

1. Datos Generales de la asignatura

Nombre de la asignatura:	Aplicación de Sistemas Fotovoltaicos
Clave de la asignatura:	EEF-2003
SATCA¹	3-2-5
Carrera:	Ingeniería en Energía Renovable

2. Presentación

Caracterización de la asignatura.
<p>Esta asignatura aporta al perfil de egreso del Ingeniero en Energías Renovables la capacidad de comprender el origen de la tecnología de aprovechamiento de radiación solar fotovoltaica, así como los elementos que componen los sistemas fotovoltaicos y las distintas aplicaciones. Asimismo, contribuye a que el estudiante se involucre en la problemática energética actual ya que se prepara para realizar dimensionados y análisis tarifario, y, gracias a sus prácticas y contenido, sea capaz de aportar con sus conocimientos en arreglos e instalación de sistemas de aprovechamiento solar.</p> <p>La asignatura pretende ser un instrumento que permita romper con las barreras de conocimiento respecto a las bondades de este tipo de tecnologías y que pueda ser utilizado como una referencia básica, de manera tal que le proporciona al egresado herramientas básicas necesarias para la implementación de proyectos relacionados con la localización y distribución de energía solar.</p>
Intención didáctica
<p>El contenido de la asignatura está dividido en 5 temas.</p> <p>El tema 1 analiza los fundamentos de la radiación solar, su espectro de emisión y los distintos equipos de medición, así como el cálculo de incidencia de radiación respecto a los parámetros de posición, orientación e inclinación de módulos solares.</p> <p>El tema 2 aborda los conocimientos básicos del funcionamiento de una Celda Solar y la fabricación de módulos fotovoltaicos como sistemas de generación de electricidad. En el tema se analizan sus parámetros eléctricos, las certificaciones y su evolución en eficiencia, así como los diferentes arreglos y problemas típicos de daños o malas conexiones.</p> <p>El tema 3 aborda de manera básica los distintos elementos eléctricos para protección y adecuación eléctrica para un sistema fotovoltaico autónomo hasta sistemas de acoplamiento a la red eléctrica.</p> <p>El tema 4 ofrece la importancia de los sistemas de almacenamiento de electricidad, los parámetros de una batería y su mantenimiento, así como los diferentes arreglos para un sistema fotovoltaico.</p> <p>En el capítulo 5 se abordan los temas de aplicación, desde sistemas autónomos y de bombeo hasta sistemas interconectados a la red haciendo un estudio de tarifas actuales y retornos de inversión.</p>

¹ sistema de asignación y transferencia de créditos académicos

3. Participantes en el diseño y seguimiento curricular del programa

Lugar y fecha de elaboración o revisión	Participantes	Observaciones (cambios y justificación)
Instituto Tecnológico de La Laguna. Septiembre 2020.	Dr. Carlos Álvarez Macías	Diseño, revisión y actualización de la especialidad de Energía Eólico-Solar del programa de: Ingeniería en Energías Renovables.

4. Competencia(s) a desarrollar

Competencia(s) específica(s) de la asignatura
<ul style="list-style-type: none"> • Conoce la importancia del sol como principal fuente de energía y una de las principales tecnologías de aprovechamiento de radiación, la fotovoltaica, así como los alcances actuales. • Comprende los principios básicos de conversión de la energía solar a energía eléctrica. • Identifica los principales parámetros de la tecnología y su evolución. • Identificar y comprender el funcionamiento de las partes que conforman un sistema fotovoltaico y los tipos que hay. • Implementar sistema fotovoltaico. • Colabora en prácticas y proyecto de investigación en los que sea capaz de atacar problemas de elaboración, funcionamiento, mejora, mantenimiento, desarrollo e innovación tecnológica, relacionados con energía solar.

5. Competencias Previas

Conocimientos de las asignaturas: Fuentes Renovables de Energía, Electricidad y Magnetismo, Física y Química aplicadas, Matemáticas aplicadas I y II, Circuitos Eléctricos, Sistemas Térmicos, Introducción a las energías Renovables, Sistemas Térmicos, Electrónica e Instalaciones eléctricas.

