

Diseño y construcción de una turbina eólica de uso comercial mediante un análisis costo beneficio

Cristian Alejandro Tello Olivas¹

m21260299@matamoros.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0005-8269-744X>

Tecnológico Nacional de México

Campus Matamoros.

México

Alberto Arturo Flores Hernández

alberto.fh@matamoros.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0001-7533-2358>

Tecnológico Nacional de México

Campus Matamoros.

México

Erandi Lizzete Contreras Ocegueda

erandi.co@matamoros.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0002-0376-7800>

Tecnológico Nacional de México

Campus Matamoros.

México

Miguel Ángel Medina Álvarez

miguel.ma@matamoros.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0002-4526-5032>

Tecnológico Nacional de México

Campus Matamoros.

México

RESUMEN

La presente investigación se enfoca desde la selección de tipo de aerogenerador eólico y hasta el diseño y la construcción al menor costo posible para implementarla en el Instituto Tecnológico de Matamoros, Donde se hicieron diferentes pruebas, análisis de costos de materiales y mejoras en el prototipo para implementar en el proyecto, Aprovechando la energía eólica ya que es una fuente de energía renovable que utiliza la fuerza del viento para generar electricidad. El principal medio para obtenerla son los aerogeneradores, “molinos de viento” de tamaño variable que transforman con sus aspas la energía cinética del viento en energía mecánica

Palabras clave: aerogenerador; energía eólica; energía renovable; diseño y construcción de aerogenerador.

¹ Autor principal

Correspondencia: m21260299@matamoros.tecnm.mx

Design and construction of wind turbine for commercial use through a cost benefit analysis

ABSTRACT

The present investigation focuses from the selection of the type of wind turbine and to the design and construction at the lowest possible cost to implement it in the Technological Institute of Matamoros, where different tests were carried out, analysis of material costs and improvements in the prototype to implement in the project, taking advantage of wind energy since it is a renewable energy source that uses the force of the wind to generate electricity. The main means to obtain it are wind turbines, "windmills" of variable size that transform the kinetic energy of the wind into mechanical energy with their blades.

Keywords: *wind turbine; wind energy; renewable energy; design and construction of wind turbine*

Artículo recibido 16 mayo 2023

Aceptado para publicación: 05 junio 2023

INTRODUCCIÓN

La problemática principal de esta investigación es la necesidad de diseñar y construir un aerogenerador eólico de eje vertical para el beneficio del Instituto Tecnológico de Matamoros. Para lograr este objetivo, se aborda la composición de un aerogenerador eólico, su funcionamiento, la selección del tipo adecuado de aerogenerador, la importancia de las energías renovables en el contexto actual, así como el diseño del prototipo, la programación de Arduino UNO. El proyecto se lleva a cabo mediante la definición de un plan de actividades que permitirá la consecución de los objetivos planteados.

¿Por qué debería elegir a la energía eólica?

Porque los sistemas de energía eólica cuentan con una de las mejores relaciones costo/beneficio para aplicaciones de energías renovables en los hogares. Dependiendo del recurso eólico una turbina eólica puede reducir la facturación eléctrica entre el 50 y el 90%, y ayudarlo a evitar los altos costos de extender las redes de suministro a sitios remotos, prevenir interrupciones de energía y además no es contaminante. (Renovable, 2007).

¿Que son las energías renovables?

Según el centro de Terminología de Catalunya, la energía renovable es aquella energía que se obtiene de fuentes inagotables o que se puede renovar. Según el Instituto catalán de Energía, las principales fuentes de energía renovables son la energía hidroeléctrica, la energía eólica, la biomasa, la energía solar, la energía geotérmica y las energías del mar. Las energías renovables son aquellas que pueden producir trabajo a partir de fuentes inagotables, por lo menos a escala humana. Así, el aprovechamiento del viento no supone un agotamiento, ni que disminuya día a día. (Jarauta, 2014).

Las energías renovables son aquellas que se obtienen a partir de fuentes naturales que no se agotan, como la luz solar, el viento, el agua y la biomasa. Estas fuentes energéticas son consideradas más sostenibles y amigables con el medio ambiente que las fuentes de energía fósiles. (Solar, 2015).

