

1. Datos Generales de la asignatura

Nombre de la asignatura:	Energía Eólica
Clave de la asignatura:	ERF-1009
SATCA¹:	3-2-5
Carrera:	Ingeniería en Energías Renovables

2. Presentación

Caracterización de la asignatura
<p>Esta asignatura aporta las bases para que el Ingeniero en energías renovables tenga la capacidad de :</p> <ul style="list-style-type: none"> Diseñar e implementar sistemas y dispositivos para el aprovechamiento del potencial eólico, para los sectores productivo y de servicios apegados a normas y acuerdos nacionales e internacionales. Colaborar en proyectos de investigación para el desarrollo tecnológico, en el área de energías renovables. Comprender los elementos teóricos y prácticos sobre la generación eolo-eléctrica moderna, sus implicaciones técnicas, socioeconómicas y ambientales. <p>La energía eólica es una de las asignaturas esenciales en el programa de energías renovables, y al ser los generadores eólicos dispositivos que requieren de la integración de diversas disciplinas es importante hacer un resumen de los temas que se requieren antes de llegar a esta asignatura. Entre los temas importantes tenemos programación, para computar las ecuaciones de la teoría del momento, que no se podrán entender si no tenemos las bases de mecánicas de fluidos y conservación del momento y energía. La manipulación y resolución de ecuaciones diferencial es un tema básico; por otro lado, las asignaturas de metrología, sistemas de información geográfica, tecnología de los materiales, circuitos eléctricos, instalaciones eléctricas serán un complemento esencial para entender el funcionamiento de las partes mecánicas y eléctricas que integra a un generador y para su correcta ubicación.</p> <p>Un sistema eólico, entendido por un conjunto de elementos como recurso eólico, partes mecánicas, eléctricas y materiales, permitirá desarrollar proyectos integradores en la misma asignatura y en aquellas como evaluación de proyectos y gestión de empresas. De igual forma en la asignatura de administración y técnicas de conservación se estudian las técnicas para el mantenimiento de las partes eléctricas y mecánicas que conforman al generador eólico.</p>

¹ Sistema de Asignación y Transferencia de Créditos Académicos

Intención didáctica

Se organiza el contenido de la signatura en cuatro temas: en el tema 1 se inicia con un panorama del viento como recurso energético renovable y su potencial, así como su medición y caracterización. De igual manera se presentan conceptos básicos como: turbulencia, caracterización de las velocidades del viento y evaluación del potencial del viento como fuente de energía renovable.

En el tema 2 se introducen los conceptos de aerodinámica así como el funcionamiento de las turbinas eólicas en estado estable como inestable, se aborda el concepto de la teoría del momento del disco rotor, teoría del rotor de aspas, geometría del aspa y el método de aceleración potencial.

En el tema 3, se explican las curvas de comportamiento de los aerogeneradores, así como su operación a velocidad rotacional constante y variable, se muestra la realización de pruebas de campo y medición del comportamiento de una turbina eólica.

El tema 4 presenta los aspectos económicos de los aerogeneradores, así como los costos de inversión y producción de los mismos.

En las actividades de aprendizaje sugeridas para cada tema, generalmente se propone la formalización de los conceptos a partir de experiencias concretas; se busca que el estudiante tenga el primer contacto con el concepto y sea a través de la observación, la reflexión y la discusión que resuelva los problemas del contexto.

3. Participantes en el diseño y seguimiento curricular del programa

Lugar y fecha de elaboración o revisión	Participantes	Evento
Instituto Tecnológico Superior de Puerto Vallarta del 10 al 14 de agosto de 2009.	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Chihuahua, Chihuahua II, Chilpancingo, Durango, La Laguna, La Piedad, León, Mexicali, Milpa Alta, Minatitlán, Orizaba, Saltillo, Toluca, Veracruz y Villahermosa.	Reunión Nacional de Diseño e Innovación Curricular para el Desarrollo y Formación de Competencias Profesionales de las Carreras de Ingeniería en Tecnologías de la Información y Comunicaciones, Ingeniería en Energías Renovables, Ingeniería Petrolera y Gastronomía.
Instituto Tecnológico de Villahermosa del 24 al 28 de mayo de 2010.	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Chihuahua, La Laguna, León, Mexicali, Milpa Alta, Minatitlán, Toluca, Veracruz y Villahermosa.	Reunión Nacional de Consolidación de los Programas en Competencias Profesionales de las Carreras de Ingeniería en Geociencias, Ingeniería en Energías Renovables, Ingeniería en Tecnologías de la