6. Temario

No	Temas	Subtemas
1	Solarimetría aplicada a sistemas Fotovoltaicos	<p>1.1. Irradiancia Solar y constante solar.</p> <p>1.2. Espectros solar y masa de aire.</p> <p>1.3. Coordenadas terrestres y movimientos del sol.</p> <p>1.3.1. Declinación solar y Ángulos solares: elevación, cenital y azimutal.</p> <p>1.4. Medición de Irradiancia directa, difusa y albedo.</p> <p>1.4.1. Insolación y hora solar.</p> <p>1.5. Optimización de radiación solar.</p> <p>1.5.1. Inclinação y orientación de módulos fijos.</p> <p>1.5.2. Mapas de optimización: orientación vs inclinación.</p> <p>1.5.3. Sombreado y distancias mínimas entre módulos fijos.</p> <p>1.6. Aprovechamiento de radiación solar durante el día: Módulos móviles y seguidores solares.</p>
2	Tecnología de Celdas Solares y Módulos Fotovoltaicos	<p>2.1. Importancia de generación eléctrica.</p> <p>2.2. Efecto fotoeléctrico y fotovoltaico.</p> <p>2.3. Semiconductores y diodos de unión.</p> <p>2.4. Modelo eléctrico y matemático de: Diodos, LED's y Celdas Solares.</p> <p>2.5. Funcionamiento de una Celda Solar en oscuro e iluminado.</p> <p>2.6. Parámetros eléctricos, condiciones STC y cálculo de eficiencia.</p>

		<p>2.7. Efectos de Temperatura y Radiación</p> <p>2.8. Generaciones y evolución de Celdas solares.</p> <p>2.9. Módulos Fotovoltaicos. 2.9.1.Etapas de Fabricación. 2.9.2.Estructura y Componentes.</p> <p>2.10.Normas y Certificado de Módulos. 2.10.1 NOM-001 -2018; ANSI: UL-1703.</p> <p>2.11.Parámetros eléctricos y hojas de especificaciones.</p> <p>2.12.Eficiencia y tecnologías.</p> <p>2.13.Efectos de sombreado y desbalance 2.13.1. Retornos de corriente y puntos calientes.</p> <p>2.14. Estructura de soporte y anclaje.</p>
3	Subsistemas de protección, acoplamiento y adecuación eléctrica	<p>3.1. Reguladores y controladores de carga. 3.1.1. Tecnología MPPT. PWM y Optimizadores “Smart” 3.1.2. Diodos de bloqueo, de paso y fusibles termomagnéticos. 3.1.3. Interruptores y conexión a tierra. 3.1.4. Cableado y conectores MC4</p> <p>3.2. Inversores. 3.2.1. Inversores para sistemas aisladas. 3.2.2. Inversores de conexión a red. 3.2.3. Inversores tipo Central y de rama.</p> <p>3.3. Microinversores. 3.3.1. Parámetros y Certificación. 3.3.2. Ajuste entre módulos y microinversor.</p> <p>3.4. Cable troncal y tablero de distribución</p>
		<p>4.1. Sistemas de almacenamiento.</p>

4	Sistemas de almacenamiento de energía eléctrica	<p>4.1.1. Importancia y papel en la fotovoltaica.</p> <p>4.2. Tecnología de baterías.</p> <p>4.2.1. Capacidad de carga y régimen.</p> <p>4.2.2. Tipos de baterías: de arranque y de ciclo profundo</p> <p>4.2.3. Ciclos de Carga-descarga y vida útil.</p> <p>4.3. Arreglos de baterías en serie y paralelo.</p> <p>4.4. Mantenimiento y protección.</p>
5	Aplicaciones de Sistemas fotovoltaicos	<p>5.1. Sistemas Autónomos y bombeo.</p> <p>5.1.1. Dimensionado de baterías.</p> <p>5.1.2. Dimensionado de módulos.</p> <p>5.1.3. Dimensionado de elementos eléctricos.</p> <p>5.1.4. Conexión de elementos.</p> <p>5.2. Sistemas interconectados a la red.</p> <p>5.2.1. Generación distribuida</p> <p>5.2.2. Esquema Tarifario en México</p> <p>5.2.5.1. Subsidiado, PDBT y DAC.</p> <p>5.2.5.2. Costo marginal local.</p> <p>5.2.6. Dimensionados basados en recibos CFE.</p> <p>5.2.7. Cálculo de retorno de inversión.</p>

7. Actividades de aprendizaje de los temas

Tema 1.	
Solarimetría aplicada a sistemas Fotovoltaicos	
Competencias	Actividades de Aprendizaje
<p>Específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> Conoce las bases del origen de la radiación del sol y su importancia como principal fuente de energía. Conoce y manipular los diferentes parámetros que determinan las variaciones de radiación solar. 	<ul style="list-style-type: none"> Realizar ejercicios sobre formas de medir y determinar la radiación incidente por latitud terrestre, día del año y hora del día. Determina componentes e intensidades de radiación directa y difusa con el uso de medidores.

<ul style="list-style-type: none"> Identifica las condiciones óptimas de máxima captación de radiación solar. <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> Capacidad para identificar, plantear y resolver problemas. Habilidad para trabajar en forma autónoma. 	<p>Verificar los parámetros de inclinación y orientación que determinan las variaciones de radiación sobre una superficie.</p> <ul style="list-style-type: none"> Calcula distancias mínimas de módulos con objetos para evitar sombreados.
---	--

Tema 2.

Tecnología de Celdas Solares y Módulos Fotovoltaicos

Competencias	Actividades de Aprendizaje
<p>Específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> Adquiere capacidad de conocer el funcionamiento y los componentes de una celda solar, vista como un diodo de unión. Identifica los parámetros eléctricos de una celda solar y su efecto con la radiación y la temperatura. Conoce las distintas generaciones en la evolución de celdas solares. Adquiere conocimientos de las etapas de fabricación de módulos fotovoltaicos, así como de sus componentes. Identifica y manipula los parámetros eléctricos de módulos solares y sus arreglos de interconexión. <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> Capacidad para identificar, plantear y resolver problemas. Habilidad para trabajar en forma autónoma. 	<ul style="list-style-type: none"> Realiza mediciones de curvas IV de diodos, leds y celdas solares Realiza mediciones de conexiones de celdas y determina las diferencias de los arreglos. Observa y conoce las etapas de construcción y elementos de un módulo fotovoltaico. Analiza la importancia de las termografías para la búsqueda de puntos calientes. Identifica las certificaciones que deben cumplir los módulos fotovoltaicos del mercado.

Tema 3.

Subsistemas de protección, acoplamiento y adecuación eléctrica

Competencias	Actividades de Aprendizaje
<p>Específicas:</p>	<ul style="list-style-type: none"> Realiza prácticas de funcionamiento de seguidores de potencia para diferenciar entre controladores PWM y MPPT.

<ul style="list-style-type: none"> • Conoce el funcionamiento y el papel de los componentes eléctricos de un sistema fotovoltaico. • Identifica el tipo de conexión y los elementos de acoplamiento y protección de energía eléctrica de un sistema fotovoltaico. • Adquiere conocimientos de acoplamiento entre módulos y microinversores. <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad para identificar, plantear y resolver problemas. • Habilidad para trabajar en forma autónoma. 	<ul style="list-style-type: none"> • Evalúa el funcionamiento de los interruptores termomagnéticos, fusibles y diodos de bloqueo de un sistema fotovoltaico • Identifica e realiza conexiones para el uso de conectores MC4. • Verificar el papel del inversor, en un sistema fotovoltaico. • Evalúa el funcionamiento de un microinversor y sus ventajas.
---	--

Tema 4.

Sistemas de almacenamiento de energía eléctrica.

Competencias	Actividades de Aprendizaje
<p>Específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conoce el funcionamiento y el papel de las baterías en un sistema fotovoltaico. • Identifica los parámetros de carga y descarga de una batería fotovoltaica. • Identifica los tipos de baterías de arranque y de ciclo profundo. • Adquiere conocimiento para cálculos de dimensionado de baterías. <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad para identificar, plantear y resolver problemas. • Habilidad para trabajar en forma autónoma. 	<ul style="list-style-type: none"> • Construye sistemas pequeños y mide procesos de carga y descarga de baterías. • Realizar simulaciones de dimensionado de sistemas de almacenamiento de energía eléctrica. • Realiza ensayos de mantenimiento preventivo y correctivo a baterías fotovoltaicas. • Practica con los parámetros y arreglos de las baterías.

Tema 5.

Aplicaciones de Sistemas fotovoltaicos.

Competencias	Actividades de Aprendizaje
<p>Específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identifica y entiende los distintos elementos que componen un sistema 	<ul style="list-style-type: none"> • Compara las diferencias de elementos y características eléctricas entre sistemas autónomos y conectados a la red.