Las energías renovables son aquellas fuentes de energía que se obtienen a partir de recursos naturales que no se agotan y que se regeneran de manera constante, como la energía solar, eólica, hidráulica, geotérmica, de biomasa, entre otras. Su uso contribuye a reducir la emisión de gases de efecto invernadero y a mitigar el cambio climático. (Valero, 2014).

Medición de las magnitudes del viento

La velocidad del viento se mide con un anemómetro y la dirección con una veleta. Los sensores han de situarse en lugares despejados, sin obstáculos en los alrededores.

La altura estándar de medición es de 10 metros sobre el suelo. Para evaluaciones del potencial eólico conviene medir a otras alturas (25, 50 y 75 metros). Para un aerogenerador eólico se mide a la altura del buje del mismo. (Lopez, 2013).

Las magnitudes del viento se miden utilizando instrumentos conocidos como anemómetros. Estos dispositivos pueden ser mecánicos o electrónicos y se utilizan para medir la velocidad y dirección del viento. Además, también se pueden medir otras variables como la temperatura, la humedad y la presión atmosférica. (Ritter, 2013).

Ley de Betz

La Ley de Betz, también conocida como el Teorema de Betz o el Principio de Betz, establece un límite máximo teórico para la eficiencia de un rotor de turbina eólica al convertir la energía cinética del viento en energía mecánica. Según esta ley, el máximo rendimiento que se puede lograr al extraer energía del viento es del 59.3% del total de la energía cinética disponible en el flujo de viento que atraviesa el rotor de la turbina. (Betz, 1920)

Tipos de Aerogeneradores

Maquinas Eólicas de eje Horizontal: Este tipo de aerogeneradores, con disposición de su eje en horizontal, se caracterizan por girar las palas en dirección perpendicular a la velocidad del viento. Se clasifican a su vez en Aero turbinas lentas y rápidas, según la velocidad de giro de sus rotores.

Maquinas Eólicas de eje Vertical: En una turbina eólica, las palas o aletas giran con la fuerza ejercida sobre ellas por el viento. Al moverse circularmente, hacen girar un eje que, a su vez, impulsa una caja de engranes, la cual hace que un sistema de rotación que está dentro de un generador se mueva a gran velocidad. (Marcial Alarcon, 2019).

¿Como está compuesta un Aerogenerador Eólico?

Un aerogenerador eólico de eje vertical se compone principalmente de un rotor, un eje, un generador y un sistema de control. El rotor es el encargado de captar la energía del viento y está compuesto por varias palas que se mueven en un eje vertical. El eje transmite la energía mecánica generada por el rotor

al generador, el cual la convierte en energía eléctrica. El sistema de control se encarga de monitorear el funcionamiento del aerogenerador y ajustar su posición para maximizar la eficiencia. (Falcão de Campos, 2018).

Un aerogenerador eólico de eje vertical está compuesto por un rotor de eje vertical, que puede tener diferentes formas (como, por ejemplo, forma de Savonius, Darrieus, entre otras), un sistema de transmisión que conecta el rotor con el generador eléctrico, y una torre que soporta el conjunto del rotor y el generador. Algunos modelos también incluyen un sistema de orientación para el rotor. (Domínguez-Navarro & García-Martínez, 2018).

Un aerogenerador eólico de eje horizontal se compone de una torre, un rotor con palas, un generador eléctrico y un sistema de control y frenado. El rotor y las palas son los elementos encargados de capturar la energía del viento y transformarla en energía mecánica, la cual es transmitida al generador eléctrico a través de un eje. El sistema de control y frenado permite ajustar la velocidad del rotor y protegerlo en caso de condiciones extremas de viento. (Veganzones Nicolás, 2015).

