilera 25 [D-218]
<b>Correo electrónico</b>	Aurelio.Garcia@comillas.edu
<b>Teléfono</b>	2421
<b>Profesor</b>	
<b>Nombre</b>	Luis Rouco Rodríguez
<b>Departamento / Área</b>	Departamento de Ingeniería Eléctrica
<b>Despacho</b>	Francisco de Ricci, 3 [D-122]
<b>Correo electrónico</b>	Luis.Rouco@iit.comillas.edu
<b>Teléfono</b>	6109

## DATOS ESPECÍFICOS DE LA ASIGNATURA

### Contextualización de la asignatura

#### Aportación al perfil profesional de la titulación

This course is aimed at addressing the application of power electronics to power systems. Two approaches are presented: FACTS and HVDC transmission.

AC power systems are governed by Kirchoff laws. Power flows are hardly controllable. Flexible AC Transmission Systems (FACTS) can be achieved incorporating to the system power electronic devices. FACTS devices are power electronic devices aimed at making AC transmission systems more flexible. In other words, helping to override, at some extend, the limitations of AC power systems. The course will present the principles, and topologies of FACTS devices.

Transmission by high voltage direct current (High Voltage Direct Current transmission or simply HVDC transmission) is needed for high power applications over very long distances or when underground/undersea cables are used instead overhead lines. The course will show the principles of the two existing technologies: line commutated converters and voltage source converters.

The course will pay attention not only to the device perspective but the contribution to the steady-state (power flow) and dynamic performance (stability) of the power system will be detailed.

#### Prerrequisitos

A general background of power systems is required.

### Competencias - Objetivos

#### Competencias

##### General Competences / Basic Competences

CB1.To have acquired and demonstrated advanced knowledge in a context of scientific and technological research (or in a highly specialized area), detailed and informed understanding of the theoretical and practical aspects in one or more fields of study, and the related work methodology

##### Specific Competences

CE1.Understand the applications of FACTS devices and HVDC transmission.

CE2.To be familiar with the power electronic converters used in FACTS devices and HVDC transmission

CE3.To be familiar with the power flow solutions when FACTS devices and HVDC links are incorporated to the power system

CE4.To be familiar with contribution to power system stability of FACTS devices and HVDC links

### Resultados de Aprendizaje

By the end of the course students should be able to:

LO1.Understand the applications of FACTS and HVDC

LO2.Understand the use of line commutated converters in FACTS devices

LO3.Understand the use of self commutated converters in FACTS devices

LO4.Understand the impact of shunt and series FACTS devices on power flows and to run simulations with them

LO5.Understand the impact of shunt and series FACTS devices on stability and to run simulations with them

LO6.Understand the use of line commutated converters in HVDC transmission

LO7.Understand the use of self commutated converters in HVDC transmission

LO8.Understand the impact of HVDC transmission on power flows and to run simulations with them

LO9.Understand the impact of HVDC transmission on stability and to run simulations with them

## BLOQUES TEMÁTICOS Y CONTENIDOS

### Contenidos – Bloques Temáticos

#### Theory

##### Lesson 1. Introduction

1. Power flows in AC systems. Series and shunt compensation
2. DC transmission versus AC transmission

##### Lesson 2. An overview on power semiconductor switches

1. Line-commutated devices vs self-commutated devices: Thyristors and IGBTs.
2. Limitations of Si-based semiconductors.
3. New alternatives

##### Lesson 3. Line-commutated FACTS (the first generation)

1. Thyristor Controlled Reactor (TCR).
2. Thyristor Switched Capacitor (TSC).
3. Static Var Compensator (SVC).
4. Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC).

**Lesson 4. Self-commutated FACTS (the second generation)**

1. Voltage Source Converters: voltage and current control, power-flow control and beyond.
2. STATic -synchronous- COMPensator (STATCOM).
3. STATCOM vs SVC.
4. Static Series Synchronous Compensator (SSSC).
5. Series + shunt compensator: the Unified Power Flow Controller (UPFC).

**Lesson 4. Power flows with FACTS devices**

1. Shunt device control in the power flow solution.
2. Series device control in the power flow solution.
3. Hybrid device control in the power flow solution.

**Lesson 6. Stability enhancement with FACTS devices**

1. Large-disturbance stability of a synchronous machine connected to an infinite bus.
2. Large-disturbance stability enhancement of a synchronous machine connected to an infinite bus by shunt and series compensation.
3. Small -disturbance stability of a synchronous machine connected to an infinite bus.
4. Small-disturbance stability enhancement of a synchronous machine connected to an infinite bus by shunt and series compensation.

