

## 1. Datos Generales de la asignatura

<b>Nombre de la asignatura:</b>	Diseño Eólico
<b>Carrera:</b>	Ingeniería en Energías Renovables
<b>Clave de la asignatura:</b>	EEF-1401
<b>SATCA<sup>1</sup>:</b>	3-2-5

## 2. Presentación

### Caracterización de la asignatura

Esta asignatura sienta las bases para entender la interacción viento-estructura, y determinar de esta forma las fuerzas que se generan sobre un aerogenerador debido al viento. Permite al alumno ser especialista en la determinación de las cargas presentes en una turbina eólica y por lo tanto en una estructura en general, contribuyendo de esta forma a la formación del Ingeniero en Energías Renovables en el diseño de sistemas eólicos y le brinda la capacidad para realizar una correcta elección de la torre y de los materiales a emplear.

Esta asignatura requiere de los conceptos de aerodinámica sobre aerogeneradores presentados en la asignatura de energía eólica. Para el cálculo de cargas se requieren conocimientos básicos de ecuaciones diferenciales. Los conocimientos adquiridos servirán de base para la asignatura de especialidad de sistemas de generación eólica ya que se requerirá del conocimiento de las cargas presenten en una turbina para la correcta elección de la torre y los componentes mecánico y eléctricos.

### Intención didáctica

Esta asignatura se compone de 4 temas. En tema 1 recurso eólico, el profesor debe explicar claramente que el viento es un fenómeno aleatorio y estadístico, cuyo espectro de energía es primordial en la elección de tiempo de monitoreo. El alumno debe entender todos los casos de fluctuación de viento para que el tema 3 pueda aplicar estos conceptos. Es necesario que el alumno le dé un significado físico a las diferentes ecuaciones de este tema.

En el tema 2 se refuerzan los conocimientos adquiridos en energía eólica, analizando el comportamiento de los coeficientes de fuerzas sobre los perfiles y el fenómeno de pérdida, el profesor debe guiar al alumno para que éste profundice en la relación existente entre el Número de Reynolds, ángulo de ataque, coeficiente de sustentación y de arrastre con el desprendimiento de la capa límite y los vórtices. El tema 3 permitirá al estudiante conocer todas las cargas que se deben considerar al momento de diseñar una turbina, desde las estáticas hasta las cíclicas y gravitacionales. El profesor debe guiar al estudiante para verificar los distintos tipos de cargas analizando comportamiento de estructuras o equipos de forma real.

<sup>1</sup> Sistema de Asignación y Transferencia de Créditos Académicos

En el tema 4, se debe estudiar primero la norma de aplicación de las turbinas y relacionar éstos conceptos con los aprendidos en los temas anteriores. El estudiante debe reconocer el fundamento teórico de las normas y las simplificaciones que en algunos casos se realizan. Para tener un general se recomienda comparar con una norma para edificaciones.

### 3. Participantes en el diseño y seguimiento curricular del programa

Lugar y fecha de elaboración o revisión	Participantes	Observaciones
14 de Noviembre del 2013	Instituto Tecnológico Superior de Progreso	<u>Titulo de la reunión, donde se realizó el diseño, consolidación y/o seguimiento curricular.</u>

### 4. Competencia(s) a desarrollar

Competencia(s) específica(s) de la asignatura
Analiza el comportamiento del recurso eólico de un sitio específico empleando datos locales para determinar la factibilidad de instalación de un aerogenerador en la zona.
Identifica las cargas que se crean sobre un aerogenerador debido a la incidencia del viento para realizar la selección adecuada de materiales y componentes mecánicos.

### 5. Competencias previas

Maneja el software Matlab para la resolución de ecuaciones y manejo de gráficos.
Conoce los componentes principales que conforman una turbina eólica.
Identifica los conceptos de fuerza y de momento, tensión y compresión de elementos.

## 6. Temario

No.	Temas	Subtemas
1	Recurso eólico	1.1 Naturaleza del viento 1.2 Variación geográfica del recurso eólico 1.3 Variación a largo plazo en la velocidad del viento 1.4 Variaciones anuales y estacionales del viento 1.5 Turbulencia: 1.5.1 Naturaleza 1.5.2 Capa límite atmosférica 1.5.3 Intensidad de turbulencia 1.5.4 Espectro de turbulencia 1.5.5 Escalas de turbulencia: cascada de energía 1.5.6 Funciones de coherencia y espectro cruzado 1.5.7 Modelos de turbulencia 1.6 Velocidad de ráfaga de viento 1.7 Velocidades de viento extremo 1.8 Predicción de la velocidad del viento 1.9 Comportamiento del viento en la región.
2	Fundamentos de aerodinámica	2.1 Fuerzas aerodinámicas en flujos bidimensionales 2.1.1 Ecuación de Bernoulli 2.1.2 Fuerza de arrastre 2.1.3 Fuerza de sustentación 2.1.4 Momento 2.2 Capa límite y separación 2.3 Formación de vórtices y estela en flujo bidimensional 2.4 Efectos del flujo en tres dimensiones 2.5 Determinación de coeficientes de sustentación y arrastre 2.5.1 Modelación numérica 2.5.2 Pruebas en túnel de viento 2.5.3 Software comerciales 2.6 Curvas de arrastre y sustentación de perfiles 2.7 Aerodinámica sobre estructuras modernas
3	Cargas y efectos estructurales sobre turbinas	3.1 Clasificación de cargas sobre turbinas 3.2 Fuentes generadoras de cargas