Un aerogenerador eólico de eje horizontal está compuesto principalmente por un rotor, una góndola, una torre y un sistema de control. El rotor está compuesto por las palas, el buje y el eje. La góndola es el compartimiento que se ubica en la parte superior de la torre y en la que se ubican el generador y los componentes eléctricos. La torre es la estructura que sostiene el rotor y la góndola, y puede ser de diferentes alturas en función del modelo de aerogenerador (González-Longatt, 2015).

Funcionamiento de un Aerogenerador eólico:

El funcionamiento de un Aerogenerador Eólico implica la transformación de la energía cinética del viento en energía eléctrica, a través de un conjunto de elementos que componen el aerogenerador. El viento mueve las palas del rotor, que a su vez mueven un eje que está conectado a un generador eléctrico. El generador produce electricidad que es transportada a través de cables a una subestación eléctrica donde se adapta la energía generada para ser conectada a la red eléctrica. (Jiménez García, 2015).

METODOLOGÍA

El prototipo de la turbina eólica de eje vertical consta de un conjunto de componentes que incluyen las bases de las aspas, las aspas eólicas, los ejes, las chumaceras, la estructura y el motor. Este conjunto se ha diseñado para colocarse en el exterior y generar energía eólica que se transformará en energía

eléctrica para utilizarla en un aula del Instituto Tecnológico de Matamoros.

Las bases de las aspas eólicas se han fabricado con Trovicel, un material resistente al agua de 6 mm de grosor. Estas bases tienen un diámetro de 50 cm y los espacios para las aspas eólicas se midieron a 45 ° de distancia. Las aspas eólicas se han elaborado con material reciclado de plástico y se han medido a 50 cm de largo y 35 cm de ancho para que coincidan con las medidas de la base de la turbina.

Para garantizar la estabilidad y generar menos fuerza al momento giratorio de las hélices, se ha diseñado unas bases de aluminio para balero colocadas en la parte superior e inferior de la turbina con una flecha Thompson como eje giratorio. La flecha tiene una medida de 5/8" x 20" de largo. También se han utilizado baleros modelo 5972K101_Ball Bearing, los cuales se han puesto a presión en las bases, y se ha colocado la flecha a presión entre los dos baleros y la estructura de la turbina.

La estructura se ha realizado con material de aluminio "perfil industrial" de medidas 40x40mm y 40x60mm, junto con la tornillería y tuercas para ensamblar. También se han colocado gomas en la parte inferior para estabilizar el diseño y tapas de madera con velcro negro para una mejor vista exterior.

Para generar menos fuerza en el sistema giratorio de la turbina hacia el alternador, se ha colocado un sistema de poleas con bandas de nylon, colocando una polea de 4" en el eje de las hélices y otra polea de 1" en el rotor del alternador. De esta forma, se ha logrado un mayor rendimiento del imán permanente que contiene el rotor. El funcionamiento de este sistema depende mucho de la velocidad del aire que se esté dando en el ambiente.

Se ha elegido el modelo JL-FS2 como anemómetro, ya que cuenta con una carcasa de aleación de aluminio que utiliza la tecnología de fundición de precisión de molde especial, lo que garantiza una precisión muy alta y una gran resistencia a la intemperie, a la corrosión y al agua. Por otro lado, se ha instalado un tacómetro que mide la velocidad de rotación del eje motor por medio de revoluciones por minuto (RPM) y permite hacer un cálculo para determinar la relación de RPM y el voltaje que se está generando.

Una vez que el prototipo de la turbina eólica de eje Vertical fuera ensamblado con todos sus componentes, se le realizó pruebas de funcionabilidad, es decir se le realizaron pruebas con aire a diferentes puntos de las aspas eólicas para probar la velocidad de la turbina, y así poder observar la capacidad para poder mover un motor y a su vez generar energía eólica uso del Instituto Tecnológico

de Matamoros.

El prototipo de la turbina eólica de eje vertical fue sometido a pruebas de funcionalidad para comprobar su capacidad para generar energía eólica. Para ello, se realizaron pruebas con un anemómetro y un tacómetro conectados a un Arduino uno y una fuente de voltaje de 12V. La tarjeta Arduino tiene señal digital y analógica, y los cables de señal del tacómetro y el anemómetro se conectaron a las entradas del Arduino. Los cables positivos se conectaron al positivo de la fuente de voltaje de 12V, mientras que los cables negativos se conectaron a GND tanto de la fuente de voltaje como del Arduino uno.

