



## Guia docent

# 295321 - 295SE011 - Modelització i Control en Temps Real de Sistemes Energètics

Última modificació: 13/06/2025

**Unitat responsable:** Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

**Unitat que imparteix:** 710 - EEL - Departament d'Enginyeria Electrònica.

**Titulació:** MÀSTER UNIVERSITARI EN TECNOLOGIES PER A SISTEMES ENERGÈTICS DISTRIBUÏTS (Pla 2025).  
(Assignatura obligatòria).

**Curs:** 2025

**Crèdits ECTS:** 6.0

**Idiomes:** Català, Castellà, Anglès

### PROFESSORAT

---

**Professorat responsable:** ROBERT PIQUÉ LÓPEZ

**Altres:** SERGIO GIRALDO MUÑOZ  
XAVIER ROSET I JUAN

### CAPACITATS PRÈVIES

---

Les necessàries segons la procedència dels estudiants d'ingrès.

### RESULTATS D'APRENTATGE

---

#### Coneixements:

K4. Identificar metodologies per a l'estudi de l'impacte ambiental d'un sistema elèctric distribuït amb fonts renovables i relacionar-lo amb el procés de descarbonització de la generació energètica.

K1. Identificar els diferents recursos renovables com a fonts d'energia elèctrica.

K2. Identificar les particularitats estructurals i funcionals i la normativa aplicable dels sistemes elèctrics descentralitzats.

#### Habilitats:

S1. Analitzar, dissenyar i avaluar la fiabilitat i el cicle de vida dels sistemes elèctrics descentralitzats basats en fonts energètiques renovables. Avaluar la fiabilitat i el cicle de vida d'un sistema distribuït de generació d'energia a partir de recursos renovables.

S3. Valorar l'impacte i les necessitats de nous models de consum elèctric i relacionar-los amb el canvi de model energètic derivat de la descarbonització de les fonts d'energia.

S2. Analitzar els subsistemes electrònics necessaris en una central energètica renovable i avaluar les tecnologies d'automatització i control per a la gestió energètica de xarxes i microxarxes elèctriques intel·ligents d'un sistema energètic descentralitzat.

#### Competències:

C3. Desenvolupar la capacitat d'avaluar les desigualtats per raó de sexe i gènere, per dissenyar solucions per a aquestes desigualtats.

C1. Integrar els valors de la sostenibilitat, entenent la complexitat dels sistemes, a fi d'empendre o promoure accions que restableixin i mantinguin la salut dels ecosistemes i millorin la justícia, amb la qual cosa es generaran visions per a futurs sostenibles.

C2. Identificar i analitzar problemes que requereixin prendre decisions autònomes, informades i argumentades, per actuar amb responsabilitat social, seguint valors i principis ètics.



## METODOLOGIES DOCENTS

- AF.1.- Exposició de continguts teòrics.
- AF.2.- Resolució d'exercicis, problemes i casos.
- AF.3.- Sessions de treball pràctic al laboratori.
- AF.4.- Discussió de problemes o articles científics.
- AF.5.- Participació en seminaris i conferències.
- AF.6.- Realització de treball individual i cooperatiu.
- AF.7. Sessions a laboratoris informàtics o de simulació.

## OBJECTIUS D'APRENTATGE DE L'ASSIGNATURA

En cursar l'assignatura MCSE-296SE011 (Modelització i Control en Temps Real de Sistemes Energètics) l'estudiant adquirirà capacitats dirigides al coneixement, anàlisi, disseny, explotació i manteniment orientats al control en temps real de sistemes energètics distribuïts, en base a les metodologies i procediments actuals, i amb èmfasi als sistemes energètics distribuïts per al processament d'energia elèctrica amb utilització d'energies renovables, parant especial atenció a les configuracions de microxarxes (smart microgrids) elèctriques.

## HORES TOTALES DE DEDICACIÓ DE L'ESTUDIANT

Tipus	Hores	Percentatge
Hores grup gran	28,0	18.67
Hores aprenentatge autònom	94,0	62.67
Hores grup petit	28,0	18.67

**Dedicació total:** 150 h

## CONTINGUTS

### 1.- INTRODUCCIÓ A LA MODELITZACIÓ I AL CONTROL DE SISTEMES ENERGÈTICS

**Descripció:**

Revisió de conceptes bàsics necessaris per a l'assignatura i descripció de metodologies genèriques per a la modelització i simulació de Sistemes Energètics.