		Información y Comunicaciones, y Gastronomía.
Instituto Tecnológico de Cd. Victoria, del 24 al 27 de junio de 2013.	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Cd. Victoria, Cintalapa, Huichapan, Mexicali, Motúl, Progreso y Tequila.	Reunión Nacional de Seguimiento Curricular de las Carreras de Ingeniería en Energías Renovables, Ingenierías en Geociencias, Ingeniería en Materiales y Licenciatura en Biología del Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos.
Instituto Tecnológico de Toluca, del 10 al 13 de febrero de 2014.	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Progreso.	Reunión de Seguimiento Curricular de los Programas Educativos de Ingenierías, Licenciaturas y Asignaturas Comunes del SNIT.

4. Competencia(s) a desarrollar

Competencia(s) específica(s) de la asignatura
Diseña, evalúa e implementa sistemas de generación eólica aprovechando la energía proveniente del viento para la obtención de energía eléctrica.

5. Competencias previas

<ul style="list-style-type: none"> • Implementa mediante el uso de estructuras de control, bibliotecas, funciones, arreglos y archivos programas que permitan una solución rápida a problemas donde intervienen los sistemas renovables de energía. • Analiza y diseña circuitos eléctricos para entender el funcionamiento de los dispositivos electrónicos. • Reconoce los parámetros físicos y atmosféricos que intervienen en la distribución del recurso eólico y analiza esta distribución para detectar las zonas con mayor potencial eólico. • Elabora proyectos de instalaciones eléctricas de baja tensión y de iluminación para usos generales de aplicación industrial y de servicios públicos, de acuerdo a la normatividad vigente. • Selecciona y utiliza los diferentes instrumentos de medición de variables mecánicas y eléctricas; apoyándose en las normas nacionales e internacionales vigentes. Además de utilizar los equipos de prueba para verificar el estado en que se encuentran las máquinas y equipos electromecánicos. • Analiza y resuelve problemas de potencia eléctrica, modela y obtiene resultados con software de simulación para analizar el comportamiento de sistemas eléctricos e implementar técnicas de corrección. • Analiza y resuelve problemas de circuitos eléctricos excitados con corriente alterna, comprobando la solución con software de simulación para estudiar el comportamiento de las señales.

- Comprende y analiza las leyes y los fundamentos teóricos en los que se basa la hidrodinámica para la aplicación en problemas relacionados con la distribución hidráulica en los sistemas de fuentes renovables de energía.
- Aplica la primera ley de la Termodinámica para análisis y evaluación de la energía en dispositivos y equipos que se comportan como sistemas abiertos.
- Plantea y resuelve problemas que impliquen la resolución de ecuaciones diferenciales.

6. Temario

No.	Temas	Subtemas
1	Introducción.	1.1 Desarrollo Histórico. 1.2 Tipos y aplicaciones de aerogeneradores. 1.3. Componentes de un aerogenerador 1.4 El viento como recurso renovable. 1.4.1. Disponibilidad del potencial eólico 1.4.2 Variaciones anuales y por estaciones. 1.4.3. Turbulencia. 1.4.4. Caracterización de las velocidades del viento. 1.5. Medición del recurso eólico 1.5.1. Instrumentos de medición 1.5.2. Tratamiento estadístico de los datos eólicos 1.6. Configuración y criterios generales para la selección de emplazamientos. 1.7. Situación actual y futuro de la energía eólica.
2	Aerodinámica de las turbinas eólicas.	2.1. Principios físicos de la aerodinámica del álabes (capa límite , formación de estelas) 2.2 Ecuación de Betz (Máxima potencia extraída del viento con una turbina de eje horizontal) 2.3 Teoría del momento. 2.4 Teoría del disco rotor. 2.5 Teoría del rotor de aspas. 2.6 Geometría del aspa. 2.7 El método de la aceleración potencial. 2.8 Aerodinámica de una turbina eólica en estado estable. 2.9 Teoría del flujo inestable. 2.10. Turbinas verticales. 2.10.1. Calculo de potencia.