El programa de Arduino utilizado para medir la velocidad del viento y calcular el RPM del anemómetro comienza inicializando las variables "revolutions", "rpm", "startTime" y "elapsedTime". En el bucle principal del programa, se lee el valor del sensor de voltaje conectado al anemómetro, se convierte en una medida de velocidad del viento y se muestra en el puerto serie. Luego, se restablecen las variables "revolutions" y "rpm" a cero y se adjunta una interrupción al pin digital 2 del Arduino que se activará cuando el rotor del anemómetro gire una vez. Después de un retraso de 10 segundos, la interrupción se desactiva y se calcula el RPM en función del número de revoluciones del anemómetro registradas y el tiempo transcurrido.

En conclusión, los programas de Arduino utilizados para medir la velocidad del viento y calcular el RPM del anemómetro, se realizaron para hacer mediciones y comunicaciones de manera efectiva. Estos programas utilizan diversas técnicas, como la interrupción y la comunicación serial, para lograr sus objetivos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este estudio se diseñó y construyó una turbina eólica para su implementación en el Instituto Tecnológico de Matamoros con el objetivo de aprovechar la energía eólica como fuente de energía renovable para generar electricidad. Se seleccionó un aerogenerador eólico de eje vertical debido a su menor costo y facilidad de construcción.

Para la construcción del prototipo de la turbina eólica se utilizaron diferentes materiales como la base de las aspas eólicas, las aspas eólicas, los ejes, las chumaceras, la estructura, el anemómetro, el tacómetro, Arduino Uno. El presupuesto total del proyecto fue de \$4,166.60.

Una vez ensamblado el prototipo de la turbina eólica de eje vertical, se realizaron pruebas de funcionabilidad para probar la velocidad de la turbina y su capacidad para generar energía eléctrica para un salón del Instituto Tecnológico de Matamoros. Se realizaron pruebas con aire a diferentes puntos de las aspas eólicas para medir la velocidad de la turbina.

Se realizó una prueba de funcionabilidad del anemómetro y tacómetro para medir la velocidad del viento y su impacto en la rotación de la turbina. Se conectaron los cables de señal del tacómetro y anemómetro a las entradas de la tarjeta Arduino, y los cables positivos y negativos se conectaron a una fuente de voltaje de 12V.

El programa de Arduino mide la velocidad del viento utilizando un anemómetro y un Tacómetro donde calcula el RPM (revoluciones por minuto).

El programa comienza inicializando las variables "revolutions", "rpm", "startTime" y "elapsedTime". "Revolutions" representa el número de vueltas que ha dado el rotor del anemómetro, "rpm" representa las revoluciones por minuto y "startTime" representa el momento en que se inició la medición. "ElapsedTime" es la cantidad de tiempo transcurrido desde el inicio de la medición.

En el bucle principal del programa, se lee el valor del sensor de voltaje conectado al anemómetro, se convierte en una medida de velocidad del viento y se muestra en el puerto serie. Luego, se restablecen las variables "revolutions" y "rpm" a cero y se adjunta una interrupción al pin digital 2 del Arduino que se activará cuando el rotor del anemómetro gire una vez. Después de un retraso de 10 segundos, la interrupción se desactiva y se calcula el RPM en función del número de revoluciones del anemómetro registradas y el tiempo transcurrido.

En resumen, este programa utiliza un anemómetro, un Tacómetro y un Arduino para medir la velocidad del viento y calcular el RPM.

ILUSTRACIONES, TABLAS, FIGURAS.