**Objectius específics:**

Potència. Energia. Transferència d'Energia. Camins orientats. Fluxos de Potència/Energia. Concepte de Sistema Energètic. Descripcions Funcional i Estructural. Generalitats sobre Modelització i Simulació. Modelització/Simulació Causal. Modelització/Simulació Acausal. Exemples: PSIM, Simulink, Modelica.

**Activitats vinculades:**

Treball al laboratori de les metodologies bàsiques per a la modelització i simulació funcional i estructural, causal i acausal de Sistemes Energètics.

**Dedicació:** 18h

Grup gran/Teoria: 4h

Grup mitjà/Pràctiques: 4h

Aprenentatge autònom: 10h

## 2.- MICROXARXES D'ENERGIA ELÈCTRICA. SISTEMES DE GESTIÓ D'ENERGIA

### Descripció:

Conceptes bàsics sobre Microxarxes Elèctriques i els seus Sistemes de Gestió d'Energia, eines bàsiques per a les transicions Energètica i de Mobilitat en l'horitzó 2040 de la Unió Europea.

### Objectius específics:

Transicions H2040 de la UE. Concepte de Microxarxa Elèctrica. Blocs constitutius. Tipus de microxarxes elèctriques. Connexions. Modes operatius. Estats.

Caracterització Energètica de Microxarxes. Grafs associats a una microxarxa. Matrius pròpies dels grafs. Vectors de potència (energia) i de fluxos. Equacions bàsiques vectorials i matricials.

Sistemes de Gestió d'Energia de tres nivells. Caracterització Estructural. Caracterització Funcional.

### Activitats vinculades:

Visita a les instal·lacions fotovoltaics del grup EPIC.

Estudi i assaig de les microxarxes basades en ondulador híbrid del laboratorio E3PACS. Primera part: Aspectes Estructurals (Blocs, Instrumentació auxiliar, Elements de Maniobra i Protecció).

### Dedicació: 13h

Grup gran/Teoria: 4h

Grup mitjà/Pràctiques: 4h

Aprenentatge autònom: 5h

## 3.- MODELITZACIÓ I CONTROL GENERALITZATS EN TEMPS REAL DE CONVERTIDORS ESTÀTICS D'ENERGIA ELÈCTRICA

### Descripció:

Conceptes previs i sistemàtica par a la modelització i el control en temps real dels convertidors estàtics emprats als sistemes energètics.

### Objectius específics:

Interruptors. Característiques Estàtica i Dinàmica. Interruptors ideals. Magnituds Modulades o Commutades.

Funció de Commutació. Matriu de Commutació. Funció de Connexió. Matriu de Connexió.

Control intern i Control extern dels Interruptors. Representació Funcional Dinàmica. Estats i Transicions. Interruptors típics.

Regles de Transferència d'Energia.

Cèl·lules de Commutació. Funcions de modulació (o Conversió). Modelització Instantània. Exemples típics per a convertidors estàtics dels sistemes elèctrics distribuïts.

### Activitats vinculades:

Estudi d'alguns cassos d'aplicació.

### Dedicació: 20h

Grup gran/Teoria: 4h

Grup mitjà/Pràctiques: 4h

Aprenentatge autònom: 12h



#### 4.- INTRODUCCIÓ AL CONTROL EN TEMPS REAL DE SISTEMES ENERGÈTICS

**Descripció:**

Conceptes i requeriments per al Control en Temps Real de Sistemes Energètics.

**Objectius específics:**

Processament d'Energia i Processament d'Informació. Portes i enllaços Energètics.

Principis d'Interacció, Holisme i Causalitat Física. Modelitzacions Estàtica, Quasi-estàtica i Dinàmica.

Blocs constitutius dels Sistemes Energètics: Fonts, Convertidors, Acumuladors i Distribuïdors.

Control en Temps Real de Sistemes Energètics.

Aproximació PIL (Processor In Loop). Aproximació HIL (Hardware In the Loop). Signal-HIL i Power-HIL.

**Activitats vinculades:**

Estudi i assaig de les microxarxes basades en ondulador híbrid del laboratori E3PACS. Segona part: Aspectes Funcionals (Modes Operatius i Modes Funcionals, Estats, Sistema de Gestió d'Energia).

**Dedicació:** 20h

Grup gran/Teoria: 4h

Grup mitjà/Pràctiques: 6h

Aprenentatge autònom: 10h

#### 5.- REPRESENTACIÓ ENERGÈTICA MACROSCÒPICA I CONTROL BASAT EN INVERSIÓ

**Descripció:**

La Representació Energètica Macroscòpica (REM) i el Control Basat en Inversió (CBI) permeten un procediment sistemàtic per a la implementació de models i estratègies pròpies per al control en temps real de sistemes energètics.