**Lesson 7. High Voltage DC (HVDC) transmission based on line-commutated converters**

1. Fundamentals: description of a basic system.
2. Power-flow control in DC.
3. Reactive-power requirements.
4. Current harmonics.
5. Typical topologies: from two-level converters to multi-level modular converters (MMC).

**Lesson 8. High Voltage DC (HVDC) transmission based on self-commutated converters**

1. Fundamentals: description of a basic system.
2. Power-flow control in DC.
3. Reactive-power requirements.
4. Current harmonics.
5. Typical topologies: from two-level converters to multi-level modular converters (MMC).

**Lesson 9. Power flows with HVDC links**

1. LCC-HVDC control in the power flow solution.
2. VSC-HVDC control in the power flow solution

**Lesson 10. Stability enhancement with HVDC links**

1. Large-disturbance stability enhancement by a parallel LCC-HVDC link
2. Small-disturbance stability enhancement by a parallel LCC-HVDC link
3. Large-disturbance stability enhancement by a parallel VSC-HVDC lin
4. Small-disturbance stability enhancement by a parallel VSC-HVDC link

### Laboratory

#### Session 1. Power flows with FACTS devices

Application of series devices for power flow control

#### Session 2. Stability simulation with FACTS devices

Stability simulation with FACTS devices: static var compensators

## METODOLOGÍA DOCENTE

### Aspectos metodológicos generales de la asignatura

#### Metodología Presencial: Actividades

1. **Lección expositiva.** Exposición de los principales conceptos y procedimientos mediante la explicación por parte del profesor. Incluirá presentaciones dinámicas, pequeños ejemplos prácticos y la participación reglada o espontánea de los estudiantes. Previa a las sesiones teóricas se podrán realizar pequeñas pruebas para evaluar el trabajo no presencial de los alumnos.
2. **Resolución en clase de problemas ejemplo.** Resolución de algún problema clave para situar al alumno en contexto. La resolución correrá a cargo del profesor y los alumnos de forma cooperativa.
3. **Resolución en clase de problemas propuestos.** Resolución de problemas que el alumno ha debido preparar previamente. La resolución correrá a cargo del profesor y los alumnos de forma cooperativa.
4. **Resolución grupal de problemas.** El profesor planteará pequeños problemas que los alumnos resolverán en pequeños grupos en clase y cuya solución discutirán con el resto de grupos.
5. **Prácticas de laboratorio.** Se formarán grupos de trabajo que tendrán que realizar prácticas de laboratorio regladas. Las prácticas de laboratorio requerirán de la realización de un trabajo previo de preparación y finalizar con la redacción de un informe de laboratorio. Previamente a toda práctica de laboratorio se realizará una pequeña prueba para comprobar la preparación de la misma así como el análisis de la última práctica..
6. **Tutorías.** Se realizarán en grupo e individualmente para resolver las dudas que se les planteen a los alumnos después de haber trabajado los distintos temas. Y también para orientar al alumno en su proceso de aprendizaje.

#### Metodología No presencial: Actividades

1. **Estudio del material presentado en clase.** Actividad realizada individualmente por el estudiante repasando y completando lo visto en clase.
2. **Estudio del material teórico no presentado en clase.** Algunos temas serán estudiados por el alumno sin presentación teórica en clase. Se mandarían problemas y actividades individuales y cooperativas que luego se discutirán en clase para asegurarse de la correcta comprensión por parte

del alumno

3. **Resolución de problemas propuestos.** La resolución correrá a cargo del profesor y los alumnos de forma cooperativa.
4. **Trabajo en grupo.** Se formarán grupos de trabajo que tendrán que realizar una tarea fuera del horario lectivo que requerirá compartir la información y los recursos entre los miembros con vistas a alcanzar un objetivo común.
5. **Preparación de las prácticas** de laboratorio y elaboración de los informes de laboratorio.

## RESUMEN HORAS DE TRABAJO DEL ALUMNO

Horas presenciales

Clase magistral y presentaciones generales: 20 horas

Resolución de problemas prácticos en clase: 6 horas

Prácticas de laboratorio: 4 horas

Horas no presenciales

Trabajo autónomo sobre contenidos prácticos por parte del alumno: 40 horas

Estudios y Trabajos de carácter práctico individual: 18 horas

Prácticas de laboratorio, trabajo previo e informe posterior: 2 horas

## EVALUACIÓN Y CRITERIOS DE CALIFICACIÓN

Prueba tipo test: Selección respuesta correcta: 60%

Pruebas de seguimiento, examen final: 30%

- Comprensión de conceptos.
- Aplicación de conceptos a la resolución de problemas prácticos.
- Análisis e interpretación de los resultados obtenidos en la resolución de problemas.
- Presentación y comunicación escrita.

