

Eficiencia de las Turbinas

Las turbinas eólicas extraen la energía al desacelerar el viento. Las aspas de una turbina eólica capturan la energía cinética del viento y en última instancia la convierten en energía eléctrica.

La eficiencia de una turbina de viento puede ser definida por la siguiente ecuación

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Energía eléctrica transformada por la turbina eólica}}{\text{Potencia disponible en el viento}}$$

Para que una turbina eólica sea 100% eficiente, toda la energía disponible en el viento debiera convertirse en electricidad. En otras palabras, toda la energía en el viento se transformaría y el viento dejaría de moverse. Esto no es posible en la realidad, debido a que una turbina eólica necesita pasar solo un poco de viento a través de las aspas con el fin de girar. Si el molino detiene todo el viento, no girará, y por lo tanto no será capaz de convertir la energía cinética del viento en energía eléctrica.

El físico alemán Albert Betz, calculó que ninguna turbina eólica podría convertir más de 59.3% de la energía cinética del viento en energía mecánica para girar las aspas. Esto se conoce como el límite de Betz, y es la eficiencia máxima teórica para cualquier turbina eólica. En velocidades de viento típicos de funcionamiento, la mayoría de molinos modernos son eficientes entre 25-45%

El límite de Betz sólo se aplica a la transformación de la energía cinética del viento en energía mecánica en las aspas en rotación. El generador de la turbina eólica, que transforma la energía mecánica en energía eléctrica, reduce aún más la eficiencia total. Para entender este proceso, imagínense que las aspas de la turbina de viento en la *Figura 1* convierten el 50% de la potencia disponible del viento en energía mecánica (rotación). Después, el generador convierte 80% de esta energía mecánica en energía eléctrica. Entonces la eficiencia global de esta turbina eólica sería por lo tanto $0.5 \times 0.8 = 0.4$, o sea 40% de eficiencia.

Las aspas de la turbina de viento actuarán de manera diferente bajo diferentes velocidades del viento. Ingenieros de turbinas de viento tratan de maximizar la eficiencia del rotor a través de una gama de velocidades del viento. Un molino eólico tiene que ser muy eficiente a bajas velocidades de viento (4-8 m / s), que son los más comunes. Pero la turbina también necesita trabajar y sobrevivir bajo velocidades de viento extremas (> 25 m / s). Esto puede ser todo un reto para los ingenieros de molinos eólicos.

Con el tiempo, los ingenieros han experimentado con diversas formas, diseños, materiales y número de aspas para encontrar cuál funciona mejor. En este experimento, ustedes explorarán el diseño de aspa óptima para maximizar la eficiencia.

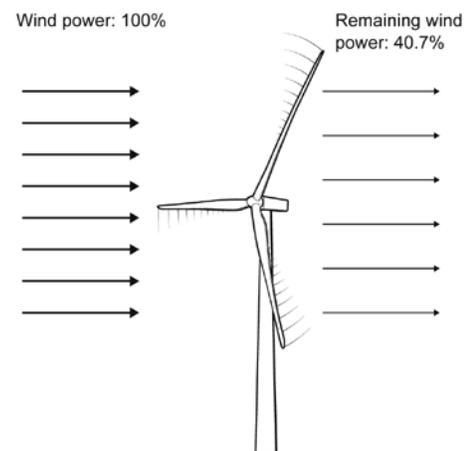


Figura 1

OBJETIVOS

- Determinar la cantidad de energía producida por una turbina eólica.
- Calcular la eficiencia de una turbina eólica.
- Comprender cómo las variables de diseño de aspas afectan la eficiencia.
- Probar varios diseños de aspas.
- Evaluar los datos para determinar qué diseño de aspa es el más eficiente.

MATERIALES

LabQuest
LabQuest
Sensor de Energía Vernier
Anemómetro Vernier
Sensor de Carga Variable Vernier
gafas de seguridad
ventilador

Turbina KidWind Avanzada Wind
Rotor de Turbina eólica
Calibrador de Angulo de Ataque de las aspas
materiales de las aspas
tijeras y pegante al calor
regla de medir
2 cables terminales con pinzas

PREGUNTAS PRELIMINARES

1. ¿Cuántas aspas tienen la mayoría de las turbinas de viento generadoras de electricidad?
¿Creen que la adición de más cuchillas podría mejorar o disminuir la eficiencia? ¿Por qué?
2. ¿Por qué las turbinas de viento no logran convertir el 100% del viento en movimiento en la energía rotacional que pueda ser utilizada por un generador?
3. Comparen la eficiencia de transformación a electricidad de la energía de una turbina eólica típica. Hagan lo mismo para una planta de energía térmica (carbón, gas natural o nuclear).

