



# Guia docent

## 320046 - DSF - Disseny de Sistemes Fotovoltaics

Última modificació: 02/04/2024

**Unitat responsable:** Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa  
**Unitat que imparteix:** 710 - EEL - Departament d'Enginyeria Electrònica.

**Titulació:** GRAU EN ENGINYERIA ELECTRÒNICA INDUSTRIAL I AUTOMÀTICA (Pla 2009). (Assignatura optativa).

**Curs:** 2024      **Crèdits ECTS:** 6.0      **Idiomes:** Català, Castellà

### PROFESSORAT

---

**Professorat responsable:** Joan Salaet Pereira

**Altres:** Jordi Zaragoza Bertomeu

### COMPETÈNCIES DE LA TITULACIÓ A LES QUALS CONTRIBUEIX L'ASSIGNATURA

---

#### Transversals:

1. APRENTATGE AUTÒNOM - Nivell 2: Dur a terme les tasques encomanades a partir de les orientacions bàsiques donades pel professorat, decidint el temps que cal emprar per a cada tasca, incloent-hi aportacions personals i ampliant les fonts d'informació indicades.
2. COMUNICACIÓ EFICAÇ ORAL I ESCRITA - Nivell 2: Utilitzar estratègies per preparar i dur a terme les presentacions orals i redactar textos i documents amb un contingut coherent, una estructura i un estil adequats i un bon nivell ortogràfic i gramatical.
3. SOSTENIBILITAT I COMPROMÍS SOCIAL - Nivell 3: Tenir en compte les dimensions social, econòmica i ambiental en aplicar solucions i dur a terme projectes coherents amb el desenvolupament humà i la sostenibilitat.
4. TREBALL EN EQUIP - Nivell 2: Contribuir a consolidar l'equip, planificant objectius, treballant amb eficàcia i afavorint-hi la comunicació, la distribució de tasques i la cohesió.
5. ÚS SOLVENT DELS RECURSOS D'INFORMACIÓ - Nivell 2: Després d'identificar les diferents parts d'un document acadèmic i d'organitzar-ne les referències bibliogràfiques, dissenyar-ne i executar-ne una bona estratègia de cerca avançada amb recursos d'informació especialitzats, seleccionant-hi la informació pertinent tenint en compte criteris de rellevància i qualitat.

### METODOLOGIES DOCENTS

---

L'assignatura es basa en l'aprenentatge cooperatiu i l'aprenentatge basat en problemes. És a dir, l'estudiant treballa i aprèn en grups base organitzats durant tot el quadrimestre per realitzar problemes i pràctiques. El format de les classes presencials de 2h cadascuna és generalment el següent: 1) Dubtes de les sessions anteriors; 2) Introducció i descripció de la feina que s'ha de realitzar; 3) Treball en grup; 4) Explicacions i dubtes generals; 5) Treball en grup i 6) Preparació de la feina que s'ha de fer fora de classe. El professor no explica tota la matèria, planifica la feina que cal realitzar i aclareix dubtes que cada grup troba a l'hora de fer els exercicis.

Les sessions de laboratori es realitzen amb el mateix esquema de grups cooperatius i amb el format descrit anteriorment.

## OBJECTIUS D'APRENTATGE DE L'ASSIGNATURA

En concloure l'assignatura l'estudiant ha de tenir prou capacitat com per:

- Reconèixer quines són les limitacions i les possibilitats de l'Energia Solar Fotovoltaica.
- Valorar la importància de la sostenibilitat i el compromís social com a idees fonamentals per tal de redreçar els principals problemes mediambientals i socioeconòmics generats al llarg dels darrers 200 anys.
- Utilitzar una tercera llengua com a vehicle de comunicació entre professionals de diferents àmbits ètnics i culturals, tot superant fronteres reals i imaginàries.
- Recordar els aspectes més importants de la radiació solar atmosfèrica i extraatmosfèrica, a més dels principals paràmetres que la caracteritzen i els instruments utilitzats per mesurar-los.
- Identificar les parts que componen una cel·la fotovoltaica i diferenciar les diverses generacions d'aquests dispositius.
- Explicar l'efecte fotovoltaic i interpretar el significat dels paràmetres característics d'una cel·la fotovoltaica (ISC, VOC, RS,  $R_p$ ,  $V_m$ ,  $I_m$ ,  $\lambda...$ ) a més de la dependència d'aquests amb la temperatura i la irradiància.
- Descriure l'estructura d'un mòdul fotovoltaic i recordar la utilitat dels díodes de blocatge i de pas per protegir les agrupacions de mòduls i evitar punts calents.
- Explicar el principi de funcionament d'una cel·la electroquímica, comparar les diferents tecnologies existents de bateries, definir els paràmetres característics d'aquests components i calcular les capacitats requerides segons les aplicacions que han d'alimentar.
- Descriure l'estructura d'una instal·lació fotovoltaica, tant aïllada de la xarxa elèctrica com connectada a ella. Descriure la funcionalitat dels diferents elements que componen aquestes instal·lacions i fer càlculs per al dimensionament de cables i elements de protecció.
- Recordar les diferents normatives, reglamentacions i subvencions a nivell autonòmic, estatal i europeu que apliquen en els sistemes de generació d'energia basats en recursos renovables en general i els fotovoltaics en particular.
- Projectar instal·lacions fotovoltaiques aïllades de la xarxa elèctrica i connectades a ella, tant des de la vessant tècnica (dimensionament del camp de captadors, cables, proteccions, acumuladors, etc...) com de gestió administrativa (permisos, estudis d'impacte ambiental, càlcul de costos i amortitzacions, etc...).
- Desenvolupar plans de manteniment per a les instal·lacions de generació fotovoltaiques i també planificar la distribució dels equips de mesura i telemetria en aquestes.

## HORES TOTALES DE DEDICACIÓ DE L'ESTUDIANTAT

Tipus	Hores	Percentatge
Hores aprenentatge autònom	90,0	60.00
Hores grup gran	30,0	20.00
Hores grup petit	30,0	20.00

**Dedicació total:** 150 h

## CONTINGUTS

### TEMA 1: INTRODUCCIÓ

#### Descripció:

- 1.1. Formes d'aprofitament de l'Energia Solar.
- 1.2. Passat, present i futur de l'Energia Solar Fotovoltaica (ESFV).
- 1.3. Camps d'aplicació de l'ESFV.
- 1.4. Avantatges i inconvenients. Impacte ambiental.
- 1.5. Principals companyies mundials.
- 1.6. Pàgines web recomanades

#### Activitats vinculades:

Activitat 1. Grup gran: Avaluació dels coneixements adquirits en el mòdul.

#### Dedicació: 6h

Grup gran/Teoria: 2h

Grup mitjà/Pràctiques: 1h

Aprenentatge autònom: 3h



## TEMA 2: LA RADIACIÓ SOLAR

### Descripció:

- 2.1. La radiació solar extraatmosfèrica. Constant solar.
- 2.2. Irradiància i irradiació.
- 2.3. Propagació atmosfèrica. Radiació directa i difusa. Massa d'aire.
- 2.4. Rotació i translació de la Terra. Sistemes de referència. Model Geocèntric.
- 2.5. Radiació sobre superfícies horitzontals i inclinades. Hora pic solar.
- 2.6. Mesura, elaboració i presentació de les dades de radiació solar. TMY.
- 2.7. Tècniques d'orientació dels col·lectors solars.

### Activitats vinculades:

- Activitat 2. Sessió de laboratori: Consulta de bases de dades de radiació solar (Atlas de radiació solar de Catalunya, PVGIS, etc.). Comprovació del impacte de les tècniques d'orientació dels captadors en la radiació recollida en diferents latituds.
- Activitat 3. Grup mitjà: Tècniques d'inclinació de mòduls. Seguidors solars.
- Activitat 4. Grup gran: Avaluació dels coneixements adquirits en el mòdul.

### Dedicació: 19h

- Grup gran/Teoria: 4h  
Grup mitjà/Pràctiques: 2h  
Grup petit/Laboratori: 2h  
Aprenentatge autònom: 11h

## TEMA 3: LA CEL·LA SOLAR

### Descripció:

- 3.1. Semiconductors: mecanismes de generació i recombinació.
- 3.2. Fotogeneració, bandgap i longitud d'ona. Gap directe i indirecte.
- 3.3. La unió PN sota il·luminació. Característica I - V ideal.
- 3.4. La cel·la real. Estructura bàsica. Resistències sèrie i paral·lel.
- 3.5. Característiques elèctriques:  $I_{sc}$ ,  $V_{oc}$ , PMP, Rendiment, IQE i EQE.
- 3.6. Influència de la irradiància i la temperatura. Condicions STC.
- 3.7. Cel·les cristal·lines de 1a generació (Si i GaAs). Mono i policristal·lines.
- 3.8. Cel·les de 2a generació. Pel·lícula prima i a-Si. TCO.
- 3.9. Tercera generació: cel·les tàndem i dye-sensitized. Noves tendències.

