



## Facultad de Ingeniería Comisión Académica de Posgrado

---

### Formulario de Aprobación Curso de Posgrado 2016

**Asignatura:** Energía Solar Fotovoltaica

(Si el nombre contiene siglas deberán ser aclaradas)

---

**Profesor de la asignatura <sup>1</sup>:** Dr. Ing. Mario Vignolo, Gr. 4, IIE

(título, nombre, grado o cargo, Instituto o Institución)

**Profesor Responsable Local <sup>1</sup>:**

(título, nombre, grado, Instituto)

**Otros docentes de la Facultad:** Ing. Diego Oroño, Gr. 2, IIE, Ing. Marcelo Aguiar, Gr. 2, IIE, Ing. Gonzalo Hermida, Gr. 1, IIE

(título, nombre, grado, Instituto)

**Docentes fuera de Facultad:**

(título, nombre, cargo, Institución, país)

**Instituto ó Unidad:** IIE

**Departamento ó Area:** Departamento de Potencia

<sup>1</sup> Agregar CV si el curso se dicta por primera vez.

(Si el profesor de la asignatura no es docente de la Facultad se deberá designar un responsable local)

---

**Fecha de inicio y finalización:** 1er semestre 2016

**Horario y Salón:**

**Horas Presenciales:** 40

(se deberán discriminar las mismas en el ítem Metodología de enseñanza)

**Nº de Créditos:** 7

(de acuerdo a la definición de la UdelaR, un crédito equivale a 15 horas de dedicación del estudiante según se detalla en el ítem metodología de la enseñanza)

**Público objetivo y Cupos:** Ingenieros Eléctricos, Mecánicos, Civiles, Hidráulicos y Químicos. Cupos mínimo: 6, Cupo máximo: 30

(si corresponde, se indicará el número de plazas, mínimo y máximo y los criterios de selección. Asimismo, se adjuntará en nota aparte los fundamentos de los cupos propuestos. Si no existe indicación particular para el cupo máximo, el criterio general será el orden de inscripción en el Depto. de Posgrado, hasta completar el cupo asignado)

---

**Objetivos:** Se pretende introducir en la ingeniería de los dispositivos y sistemas fotovoltaicos, así como también conocer básicamente los aspectos políticos, económicos y legales que promueven el desarrollo de esta tecnología. Se apunta a que los participantes adquieran los conocimientos básicos de los componentes de un sistema fotovoltaico, dependiendo de cada aplicación energética, entendiéndose también el principio de funcionamiento que rige en estos sistemas. Se hará también hincapié en conocer cómo diseñar y saber dimensionar un sistema fotovoltaico: sus distintos componentes y la función dentro del sistema, se aprenderá a calcular la energía solar que va a determinar la producción de energía y su dependencia con los parámetros climáticos. Se estudiará los aspectos que intervienen en un proyecto de ingeniería fotovoltaica, tales como seguridad, protecciones, normativa aplicable, viabilidad técnica, monitorización, análisis y evaluación de sistemas. Se harán clases prácticas en las cuales se resolverán ejercicios y aplicaciones de diferentes sistemas fotovoltaicos. Cuando finalice el curso los participantes deberán ser capaces de poder alcanzar un claro entendimiento de los sistemas fotovoltaicos, así como también comprender cuales son los aspectos relevantes para el desarrollo de los mismos en el Uruguay.

---

**Conocimientos previos exigidos:** Estudiantes de posgrado o avanzados de nivel universitarios

**Conocimientos previos recomendados:** Fundamentos de energía solar, dispositivos electrónicos

**Metodología de enseñanza:**

(comprende una descripción de las horas dedicadas por el estudiante a la asignatura y su distribución en horas presenciales -de clase práctica, teórico, laboratorio, consulta, etc.- y no presenciales de trabajo personal del estudiante)

- Horas clase (teórico): 22
- Horas clase (práctico): 6
- Horas clase (laboratorio):0
- Horas consulta: 8
- Horas evaluación: 4
- Subtotal horas presenciales: 40
- Horas estudio: 35
- Horas resolución ejercicios/prácticos: 30
- Horas proyecto final/monografía:
- Total de horas de dedicación del estudiante: 105

---

**Forma de evaluación:**

Entrega de ejercicios prácticos y examen final.

---

**Temario:**

1) **Historia de la energía solar PV:** Orígenes, el efecto fotoeléctrico, Grecia, Roma antes de Cristo. Los Siglos XVIII y XIX, el efecto fotovoltaico (Bequerel), el siglo XX, Bell Labs, uso en Satélites, el siglo XXI, la energía del futuro.

2) **La energía PV en Uruguay y en el Mundo:** Indicadores internacionales de participación por país y por tecnología. Evolución de la potencia instalada en diferentes regiones. Principales fabricantes en el mundo y tendencias. El caso de Uruguay: el decreto 133/013 y las perspectivas de instalación de diferentes parques.

