PROGRAMA ANALÍTICO

FACULTAD: INGENIERÍA

DEPARTAMENTO: MECÁNICA

CARRERA: INGENIERÍA QUÍMICA

PLAN DE ESTUDIO: 1994

MODALIDAD DE CURSADO: PRESENCIAL

ORIENTACIÓN: NO POSEE

ASIGNATURA: APLICACIONES DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA

CÓDIGO: 9181

DOCENTE RESPONSABLE:

NOMBRE	GRADO ACAD. MAX	CARGO	DEDICACIÓN
Pablo Galimberti	Magister en Energías Renovables	Profesor Adjunto	Exclusiva

EQUIPO DOCENTE:

NOMBRE	GRADO ACAD. MAX	CARGO	DEDICACIÓN
Pablo Galimberti	Magister en Energías Renovables	Profesor Adjunto	Exclusiva
Jorge Barral	Msc. en Ingeniería Mecánica	Profesor Titular	Exclusiva
Santiago Lovera	Magister en Ciencias de la Ingeniería	Profesor Asociado	Exclusiva
Rodolfo Stoll	Magister en Ciencias de la Ingeniería	Ayudante de Primera	Exclusiva

AÑO ACADÉMICO: 2019

CARÁCTER DE LA ASIGNATURA: Optativa

RÉGIMEN DE LA ASIGNATURA: Cuatrimestral

UBICACIÓN EN EL PLAN DE ESTUDIO: 2DO. CUATRIMESTRE DE 5TO. AÑO

RÉGIMEN DE CORRELATIVIDADES:

Aprobada	*Regular*
9132	-

ASIGNACIÓN DE HORAS:

Horas Totales			(90 h.)
	Semanales		(6 h.)
	Teóricas		(… h.)
	Prácticas	Resolución de problemas	(15 h.)
		Laboratorio	(15 h.)
		Proyecto	(15 h.)
		Trabajo de campo	(… h.)
	Teórico-Prácticas		(45 h.)

FUNDAMENTACIÓN DE LOS OBJETIVOS, CONTENIDOS, PROPUESTA METODOLÓGICA Y EVALUACIÓN DEL PROGRAMA:

La energía es uno de los factores más relevantes en el desarrollo de la economía y particularmente del desarrollo tecnológico industrial. La crisis ambiental que atraviesa el planeta debido al cambio climático global, requiere que los profesionales de todas las ramas de la ingeniería tengan conocimiento de las energías renovables para desarrollar soluciones adaptadas e integradas a las distintas actividades. En particular, la energía solar fotovoltaica ha demostrado una versatilidad, confiabilidad y modularidad que la posiciona dentro del espectro de las energías renovables como una alternativa de gran potencialidad al momento de diseñar soluciones específicas. Nuestro país se encuentra en una posición de baja implementación de esta opción, especialmente si consideramos la crisis energética que atraviesa el país y los valores de irradiación solar de las distintas regiones de la Argentina.

El desarrollo de la asignatura se orienta a la implementación de distintas aplicaciones de la energía solar fotovoltaica en sistemas conectados a la red y en sistemas aislados, identificando los componentes necesarios en cada instalación y los criterios básicos requeridos para seleccionar correctamente dichos componentes. Se incluyen prácticas de laboratorios, mediciones a campo y ensayos de componentes e instalaciones fotovoltaicas. Se desarrollan prácticas de cálculo y diseño de instalaciones teniendo en cuenta tanto los aspectos técnicos como los económicos.