### Activitats vinculades:

- Activitat 5. Grup mitjà: Resolució d'exercicis.
- Activitat 6. Grup mitjà. Sessió audiovisual (tecnologies de cel·les).
- Activitat 7. Sessió de laboratori. Obtenció de corbes I-V i P-V en cel·les reals.

### Dedicació: 31h

- Grup gran/Teoria: 6h  
Grup mitjà/Pràctiques: 5h  
Grup petit/Laboratori: 3h  
Aprenentatge autònom: 17h

#### TEMA 4: EL GENERADOR FOTOVOLTAIC

**Descripció:**

- 4.1. Associació de cel·les sèrie i paral·lel. Efectes de mismatch.
- 4.2. Punts calents, díodes de blocatge i de pas.
- 4.3. El mòdul fotovoltaic. Construcció. Estructura. Proteccions.
- 4.4. Interpretació dels valors de placa. Datasheets.
- 4.5. Consideracions tèrmiques. NOCT.
- 4.6. Degradació i defectes més habituals.
- 4.7. Associació de mòduls sèrie i paral·lel. Arrays.
- 4.8. El generador fotovoltaic. Cables. Combinadors. Proteccions.

**Activitats vinculades:**

- Activitat 8. Grup mitjà: Resolució d'exercicis.  
Activitat 9. Grup mitjà: Sessió audiovisual (fabricació de mòduls FV).  
Activitat 10. Grup gran: Avaluació dels coneixements adquirits en el mòdul.

**Dedicació:** 22h

- Grup gran/Teoria: 4h  
Grup mitjà/Pràctiques: 3h  
Aprentatge autònom: 15h

#### TEMA 5: ACUMULADORS D'ENERGIA

**Descripció:**

- 5.1. Introducció. Bateries i acumuladors. Utilització en sistemes fotovoltaics.
- 5.2. La cel·la electroquímica. Reaccions de càrrega i descàrrega.
- 5.3. Paràmetres rellevants en una bateria o acumulador. Circuit equivalent.
- 5.4. Tecnologia Pb-àcid. Bateries SLI i tubulars. Aplicació a sistemes FV.
- 5.5. Bateries Ni-Cd sinteritzades i pocket plate. Característiques.
- 5.6. Tecnologies Ni-MH, Li-ió i Li-polímer. Avantatges i inconvenients.
- 5.7. Reguladors de bateria. Seguiment del punt de màxima potència.
- 5.8. Manteniment d'acumuladors. Normes. Cambres de bateries.
- 5.9. Noves tendències. Piles d'hidrogen, i supercondensadors.

**Activitats vinculades:**

- Activitat 11. Grup mitjà: Resolució d'exercicis.  
Activitat 12. Sessió de laboratori: Bateries i reguladors de càrrega.  
Activitat 13. Grup mitjà: Avaluació dels coneixements adquirits en el mòdul.

**Dedicació:** 21h

- Grup gran/Teoria: 4h  
Grup mitjà/Pràctiques: 2h  
Grup petit/Laboratori: 3h  
Aprentatge autònom: 12h

## TEMA 6: SISTEMES FOTOVOLTAICS AUTÒNOMS

### Descripció:

- 6.1. Esquema d'una instal·lació aïllada. Consums cc i ca. Onduladors.
- 6.2. Tècniques d'estalvi energètic. Disseny climàtic i consum responsable.
- 6.3. Avaluació de les càrregues de consum. Consum corregit.
- 6.4. Dimensionament de l'acumulador. Autonomia (System availability).
- 6.5. Càlcul del camp de captació. Inclinatori i orientació. Ombres.
- 6.6. Eines informàtiques per al dimensionament d'instal·lacions.
- 6.7. Cables. Elements de protecció i de maniobra. Recomanacions.
- 6.8. Sistemes híbrids. Hybrid indicator.
- 6.9. Exemples. Habitatge aïllat. Sistema de comunicacions. Extracció d'aigua.
- 6.10. Subvencions i ajuts per a l'aprofitament de l'energia solar.
- 6.11. Manteniment d'instal·lacions autònomes.