3) **Fundamentos de Radiación Solar:** Definiciones generales, componentes de la radiación (directa y difusa), análisis de sombra, mapa solar, pasaje a plano inclinado (método HDKR), métodos para separación de directa y difusa. Repaso por los principales equipos de medida de radiación solar.

4) **Tecnologías de Módulos PV:** Repaso de las principales tecnologías de módulos fotovoltaicos: Silicio Cristalino, Silicio Policristalino, Película delgada, materiales amorfos, materiales organico. Análisis comparativo costo vs. eficiencia. En qué condiciones es más conveniente cada una de las tecnologías.

5) **Principio de Funcionamiento de celdas solares:** Dopaje, Recombinación y tiempo de vida de los portadores, campo eléctrico en la juntura PN, ecuación de Shockley.

6) **Sistemas Fotovoltaicos - Componentes y Conceptos:** Repaso de los componentes fundamentales de los sistemas fotovoltaicos: paneles, inverter, transformador, banco de baterías, cableado y consideraciones a tener en cuenta a la hora de su instalación en un sistema fotovoltaico.

7) **Modelado de Sistemas Fotovoltaicos:** Modelo matemático y ecuacionado de los principales componentes del sistema: paneles, cableado, inverter, pérdidas.

- 8) **Diseño de Sistemas Fotovoltaicos:** Proceso de diseño de sistemas autónomos, sistemas conectados a red, sistemas con almacenamiento. Dimensionamiento de cada uno de los componentes principales para cada tipo de sistemas.
- 9) **Normativa vigente en Uruguay y perspectivas:** Repaso normativo que rige el sector eléctrico uruguayo y particularmente aplicado a la energía solar fotovoltaica (micro y macro generación) y perspectivas para los próximos años.
- 10) **Estrategias para promoción y desarrollo de energía solar PV:** Feed -in tariff, net metering, esquema de cuotas, subsidios, exoneraciones tributarias. Descripción de cada una de las estrategias y ejemplos de aplicación en diferentes países (Alemania, España, EEUU, Japón) y el grado de éxito que cada una de estas han tenido.

#### Bibliografía:

(título del libro-nombre del autor-editorial-ISBN-fecha de edición)

- [1] J.A. Duffie and W.A. Beckman. Solar Engineering of Thermal Processes. Wiley and Sons, Hoboken, New Jersey, third edition, 2006.
- [2] Gonzalo Abal. Fundamentos de Energía Solar: Radiación Solar. Instituto de Física, Facultad de Ingeniería, Uruguay, versión 2.31, 2012.
- [3] Falk Antony, Christian Dürschner, Karl-Heinz Remmers. Photovoltaics for Professionals: Solar Electric Systems Marketing, Design and Installation. Solarpraxis AG, 2007.
- [4] Messenger R, and Ventre J., Photovoltaic Systems Engineering, CRC press LLC, 2000
- [5] G. Abal, M. D'Angelo, "Mapa Solar de Uruguay", 2010, Facultad de Ingeniería – Universidad de la Republica, Instituto de Física.
- [6] Gansler, R.A., "Assessment of Generated Meteorological Data for Use in Solar Energy
- [7] Reglamento de baja tensión, Cap. XXVIII – instalaciones de microgeneración conectadas a la red.  
[http://www.ute.com.uy/servicios\\_cliente/docs/c-28.pdf](http://www.ute.com.uy/servicios_cliente/docs/c-28.pdf)
- [8] Reglamento de baja tensión, Cap. VIII – Prescripciones generales de instalaciones interiores de viviendas.  
[http://www.ute.com.uy/servicios\\_cliente/docs/c-08.pdf](http://www.ute.com.uy/servicios_cliente/docs/c-08.pdf)
- [9] Jenny Nelson. The physics of solar cells. Imperial College Press, London, 2008.
- [10] "Energía Fotovoltaica - Manual sobre tecnologías, proyecto e instalação", Portal Energía – Energías Renováveis.  
[www.portal-energia.com](http://www.portal-energia.com)
- [11] Planning and installing photovoltaic systems: a guide for installers, architects, and engineers/ Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie (DGS). - 2nd ed. ISBN-13:978-1-84407-442-6
- [12] Oscar Perpiñán Lamigueiro "Energía solar fotovoltaica" Versión 1.23 Abril de 2011  
<http://procomun.wordpress.com/documentos/libroesf>
- [13] Energy Market Authority "Handbook of solar PV Systems". ISBN: 978-981-08-4462-2
- [14] Daniel Guasch Murillo. "Modelado y análisis de sistemas fotovoltaicos" Tesis doctoral. Barcelona, abril 2003
- [15] Djamilia Rekioua, Ernest Matagne "Optimization of Photovoltaic Power Systems – Modelization, Simulation and Control" 2012 – ISBN- 978-1-4471-2348-4.
- [16] Michael Boxwell "Solar Electricity Handbook" 2013 Edition – 2013 – ISBN- 978-1-1907670-28-2