**Objectius específics:**

Representació Energètica Macroscòpica (REM). Sistemes, Subsistemes i Blocs. Portes i Enllaços. Formalisme REM. Principis. Acció i Reacció. Camins de les variables d'acció i de reacció. Blocs (Fonts, Convertidors, Acumuladors i Distribuïdors). Adequació al Control en Temps Real de Sistemes Energètics. Exemples de modelització dels blocs.

Control Basat en Inversió (CBI). Principi Bàsic. Camins de sintonització. Camins de control. Control Maximal per Inversió.

Controladors. Sensors/Captadors. Estimadors. Regles d'inversió del blocs REM. Controladors per inversió directa amb i sense absorció de pertorbació. Controladors per inversió indirecta amb i sense absorció de pertorbació. Estratègies. Emulació/Simulació HIL sota el formalisme REM.

Exemples d'aplicació.

**Activitats vinculades:**

Exemples d'aplicació de la sistèma REM+CBI.

Introducció al Hardware-In- the-Loop amb equips i programaris Typhoon HIL (C).

S'inclou seminari de formació i accés i ús de recursos de la Typhoon HIL Acadèmia.

**Dedicació:** 50h

Grup gran/Teoria: 10h

Grup mitjà/Pràctiques: 10h

Aprenentatge autònom: 30h



## 6.- PROJECTE EN GRUPS REDUÏTS

### Descripció:

Resolució d'un projecte "PBL" en grups col·laboratius informals.

### Objectius específics:

Cada grup col·laboratiu informal resoldrà un cas concret de modelització i control en temps real d'un sistema energètic.

### Dedicació: 29h

Grup gran/Teoria: 2h

Grup mitjà/Pràctiques: 4h

Activitats dirigides: 8h

Aprenentatge autònom: 15h

## SISTEMA DE QUALIFICACIÓ

Els components del polinomi de qualificació són Prova escrita individual (EE), Pràctiques i treball al laboratori (PR), Resolució d'exercicis proposats (EP) i Resolució d'un cas concret en grup informal (TG), aplicant-se els pesos següents:

Qualificació de l'Examen Escrit Individual (EE): 30%

Qualificació de les Pràctiques (PR): 30%

Qualificació dels Exercicis Proposats (EP): 20%

Qualificació del Treball en Grup (TG): 20%

Així, la qualificació final de l'assignatura ve donada per:  $N\_Curs = 0,3 \cdot EE + 0,3 \cdot PR + 0,20 \cdot EP + 0,20 \cdot TG$

A part de les proves programades indicades anteriorment es poden realitzar, dins de l'horari de classe i sense avís previ, proves complementàries no programades, com aspectes d'avaluació formativa (teoria, exercicis), resolució de problemes, millora dels resultats d'avaluació, etc., les quals poden modular a l'alça les qualificacions d'aquestes proves programades inicialment.

D'acord amb la normativa acadèmica:

Aquesta assignatura es considera d'avaluació continuada i, per tant, no disposa d'examen "final" en el sentit clàssic.

No està subjecta a reavaluació.

La realització de les activitats pràctiques (treball al laboratori, realització d'informes i, si escau, preparacions prèvies de les pràctiques) és condició necessària per a superar l'assignatura. Si no es realitzen les pràctiques la qualificació de l'assignatura serà, com a màxim, de Suspens 3,5.

## NORMES PER A LA REALITZACIÓ DE LES PROVES.

---

Cal portar, i si escau mostrar, un identificador personal vàlid (DNI, passaport o carnet d'estudiant).

Les proves en línia, si escau, es regiran per la normativa que les regula.

D'acord amb l'apartat 3.1.3 de la Normativa Acadèmica dels Estudis de Grau i Màster de la UPC, la realització de les pràctiques de laboratori és obligatòria per tal d'optar a l'apte de l'assignatura.

### ALTRES

[Plagi / Frau] Les accions irregulars que poden conduir a una variació significativa de la qualificació d'un o més estudiants constitueixen una realització fraudulenta d'un acte d'avaluació. Aquesta acció comporta la qualificació descriptiva de suspens i numèrica de 0 de l'acte d'avaluació i de l'assignatura, sense perjudici del procés disciplinari que es pugui derivar com a conseqüència dels actes realitzats. (Normativa Acadèmica dels Estudis de Grau i Màster de la UPC. (Apartat 3.1.2.)