Informes de laboratorio: 10%

- Aplicación de conceptos a la realización de prácticas en el laboratorio.
- Análisis crítico de los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio.
- Presentación y comunicación escrita.

### Calificaciones

- **Nota total:** 90% Teoría + 10% Laboratorio
- **Teoría** (sobre 100%): 30% prueba intermedia, 70% examen final.

### Convocatoria ordinaria

- **Nota total:** 90% Teoría + 10% Laboratorio
- **Teoría** (sobre 100%): 30% prueba intermedia, 70% examen final.
- **Laboratorio:** 50% participación, 50% informe.

### Convocatoria extraordinaria

- **Nota total:** 90% Teoría + 10% Laboratorio
- **Teoría** (sobre 100%): 30% prueba intermedia, 70% examen final.
- **Laboratorio:** será la nota de que obtuvo en la convocatoria ordinaria.

## BIBLIOGRAFÍA Y RECURSOS

### Bibliografía Básica

- P. Kundur, Power System Stability and Control. Mc Graw Hill, 1993.
- N.G. Hingorani and L. Gyugui. Understanding FACTS. Concepts and technology of flexible AC transmission systems, IEEE Press. 1999

### Bibliografía Complementaria

- P. García Gonzalez and A. García Cerrada. Transporte flexible de la energía eléctrica en corriente alterna. Anales de Mecánica y Electricidad, Nov-Dic. 2004. pp 59-66.
- A. Yazdani and R. Iravani. Voltage-Sourced Converters in Power Systems. Wiley-IEEE Press, 2010.
- N.R. Chaudhuri, B. Chaudhuri, R. Majumder and A. Yazdani. Multi-terminal Direct-Current Grids: modelling, analysis and Control. Wiley-IEEE Press, 2014.

	IN-CLASS ACTIVITIES				OUT-OF-CLASS ACTIVITIES				LEARNING OUTCOMES
Week	h	LECTURE & PROBLEM SOLVING	LAB	ASSESSMENT	h	SELF-STUDY	LAB PREPARATION AND REPORTING	OTHER ACTIVITIES	Learning Outcomes
1	1	Introduction			1	Review and self-study			LO1
1	1	An overview on power semiconductor switches			1	Review and self-study			LO1
2	2	Line-commutated FACTS (the first generation)			2	Review and self-study			LO2
3	2	Self-commutated FACTS (the second generation)			2	Review and self-study			LO3
4	1	Power flows with FACTS devices			1	Review, self-study and problem-solving			LO4
4	1	High Voltage DC (HVDC) transmission based on line-commutated converters			1	Review and self-study			LO2
5	1	Power flows with FACTS devices			1	Review, self-study and problem-solving			LO4
5	1	High Voltage DC (HVDC) transmission based on line-			1	Review and self-study			LO6
6	1	Power flows with FACTS devices			1	Review, self-study and problem-solving			LO4
6	1	High Voltage DC (HVDC) transmission based on line-			1	Review and self-study			LO6
7	1			Intermediate exam: Materials presented and discussed so far	1	Review, self-study and problem-solving			
7	1	Stability enhancement with FACTS devices			1	Review, self-study and problem-solving			LO5
8	2		Power flows with FACTS devices: Computer laboratory session		2		Report laboratory session		LO4
9	1	Stability enhancement with FACTS devices			1	Review, self-study and problem-solving			LO5
9	1	High Voltage DC (HVDC) transmission based on self-			1	Review and self-study			LO7
10	1	Stability enhancement with FACTS devices			1	Review, self-study and problem-solving			LO5
10	1	High Voltage DC (HVDC) transmission based on self-			1	Review and self-study			LO7
11	1	Power flows with HVDC links			2	Review, self-study and problem-solving			LO8
11	1	Power flows with HVDC links			1	Review, self-study and problem-solving			LO8
12	1	Power flows with HVDC links			1	Review, self-study and problem-solving			LO8
12	1	Stability enhancement with HVDC links			1	Review, self-study and problem-solving			LO9
13	2	Stability enhancement with HVDC links			1	Review, self-study and problem-solving			LO9
14	2		Power flows with FACTS devices: Computer laboratory session		2		Report laboratory session		LO6,LO7
15	2			Final exam	2				