Imagen 1 *Prototipo de Aerogenerador Eólico*

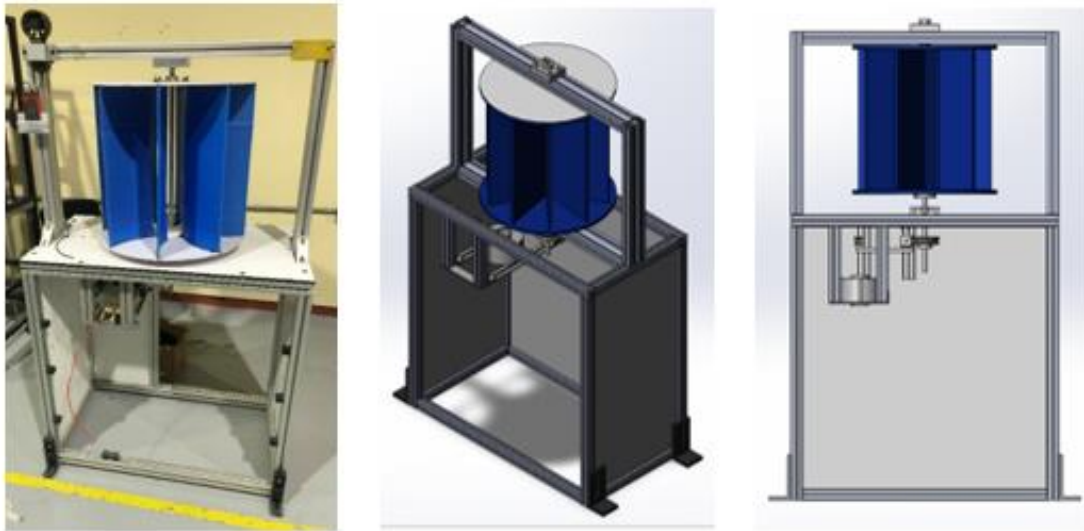


Imagen 2 *Anemómetro*



Imagen 3 *Tacómetro*



Imagen 4 conexión Pruebas de Funcionabilidad

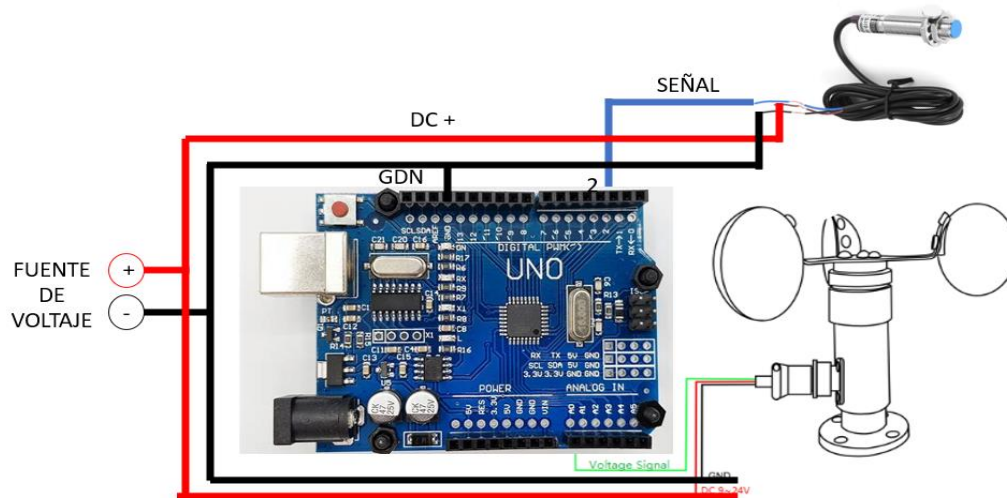


Tabla 1 Presupuesto

Material	Costo
Bases de la Aspas eólicas	\$700
Aspas Eólicas	Reciclado
Chumaceras (Baleros)	\$359
Estructura	Reciclado
Arandelas planas, Tuercas Hexagonales, Varilla con Rosca	\$150
ANEMOMETRO	\$2,000
Arduino Uno CH340 SMD	\$150
4 Protoboards 830P	\$181
Cable jumper Dupont	\$21
Display	\$65
Resistencia 100 ohm	\$0.60
2 tablillas ESP32-WROOM-32	\$540
TOTAL	\$4,166.60