[Codi Ètic de la UPC] (Acord CG/2022/02/30 del Consell de Govern, apartat 4.2) L'estudiantat, ..., ha d'aprofitar de manera eficient i responsable tots els recursos que la Universitat posa a la seva disposició, ja siguin materials o immaterials. Així doncs, no només ha d'esforçar-se per assolir el nivell més alt de coneixements, sinó que també ha de tenir una consideració especial pel caràcter públic dels recursos que la societat inverteix en la seva formació. Ha de mantenir una actitud participativa en totes les activitats formatives, ha de facilitar la tasca del professorat i ha de participar activament en el processos d'avaluació del professorat. També ha de posar en valor el seu esforç personal en totes les actuacions, ha de provar la seva honradesa i integritat en els actes d'avaluació, i ha de promoure aquestes actituds entre els companys d'estudi.

## BIBLIOGRAFIA

---

### Bàsica:

- Systemic design methodologies for electrical energy systems : analysis, synthesis and management. Hoboken, N. J: John Wiley and Sons Inc, 2012. ISBN 9781118569863.
- Sechilariu, Manuela; Locment, Fabrice. Urban DC microgrid : intelligent control and power flow optimization. Amsterdam: Butterworth-Heinemann, 2016. ISBN 9780128037362.
- Rekioua, Djamilia; Matagne, Ernest. Optimization of photovoltaic power systems : modelization, simulation and control [en línia]. London: Springer, 2012 [Consulta: 12/09/2025]. Disponible a: <https://link-springer-com.recursos.biblioteca.upc.edu/book/10.1007/978-1-4471-2403-0>. ISBN 9786613574985.
- Energy management of distributed generation systems. Rijeka: InTech, 2016. ISBN 9789535124733.
- Distributed energy systems : design, modeling, and control. First edition. Boca Raton (Florida): CRC Press, 2023. ISBN 9781032134253.
- Power electronics in smart electrical energy networks [en línia]. London: Springer, 2008 [Consulta: 12/09/2025]. Disponible a: <https://link-springer-com.recursos.biblioteca.upc.edu/book/10.1007/978-1-84800-318-7>. ISBN 9781848003170.
- Bollen, Math H. J.; Hassan, Fainan. Integration of distributed generation in the power system [en línia]. Hoboken, New Jersey: Wiley-Blackwell, 2011 [Consulta: 12/09/2025]. Disponible a: <https://onlinelibrary-wiley-com.recursos.biblioteca.upc.edu/doi/book/10.1002/9781118029039>. ISBN 9781118029039.

### Complementària:

- Bevrani, Hassan; François, Bruno; Ise, Toshifume. Microgrid dynamics and control. Hoboken, New Jersey: Wiley, 2017. ISBN 9781119263708.
- Fritzson, Peter. Principles of object-oriented modeling and simulation with modelica 3. 3 : A cyber-physical approach. New Edition (2nd & subsequent). Hoboken, USA: Wiley, 2015. ISBN 9781118858974.
- Hautier, Jean-Paul; Caron, Jean-Pierre. Convertisseurs statiques. Méthodologie causale de modélisation et de commande. Editions Technip, 1998. ISBN 9782710807452.
- Ghosh, Arindam; Zare, Firuz. Control of power electronic converters with microgrid applications. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2023. ISBN 9781119815464.
- Kals, Johannes. ISO 50001 energy management systems : what managers need to know about energy and business administration. New York: Business Expert Press, 2015. ISBN 9781631570094.
- Rigatos, Gerasimos. Intelligent renewable energy systems : modelling and control [en línia]. Cham: Springer International Publishing, 2016 [Consulta: 12/09/2025]. Disponible a: <https://link-springer-com.recursos.biblioteca.upc.edu/book/10.1007/978-3-319-39156-4>. ISBN 3319391569.
- Modeling, identification and control methods in renewable energy systems [en línia]. Singapore: Springer Singapore, 2019 [Consulta: 12/09/2025]. Disponible a: <https://link-springer-com.recursos.biblioteca.upc.edu/book/10.1007/978-981-13-1945-7>. ISBN



9811319456.

- Keyhani, Ali; Marwali, Mohammad N.; Dai, Min. Integration of green and renewable energy in electric power systems. Hoboken, NJ: Wiley, 2010. ISBN 9780470187760.