		<p>3.2.1 Flujo estacionario y uniforme</p> <p>3.2.2 Variación del viento con la altura</p> <p>3.2.3 Interferencia de la torre</p> <p>3.2.4 Turbulencia del viento y ráfagas</p> <p>3.2.5 Cargas gravitacionales e inerciales</p> <p>3.3 Consideraciones en la carga de diseño</p> <p>3.3.1 Clases de turbinas</p> <p>3.3.2 Condiciones de viento normal</p> <p>3.3.3 Condiciones de viento extremo</p> <p>3.3.4 Influencia de otros factores ambientales</p> <p>3.4 Situaciones de diseño de las turbinas</p> <p>3.4.1 Operación normal</p> <p>3.4.2 Fallas técnicas</p> <p>3.5 Cargas últimas y cargas de fatiga</p> <p>3.6 Cálculo de cargas por fatiga y esfuerzo estructural</p> <p>3.6.1 Factor de seguridad</p> <p>3.7 Frecuencia natural de las aspas</p> <p>3.8 Aeroelasticidad</p>
4	Normatividad para diseño de estructuras y aerogeneradores	<p>4.1 IEC 61400-1 Requerimiento de seguridad</p> <p>4.2 IEC 61400-2 Turbinas eólicas pequeñas</p> <p>4.3 DS 472 Estándar danés</p> <p>4.4 Velocidades regionales y de diseño</p> <p>4.5 Presiones de diseño</p> <p>4.6 Coeficientes presión y de arrastre</p> <p>4.7 Factor de seguridad</p> <p>4.8 Factor de amplificación dinámica</p>

## 7. Actividades de aprendizaje de los temas

1 Recurso eólico	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p><b>Específica(s):</b> Identifica los parámetros que definen el comportamiento del viento para analizar correctamente la distribución del recurso eólico en un lugar específico.</p> <p><b>Genéricas:</b></p> <p>Habilidades en el uso de las tecnologías de la información y de la comunicación</p> <p>Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica</p>	<p>Grafica los datos de un mes o un año de la velocidad del viento. Identifica las velocidades máximas y medias de un conjunto de datos meteorológicos. Grafica la curva de Weibull o Rayleigh de un conjunto de datos de viento Analiza el espectro de energía del viento Calcula velocidades a partir de las ecuaciones de perfil logarítmico o la ley de potencia de variación del viento. Analiza la turbulencia de un conjunto de datos en un periodo de 10 min. Identifica los modelos de turbulencia y su aplicación.</p>
2 Fundamentos de aerodinámica	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p><b>Específica(s):</b> Entiende el comportamiento de las fuerzas aerodinámicas generadas sobre un cuerpo debido al viento y analiza las curvas de arrastre y de sustentación generadas sobre un perfil para conocer el funcionamiento de una turbina.</p> <p><b>Genéricas:</b></p> <p>Habilidades en el uso de las tecnologías de la información y de la comunicación</p> <p>Capacidad de investigación</p> <p>Capacidad de abstracción, análisis y síntesis</p>	<p>Investiga los coeficientes de presión, de arrastre, sustentación de formas geométricas comunes. Analiza la ecuación de Bernoulli y su relación con los coeficientes de presión. Realiza un video explicando el concepto de capa límite y el Número de Reynolds. Estudia el fenómeno de los vórtices de Von Karman y su influencia en las estructuras. Emplea software comercial para analizar el comportamiento del fluido a través de distintas geometrías. Emplea software para encontrar las curvas de sustentación y arrastre de perfiles aerodinámicos. Realiza un video que explique el fenómeno de pérdida en un perfil y la presión y sobrepresión. Identifica estructuras modernas y analiza su diseño aprovechando las fuerzas aerodinámicas generadas sobre éstas.</p>
3 Cargas y efectos estructurales sobre turbinas	
Competencias	Actividades de aprendizaje

<p><b>Específica(s):</b> Identifica los distintos tipos de cargas a los que queda sujeta una turbina para realizar el diseño de la misma y elegir adecuadamente los componentes.</p> <p><b>Genéricas:</b></p> <p>Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica</p> <p>Habilidades para buscar, procesar y analizar información procedente de fuentes diversas</p>	<p>Realiza un diagrama que contenga las cargas presentes en una turbina</p> <p>Investiga casos de diseño de turbinas comerciales</p> <p>Realiza una búsqueda de las fallas de las turbinas.</p> <p>Realiza una investigación del fenómeno de aeroelasticidad.</p> <p>Realiza una mesa de debate analizando alguna turbina eólica diseñada caseramente.</p> <p>Analizan las cargas que puede soportar una turbina construida con materiales caseros.</p> <p>Observar durante un periodo de 20 min las oscilaciones, vibraciones, paros, etc. que sufre una turbina y relacionarlos con los tipos de cargas.</p>
<b>4 Normatividad Internacional para el diseño de turbinas</b>	
<b>Competencias</b>	<b>Actividades de aprendizaje</b>
<p><b>Específica(s):</b></p> <p>Aplica los conceptos de las normas para realizar el diseño de las turbinas de acuerdo a los estándares internacionales.</p> <p><b>Genéricas:</b></p> <p>Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica</p> <p>Capacidad para identificar, plantear y resolver problemas</p> <p>Habilidades interpersonales</p>	<p>Calcula la velocidad de diseño para una turbina eólica pequeña</p> <p>Realiza una hoja en Excel de los requerimientos de una norma para turbinas.</p> <p>Realiza una presentación con las clases de turbinas eólicas pequeñas.</p> <p>Emplea el método simplificado para cálculos de carga sobre una turbina.</p> <p>Realiza una lista de las cargas presentes en cada componente del aerogenerador.</p> <p>Compara en grupo de trabajo los requerimientos de normas diferentes.</p> <p>Explica el concepto de factor de seguridad y de amplificación dinámica.</p> <p>Analiza mapas de isotacas de la región.</p>

## 8.Práctica(s)

- 1.-Obtención de curvas de sustentación y arrastre de 10 perfiles aerodinámicos para comparar sus coeficientes en función del ángulo de ataque.
- 2.-Realizar prácticas que permitan identificar la flexión, torsión, fatiga que sufren algunos

elementos mecánicos y eléctricos.

## 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, éstase 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.

Un aspecto innovador e importante en el proceso de formación de los estudiantes es el proyecto de asignatura.

Se genera a partir de la definición de un problema del contexto a resolver y que esté directamente relacionado con la(s) competencia(s) a desarrollar en la asignatura.

- Fundamentación.
- Planeación.
- Ejecución.
- Evaluación.



## 10. Evaluación por competencias

- Rúbrica de evaluación de presentación.
- Rúbrica de evaluación de discusión grupal
- Reporte de prácticas
- Rúbrica video
- Examen escrito de términos conceptuales
- Coevaluación de las actividades del salón de clase

## 11. Fuentes de información

- 1.-Burton T., Jenkins N., Sharp D.,Bossanyi E. (2011), Wind Energy Hanbook, Wiley, Second Edition.
- 2.-Gabriel Valencia Clement (2002) Acción del viento sobre estructuras, Universidad Nacional de Colombia, Unibiblos, Primera edición.
- 3.-Global Energy Concepts (2005); Evaluation of aeroelastically Tailored Small Wind Turbine Blades; Report # DOE-001; United Stated Department of Energy.
- 4.-Hau Erich (2006); Wind Turbines, Fundalmentals, Technologies, Aplication, Economics; United Kindom; 2nd Edition, Springer
- 5.- IEC 61400-1, International Standard , Wind Turbines Part 1 Design Requirements, Third Edition, 2005
- 6.- Manwell, J., McGowan, J.& Rogers, A.(2002). Wind Energy Explained. Wiley.
- 7.-Selig M.S.,Guglielmo J.J.Broeren A.P. y Giguere P (1995) Summary of Low-Speed Airfoil Data, Vol 1, University of Illinois at Urbana-Champaign, Soartech Publications.
- 8.- Simiu Emil, Escanlan Robert H., Wind effects On Structures, 3ª Edición, John Wiley and Sons Inc
- 9.- UIUC; Airfoil Data Site; Airfoil Coordinates Database; [http://www.ae.illinois.edu/m-selig/ads/coord\\_database.html](http://www.ae.illinois.edu/m-selig/ads/coord_database.html) Consultado Enero 2013
- 10.- Hansen M.O.L (2008); Aerodynamics of wind turbines; Second edition, London:earthscan.