<p>fotovoltaico autónomo y conectado a la red.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identifica y conoce los puntos clave para realizar interconexiones y medidas eléctricas de sistemas en funcionamiento. • Conoce los esquemas tarifarios de energía eléctrica de CFE para la identificación de clientes potenciales para instalación de sistemas fotovoltaicos. • Conoce los cálculos y herramientas apropiados para realizar dimensionados y obtención de retorno de inversión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Realiza simulación de las necesidades y requisitos para el dimensionado e instalación de un sistema conectado a la red. • Realiza ensayos de análisis de recibos para ajustar propuestas de sistemas fotovoltaicos acoplados a la red. • Realiza actividades para comprender el sistema tarifario de CFE. • Implementa ensayos de dimensionado de sistemas fotovoltaicos. • Realiza visitas guiadas a sistemas fotovoltaicos instalados identificando los distintos elementos e identificando los parámetros de medición.
--	---

8. Prácticas

1. Medición de Radiación solar directa y difusa a diferentes condiciones.
2. Obtención de parámetros eléctricos y eficiencia en Celdas Solares a distintas intensidades de radiación y temperatura.
3. Acoplamiento entre controladores, baterías y módulos
4. Construcción de pequeño sistema de almacenamiento y determinación de autonomía.
5. Uso de programa de simulación y dimensionado.
6. Determinación de carga y descarga eléctrica de baterías.
7. Dimensionado de implementación de sistemas acoplados a la red de distintos esquemas tarifarios.

9. Proyecto de asignatura

El objetivo del proyecto que planteé el docente que imparta esta asignatura, es demostrar el desarrollo y alcance de la(s) competencia(s) de la asignatura, considerando las siguientes fases:

- **Fundamentación:** marco referencial (teórico, conceptual, contextual, legal) en el cual se fundamenta el proyecto de acuerdo con un diagnóstico realizado, mismo que permite a los estudiantes lograr la comprensión de la realidad o situación objeto de estudio para definir un proceso de intervención o hacer el diseño de un modelo.
- **Planeación:** con base en el diagnóstico en esta fase se realiza el diseño del proyecto por parte de los estudiantes con asesoría del docente; implica planificar

un proceso: de intervención empresarial, social o comunitario, el diseño de un modelo, entre otros, según el tipo de proyecto, las actividades a realizar los recursos requeridos y el cronograma de trabajo.

- **Ejecución:** consiste en el desarrollo de la planeación del proyecto realizada por parte de los estudiantes con asesoría del docente, es decir en la intervención (social, empresarial), o construcción del modelo propuesto según el tipo de proyecto, es la fase de mayor duración que implica el desempeño de las competencias genéricas y específicas a desarrollar.
- **Evaluación:** es la fase final que aplica un juicio de valor en el contexto laboral-profesión, social e investigativo, ésta se debe realizar a través del reconocimiento de logros y aspectos a mejorar se estará promoviendo el concepto de “evaluación para la mejora continua”, la metacognición, el desarrollo del pensamiento crítico y reflexivo en los estudiantes.

10. Evaluación por competencias

- Observación del desempeño del alumno durante la realización trabajos e investigaciones.
- Información obtenida durante las investigaciones solicitadas plasmada en documentos escritos.
- Exámenes escritos para comprobar el manejo de aspectos teóricos y declarativos.
- Reportes escritos de las prácticas experimentales.
- Desarrollo de prototipos funcionales donde se muestren los diferentes tipos de generación de energías renovables.
- Portafolio de evidencias.

11. Fuentes de información

1. J. A. Cartas, Generación Eléctrica con Energías Renovables, Prentice Hall, USA 2009.
2. Joseph Cunningham, Commissioning for PV Performance: SunSpec Alliance Best Practice Guide, Sunspec 2014.
3. Comité Consultivo Nacional de Normalización de Instalaciones Eléctricas, Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2018 Instalaciones Eléctricas, 2018.
4. Secretaría de Energía, Manual de Interconexión de Centrales de Generación con Capacidad menor a 0.5 MW, Secretaría de Energía 2018.
5. Max Alvarado, Manual del Instalador Fotovoltaico: Sistemas autónomos, CCEEA, 2020.

6. Duffie And Beckman, "Solar Engineering Of Thermal Processes", John Wiley and Sons, USA, 2006.
7. Loulou R. and Waaub J.P., Energy and Environment. Springer Science+Business, USA, 2005.
8. Martin A. Green-Solar Cells_ Operating Principles, Technology, and System Applications-Prentice Hall, USA 1995.