El desarrollo de la enseñanza, desde lo metodológico, utilizando entre otras herramientas el desarrollo de proyectos grupales en procura de la integración de saberes de distintas áreas (social, legal, economía, ecología) con los conceptos de Electrotecnia y los propios de la asignatura a los efectos de amalgamarlos en soluciones técnicamente viables, ambientalmente conscientes, que generen consciencia ecológica y que puedan concretarse desde los aspectos económico y financiero

OBJETIVOS PROPUESTOS:

OBJETIVO GENERAL

Se espera que el alumno se adquiera los conocimientos necesarios sobre las distintas aplicaciones de la energía solar fotovoltaica en sistemas conectados a la red y en sistemas aislados, identificando

los componentes necesarios en cada instalación y los criterios básicos requeridos para seleccionar correctamente dichos componentes, como así también sea capaz de diseñar por completo las instalaciones teniendo en cuenta tanto los aspectos técnicos como los económicos

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Se pretende que el alumno sea capaz de:

a) Aplicar los conceptos básicos de radiación y geometría solar para calcular la radiación solar incidente sobre superficies con distintas orientaciones y bajo diferentes condiciones climáticas, teniendo en cuenta las distintas bases de datos disponibles.
b) Conocer los principios de funcionamiento de los módulos fotovoltaicos, baterías, reguladores, inversores y distintos tipos de carga que intervienen en los diferentes tipos de instalaciones fotovoltaicas.
c) Conocer, entender y aplicar la normativa nacional e internacional que se debe utilizar para determinar la calidad de los componentes que intervienen en las instalaciones fotovoltaicas.
d) Conocer las tareas de mantenimiento, los problemas y las soluciones más comunes en instalaciones fotovoltaicas de conexión a red y aisladas.
e) Entender las limitaciones de los sistemas fotovoltaicos y comprender la importancia del concepto de uso racional de la energía.
f) Entender los principios básicos de otras aplicaciones de la energía solar que producen energía eléctrica y pueden funcionar junto con sistemas FV.
g) Adquirir habilidades prácticas mediante la ejecución de trabajos de laboratorios y mediciones bajo norma de componentes, equipos e instalaciones fotovoltaicas, utilizando el instrumental adecuado.
h) Interpretar las herramientas de ingeniería económica que le permitan presupuestar correctamente las instalaciones, explorando alternativas y realizando cálculos de inversión, financiamiento, tarifas y amortización de instalaciones.

COMPETENCIAS:

- **Competencias genéricas:** se aporta al desarrollo varias competencias genéricas tanto en el ámbito tecnológico como en el social, político y actitudinal, especialmente abordadas desde la metodología de trabajo integrador grupal como: concebir, diseñar y desarrollar proyectos de ingeniería, utilizar de manera efectiva las técnicas y herramientas de aplicación en la ingeniería, desempeñarse de manera efectiva en equipos de trabajo, comunicarse con efectividad, actuar con ética, responsabilidad profesional y compromiso social, considerando el impacto económico, social y ambiental de su actividad en el contexto local y global, aprender en forma continua y autónoma y actuar con espíritu emprendedor.

- **Competencias específicas:** dentro de las competencias específicas se contribuye a desarrollar competencias en diseñar proyectos de instalaciones de generación de energía como proyectar la operación y mantenimiento de las instalaciones. Relacionados con descriptores del conocimiento tales como: Electrotecnia y máquinas eléctricas, Fundamentos de electrónica Economía, Ética y Legislación y Ejercicio Profesional, Formulación y evaluación de proyectos, Gestión Ambiental, Gestión de la Calidad,

Higiene y Seguridad, Organización Industrial, Física: Calor, Electricidad, Electromagnetismo, Magnetismo, Mecánica y Óptica., Informática: Fundamentos de Programación, Matemática: Análisis Numérico, Probabilidad y Estadística, Fundamentos de Química, Sistemas de Representación.

EJES TEMÁTICOS ESTRUCTURANTES DE LA ASIGNATURA Y ESPECIFICACIÓN DE CONTENIDOS:

CAPÍTULO 1: Introducción a la energía solar fotovoltaica
1.1 La crisis ambiental y el problema energético.
1.2 El panorama de la energía eléctrica a nivel global y nacional.
1.3 La generación de electricidad mediante energía solar fotovoltaica.
1.4 El problema de provisión de energía eléctrica a comunidades aisladas y áreas inaccesibles.
1.5 La posibilidad de generación fotovoltaica para inyectar a una red eléctrica convencional.