Imagen 5 Código de Anemómetro y Tacómetro

```
1 float revolutions=0;
2 int rpm=0; // max value 32,767 16 bit
3 long startTime=0;
4 long elapsedTime;
5
6 void setup()
7 {
8     Serial.begin(9600);
9     pinMode(2, INPUT_PULLUP); // set pin to input
10 }
11
12 void loop() {
13     int sensorValue = analogRead(A0);
14     float outvoltage = sensorValue * (5.0 / 1023.0);
15     Serial.print("outvoltage = ");
16     Serial.print(outvoltage);
17     Serial.println("V");
18     int Level = 6*outvoltage; //The level of wind speed is proportional to the output voltage.
19     Serial.print("wind speed is ");
20     Serial.print(Level);
21     Serial.println(" level now");
22     Serial.println();
23
24     revolutions=0;
25     rpm=0;
26     startTime=millis();
27     attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2),interruptFunction,RISING);
28     delay(10000);
29     detachInterrupt(2);
30
31     //now let's see how many counts we've had from the hall effect sensor and calc the RPM
32     elapsedTime=millis()-startTime; //finds the time, should be very close to 1 sec
33
34     if(revolutions>0)
35     {
36         rpm=(max(1, revolutions) * 60000) / elapsedTime; //calculates rpm
37     }
38     String outMsg = String("RPM :") + rpm;
39     Serial.println(outMsg);
40     delay(500);
41 }
42
43 void interruptFunction() //interrupt service routine
44 {
45     revolutions++;
46 }
```

CONCLUSIONES

En conclusión, la presente investigación ha logrado diseñar y construir una turbina eólica de eje vertical al menor costo posible para ser implementada en el Instituto Tecnológico de Matamoros, aprovechando la energía eólica para generar electricidad y así contribuir al uso de fuentes de energía renovable. A través de pruebas y análisis de costos de materiales, se logró ensamblar el prototipo con todos sus componentes, y se realizaron pruebas de funcionabilidad del anemómetro y tacómetro. Los resultados obtenidos son alentadores y demuestran la capacidad de la turbina para generar energía eólica y mover

un motor. Este proyecto es un ejemplo de la importancia de la implementación de fuentes de energía renovable en instituciones educativas y la necesidad de seguir investigando y desarrollando tecnologías sostenibles para un futuro más limpio y sustentable.

LISTA DE REFERENCIAS

- Betz, A. (1920). *Das Maximum der theoretisch möglichen Ausnützung des Windes durch Windmotoren*. Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure.
- Domínguez-Navarro, J. A., & García-Martínez, A. (2018). *Análisis del rendimiento de un aerogenerador Savonius de eje vertical en el Canal de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo*. Internacional de Energías Renovables.
- Falcão de Campos, B. J. (2018). *Advance in Renewable Energies offshore*. London: CRC Press.
- González-Longatt, F. M. (2015). erogeneradores de eje horizontal y vertical: características y tecnologías. *Energías Renovables*, págs. 34-39.
- Jarauta, L. (2014). *Las energías renovables*. Barcelona: UOC.
- Jiménez García, C. A. (2015). *Diseño de un sistema de monitorización y control para un aerogenerador conectado a red*. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia.
- Lopez, M. V. (2013). *Ingenieria de la Energia Eolica*. Barcelona: marcombo.
- Marcial Alarcon, A. (2019). *Energia eolica y solar*. España: Elearning S.L.
- Renovable, D. d. (2007). *Sistemas Eólicos Pequeños para Generación de Electricidad*. Estados Unidos: Wind Powering America.
- Ritter, M. E. (2013). *Wind measurement methods and instruments*. USA: Renewable Energy.
- Solar, R. M. (2015). *Energías renovables y eficiencia energética en el sector doméstico*.
- Valero, A. (2014). *Energías renovables: fundamentos, tecnologías, aplicaciones y experiencias*.
- Veganzones Nicolás, C. (2015). *Energía eólica: manual práctico para la planificación, diseño y montaje de instalaciones eólicas*. Madrid, España: RC Libros.