PROCEDIMIENTO

1. Creen un plan para capturar datos para la variable de aspa que están probando. Van a modificar la variable cantidad de aspas 3-5 veces. Por ejemplo, si ustedes están probando el ángulo de ataque de las aspas, deben capturar datos para 3-5 ángulos de aspa distintos.
2. Conecten los terminales de Corriente y Voltaje del Sensor de Energía Vernier al LabQuest. Conecten también el Anemómetro al LabQuest. Elijan Nuevo en el menú Archivo.
3. Pongan a cero los sensores.
 - a. Conecten los terminales Fuente del Sensor de Energía entre sí con un cable conductor con el fin de crear un cortocircuito en la preparación para la puesta a cero.
 - b. Sin viento que sople en el anemómetro, elijan Cero ► All Sensores en el menú Sensores. Las lecturas de corriente y voltaje deben estar cerca de cero. **Nota:** El valor de la resistencia no es significativo cuando los valores de corriente y tensión son casi cero.

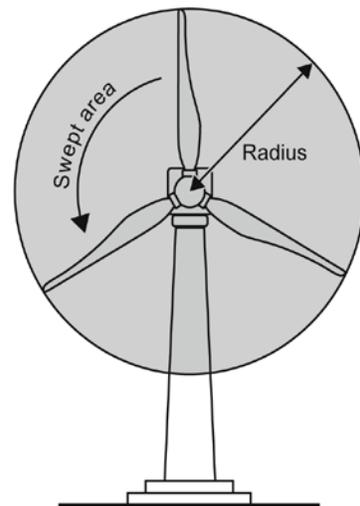


Figura 2

4. Configurar el equipo.

- a. Configuren las aspas en base a su plan. Por ejemplo, si ustedes están probando longitud del aspa, las aspas deben estar a la longitud más larga que vayan a probar.
- b. Midan el radio de la turbina (véase la Figura 2) y registren el valor en la Tabla 2.
- c. Desconecten el cable conector que usaron para crear el cortocircuito y conecten la Turbina eólica a los terminales Fuente del Sensor de Energía.
- d. Conecten el Sensor de Carga Variable a los terminales de Carga del Sensor de Energía.
- e. Coloquen el equipo como se muestra en la Figura 3. Alineen el centro del ventilador con el centro del rotor de la turbina de viento. Midan la distancia entre el ventilador y el rotor de la turbina y asegúrese de que la distancia se mantiene constante durante todo el experimento.

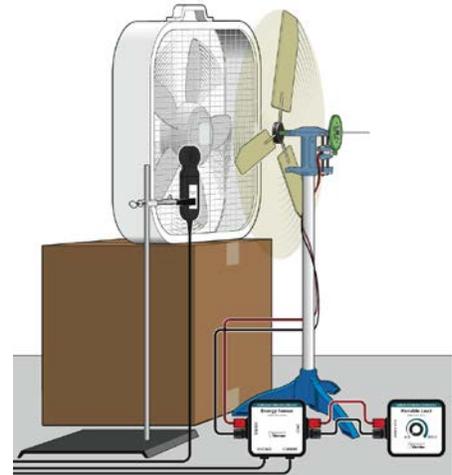


Figura 3

- f. Coloquen el anemómetro entre el ventilador y la turbina. Debe estar en la misma posición cada vez que recojan datos.
- g. Despejen el área y asegúrense de que cuando el ventilador y la turbina están en movimiento nada va a estar en el camino.

5. Verifiquen los valores de corriente y voltaje.

- a. Póngase gafas de seguridad y enciendan el ventilador. La Turbina eólica debe girar. **PRECAUCIÓN:** No se paren en el plano de rotación de las hélices.
- b. Tengan en cuenta si los valores de corriente o voltaje son positivos, negativos o cero.
- c. Apaguen el ventilador.
- d. La configuración es correcta si los valores son positivos. Si los valores son negativos o cero, cambien los cables conectados a los terminales de fuente, de manera que estén conectados a los terminales opuestos.

6. Ajusten la carga.

- a. Enciendan el ventilador en la posición alta. Esperen 30 segundos o hasta que el ventilador y los aspas de la turbina alcancen una velocidad constante.
- b. Anoten el valor de la resistencia en la pantalla táctil. Ajusten la carga girando la perilla de la Carga Variable hasta que la resistencia esté aproximadamente en 35Ω ó igual a la resistencia interna del generador que están utilizando.

7. Capturen datos y determinen la potencia promedio y los valores de velocidad promedio del viento.

- a. Comiencen la captura de datos. Cuando la captura de datos se ha completado, se muestran dos gráficos.
- b. Toquen la etiqueta del eje Y de la gráfica superior y seleccionen Encendido. Se muestra un gráfico de la potencia vs. tiempo.
- c. Toquen la etiqueta del eje Y de la gráfica inferior y seleccionen Velocidad. Se muestra un gráfico de la velocidad del viento vs. tiempo.
- d. Elijan Estadísticas ► **Power** en el menú Analizar para determinar el valor medio de energía. Registren el valor en la tabla de datos.
- e. Elija Statistics ► **Speed** en el menú Analizar. Anoten el valor de la media velocidad del viento en la tabla de datos.