### Activitats vinculades:

- Activitat 14. Sessió de laboratori: Muntatge d'una instal·lació autònoma.  
Activitat 15. Grup mitjà: Resolució d'exercicis.  
Activitat 16. Grup gran: Avaluació dels coneixements adquirits en el mòdul.

### Dedicació: 29h

- Grup gran/Teoria: 6h  
Grup mitjà/Pràctiques: 3h  
Grup petit/Laboratori: 3h  
Aprentatge autònom: 17h

## TEMA 7: SISTEMES FOTOVOLTAICS CONNECTATS A LA XARXA ELÈCTRICA PÚBLICA.

### Descripció:

- 7.1. Normativa i reglamentacions d'aplicació.
- 7.2. Instal·lacions domèstiques. Sincronització amb la xarxa. Mode illa.
- 7.3. Estimació de la producció energètica. Mesura i facturació.
- 7.4. Centrals fotovoltaïques. Aspectes específics.
- 7.5. Fases del projecte d'una central fotovoltaïca. Càlcul d'instal·lacions.
- 7.6. Proteccions i telemesura en centrals solars. Manteniment.
- 7.7. Façanes fotovoltaïques. BIPV. Consideracions tèrmiques.
- 7.8. Càlcul d'amortitzacions i reducció d'emissions. Beneficis socials.

### Activitats vinculades:

- Activitat 17. Grup mitjà: Resolució d'exercicis.  
Activitat 18. Sessió de laboratori: Disseny d'una central fotovoltaïca.  
Activitat 19. Grup gran: Avaluació dels coneixements adquirits en el mòdul.

### Dedicació: 25h

- Grup gran/Teoria: 4h  
Grup mitjà/Pràctiques: 3h  
Grup petit/Laboratori: 3h  
Aprentatge autònom: 15h



## SISTEMA DE QUALIFICACIÓ

---

L'avaluació del nivell de coneixement per part de l'estudiant de la matèria impartida durant el curs es farà en base a la seva activitat en els grups gran, mitjà i petit. En el primer cas es farà un primer examen a la fi del primer bimestre del curs (mòduls 1, 2 i 3) i un altre a la fi del segon (mòduls 4, 5 i 6). La seva activitat en el grup mitjà serà avaluada per mitjà de la valoració de diferents exercicis que l'estudiant haurà d'anar lliurant en línia (via Atenea) al llarg del curs i, finalment, la seva activitat en el grup petit serà puntuada en base als reports (lliurats pels grups) de les diferents sessions de laboratori. L'impacte de cada ítem sobre la nota final del curs serà, en tant per cent, el següent:

Examen 1r bimestre: 25 %  
Examen 2n bimestre: 30 %  
Exercicis lliurats en línia: 15 %  
Reports de laboratori: 30 %

No hi haurà examen de recuperació de cap bimestre.

## NORMES PER A LA REALITZACIÓ DE LES PROVES.

---

La majoria de les activitats impliquen el treball col·laboratiu dels i les alumnes. Només les activitats 1, 4, 10, 13, 16 i 19 tenen un caràcter purament individual. Per tal de realitzar l'activitat 18 l'estudiant ha d'haver completat tot l'itinerari d'activitats prèvies.

## BIBLIOGRAFIA

---

### Bàsica:

- Messenger, R; Ventre J. Photovoltaic systems engineering. Boca Raton: CRC Press, 2000. ISBN 0849320178.
- Alonso, M. Sistemas fotovoltaicos: introducción al diseño y dimensionado de instalaciones de energía solar fotovoltaicas. 2ª ed. Madrid: Publicaciones Técnicas, 2005. ISBN 8486913128.

### Complementària:

- Wenham, S. R. [et al.]. Applied photovoltaics. 2nd ed. London: Earthscan, 2007. ISBN 9781844074013.
- Luque, A.; Hegedus, S. (eds.). Handbook of photovoltaic science and engineering [en línia]. 2nd ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2011 [Consulta: 09/05/2022]. Disponible a: <https://onlinelibrary-wiley-com.recursos.biblioteca.upc.edu/doi/book/10.1002/9780470974704>. ISBN 9780470974704.

## RECURSOS

---

### Altres recursos:

<http://www.pvresources.com/index.php> /><http://pvcdrom.pveducation.org>