		2.10.2. Características de diseño de una turbina de eje vertical. 2.11. Estándares nacionales e internacionales de turbinas eólicas.
3	Comportamiento de la turbina eólica.	3.1 Curvas de comportamiento. 3.2 Operación a velocidad rotacional constante. 3.3 Operación a velocidad rotacional variable. 3.4 Pruebas de campo 3.5 Medición del comportamiento de una turbina eólica. 3.6 Análisis de los datos de las pruebas de campo.
4	Aspectos económicos de los aerogeneradores	4.1. Análisis de viabilidad técnica y económica de un proyecto eólico 4.2. Costos de un parque eólico 4.3. Vida útil de los aerogeneradores 4.4. Costos de inversión y producción 4.4.1. Consideraciones generales.

7. Actividades de aprendizaje de los temas

1. Introducción	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <p>Aplica los conceptos básicos del recurso eólico para evaluar el potencial eólico de un lugar determinado.</p> <p>Genéricas:</p> <p>Habilidades para buscar, procesar y analizar información procedente de fuentes diversas.</p> <p>Capacidad de abstracción, análisis y síntesis.</p> <p>Capacidad crítica y autocrítica.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Investigar el desarrollo histórico de las turbinas eólicas, evolución y hacer un análisis de comparación. Realizar un mapa conceptual donde relacionen los conceptos básicos analizados con anterioridad y exponer ante el grupo. Investigar la relación entre la producción de energía a partir de la energía eólica y los impactos que se generan. Investigar y realizar un reporte acerca de la evaluación del potencial del viento como fuente renovable. Realizar prácticas de medición. Emplear un conjunto de datos de viento de alguna estación meteorológica y caracterizar el comportamiento del

	<p>mismo.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Debatir la situación actual y futuro de la energía eólica. • Analizar el funcionamiento del aerogenerador como un generador eléctrico.
Aerodinámica de las turbinas eólicas de eje horizontal.	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <p>Interpreta y analiza las variables aerodinámicas involucradas en las turbinas eólicas para calcular la potencia de generación de la turbina de acuerdo su diseño aerodinámico.</p> <p>Genéricas:</p> <p>Habilidades en el uso de las tecnologías de la información y de la comunicación</p> <p>Habilidad para trabajar en forma autónoma.</p> <p>Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica.</p> <p>Capacidad de abstracción, análisis y síntesis.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Calcular la máxima potencia extraída del viento con la ecuación de Betz. • Interpretar el funcionamiento aerodinámico de una turbina eólica a partir del método de aceleración potencial. • Resolver problemas de aerodinámica de la turbina eólica tanto en estado estable como inestable. • Realizar investigaciones documentales sobre los diferentes métodos de análisis de diseño de geometría de aspas. • Emplea algún software para calcular la distribución de la cuerda y el ángulo de torsión de las aspas de una turbina. • Implementa un código para calcular la potencia de extracción de las aspas considerando la teoría del momento del elemento de aspa u otros.
Comportamiento de la Turbina Eólica	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <p>Realiza pruebas de campo para conocer el comportamiento de una turbina eólica.</p> <p>Genéricas:</p> <p>Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Resolver problemas que involucren el análisis energético de las turbinas eólicas en régimen estable • Interpretar las curvas de comportamiento de las turbinas eólicas. • Resolver problemas que involucren el análisis energético de las turbinas eólicas en régimen inestable • Analizar la operación a velocidad constante y variable de las turbinas

<p>Habilidades para buscar, procesar y analizar información procedente de fuentes diversas</p> <p>Capacidad de abstracción, análisis y síntesis.</p>	<p>eólicas.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Realizar mediciones en campo de los parámetros fundamentales de operación de las turbinas eólicas. • Realizar un informe con el análisis de los datos realizados en las pruebas a una turbina eólica. • Realizar un cuadro comparativo de las curvas de comportamiento de 10 generados comerciales distintos y clasificarlos de acuerdo a la clase de viento, tamaño de rotor, velocidad de inicio de giro, velocidad de corte y otros parámetros.
<p>Aspectos Económicos de los Aerogeneradores</p>	
<p>Competencias</p>	<p>Actividades de aprendizaje</p>
<p>Específica(s):</p> <p>Evalúa y desarrolla un proyecto de un parque eólico para conocer su factibilidad técnica y económica.</p> <p>Genéricas:</p> <p>Capacidad crítica y autocrítica.</p> <p>Capacidad para formular, gestionar y analizar proyectos.</p> <p>Habilidades para buscar, procesar y analizar información procedente de fuentes diversas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Diálogo-discusión de ideas sobre la definición e importancia de la viabilidad técnica y económica de un proyecto eólico. • Investigación documental y discusión sobre las consideraciones de costos de inversión y producción. • Investigación sobre la vida útil de los aerogeneradores • Realizar el análisis económico de un parque eólico. • Analizar las curvas de crecimiento en instalación y fabricantes de turbinas eólicas, pequeñas y grandes. Así como la curva del comportamiento de los costos.

8. Práctica(s)

1. Identificar los componentes de los sistemas de turbinas eólicas.
2. Prueba en las turbinas eólicas para la construcción de curvas características.
3. Mediciones de parámetros de operación de turbinas eólicas.
4. Realizar pruebas en aerogeneradores.
5. Realizar pruebas en molinos de viento.
6. Construcción de aerogeneradores de eje horizontal y eje vertical

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.

1

0. Evaluación por competencias

- Observación del desempeño del alumno durante la realización trabajos e investigaciones.
- Reportes escritos de las observaciones hechas durante las actividades de solución de problemas prácticos, así como, las conclusiones obtenidas
- 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 proyectos prácticos sobre las aplicaciones de la energía eólica

11. Fuentes de información

1. Manwell, J., McGowan, J. & Rogers, A. (2002). *Wind energy explained. Theory, design and application*. Amherst, USA: Wiley & Sons.
2. Hau, E. (2006). *Wind turbines*. : New York, USA. Springer.
3. Ackermann, T. (2005). *Wind Power in Power Systems*. Hoboken, NJ: Wiley.
4. Asociación mexicana de energía eólica (AMDEE) www.amdee.org
5. Blaabjerg, F. & Z. Chen, (2006), *Power Electronics for Modern Wind Turbines*. (Synthesis Lectures on Power Electronics), San Rafael, California: Morgan & Claypool Publishers.
6. Boyle, G.(2007), *Renewable Electricity and the Grid: The Challenge of Variability*. Sterling, Va.: Earthscan.
7. Burton, T., Sharpe, D., Jenkins, N. & Bossanyi, E. (2001). *Wind energy handbook*. West
8. Asociación Nacional de Energía Eólica
9. World Wind Energy Association
10. American Wind Energy Association
11. Casale, C., & M. Giuseppe (1993) *Wind Energy - Present Situation and Future Prospects*. Proceedings, World Solar Summit Conference, Paris: UNESCO, 58 p.
12. Gipe, P. (2009). *Wind Energy Basics Revised*: Chelsea Green Publishing.
13. Gipe, P. (2004). *Wind Power*: Ed. Chelsea Green Publishing.
14. Johnson's G. (2004). *Wind Energy Systems*: Electronic version.
15. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). www.idae.es
16. Rodríguez, J.L., Burgos, J.C. & Arnalte S. (2003). *Sistemas eólicos de producción de energía eléctrica*: Rueda.
17. Spera, D. (2009). *Wind turbine technology*. New York, USA: Asme.
18. Sussex, England: Wiley & Sons
19. Villarrubia, M. (2004). *Energía eólica*. Barcelona, España: Ceac.
20. Woofenden, I. (2009). *Wind Power For Dummies*: Wiley Publishing
21. Secretaria de Energía (SENER) www.sener.gob.mx