CAPÍTULO 2: Radiación Solar y disponibilidad del recurso
2.1 El sol, la constante solar, radiación extraterrestre y su variación.
2.2 Rayo solar sobre superficies horizontales e inclinadas, ángulos.
2.3 Instrumentos de medición: Piranómetros y Pirheliómetros.
2.4 Atenuación atmosférica. Estimación de la radiación solar media.
2.5 Componentes directa, difusa y reflejada. Modelos de radiación solar. Radiación solar sobre superficies inclinadas.
2.6 Datos de radiación solar disponibles sobre la superficie terrestre.
2.7 Estimación de la radiación solar. Valores medios horarios, diarios y mensuales.
2.8 Utilizabilidad de la radiación solar.

CAPÍTULO 3: Estructura de la celda solar y módulos fotovoltaicos
3.1 La célula solar.
3.2 Teoría básica de semiconductores.
3.3 Funcionamiento de una célula fotovoltaica y parámetros característicos.
3.4 Distintas tecnologías de dispositivos fotovoltaicos (FV).
3.5 El módulo fotovoltaico.
3.6 Ensayos de módulos fotovoltaicos. Normas IRAM.
3.7 Obtención de la característica corriente tensión (I-V) de un módulo fotovoltaico.

CAPÍTULO 4: Sistemas fotovoltaicos autónomos
4.1 El sistema fotovoltaico autónomo.
4.2 Topologías y especificaciones de sistemas fotovoltaicos aislados.
4.3 Distintos tipos de cargas. Consumos estimados.
4.4 Inversores.
4.5 Reguladores de carga.
4.6 Acumuladores (Baterías).
4.7 Instalación eléctrica.

CAPÍTULO 5: Acumuladores electroquímicos en instalaciones solares fotovoltaicas aisladas.
5.1 Funcionamiento de un acumulador electroquímico.

5.2 Elementos constructivos de una batería.
5.3 Baterías de plomo-ácido.
5.4 Baterías de electrolito inmovilizado.
5.5 Baterías de Niquel-Cadmio.
5.6 Características de operación.
5.7 Ciclado de la batería.
5.8 Capacidad de la batería.
5.9 Estado de carga. Carga y descarga de la batería.
5.10 Densidad del electrolito.
5.11 Tensión de la batería.
5.12 Efectos de la autodescarga en la capacidad.
5.13 Profundidad de descarga (DOD).
5.14 Efectos de la temperatura en la DOD.
5.15 Baterías de ciclo profundo.
5.16 Gaseo y sobrecarga.

CAPÍTULO 6: Reguladores de carga.
6.1 Tensiones de regulación.
6.2 Compensación con la temperatura.
6.3 Reguladores serie y paralelo.
6.4 Otras funciones asociadas con el regulador de carga.
6.5 Convertidores DC/DC.
6.6 Seguidores del punto de máxima potencia (MPPT).

CAPÍTULO 7: Inversores.
7.1 Introducción.
7.2 Principio de funcionamiento.
7.3 Características de un inversor comercial.
7.4 Configuraciones de los inversores.
7.5 Rendimiento.
7.6 Transformador de salida.
7.6 Otras características.
7.7 Inversores fotovoltaicos autónomos.
7.8 Inversores para conexión de sistemas fotovoltaicos a la red.

CAPÍTULO 8: Diseño de un sistema fotovoltaico aislado
8.1 Introducción.
8.2 Cálculo del campo fotovoltaico.
8.3 Orientación de los módulos. Ángulo de inclinación. Estructuras de soporte.
8.4 Corrientes en el circuito.
8.5 Diseño de la batería. Balance Amper-hora del sistema
8.6 Regulador de carga.
8.7 Cálculo de las secciones de cables.
8.8 Detección de fallos. Reparación.
8.9 Mantenimiento.

CAPÍTULO 9: Bombeo Fotovoltaico.
9.1 Elementos de una instalación de bombeo fotovoltaico.
9.2 Aplicaciones y clasificación de sistemas de bombeo fotovoltaico.
9.3 Motores AC y DC en sistemas de bombeo fotovoltaico.
9.4 Tipos de bombas.
9.5 Convertidores electrónicos en sistema de bombeo fotovoltaico.
9.6 Dimensionamiento de sistema de bombeo fotovoltaico.
9.7 Estudio de bombeos fotovoltaicos con diversos ciclos hidráulicos.

CAPÍTULO 10: Sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica.
10.1 Introducción.
10.2 Características de los inversores de conexión a red. Topología.
10.3 Funcionamiento en isla.
10.4 Configuración Eléctrica del generador.
10.5 Montaje de los módulos. Estudio de sombreo lejano y entre módulos.
10.6 Producción de energía del SFR.
10.7 Proyecto de una instalación fotovoltaica de conexión a la red de suministro.
10.8 Parques solares fotovoltaicos.
10.9 Aspectos económicos: Amortización, Autoconsumo, Balance neto, Feed in Tariff.
10.10 Normativas internacionales, nacionales y provinciales.

FORMAS METODOLÓGICAS:

Las clases serán teórico-prácticas. En las mismas se desarrollarán los principios fundamentales y se resolverán problemas de aplicación.
Desde la primera clase se trabajará fijando como punto inicial los objetivos, ya sean éstos de la asignatura, del capítulo en estudio, o de cada tema en particular, a fin de que el alumno tenga en claro en todo momento qué está haciendo, por qué y para qué.
Algunos temas cubiertos parcialmente en asignaturas anteriores serán repasados conceptualmente y ampliados si es necesario a fin de lograr una optimización del tiempo de alumnos y docentes y lograr una conexión adecuada entre las asignaturas.
Con el objeto de lograr el interés de los alumnos, se trabajará ejemplificando continuamente sobre casos prácticos reales, mostrando la aplicación de las herramientas ya conocidas de otras asignaturas y/o los conceptos básicos de la energía solar. Se profundizarán algunos aspectos tecnológicos de carácter general y algunos puntos más específicos de acuerdo a las posibilidades de avance del curso y la consecuente disponibilidad de tiempo. También, se organizarán visitas guiadas a distintas instalaciones fotovoltaicas teniendo en cuenta la disponibilidad de recepción y los recursos económicos disponibles.
En la resolución de problemas se promoverá la discusión de los mismos, desarrollando algunos de ellos en clase. Se requerirá la resolución de algunos problemas numéricos mediante la programación y uso de computadora.
Se mostrarán publicaciones científicas, reportes técnicos y artículos de difusión sobre el tema para que los alumnos sepan cómo mantenerse actualizados de los avances de la aplicación de la tecnología fotovoltaica.
Los trabajos prácticos de laboratorio se llevarán a cabo en el Laboratorio de Energía Solar y los alumnos podrán manipular el instrumental bajo la supervisión de los docentes. Se registrarán las

mediciones necesarias para caracterizar los componentes, verificar su correcto funcionamiento, rendimientos y operación de las protecciones.

PROGRAMAS Y/O PROYECTOS PEDAGÓGICOS E INCLUSIVOS:

Se participa desde la asignatura en la práctica socio comunitaria "La vivienda social y la energía. El desafío de incrementar las condiciones de habitabilidad, a bajo costo y disminuyendo el gasto energético" donde se realizan de acciones de asesoramiento y formación sobre el consumo energético de viviendas sociales habitadas a los efectos de proponer mejoras tendientes al uso racional de la energía y a la implementación de sistemas de energía solar para brindar servicios en las mismas. Asimismo, se utilizará este trabajo para conformar criterios de diseño para la implementación de nuevos planes de vivienda social.

CRONOGRAMA TENTATIVO DE CLASES Y PARCIALES y NÓMINA DE TRABAJOS PRÁCTICOS:

A continuación, se presenta un cronograma tentativo semanal para el desarrollo de los distintos capítulos que comprenden la asignatura. El coloquio integrador se realizará después de obtenidos los requisitos expuestos en el punto anterior.

Semana / Capítulo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	***														
2		***	***												
3				***											
4					***										
5						***	***								
6								***	***						
7										***					
8											***	***			
9													***		
10														***	***
Trabajo práctico			1	2		3		4		5		6		7	
Entrega proyecto															X

La semana 1 es el inicio del cuatrimestre y corresponde al lunes 12 de agosto, siendo semanas consecutivas hasta la semana 15 que finaliza el viernes 22 de noviembre.

BIBLIOGRAFÍA OBLIGATORIA Y DE CONSULTA ESPECIFICANDO EL EJE TEMÁTICO DE LA ASIGNATURA:

BIBLIOGRAFÍA OBLIGATORIA

- Ministerio de Educación y Ciencia de España, 2007, Fundamentos, dimensionado y aplicaciones de la energía solar fotovoltaica - Vol.1, Ciemat, Madrid.
- Ministerio de Educación y Ciencia de España, 2007, Fundamentos, dimensionado y aplicaciones de la energía solar fotovoltaica - Vol.2, Ciemat, Madrid.
- Madrid Vicente, Antonio, 2009, *Curso de energía solar: fotovoltaica, térmica y termoeléctrica*, Mundi-Prensa, Madrid. *
- Lamigueiro, O. P., *Energía Solar Fotovoltaica*, 2015, Versión 1.8. Este documento está accesible en <https://github.com/oscarperpinan/esf>.
- Gobierno de Aragón - Manual de Procedimientos de Trabajo seguro en la actividad de instalación y mantenimiento de paneles de energía solar térmica y fotovoltaica. CEPYME Aragón. 2012.(disponible en: https://issuu.com/cepymearagon/docs/2009_dga_fotovoltaica)
- Duffie, J. A. y Beckman, W. A., 2006, *Solar Engineering of Thermal Processes, Third Edition*, John Wiley and Sons, New York. *

BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA

- Green, Martin, 2002, Energía fotovoltaica: de la luz solar a la electricidad usando células solares, Acribia, Zaragoza. *
- Fundación para la prevención de riesgos laborales. Medidas preventivas a adoptar por instaladores de placas de energía solar fotovoltaica y fototérmica. CEPYME Aragón. 2012. (disponible en: https://issuu.com/cepymearagon/docs/2013-fprl-02)
- Khatib T. y Elmenreich W., 2016, *Modeling of photovoltaic systems using MATLAB® : simplified green codes*, John Wiley & Sons.
- Zhao B., 2017, Grid-Integrated and standalone photovoltaic distributed generation systems: analysis, design and control, Wiley.
- Kreider, J. F., Hoogendoorn, C. J. y Kreith, F., 1989, *Solar Design, Components, Systems, Economics*, Hemisphere Publishing Corporation, New York. *
- Montgomery, R. N., 1994, *Energía Solar, Selección del Equipo, Instalación y Aprovechamiento*, Limusa, México. *
- Markvart, T., 1994, *Solar Electricity*, John Wiley & Sons, New York. *
- Strong, S. J. y Scheller, W. G., 1991, *The Solar Electric House: A Design Manual for Home-Scale Photovoltaic Power Systems*, Sustainability Press, New York. *
- Thuesen, G. J. y Fabrycky, W. J., 1993, *Engineering Economy*. Prentice Hall; New York. *

* disponibles en la biblioteca de la UNRC:

HORARIO DE CLASES:

DIA	HORARIO
Miércoles	10 a 13 h.
Viernes	8 a 11 h.

HORARIO Y LUGAR DE CONSULTAS:

DIA	HORARIO	LUGAR
Lunes (P. Galimberti)	10 a 12 h.	LES
Jueves (R. Stoll)	16:30 a 18:30 h.	Ex Planta Piloto
Jueves (S. Lovera)	9 a 12 h.	Ex Planta Piloto GASEP

REQUISITOS PARA OBTENER LA REGULARIDAD Y LA PROMOCIÓN:

A la finalización de ciertos capítulos seleccionados se realizará un trabajo práctico grupal utilizando los conceptos básicos desarrollados, la tarea será libre y el alumno disponer de todo el material bibliográfico que esté a su alcance. La defensa del trabajo será oral mediante una presentación con el material que le sea pertinente con la obtención de cinco (5) puntos sobre un total de diez (10) para la aprobación de dicha tarea. La calificación estará a cargo de la clase donde se establecerá el criterio de evaluación consensuado por grupo de alumnos que integran la clase. En todas las instancias evaluativas en caso de reprobar, habrá una opción de recuperación consensuada entre docentes y alumnos. A la finalización del curso, y en función de los temas vistos, los alumnos deberán presentar proyectos de final de curso, los cuales se podrán realizar en forma grupal (grupos de no más de tres alumnos). Sobre dicho proyecto deberán presentar un informe, el cual básicamente incluirá:

a) Memoria Descriptiva:

Ésta deberá ser de una o dos páginas de extensión, conteniendo puntos esenciales del trabajo realizado: de que se partió, qué se supuso, cuáles fueron los objetivos, que metodología básica de trabajo se utilizó y a qué conclusiones se arribó (y algunas otras cuestiones que también se consideren de importancia). Debe pensarse que dicha memoria descriptiva está dirigida a un gerente empresario, que no está familiarizado con los detalles de la energía solar fotovoltaica, pero que es un profesional con experiencia en distintos campos de la ingeniería.

b) Reporte Técnico:

Esté deberá constar de los siguientes ítems: el planteamiento del proyecto (datos iniciales), los fundamentos en los cuales se basaron los cálculos, las suposiciones realizadas, las tablas, gráficos y bases de datos utilizados (lo que corresponda), esquemas o planos, análisis económico del proyecto (a grandes rasgos) y un análisis de los resultados. Sería conveniente que se enumeraran también las dificultades encontradas, problemas tecnológicos, propuestas alternativas (si las hubiera), etc. Este reporte debe estar orientado a un supuesto supervisor técnico de su trabajo que es un ingeniero familiarizado con la tecnología solar fotovoltaica.

Las notas obtenidas en los trabajos prácticos grupales se integrarán a los resultados de la evaluación del proyecto para conformar la nota final de la asignatura. De resultar ésta nota final igual o superior a siete (7) puntos el alumno estará promocionado en la asignatura. Quien no alcanzare los requisitos de promoción luego de esta etapa, quedará en condición de alumno regular si con los trabajos prácticos grupales y el proyecto obtiene al menos cinco (5) puntos, debiendo rendir un examen convencional con parte práctica y parte teórica. Quien no alcance estas últimas condiciones quedará en condición de libre.

CARACTERÍSTICAS, MODALIDAD Y CRITERIOS DE LAS INSTANCIAS EVALUATIVAS, INCLUYENDO EXAMEN FINAL, ESTABLECIENDO TIEMPOS DE CORRECCIÓN DE LAS MISMAS Y LA DEVOLUCIÓN A LOS ESTUDIANTES:

EXÁMENES PARCIALES				
INSTANCIA EVALUATIVA	CARACTERÍSTICAS	MODALIDAD	TIEMPO DE CORRECCIÓN	TIEMPO DE DEVOLUCIÓN A LOS ESTUDIANTES
Trabajo práctico grupal	Resolución de Problemas	Oral	En el momento	En el momento
Trabajo final grupal	Presentación de proyecto	Oral/Escrita	En el momento	En el momento

EXAMENES FINALES	
CARACTERÍSTICAS	MODALIDAD
De Laboratorio (Estudiantes Libres)	Oral y Escrito
Resolución de Problemas (Estudiantes Libres y Regulares)	Escrito
Conceptos y demostraciones teóricas (Estudiantes Libres y Regulares)	Oral

Firma Docente Responsable

Firma Secretario Académico