

Fuentes de Energía

Capítulo 12: Energía eólica

Ejercicios, Actividades y Cuestiones de autoevaluación

Autor:

- Antonio Lecuona Neumann. Catedrático del Área de Máquinas y Motores Térmicos. Dpto. De Ingeniería Térmica y de Fluidos, [Grupo ITEA](#), [Universidad Carlos III de Madrid](#), Leganés, España.

2019

La información contenida en este documento sirve de propósito exclusivo como apuntes para alumnos en la enseñanza de la asignatura indicada y ha sido obtenida de las mejores fuentes que se han podido encontrar, generalmente de reconocido prestigio. No obstante el/los autor/es no garantizan la exactitud, exhaustividad, actualización o perfección de su contenido. Por ello no será/n responsable/s de cualquier error, omisión o daño causado por el uso de la información contenida, no tratando con este documento prestar ninguna clase de servicio profesional o técnico; antes bien, se ofrece como simple guía general de apoyo a la docencia. En caso de detectar algún error, rogamos nos lo comunique e intentaremos corregirlo. Puede contener material con copyright © por lo que su reproducción puede no estar permitida.

12.2.- Tecnología actual. [Volver](#)

Ejercicio 12.1: Atendiendo a la definición de factor de capacidad $FC = \text{energía producida} / \text{energía producida a la potencia nominal en el mismo periodo}$. Con los datos de la siguiente tabla.

Central	Factor de capacidad
Nuclear	90%
Turbina de gas ciclo (Brayton) simple	5% - 25% (por coste combustible)
Eólica con turbina de última generación y recurso eólico rentable	25% - 35% (por días sin, o con poco viento)

I.- En términos de producción calcule la equivalencia de las potencias nominales nuclear y eólica.

Solución:

II.- Calcule las horas anuales que estaría funcionando a potencia nominal la eólica, en término medio para producir lo que realmente produce.

Solución:.

III.- Comente porqué las centrales de turbina de gas de ciclo simple (Brayton sin cogeneración ni recalentamiento ni regeneración) tienen un factor de capacidad tan bajo.

Solución:

12.4.- Caracterización del recurso eólico (cont.). [Volver](#)

Ejercicio 12.2: Estimar el diámetro de una aeroturbina de eje horizontal del rendimiento máximo esperable hoy en día, con $W = 6$ MW a $v = 10$ m/s al nivel del mar, valor bajo por ser marina, Fig. [12.6](#). Si la velocidad de punta de pala máxima aceptable es de $v_p = 120$ m/s, estimar su velocidad angular de giro para el punto dado y la máxima.

Solución:

12.5.- Cuantificación del recurso eólico (cont.). [Volver](#)

Ejercicio 12.3: Como resultado de una campaña de $N = 500$ mediciones de viento y el proceso de datos posterior se ha obtenido una distribución de $M = 20$ frecuencias de velocidades de viento, que se indica con fondo naranja, al igual que las demás entradas. Se aporta la curva de C_p para las velocidades centrales de los intervalos disjuntos. Se indica con tono más oscuro a partir del momento en que se alcanza la máxima potencia. Se añade la densidad del aire en operación y el diámetro del rotor.

Se pide calcular, con un modelo estático:

- a.- La velocidad media.
- b.- La velocidad cúbica media. ¿Coincide con la velocidad media?.
- c.- La curva de potencia.
- c.- Las potencias ponderadas con las probabilidades en cada intervalo.
- d.- La potencia media, que se comparará con la potencia nominal de la máquina.
- e.- Si la velocidad media obtenida fuera representativa de todo el año, usando la Fig. [12.2](#), ¿Podría deducirse que es un buen lugar eólico?.
- f.- Con la misma hipótesis del apartado anterior, calcule el factor de capacidad FC y el número de horas anuales a la potencia nominal.