8. Capturen datos adicionales.
 - a. Comiencen la captura de datos.
 - b. Cuando la captura de datos se ha completado, determinen y registren los valores de potencia y velocidad del viento promedio en la tabla de datos.
9. Ajusten las aspas y capturen datos adicionales.
 - a. Apaguen el ventilador.
 - b. Cuando las aspas dejen de girar, modifiquen las aspas de acuerdo a su plan.
 - c. Si es necesario, medan el radio de la turbina y registren el valor en la Tabla 2.
 - d. Devuelvan el ventilador, turbina de viento, y anemómetro a la posición correcta. Comprueben la distancia entre el ventilador y la turbina y la posición del anemómetro. La velocidad del viento debe ser la misma cada vez que capturen datos.
 - e. Enciendan el ventilador a la posición alta. Esperen 60 segundos o hasta que el ventilador y las aspas alcancen una velocidad constante.
 - f. Repitan los pasos necesarios para recoger un total de dos series de datos.
10. Repitan el paso 9 hasta que hayan recogido todos los datos que ustedes necesitan para poner a prueba su variable de aspa.

TABLA DE DATOS

Tabla 1					
Variables (longitud, ángulo de ataque, etc.)	Prueba	Velocidad del Viento (m/s)	Velocidad promedio del viento (m/s)	Potencia (mW)	Potencia Promedio (mW)
	1				
	2				
	1				
	2				
	1				
	2				
	1				
	2				
	1				
	2				

Tabla 2					
Variables (longitud, ángulo de ataque, etc)	Velocidad promedio del viento (m/s)	Radio (m)	Área de barrido (m ²)	Fuerza del viento disponible (W)	Eficiencia (%)

Tabla 3	
Densidad del aire, ρ	kg/m ³

ANÁLISIS DE LOS DATOS

Parte I Fuerza de la Turbina

Las turbinas eólicas contienen generadores que convierten la fuerza de rotación en electricidad. Usando el equipo de recolección de datos, se puede determinar la potencia generada por la turbina eólica para cada variable de aspa probada.

1. Utilizando los valores de la velocidad del viento que habían anotado, calculen una velocidad promedio del viento para cada modificación que realizaron.
2. Usen los valores de potencia que habían anotado, calculen un valor de potencia promedio para cada modificación.

Parte II Fuerza del Viento

Sólo una fracción de la energía eólica disponible se convierte en electricidad. Con el fin de determinar la eficiencia de la turbina, primero tendrán que calcular teóricamente la energía eólica disponible en una columna de viento de un área determinada.

3. Copien la información variable y los valores promedio de velocidad del viento de la Tabla 1 en la Tabla 2.
4. Registren la densidad del aire, ρ , en la Tabla 3. A nivel del mar y a 15 ° C, el aire tiene una densidad de aproximadamente 1.225 kg/m³. Si ustedes se encuentran a una altitud elevada o a temperaturas extremas, consulten a su instructor por el valor apropiado para su área.
5. Calculen el área de barrido, A , para cada modificación del aspa. Si no cambia la longitud del aspa no tienen que hacer este cálculo de nuevo.
 - a. El aspa barre un área en la forma de un círculo de radio, r (véase la Figura 2). Calculen el área de barrido, $A = \pi r^2$, para cada modificación que hicieron y registren los resultados en la Tabla 2.

- b. Al utilizar sus valores de densidad del aire (ρ), área de barrido (A), y la velocidad promedio del viento (v), calculen la cantidad de energía teóricamente disponible en el viento.

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

Registren su resultado en la Tabla 2 para cada modificación del aspa

Parte III Eficiencia

La eficiencia de una turbina de viento puede ser definida por la siguiente ecuación

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Energía eléctrica transformada por la turbina eólica}}{\text{Potencia disponible en el viento}}$$

6. Calculen la relación entre la potencia de la turbina eólica y la fuerza del viento para determinar la eficiencia de cada modificación del aspa. ¡Observen sus unidades!
7. Tracen un gráfico de rendimiento de la turbina contra la variable que probaste.
8. ¿Cuál modificación de aspa produce la turbina eólica más eficiente? ¿La que menos?
9. Comparen los valores de eficiencia de la turbina de viento para el Límite de Betz.

EXTENSIONES

1. Compartan sus resultados con el resto de la clase. A continuación, un resumen de los resultados del grupo en un informe. Responda al menos algunas de las siguientes preguntas en su resumen.
 - ¿Qué variable tiene el mayor impacto en la producción de energía?
 - ¿Qué tipo de aspas fueron las más eficientes a bajas velocidades? Y a altas velocidades?
 - ¿Qué número de hojas fue más eficiente?
 - ¿Qué formas funcionaron mejor?
 - ¿Qué longitudes funcionaron mejor? ¿Acaso las aspas más largas se doblan con el viento? ¿Fue esta una causa de problema?
 - ¿Qué problemas han encontrado?
 - ¿Qué sucedió cuando el diámetro de rotación de la turbina era más grande que el diámetro del ventilador?
2. Utilicen los datos recopilados para diseñar palas de turbinas eólicas más eficientes y prueben lo que ustedes predicen será la mejor combinación.
3. Prueben las aspas a una velocidad de viento diferente. ¿Se afectó la eficiencia con el cambio?