12.8.- Cuestiones de autoevaluación. [Volver](#)

12.1	La potencia eólica instalada en España en 2013 es de aproximadamente 1 GW.
12.2	En la península ibérica actualmente (2014) el coste de producción de la electricidad eólica en los emplazamiento restantes es competitiva con las fuentes fósiles.
12.3	Los emplazamientos interesantes para la eólica cubren la mayor parte del territorio español.
12.4	Los costes externos de la eólica, al ser menores que los de las fuentes convencionales no renovables, justifican en parte la concesión de ayudas.
12.5	Actualmente (2014) a producción anual de electricidad eólica en España es comparable a la nuclear.
12.6	El impacto ambiental de la eólica es fácilmente reversible al desmantelarse un parque eólico.
12.7	La eólica puede interferir con la vida de las aves salvajes.
12.8	Un parque eólico de 1 GW es equivalente en términos de producción que una central nuclear de 1 GW.
12.9	La gran hidroeléctrica es competidora real directa de la eólica de parques en el mercado eléctrico español de subasta de electricidad.
12.10	La potencia del viento crece con el cuadrado de su velocidad.
12.11	Ceteris paribus, una aeroturbina da más potencia a nivel del mar que en altura por ser la densidad del aire mayor.
12.12	La vida esperada de una aeroturbina supera los 20 años, si bien son necesarias tareas de mantenimiento y riesgos por meteorología extrema.

12.8- Cuestiones de autoevaluación. [Volver](#)

12.13	Los modelos dinámicos de la producción de electricidad eólica tienen la capacidad de predecirla mejor.	
12.14	El empleo tradicional de la eólica para bombear agua se ha abandonado por completo.	
12.15	4.000 horas de producción a potencia nominal es el equivalente mínimo para que un parque sea rentable.	
12.16	Una aeroturbina que gire a menos de 100 rpm nunca puede ser considerada rápida.	
12.17	La función de densidad de probabilidad de Weibull proporciona una estimación de la distribución de velocidades del viento en el tiempo, con lo que su valor medio elevado a la tercera potencia sirve fielmente para determinar la potencia media usando la curva de potencia del aerogenerador.	
12.18	La velocidad c usada en la distribución de velocidades de Weibull es la velocidad media.	
12.19	Los límites de Betz y Glauert se deben a las limitaciones de Carnot	
12.20	El factor de capacidad de la energía eólica en España, actualmente (2014) es comparable o incluso menor que la de las centrales termosolares.	
12.21	Las aeroturbinas del mayor tamaño actual, con potencias nominales de 5 a 6 Mw_e , pueden construirse fácilmente con generadores multipolares, por la idoneidad de su velocidad angular de giro y la geometría de estos generadores.	
12.22	En aerogeneradores de gran tamaño, la curva de potencia cae gradualmente hasta cero a velocidades elevadas del viento, con objeto de evitar riesgos de rotura.	
12.23	Cuando las mediciones del viento se han realizado fuera de la capa límite terrestre, el valor de n de la fórmula empírica para interpolar o incluso extrapolar a un punto a una altura ligeramente diferente, fuera de la capa límite, es próximo a 1.	

12.9.- Actividades propuestas (*ex cursus*) [Volver](#)

Fecha: Apellidos, nombre:

Grupo:

Actividad 12.1: Localice información acerca de la potencia eólica instalada en España por regiones (Comunidades Autónomas) y compare con el potencial eólico existente en el mapa, atlas eólico español o publicación adecuados, para determinar el grado de desarrollo por regiones.

Solución: Véase el [Atlas Eólico de España 2011](#).

12.9.- Actividades propuestas. [Volver](#)

Actividad 12.2: Para una distribución de frecuencias de Weibull encuentre la relación que liga la velocidad media con la velocidad cúbica media y con el parámetro k . Asuma que el [Ejercicio 12.3](#) se ha realizado generando los datos con $k = 2$ y añadiéndoles ruido aleatorio; compruebe que los resultados son coherentes.

Solución:

12.8.- Actividades propuestas.

Fecha: Apellidos, nombre:

Grupo:

Actividad 12.3: Dada la curva de potencia en condiciones estándar de un aerogenerador de $D = 90$ m de diámetro, obtener la curva de C_p . Coméntela.

v [m/s]	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18-21
W [kW]	21,3	84,9	197,3	363,8	594,9	900	1.274	1.633	1.863	1.960	1.990	1.998	1999	2.000	2.000	2.000

Solución:

12.8.- Actividades propuestas. [Volver](#)

Actividad 12.4: Asuma que la velocidad del viento en una posible explotación eólica se puede modelar con la fdp de Weibull. Se dispone únicamente de la velocidad media y su desviación estándar, la cual resulta adquirir como expresión $\left(\frac{\sigma_v}{c}\right)^2 = \Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{k}\right)$. Se pide desarrollar un método que permita obtener c y k de estos dos datos. Aplicar para $\bar{v} = 6,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ y $\sigma_v = 3,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ y comentar. Dibujar la función gamma.

Solución: