EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Matamoros

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

TESIS:

"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TURBINA EÓLICA MEDIANTE UN ANÁLISIS COSTO BENEFICIO"

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN ADMINISTRACIÓN INDUSTRIAL

PRESENTA:

ALUMNO: ING. CRISTIAN ALEJANDRO TELLO OLIVAS

DIRECTOR DE TESIS

DR. ALBERTO ARTURO FLORES HERNANDEZ

H. Matamoros, Tamaulipas, México octubre de 2023

Excelencia en Educación Tecnológica®
Tecnología es progreso®

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MATAMOROS

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

TESIS:

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TURBINA EÓLICA MEDIANTE UN ANÁLISIS COSTO BENEFICIO”

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN ADMINISTRACIÓN INDUSTRIAL

PRESENTA:

CRISTIAN ALEJANDRO TELLO OLIVAS

DIRECTOR DE TESIS

DR. ALBERTO ARTURO FLORES HERNÁNDEZ

SECRETARIA

DR. ERANDI LIZZETE CONTRERAS OCEGUEDA

VOCAL

DR. MIGUEL ANGEL MEDINA ALVAREZ

H. Matamoros, Tamaulipas, México octubre 2023

Carta de cesión de derechos de trabajo de tesis.

En la ciudad de Matamoros, Tamaulipas, el día 31 del mes de Julio del año 2023, el que suscribe Cristian Alejandro Tello Olivas, estudiante del Programa de Posgrado: Maestría en Administración Industrial, con número de control M21260299, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de tesis dirigido por el director de tesis Alberto Arturo Flores Hernández, cede los derechos del trabajo titulado “Diseño y construcción de una turbina eólica mediante un análisis costo beneficio”, al Tecnológico Nacional de México para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin dar los créditos correspondientes y citar la fuente de este.

Carta de no plagio

Declaración de originalidad y no plagio

El que suscribe y firma la presente carta de originalidad, Cristian Alejandro Tello Olivas de la Tesis: "Diseño y construcción de una turbina eólica mediante un análisis costo beneficio" para obtener el Título de Maestro en Administración Industrial, declara que la tesis es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual.

El trabajo terminado fue sometido al Software Nombre del Software, el cual mostró un porcentaje del 0.0% plagio, cumpliendo con el límite permitido por la institución.

Del mismo modo, asumo frente al Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Matamoros cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de la falta de originalidad de su contenido.

Atentamente



Cristian Alejandro Tello Olivas

H. Matamoros, Tamaulipas a 17 de octubre de 2023

Oficio de liberación

EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Matamoros
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Heroica Matamoros, Tamaulipas a, 12/OCTUBRE/2023
OFICIO No.: 345/2023 D.E.P.I.

M.C. CLAUDIO ALEJANDRO ALCALÁ SALINAS
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
E INVESTIGACIÓN
PRESENTE

Por este conducto, le comunicamos que una vez efectuada la revisión individual del trabajo de tesis del **C. CRISTIAN ALEJANDRO TELLO OLIVAS,** cuyo título es: **"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TURBINA EÓLICA MEDIANTE UN ANÁLISIS COSTO BENEFICIO",** y habiendo realizado las observaciones pertinentes nos reunimos en la Sala de Juntas de la División de Estudios de Posgrado e Investigación (DEPI), para emitir **DICTAMEN,** el cual es **APROBADO.** Por lo cual nos permitimos autorizarla para que proceda a la impresión de la misma y pueda continuar con los trámites correspondientes, para la obtención del grado de Maestro(a).

ATENTAMENTE

DR. ALBERTO ARTURO FLORES HERNÁNDEZ
DIRECTOR DE TESIS

DRA. ERANDI LIZZETE CONTRERAS OCEGUEDA
MIEMBRO DEL COMITÉ REVISOR

DR. MIGUEL ÁNGEL MEDINA ÁLVAREZ
MIEMBRO DEL COMITÉ REVISOR

c.c.p. Interesado(a).
c.c.p Servicios Escolares
c.c.p. Comité Revisor
c.c.p. Div. Est. de Posgrado/ Coordinación

SGI

100% PLÁSTICO

Av. Lauro Villar, km 6.5, C.P. 87490, A.P. 339 Heroica Matamoros, Tamaulipas. Tels. 8688140952, 8688140953, 8688140667 ext. 398 y 399 e-mail: depi_matamoros@tecnm.mx| tecnm.mx| matamoros.tecnm.mx

2023 Francisco VILLA

Agradecimientos

Agradezco a mi esposa por su apoyo incondicional durante todo este proceso. Su paciencia, amor y motivación fueron fundamentales para poder completar esta investigación.

También quiero expresar mi agradecimiento a mis padres, quienes me han brindado su amor, apoyo y guía en cada etapa de mi vida. Gracias por ser mi fuente de inspiración y motivación constante.

Asimismo, quiero agradecer a mis docentes, quienes me han enseñado mucho más que conocimientos teóricos. Gracias por su dedicación, paciencia y pasión por enseñar, lo que me ha permitido crecer tanto en lo académico como en lo personal.

Resumen

La presente investigación se enfoca desde la selección del tipo de turbina eólica hasta el diseño y la construcción al menor costo posible para implementarla en el Instituto Tecnológico de Matamoros. El proyecto aprovecha 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 las turbinas eólicas, “molinos de viento” de tamaño variable que transforman con sus aspas la energía cinética del viento en energía mecánica. Para ello, se propusieron tres pruebas: la primera consiste en verificar el funcionamiento de los sensores; la segunda aborda la comunicación entre emisor y receptor mediante el protocolo LoRa; y la prueba final consiste en transmitir datos de sensores, a través del protocolo LoRa. Se realizó un análisis de costos de materiales y mejoras en el prototipo, además se efectuaron las pruebas finales donde se obtuvieron como resultados la construcción de una turbina eólica a bajo costo que cumple con los requerimientos de los que ya se encuentran en el mercado.

Abstract

This investigation is focused on the selection of one wind turbine through the design and construction at the lowest possible cost for later implementation at the Instituto Tecnológico de Matamoros. The project takes advantage of wind energy as it is a renewable energy source that uses the wind speed to generate electricity. The main means to obtain it is wind turbines, "windmills" of variable size that transform the kinetic energy of the wind into mechanical energy with their blades. For it, three tests were proposed: the first test consists of verifying the operation of the sensors; the second test deals with the communication between sender and receiver through LoRa protocol; and the final test consists of transmitting data from sensors through LoRa protocol. Additionally, an analysis of material costs and improvements in the prototype to be implemented was carried out, also the final tests were carried out, resulting in the construction of a low-cost wind turbine that meets the requirements of those already available in the market.

Introducción

El objetivo principal de esta investigación es la necesidad de diseñar y construir una turbina eólica de eje vertical para el beneficio del Instituto Tecnológico de Matamoros. Para lograr este objetivo, se aborda la composición de una turbina eólica, su funcionamiento, la selección del tipo adecuado de turbina eólica, la importancia de las energías renovables en el contexto actual, así como el diseño del prototipo, la programación de tarjetas ESP32-WROOM-32 y la comunicación mediante antenas LORA. El proyecto se lleva a cabo mediante la definición de un plan de actividades que permitirá la consecución de los objetivos planteados.

“Según el centro de Terminología de Catalunya, la energía renovable proviene de recursos inagotables. El Instituto catalán de Energía, identifica fuentes clave, como la hidroeléctrica, eólica, biomasa, solar, geotérmica y marina, que no se agotan a escala humana” (Jarauta, 2014).

“Las energías renovables provienen de fuentes naturales inagotables, como la luz solar, el viento, el agua y la biomasa. Son más sostenibles y amigables con el medio ambiente que las fuentes de energía fósiles. Incluyen la energía solar, eólica, hidráulica, geotérmica, de biomasa, entre otras, y su uso ayuda a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mitigar el cambio climático” (Valero, 2014) y (Solar, 2015).

La energía eólica funciona mediante el viento. Por lo que se requiere medir la velocidad del viento y su dirección. Para esto se utilizan dispositivos como el anemómetro y la veleta. Es esencial ubicar los sensores en lugares despejados sin obstrucciones cercanas. La altura estándar de medición es de 10 metros, pero para evaluaciones más precisas del potencial eólico, se recomienda medir a diferentes alturas (25, 50 y 75 metros). En el caso de una turbina eólica, la medición se realiza a la altura del buje. Además de la velocidad y dirección del viento, estos instrumentos también pueden medir otras variables atmosféricas como la temperatura, la humedad y la presión” (Lopez, 2013) y (Ritter, 2013).

Existen energías alternativas a las que comúnmente usamos, entre ellas se encuentra la energía eólica. 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 ayudarle a evitar los altos costos de extender las redes de suministro a sitios remotos, prevenir interrupciones de energía y además son menos contaminantes (McDiarmid, 2007).

Existen diferentes tipos de turbinas eólicas, entre ellas se encuentran las turbinas eólicas de eje horizontal: Este tipo de turbinas eólica, 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 (Marcial Alarcon, 2019).

índice

Carta de cesión de derechos de trabajo de tesis. 3
Carta de no plagio 4
Oficio de liberación 5
Agradecimientos 6
Resumen 7
Abstract 8
Introducción 9
CAPÍTULO I. GENERALIDADES DEL PROBLEMA 16
1.1. Descripción del problema 16
1.2. Planteamiento del problema 16
1.3. Objetivos 17
1.3.1. Objetivo general 17
1.3.2. Objetivos secundarios 17
1.4. Hipótesis 17
1.4.1. Hipótesis general 17
1.4.2. Hipótesis secundarias 17
1.5. Justificación 18
1.6. Variables e indicadores 18
1.6.1 Variables de funcionamiento: 19
1.6.2 Variables de construcción: 20
CAPÍTULO II FUNDAMENTOS TEÓRICOS 21
2.1. Marco conceptual 21
2.1.1. Anemómetro o tacómetro 21
2.1.2. Aspas eólicas 21
2.1.3. Caja de engranes y baterías 21
2.1.4. Comportamiento del aire 22

2.1.5. Comunicación inalámbrica 22
2.1.6. Generador 22
2.1.7. Impacto ambiental en la zona 22
2.1.8. Mediciones de una turbina eólica 23
2.1.9. Microprocesador 23
2.1.10. Modelo costo-beneficio 24
2.1.11. Potencial energético de la zona: 25
2.1.12. Principales costos para analizar 25
2.1.13. Principio de funcionamiento: 27
2.1.14. Turbina eólica (eje vertical) 28
2.1.15. Torre 28
2.2. Estado del arte 28
2.3. Marco contextual 30
2.4. Resultado de Investigaciones anteriores 32
2.4.1“Simulación y control de una turbina eólica mediante un software de alto nivel” 32
2.4.2“Diseño y modelado de una turbina eólica” 33
2.4.3 “Diseño y construcción de un generador eléctrico” 34
2.4.4. Diseño de turbina eólica móvil 35
2.5. Protocolo de comunicación LoRa 37
2.5.1. Principales características de Lora 37
CAPÍTULO III METODOLOGÍA 40
3.1. Tipo de estudio 40
3.1.1. Documental 40
3.1.2. Experimental 41
3.1.3. Cuantitativo 41
3.1.4. Cualitativo 42

3.1.5. Transversal 42
3.1.6 Estudio de mercado 42
3.2. Diagnóstico de la situación actual 48
3.3. Métodos de análisis e interpretación de los resultados obtenidos 51
3.3.1. Curva de potencia de una turbina eólica 51
3.4. Metodología implementada 52
3.5. Diseño del prototipo 54
3.5.1 Diagrama de bloque 54
3.5.2 Presupuesto 55
3.6. Construcción del prototipo: 56
3.6.1. Diseño 56
3.7. Prueba del prototipo 67
3.7.1. Prueba 1. prueba de funcionabilidad del anemómetro y tacómetro 67
3.7.2. Prueba 2: prueba de comunicación entre antenas Lora. 71
3.7.3. Prueba 3: pruebas finales. 75
CAPÍTULO IV RESULTADOS 83
4.1. Resultado de la hipótesis general 83
4.2. Resultado de la hipótesis secundaria 1 86
4.3. Resultado de la hipótesis secundaria 2 86
4.4. Resultado de la hipótesis secundaria 3 86
CAPÍTULO V CONCLUSIONES 90
5.1. Conclusiones 90
5.2. Recomendaciones 91
Fuentes de Información 93

índice de figuras

Figura 1 Partes de una turbina eólica 31
Figura 2 Diagrama de componentes de una turbina eólica 31
Figura 3 Simulación MATLAB 33
Figura 4 Turbina terminada (ensamblada) 34
Figura 5 Generador de magnetos permanentes 34
Figura 6 Diseño de turbina eólica móvil 35
Figura 7 Lora 37
Figura 8 Esp32-wroom-32 39
Figura 9 Turbina eólica mercado mexicano 43
Figura 10 Turbina eólica mercado mexicano 2 45
Figura 11 Turbina eólica mercado extranjero 47
Figura 12 Diagnostico de la situación actual 48
Figura 13 Curva de potencia de una turbina eólica 51
Figura 14 Diagrama de bloques 54
Figura 15 Base de aspas eólicas 56
Figura 16 Aspas eólicas 57
Figura 17 Ejes 57
Figura 18 Chumaceras (baleros) 58
Figura 19 Mejora de baleros 59
Figura 20 Bases y flecha 59
Figura 21 Primera versión de estructura 60
Figura 22 Mejora de estructura 61
Figura 23 Candados 62
Figura 24 Sistema de poleas 63
Figura 25 Ángulos y bases de aluminio 64
Figura 26 Anemómetro 64
Figura 27 Especificaciones de anemómetro 65
Figura 28 Tacómetro 66
Figura 29 Arduino uno 67

Figura 30 Diagrama de conexión anemómetro y tacómetro 68
Figura 31 Código en Arduino 70
Figura 32 Diagrama de conexión Lora (slave) 71
Figura 33 Diagrama de conexión Lora (máster) 72
Figura 34 Código Lora máster 72
Figura 35 Código Lora slave 74
Figura 36 Pruebas de comunicación antenas Lora 75
Figura 37 Código slave pruebas finales 76
Figura 38 Código máster pruebas finales 77
Figura 39 Datos de velocidad del viento y salida de voltaje de anemómetro 78
Figura 40 Resultados de pruebas a "nivel 1" 3.5 m/s 79
Figura 41 Resultados de pruebas a “nivel 2” 3.8 M/S 80
Figura 42 Resultados de pruebas a “nivel 3” 4.3 M/S 81
Figura 43 Curva de generación de energía de AVAN-400W 85

CAPÍTULO I. GENERALIDADES DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

“La energía eólica es una fuente de energía renovable que utiliza la fuerza del viento para generar electricidad. El principal medio para obtenerla son las turbinas eólicas, “molinos de viento” de tamaño variable que transforman con sus aspas la energía cinética del viento en energía mecánica” (ciergalapagos, 2019).

El proyecto "Diseño y construcción de una turbina eólica mediante un análisis costo beneficio" se centra en el desarrollo de una fuente de energía renovable utilizando la energía eólica. El objetivo del mismo es diseñar y construir una turbina eólica que sea adecuada para su uso comercial. Para lograrlo, se realizará un análisis costo beneficio que permitirá evaluar la viabilidad económica de la implementación de esta tecnología en el Instituto Tecnológico de Matamoros.

El proyecto requerirá de la investigación y selección de materiales adecuados para la construcción de la turbina, así como de un análisis detallado del rendimiento y la eficiencia energética. Además, se llevarán a cabo pruebas y evaluaciones para asegurar que la turbina cumpla con los estándares de calidad y seguridad necesarios para su uso comercial.

1.2. Planteamiento del problema

Las energías actuales, en su mayoría basadas en combustibles fósiles como el petróleo, el gas natural y el carbón, están teniendo un impacto significativo en el medio ambiente. La quema de estos recursos para generar energía libera grandes cantidades de dióxido de carbono y otros contaminantes atmosféricos, contribuyendo al cambio climático y la degradación de la calidad del aire.

Entre las alternativas más prometedoras, destaca la energía eólica, que aprovecha la potencia del viento para generar electricidad de forma limpia y sostenible.

El Instituto Tecnológico de Matamoros busca implementar una turbina eólica de uso comercial para aprovechar la energía eólica como una fuente de electricidad renovable. Sin embargo, se enfrenta a desafíos en el diseño y construcción de la turbina, la evaluación de su viabilidad económica y el cumplimiento de estándares de calidad y seguridad. Superar estos desafíos será crucial para el éxito del proyecto y para contribuir al uso de tecnologías sostenibles en la institución.

¿Es posible diseñar y crear una turbina eólica en el Tecnológico de Matamoros en un periodo de tiempo de septiembre 2021 a agosto 2023?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar y construir una turbina eólica al menor costo posible e implementarla en el Instituto Tecnológico de Matamoros.

1.3.2. Objetivos secundarios

1. Elegir el tipo de la turbina eólica
2. Evaluar la cantidad de energía que se obtiene de la turbina
3. Evaluar la comunicación de las antenas lora

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Es posible diseñar y crear una turbina eólica para ahorrar costos en el Instituto Tecnológico de Matamoros.

1.4.2. Hipótesis secundarias

1. La turbina genera una curva de generación de energía de 50 Watts a 100 rpm.

1.5. Justificación

Este proyecto tiene impacto en diferentes áreas, como se describe a continuación:

El proyecto tiene un impacto social dado que permitirá al Instituto Tecnológico de Matamoros el aprovechamiento de energía eólica para sus instalaciones con la instalación de una turbina eólica.

Además, tiene un impacto económico debido al uso de fuentes de energías renovables en la producción de electricidad ha demostrado una disminución en los costos energéticos para las industrias. Por esta razón, se busca extender esta práctica al sector público.

Desde el punto de vista tecnológico busca desarrollar un prototipo de una turbina eólica con el menor costo posible y con un rendimiento aceptable.

Además, esta inversión en energía renovable tiene un impacto ambiental positivo al contribuir al cuidado del medio ambiente a través del uso de energía limpia y sostenible.

1.6. Variables e indicadores

En la tabla #1 se realiza una comparativa de las variables e indicadores que intervienen en el correcto funcionamiento de una turbia eólica y en su construcción.

Variable	Indicador
Velocidad del viento	Energía Generada (m/s)
Potencia Generada	Rendimiento de la Turbina (KW)
Velocidad de las aspas	RPM del Rotor
Temperatura del Motor	Eficiencia (C)
Dirección del viento	Posicionamiento Correcto
Carga de Viento	Presión Ejercida por el viento

Materiales	Calidad del Producto
Resistencia Estructural	Soporte del Producto
Eficiencia de las Aspas	Resistencia del Producto
Sistema de Monitoreo y Control	Monitoreo en tiempo real

Tabla 1 Variables e indicadores

1.6.1 Variables de funcionamiento:

1.6.1.1. Velocidad del Viento: La velocidad del viento es una variable crucial para el funcionamiento de una turbina eólica. Se mide en metros por segundo (m/s) y afecta directamente la cantidad de energía generada por la turbina.

1.6.1.2. Potencia Generada: Es la cantidad de energía eléctrica producida por la turbina eólica y se mide en vatios (W) o kilovatios (kW). Es un indicador clave del rendimiento de la turbina.

1.6.1.3. Velocidad de las aspas: La velocidad de las aspas indican las revoluciones por minuto (RPM) del rotor a la que la turbina está girando. Es importante para garantizar un funcionamiento eficiente y seguro de la turbina.

1.6.1.4. Temperatura del Motor: La temperatura del motor de la turbina eólica es un indicador importante de su eficiencia y puede indicar posibles problemas de sobrecalentamiento.

1.5.1.5. Dirección del Viento: La dirección del viento es relevante para el posicionamiento de la turbina y garantizar que las aspas capturen el viento de manera óptima.

1.6.1.6. Carga de Viento: La carga de viento se refiere a la presión ejercida por el viento sobre las aspas y estructura de la turbina, y es importante para el diseño y resistencia de la turbina.

1.6.2 Variables de construcción:

1.6.2.1. Materiales: La elección incorrecta de materiales para una turbina eólica puede tener consecuencias negativas. Por ejemplo, si los materiales son demasiado pesados, la turbina no funcionará eficientemente. Si no pueden soportar cambios de temperatura, podrían dañarse. Si son frágiles, podrían romperse en condiciones de viento fuerte. La corrosión puede dañar materiales no resistentes.

1.6.2.2. Resistencia Estructural: La resistencia de la estructura de la turbina es crucial para soportar las fuerzas del viento y garantizar su integridad durante la operación.

1.6.2.3. Eficiencia de las Aspas: Las aspas son un componente crítico de la turbina, y su diseño y construcción deben ser eficientes para capturar la máxima energía del viento y asegurar su resistencia.

1.6.2.4. Sistema de Monitoreo y Control: La presencia de sensores y sistemas de monitoreo permite un seguimiento en tiempo real del funcionamiento de la turbina y facilita el control de parámetros importantes.

Estas variables e indicadores son fundamentales tanto para garantizar un correcto funcionamiento de la turbina eólica, como para asegurar la calidad y fiabilidad durante su construcción. Un análisis y seguimiento cuidadoso de estos aspectos contribuirá al éxito y rendimiento óptimo de la turbina en la generación de energía eólica.

CAPÍTULO II FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Marco conceptual

Este apartado comprende los conceptos empleados en esta investigación los cuales permitirán tener una comprensión del trabajo.

2.1.1. Anemómetro o tacómetro

*"*Un anemómetro es un instrumento para medir la velocidad o rapidez de los gases ya sea en un flujo contenido, como el flujo de aire en un conducto, o en flujos no confinados, como un viento atmosférico. Para determinar la velocidad, un anemómetro detecta el cambio en alguna propiedad física del fluido o el efecto del fluido en un dispositivo mecánico insertado en el flujo. Un anemómetro puede medir la magnitud de la velocidad total, la magnitud de velocidad en un plano, o el componente de velocidad en una dirección específica" (Arteaga Bajaña & León Uve , 2022).

2.1.2. Aspas eólicas

Las Aspas o Palas Eólicas son como las velas de un barco, se dejan empujar por el viento. En el caso de las turbinas cuando el viento las mueve, estas transfieren su movimiento al eje vertical. El promedio de largo de cada pala es de 2 a 10 metros de tipo vertical, mientras que para las de eje horizontal son de 30 a 80 metros.

2.1.3. Caja de engranes y baterías

Una caja de engranes es un dispositivo mecánico que se utiliza para transmitir y controlar la velocidad y el torque entre dos ejes o sistemas de ejes rotativos y una batería es un dispositivo electroquímico que almacena energía en forma de electricidad y la libera cuando se requiere.

2.1.4. Comportamiento del aire

“Que haga viento no es ni mucho menos suficiente. Es necesario un año de estudio previo de su dirección, temperatura y capacidad de generación máxima. En resumen, antes de dar luz verde a la instalación de molinos de viento se requiere el trabajo durante más de un año de un grupo de profesionales que determinen si allí se dan las condiciones necesarias para generar energía eólica y que sea rentable” (Twenergy, 2019).

2.1.5. Comunicación inalámbrica

“LoRa (Long Range) es una tecnología de comunicación inalámbrica de largo alcance desarrollada para aplicaciones de Internet de las cosas (IoT) y redes de sensores. Esta tecnología permite la transmisión de datos de manera eficiente a largas distancias con un consumo muy bajo de energía, lo que la hace especialmente adecuada para aplicaciones que requieren una larga duración de la batería y una cobertura extensa” (Augustin, Clausen, & Townsley, 2016).

2.1.6. Generador

Es un dispositivo electromecánico que convierte la energía mecánica en energía eléctrica. En una turbina eólica, el generador es una parte clave del sistema, ya que transforma la rotación de las palas del rotor, que es impulsada por la fuerza del viento, en electricidad.

2.1.7. Impacto ambiental en la zona

“No hay que olvidar que el tamaño de los molinos es muy grande. Además de cambiar el entorno visualmente, puede afectar muy negativamente al tránsito de aves. Lo ideal es que se trate de un espacio amplio, sin árboles y que no sea lugar de paso de aves, especialmente de aquellas especies más protegidas o en peligro de extinción” (Twenergy, 2019).

2.1.8. Mediciones de una turbina eólica

Temperatura: La temperatura es una medida de la cantidad de calor presente en el aire que rodea la turbina eólica. En el contexto de las turbinas eólicas, la temperatura ambiente es importante ya que puede afectar la densidad del aire y, por lo tanto, la eficiencia de la generación de energía. En general, a menor temperatura, mayor densidad del aire y mayor potencial de generación.

Velocidad del viento: La velocidad del viento es la magnitud de la velocidad del aire que incide sobre las palas de la turbina eólica. Es un factor crítico para determinar la cantidad de energía cinética que el viento puede transferir a las palas y, por lo tanto, la cantidad de energía eléctrica que puede generar la turbina. La velocidad del viento se mide en metros por segundo (m/s) o en kilómetros por hora (km/h).

Dirección del viento: La dirección del viento indica la orientación desde la cual proviene el viento. Es importante para la operación de la turbina eólica, ya que su diseño está optimizado para capturar el viento que proviene de ciertas direcciones. La información sobre la dirección del viento ayuda a ajustar la posición de la turbina para maximizar su eficiencia.

Humedad: “La humedad se refiere a la cantidad de vapor de agua presente en el aire. Aunque no tiene un impacto directo en la generación de energía, la humedad ambiental puede afectar la corrosión y el desgaste de los componentes de la turbina eólica” (Gasch & Twele, 2018).

2.1.9. Microprocesador

En este trabajo se utilizó como microprocesador Arduino ya que es una plataforma de hardware y software de código abierto que se utiliza para crear proyectos electrónicos interactivos. Consiste en una placa de circuito impreso con un microcontrolador y una interfaz de programación que permite a los usuarios cargar y ejecutar programas en el

microcontrolador. Arduino es popular entre los aficionados, artistas y diseñadores que buscan realizar proyectos de electrónica y robótica de manera sencilla y accesible.

“ESP32 es un microcontrolador de bajo consumo de energía y de alto rendimiento que integra Wi-Fi y Bluetooth. Es ampliamente utilizado para el desarrollo de proyectos de Internet de las cosas (IoT) debido a su capacidad de conectividad inalámbrica y su amplia variedad de interfaces y periféricos. El ESP32 es compatible con el entorno de desarrollo de Arduino, lo que lo hace fácilmente programable para una amplia gama de aplicaciones” (Simon & Verner, 2019).

2.1.10. Modelo costo-beneficio

El Modelo de Análisis Costo-Beneficio se basa en la comparación de los costos y beneficios asociados a un proyecto o alternativa para evaluar su viabilidad y tomar decisiones informadas. En este caso, el proyecto "Diseño y Construcción de una Turbina Eólica" demuestra su eficiencia al ofrecer un producto que cumple con los mismos requerimientos que las opciones en el mercado nacional y extranjero, pero a un costo mucho más bajo como lo son la facilidad de construcción y mantenimiento, generación de energía durabilidad, el rendimiento de la turbina, revoluciones por minuto del Rotor, eficiencia y calidad del Producto.

El análisis costo-beneficio permite evaluar directamente los costos del proyecto y compararlos con los beneficios obtenidos. En este caso, el bajo costo de $4,166.6 pesos mexicanos por fabricar la turbina eólica permite ofrecerla a un precio competitivo, lo que probablemente se traduzca en una mayor demanda y, potencialmente, en mayores beneficios económicos a largo plazo.

El éxito de este proyecto se fundamenta en la eficiente gestión de costos, lo que garantiza la rentabilidad del producto en el mercado al mantener sus costos de producción bajo y con materiales que cumplen con la calidad del producto, por lo que demuestra la importancia de aplicar un análisis costo-beneficio para tomar decisiones estratégicas en la construcción del prototipo.

El artículo “El costo-beneficio como herramienta de decisión en la inversión en actividades científicas” habla sobre la importancia de la rentabilidad en el ámbito empresarial y cómo la contabilidad financiera y de gestión son fundamentales para tomar decisiones informadas. Se enfoca en la necesidad de analizar costos y beneficios para mejorar la eficiencia de las organizaciones. La contabilidad gerencial busca proporcionar información precisa para la toma de decisiones, especialmente en situaciones competitivas y complejas. “El análisis costo-beneficio es una herramienta esencial para evaluar proyectos y opciones, donde se cuantifican los costos y beneficios en términos monetarios. Se considera el costo de oportunidad, que representa lo que se deja de ganar al elegir una opción sobre otra. Los pasos comunes para realizar un análisis costo-beneficio incluyen formular objetivos, examinar requerimientos y limitaciones, determinar costos y beneficios, distribuirlos en el tiempo y hacer una comparación adecuada para tomar decisiones. la contabilidad de gestión y el análisis costo-beneficio son herramientas cruciales para la toma de decisiones en las empresas, y se aplican tanto en el ámbito empresarial como en proyectos y decisiones sociales. Se destaca que deben adaptarse a los cambios y necesidades para lograr una gestión eficiente y rentable” (Díaz, 2017).

2.1.11. Potencial energético de la zona:

“De nada sirve que una zona tenga las condiciones idóneas para la generación de energía eólica si no hay una comunidad cerca que pueda consumirla” (Twenergy, 2019). La presencia de condiciones favorables para la generación de energía eólica en una zona carece de utilidad si no existe una comunidad cercana que pueda utilizar dicha energía.

2.1.12. Principales costos para analizar

“El mayor desembolso en un proyecto eólico son los costos de adquisición y montaje de las turbinas eólicas. Es crucial elegir adecuadamente en términos de costo y rendimiento para asegurar la rentabilidad del parque. La construcción del parque eólico

incluye actividades importantes y costosas de obra civil, como movimientos de tierra, drenajes bien realizados, regeneración ambiental y cimentaciones para garantizar la estabilidad de las turbinas. La conexión a la red eléctrica desde las turbinas hasta la subestación y luego a la línea de alta tensión de la red nacional es uno de los mayores costos en la implantación del parque, que puede variar según la ubicación del proyecto. Los costos derivados de los edificios necesarios para el mantenimiento y operación del parque no suelen oscilar mucho en relación con la potencia total instalada, a menos que el parque sea extremadamente grande o extenso. Aunque los costos de operaciones y mantenimiento se han reducido con el tiempo, asegurar el control del parque las 24/7 implica supervisión constante y personal de mantenimiento disponible para resolver posibles fallos, aunque estos costos no son significativos en relación con el precio total del proyecto" (Ealde, 2021).

El precio para una turbina eólica de gran escala oscila entre $1.3 millones y $2.2 millones por cada MW de capacidad instalada. En la actualidad, la mayoría de las turbinas instaladas a escala comercial tienen una capacidad de 2 MW.

Ejemplo: Parque Eólico Reynosa 1 tiene 123 Turbinas eólicas que producirán 424 mega watts. El proyecto tiene un costo de 600 millones de dólares.
Se crearon 1500 empleos temporales y a esto se suma la firma de contratos de arrendamiento con quienes ejercen la propiedad de los terrenos, a los cuales la empresa generará ingresos durante los próximos 40 años, cuyo valor total de las rentas se estima en 23 millones de dólares mensuales.

Inversión	Ganancia	Tiempo beneficio
$600,000,000	$23,000,000	26 meses

Tabla 2 Ejemplo Costo Beneficio

En la tabla 2 indica que el parque eólico “Reynosa 1” invirtió 600 millones de dólares, generando ingresos por un valor total de 23 millones de dólares mensuales. Con esta estimación de ingresos, recupero su inversión en aproximadamente 26 meses.

“Las ventajas de la energía eólica son muchas, pero la instalación de un parque eólico requiere un estudio exhaustivo de la zona para cerciorarse de que los molinos de viento no afectarán negativamente en el medio ambiente” (Twenergy, 2019).

2.1.13. Principio de funcionamiento:

La turbina eólica consta de un rotor y una góndola situados sobre una torre de gran altura. El anemómetro es un dispositivo que mide la velocidad del viento. Estos datos son enviados a un sistema de control que regula el funcionamiento de la turbina eólica y dirige el motor que la orienta. Cuando la turbina eólica se encuentra correctamente alineada con el viento, este ejerce un par motor sobre las palas, lo que hace que la turbina eólica comience a girar a aproximadamente 20 revoluciones por minuto (rpm), arrastrando consigo el eje de transmisión.

Para convertir las revoluciones del rotor en las revoluciones necesarias para el generador, se emplea una caja de engranajes. En Europa, se suelen utilizar 1500 rpm o 3000 rpm para el generador, mientras que en EE. UU., se emplean 1800 rpm o 3600 rpm.

El funcionamiento de una turbina de eje vertical implica capturar la energía del viento con aspas dispuestas verticalmente y convertirla en energía mecánica, que luego se transforma en energía eléctrica a través de un generador. Este diseño ofrece ventajas en términos de adaptabilidad al viento y suelen ser utilizadas en entornos urbanos y áreas con vientos irregulares o cambiantes.

Está es conducida por un cable hasta la base de la turbina eólica. Allí tiene lugar su alimentación a la red eléctrica. “En condiciones de viento óptimas, el rendimiento de una turbina eólica se sitúa entre el 40 y el 51%. (El valor teórico máximo llega hasta el 59.3 % pero es inalcanzable en la práctica de acuerdo con la ley de Betz). El freno

sirve para impedir que la turbina eólica gire, por ejemplo, si soplan vientos excesivamente fuertes o durante la realización de trabajos de mantenimiento (Stiftung, 2018).

2.1.14. Turbina eólica (eje vertical)

Una turbina eólica de eje vertical tiene un rotor que gira alrededor de un eje vertical en contraposición a las turbinas de eje horizontal. Son más compactas, ocupan menos espacio y pueden ser menos visibles, pero generalmente son menos eficientes en la captura del viento que las turbinas de eje horizontal. Se utilizan en aplicaciones específicas, pero no son tan comunes como las turbinas de eje horizontal en la generación de energía comercial.

2.1.15. Torre

Una torre de turbina eólica es una estructura alta que sostiene el rotor y las palas de una turbina eólica en posición elevada para capturar la energía cinética del viento. Su función principal es elevar la turbina a altitudes donde los vientos son más constantes y fuertes, lo que aumenta la eficiencia de generación de energía eólica (F. Manwell, G. McGowan, & L. Rogers, 2009).

2.2. Estado del arte

“El artículo "Smart City Environment Monitoring System Based on LoRa Wireless Sensor Network" publicado en la revista Sensors en 2019, presenta un novedoso sistema de monitoreo ambiental para ciudades inteligentes utilizando una red de sensores inalámbricos LoRa. Este sistema permite recopilar datos en tiempo real sobre diferentes aspectos del entorno urbano, como la calidad del aire, temperatura y humedad, lo que es esencial para una gestión efectiva de los recursos urbanos. La tecnología LoRa ofrece ventajas significativas, como una comunicación de largo alcance con bajo consumo de energía, lo que reduce los costos de implementación y prolonga la vida útil de las baterías de los sensores. En conclusión, este estudio

destaca el potencial de la tecnología LoRa en aplicaciones de monitoreo y gestión ambiental en ciudades inteligentes” (Zhang, Wang, Liu, & Shu, 2019)**.**

“El artículo "Industrial IoT Applications with LoRa: A Study on Water Quality Monitoring System" presentado en la Conferencia Internacional de 2019 sobre Internet de las cosas y e-Salud (ICIOT) y publicado por IEEE, aborda la implementación de Internet de las cosas (IoT) en el monitoreo de la calidad del agua en entornos industriales. Este estudio propone un sistema de monitoreo basado en la tecnología LoRa, que ofrece ventajas como comunicación de largo alcance y bajo consumo de energía. El sistema utiliza sensores especializados para medir parámetros clave de la calidad del agua, transmitiendo los datos a una estación base centralizada para su procesamiento y análisis en tiempo real. Esta solución eficiente y rentable permite una respuesta más rápida ante problemas de calidad del agua y facilita la toma de decisiones informadas, mejorando la eficiencia operativa y garantizando la seguridad en la industria” (Elshaer, Khan, & Alomainy, 2019)**.**

“El artículo "Smart Parking Management System Using LoRa Technology" publicado en el libro "Intelligent Computing and Applications" en 2020, se enfoca en desarrollar un sistema inteligente de gestión de estacionamiento mediante la tecnología LoRa. En entornos urbanos congestionados, encontrar espacios de estacionamiento disponibles puede ser un desafío. Para abordar este problema, el artículo propone el uso de sensores LoRa en cada espacio de estacionamiento para detectar la ocupación y disponibilidad. Estos sensores transmiten datos en tiempo real a un sistema central que procesa y proporciona información actualizada sobre la disponibilidad de estacionamiento. La implementación de este sistema inteligente beneficia a los conductores al facilitar la búsqueda de estacionamiento, reducir la congestión y mejorar el flujo de tráfico en las ciudades. Además, proporciona datos valiosos para la planificación y toma de decisiones futuras en cuanto a la gestión de estacionamiento en entornos urbanos” (Tiwari, Patel, Chauhan, & Jat, 2020).

2.3. Marco contextual

El presente estudio se centra en la ciudad de Matamoros, Tamaulipas, México, donde el uso de energías renovables, como la energía eólica, en el ámbito comercial en hogares, negocios, escuelas e institutos, no es ampliamente común. Las energías renovables son aquellas que provienen de fuentes naturales e inagotables, lo que las convierte en una opción sostenible y amigable con el medio ambiente.

El proyecto tiene como objetivo aprovechar la energía eólica en la ciudad de Matamoros y convertirla en energía eléctrica mediante la construcción de una turbina eólica de uso comercial en el Instituto Tecnológico de Matamoros. La implementación de esta tecnología ofrece diversos beneficios, entre ellos el ahorro de costos mensuales en electricidad, la utilización de una fuente de energía inagotable y la contribución al cuidado del ecosistema planetario.

La introducción de una turbina eólica en el Instituto Tecnológico representa un paso importante hacia la adopción de fuentes de energía más limpias y sostenibles en la región. Además, permitirá generar conciencia sobre la importancia de las energías renovables y su potencial para contribuir positivamente al desarrollo sustentable de la comunidad local.

El análisis y desarrollo de este proyecto proporcionarán información valiosa sobre la viabilidad y los beneficios de utilizar energía eólica en el ámbito comercial, lo que puede sentar las bases para futuras implementaciones de energías renovables en otros sectores de la ciudad de Matamoros.

en la figura 1 se describe las partes que comprenden a una turbina de eje vertical, que es un tipo de turbina eólica en la que el rotor gira alrededor de un eje vertical. Las aspas de la turbina de eje vertical están dispuestas de forma vertical y se extienden desde la base hacia arriba. “Estas turbinas aprovechan la energía del viento desde cualquier dirección, ya que no necesitan orientarse hacia la dirección del viento como las turbinas de eje horizontal, lo que les permite capturar la energía del viento sin la

necesidad de ajustar su posición. Este diseño es adecuado para aplicaciones urbanas y áreas con patrones de viento cambiantes" (Sutherland, 2014).

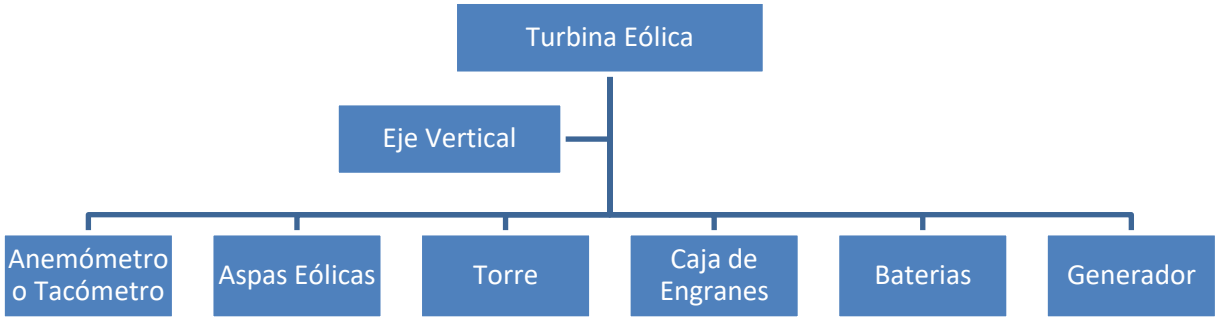

Figura 1 Partes de una turbina eólica

en la figura 2 se describe el funcionamiento de la turbina eólica desde la captura del Viento donde La turbina de eje vertical tiene aspas dispuestas en forma vertical alrededor de un eje central y cuando el viento sopla, las aspas capturan la energía cinética del viento y comienzan a moverse para transmitir la energía hacia el generador eléctrico produce una corriente eléctrica que se almacena o se envía directamente a la red eléctrica para su uso. La cantidad de electricidad generada depende de la velocidad del viento y el diseño y eficiencia de la turbina.

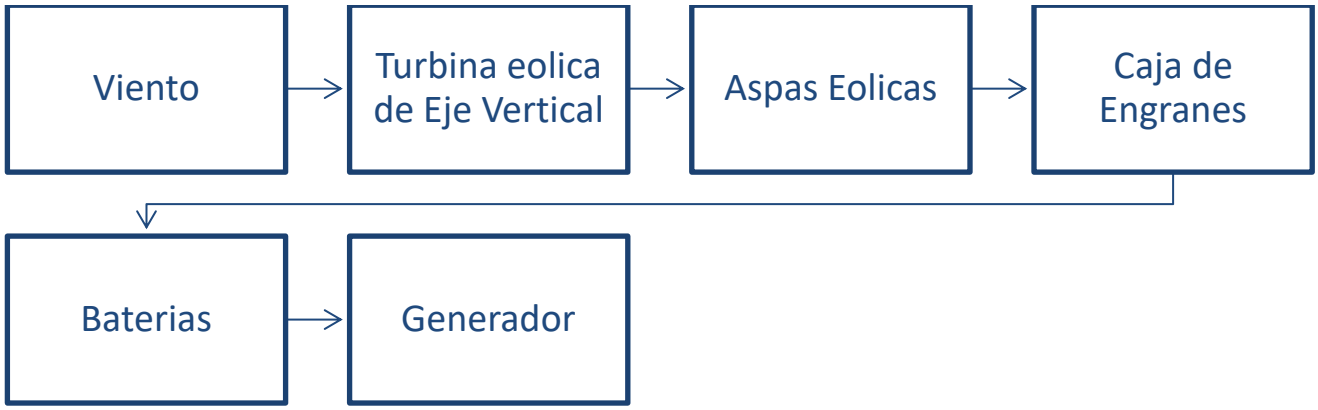

Figura 2 Diagrama de componentes de una turbina eólica

2.4. Resultado de Investigaciones anteriores

Se realizaron proyectos/investigaciones relacionadas al proyecto “Diseño y construcción de una turbina eólica de uso comercial mediante un análisis costo beneficio” y los resultados obtenidos se enlistan a continuación:

2.4.1“Simulación y control de una turbina eólica mediante un software de alto nivel”

La primera etapa de la simulación fue basada en un modelo matemático con modos de operación de una turbina eólica de velocidad variable el cual controla la velocidad alta, la baja y ambas siendo este el sistema completo.

El primer modelo basándose en el control variable de velocidad de estos son con las 3 siguientes ecuaciones:

$$D\omega g = ths - Bg\omega g - tem$$

$$D\omega r = ta - Bt\omega r - tg$$

$$Djt = ta - Bt\ jt - tg$$

Ecuación 1 Variable de Velocidad

Estas variables principales de control son las que se estarán simulando dentro de Matlab.

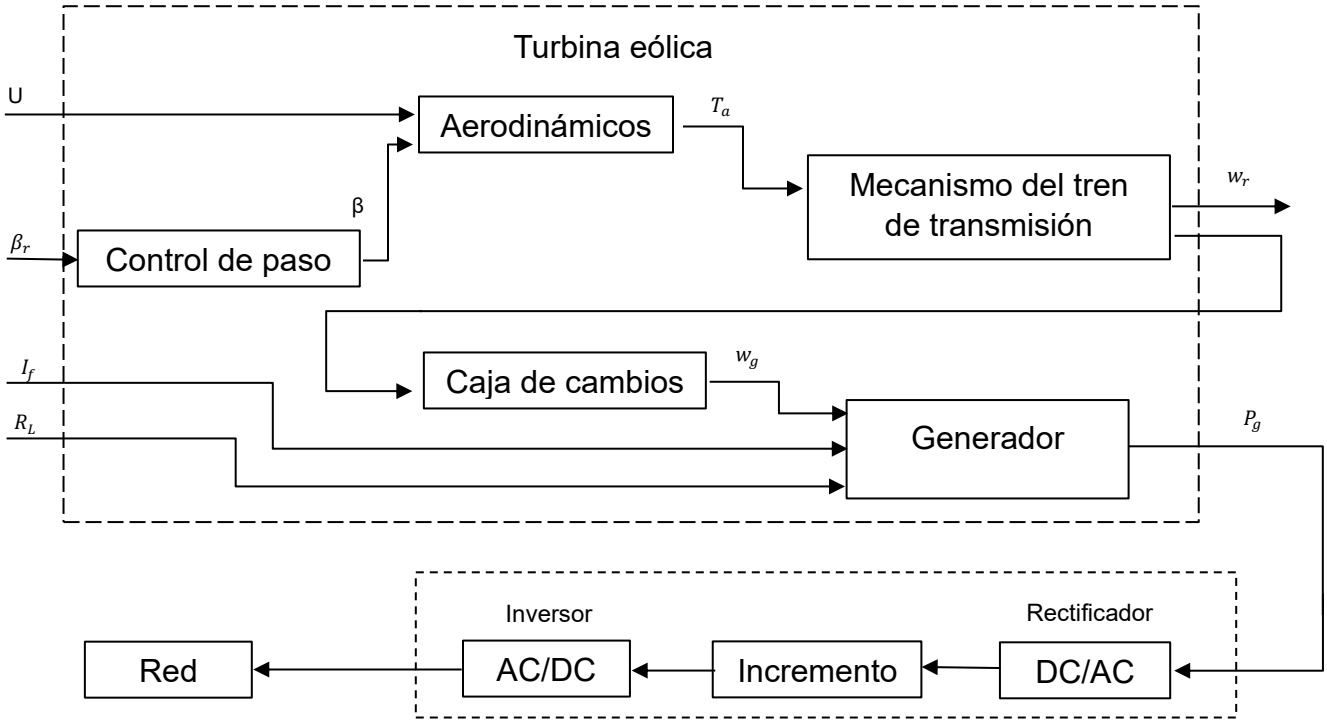

Figura 3 Simulación MATLAB

“La segunda etapa se basó en la referencia dentro del primer artículo utilizado para la primera simulación, esta referencia era el libro del cual se utilizó para realizar los modelos” (Garcia Mares & Zarco Villaverde, 2023).

2.4.2“Diseño y modelado de una turbina eólica”

“El proyecto se basó en la construcción de un prototipo de un Turbina eólica de eje Horizontal donde se diseñó cada componente en SolidWorks como se muestra en la figura 10” (Hernando Villamar & Martinez Ramirez, 2021).



Figura 4 Turbina terminada (ensamblada)

2.4.3 “Diseño y construcción de un generador eléctrico”

Se desarrolló la construcción del generador de magnetos permanentes, los cuales son esenciales para el funcionamiento del sistema.





Figura 5 Generador de magnetos permanentes

“En la imagen de la izquierda se puede observar el rotor, el cual previamente se substrajo de la parte interna del alternador, y en la imagen de la derecha se muestra el rotor modificado” (De la Cruz Trejo & Moran Flores , 2021).

2.4.4. Diseño de turbina eólica móvil

Este proyecto surge como una posibilidad para resolver el problema de la falta de energía eléctrica en zonas rurales, contemplando que se pueden aprovechar las corrientes de viento y a su vez contribuir al bienestar del medio ambiente (Duran Azuara, 2021).

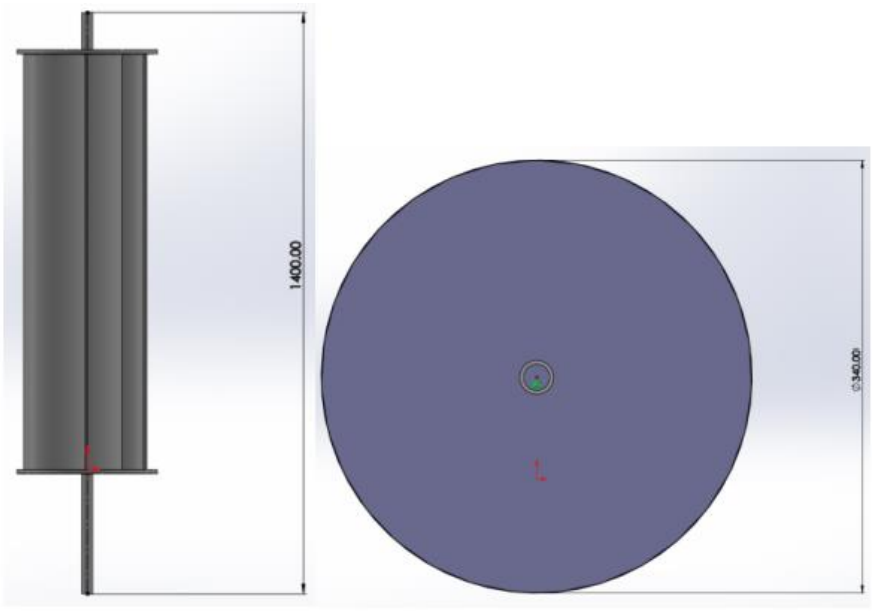

Figura 6 Diseño de turbina eólica móvil

En el proyecto se presentó el estudio aerodinámico del diseño de un aerogenerador eólico de eje vertical tipo “Savonius” en donde se analizaron las presiones, velocidades y fuerzas de arrastre producidas en las simulaciones. Además, se realizó un estudio del recurso eólico mediante el uso de datos estadísticos del aeropuerto internacional de la ciudad de Veracruz para evaluar la generación anual teórica de energía eléctrica en dicha zona, planteando diversos escenarios de consumo para una vivienda (Duran Azuara, 2021).

Estos proyectos se relacionan con el proyecto que realicé de "Diseño y construcción de una turbina eólica mediante un análisis costo beneficio" debido a que se basan en investigaciones y desarrollos similares. En la primera etapa de la simulación, se utilizó

un modelo matemático para controlar la velocidad variable de una turbina eólica, lo cual es fundamental para optimizar su eficiencia y producción de energía eléctrica. Además, se simularon las variables principales de control dentro de Matlab, lo que demuestra la relevancia de la simulación para evaluar el comportamiento de la turbina en diferentes escenarios.

Asimismo, el proyecto de "Diseño y modelado de una turbina eólica" complementa esta investigación al enfocarse en la construcción de un prototipo de turbina eólica de eje horizontal, lo cual proporciona valiosa información sobre el diseño y los componentes necesarios para su funcionamiento óptimo. Esta simulación y construcción de la turbina ofrecen una perspectiva práctica y aplicada a los conocimientos teóricos que se han desarrollado en mi proyecto.

Otro proyecto relevante es el de "Diseño y construcción de un generador eléctrico" que se centra en la construcción del generador de magnetos permanentes, componente esencial en el funcionamiento de una turbina eólica. Esta investigación proporciona una visión detallada sobre cómo aprovechar la energía eólica para generar electricidad de manera eficiente.

En conclusión, estos proyectos proveen un respaldo valioso para la investigación del proyecto y contribuyen al desarrollo de una turbina eólica de uso comercial en el Instituto Tecnológico de Matamoros. La interrelación entre estos proyectos refuerza la importancia de considerar diferentes aspectos, desde el diseño y modelado hasta la construcción de componentes cruciales, para lograr un sistema de energía eólica efectivo y beneficioso para el Instituto Tecnológico de Matamoros.

2.5. Protocolo de comunicación LoRa.

El concepto de Internet de las cosas se refiere a objetos físicos que están equipados con tecnologías para conectarse e intercambiar datos con otros dispositivos y sistemas a través de internet u otras redes de comunicación.

En este proyecto se utiliza LoRa Wan, que consiste en tecnologías inalámbricas, el cual nos permite conectar sensores y otros dispositivos a larga distancia lo que permite un gasto de energía mínimo, haciendo que las baterías puedan durar años normalmente para aplicaciones de Internet de las cosas.

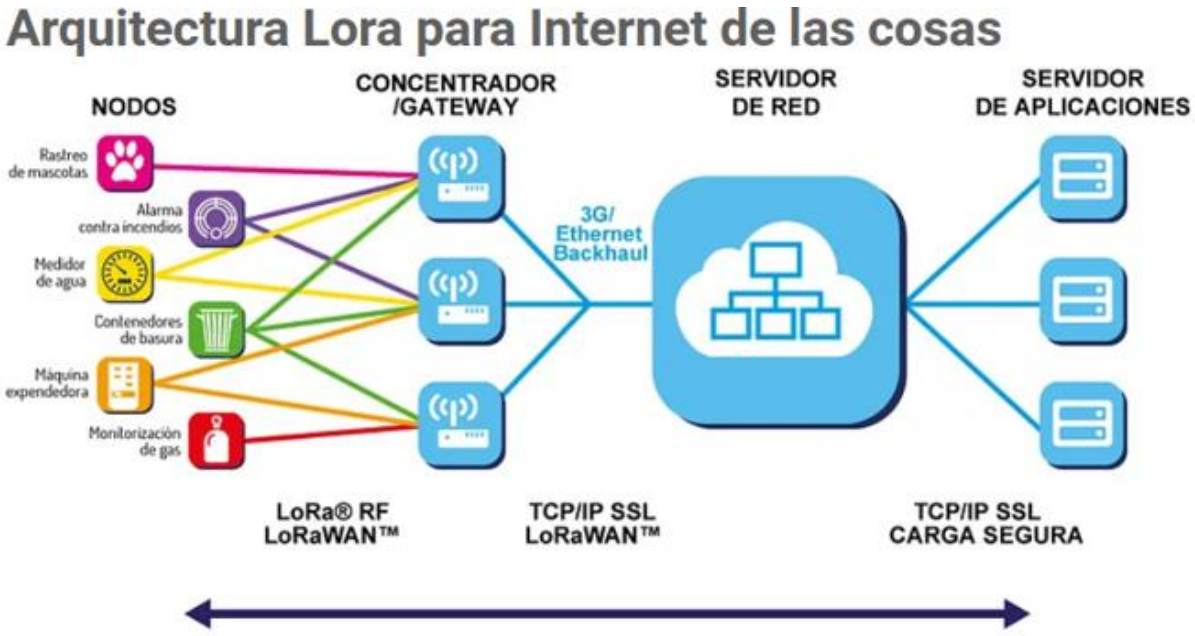

Figura 7 Lora

2.5.1. Principales características de Lora

LoRa es un sistema diseñado para operar en entornos urbanos, atravesando edificios y obstáculos, lo que permite alcanzar distancias de hasta 3 Km en estas condiciones y hasta 20 Km en zonas abiertas.

Este protocolo prioriza la eficiencia en la transmisión de datos, no requiriendo altas velocidades de transferencia. De esta manera, puede transmitir menos de 1Kbps.

Una de sus ventajas principales es su bajo consumo de energía, lo que permite utilizar dispositivos con baterías diminutas, sin necesidad de intervenciones frecuentes durante largos periodos de tiempo, lo que los hace asequibles y con costos de mantenimiento mínimos.

Además, LoRa permite conectar una gran cantidad de dispositivos en una sola entrada, incluso más que los teléfonos móviles en una red móvil. Esto, combinado con la posibilidad de tener múltiples entradas, permite gestionar cientos de miles de equipos de manera económica, recopilando información sobre las condiciones que están siendo monitoreadas.

Estas características hacen de LoRa un protocolo ideal para conectar sensores o actuadores, ya que la red LoRa Wan ha sido diseñada específicamente para conectar estos dispositivos, previendo que puedan ser millones en el futuro. La facilidad para conectar una gran cantidad de equipos y gestionarlos de manera sencilla ha propiciado su rápida adopción como tecnología líder en este ámbito.

El dispositivo que se utilizó en este proyecto para enviar los datos del anemómetro y tacómetro en RPM es a través la tarjeta **NodeMCU-32 ESP32.** Este dispositivo cuenta con conectividad Wifi, Bluetooth y BLE. Tiene un CPU de dos núcleos con una velocidad de hasta 240 MHz, que se pueden controlar de forma independiente



Figura 8 Esp32-wroom-32

También incorpora una amplia variedad de periféricos internos. Para su desarrollo, dispone de una amplia gama de software, lenguajes de programación, librerías, códigos y otros recursos. Algunas opciones comunes son: Esp-idf proporcionado por el fabricante del chip, Arduino en lenguaje C++, Simba Embedded Programming Platform en lenguaje Python, Micro Python, LUA y Basic.

La tarjeta NodeMCU incluye un regulador de voltaje en la placa, lo que permite alimentarla directamente desde el puerto USB. Los pines de entradas/salidas operan a 3.3V y utiliza el chip CP2102 para la comunicación USB-Serial.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. Tipo de estudio

Este proyecto se basa en un tipo de estudio documental debido a que se usó de base el enfoque documental para investigar y recopilar información clave sobre la tecnología de las turbinas eólicas y poder seleccionar, diseñar y construir una turbina eólica de bajo costo. Además, se realizaron pruebas y análisis de costos para lograr su implementación.

3.1.1. Documental

De acuerdo con Ocegueda “no puede existir investigación de campo o experimental sin investigación documental ya que ésta proporciona las bases teóricas en la que se fundamenta el problema de estudio, las hipótesis, el grado de avance en el conocimiento de ese tema o problema. Los datos extraídos en cualquiera de las fuentes sirven para fundamentar las hipótesis” (Ocegueda Mercado, 2004).

La investigación documental es esencial al considerar que el conocimiento humano es colectivo y vasto, con información disponible para todos. No es realista pensar que un solo tipo de documento puede abarcar toda la información, especialmente en la era de la información rápida. La investigación documental requiere la recopilación de diversas fuentes, cada una con técnicas de registro específicas. Puede ser la única forma de abordar un tema en ocasiones o complementar la investigación de campo o experimental en otros casos. La planificación es fundamental en la investigación documental, ya que ayuda a perfeccionar ideas, fundamentar hipótesis y desarrollar una base conceptual inicial. Además, facilita la identificación de la adecuación del tema y la disponibilidad de bibliografía. Para recopilar material escrito, es necesario acudir a diversas fuentes, como se describen a continuación.

3.1.2. Experimental

Ocegueda en su libro Metodología de la investigación: Métodos, técnicas y estructuración de trabajos académicos menciona que “el método propio de las ciencias inductivas es el llamado método científico, el cual tiene como característica la verificación empírica de la relación entre variables es también llamado método experimental o método científico experimental y es el empleado por las ciencias factuales” (Ocegueda Mercado, 2004).

Las ciencias sociales engloban una amplia parte del conocimiento humano. Aunque el método experimental se ha limitado en estas ciencias debido a la naturaleza de los fenómenos sociales, se ha utilizado con éxito en áreas como la Psicología, la Educación y la Sociología para comprender relaciones causales. Este método experimental se caracteriza por seguir el método científico, controlar variables, ser repetible y emplear la medición.

El método experimental implica provocar y controlar fenómenos, permitiendo repeticiones controladas para observar efectos en variables dependientes. No es necesario utilizar equipos costosos; incluso se pueden llevar a cabo experimentos con utensilios domésticos. La clave es identificar las variables, métodos y técnicas de medición en el experimento y buscar una explicación basada en una teoría que respalde la hipótesis inicial.

3.1.3. Cuantitativo

“El enfoque cuantitativo es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos “brincar o eludir” pasos, el orden es riguroso, aunque, desde luego, podemos redefinir alguna fase. Parte de una idea, que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se desarrolla un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas (con frecuencia utilizando métodos estadísticos), y se establece una serie de

conclusiones respecto de la(s) hipótesis" (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2010).

3.1.4. Cualitativo

"El enfoque cualitativo también se guía por áreas o temas significativos de investigación. Sin embargo, en lugar de que la claridad sobre las preguntas de investigación e hipótesis preceda a la recolección y el análisis de los datos (como en la mayoría de los estudios cuantitativos), los estudios cualitativos pueden desarrollar preguntas e hipótesis antes, durante o después de la recolección y el análisis de los datos. Con frecuencia, estas actividades sirven, primero, para descubrir cuáles son las preguntas de investigación más importantes, y después, para refinarlas y responderlas. La acción indagatoria se mueve de manera dinámica en ambos sentidos: entre los hechos y su interpretación, y resulta un proceso más bien "circular" y no siempre la secuencia es la misma, varía de acuerdo con cada estudio en particular" (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2010).

3.1.5. Transversal

"Un estudio transversal indica que representa una observación aislada en la vida de un individuo; algo así como una fotografía instantánea en un momento dado, de allí el termino transversal, pues equivale a un corte en el tiempo" (Hernández Chavarría , 2002).

3.1.6 Estudio de mercado

Realizando la investigación de Turbinas eólicas de eje vertical en diferentes mercados, se encontraron los siguientes resultados.

1. **MEXICO:** En el mercado Nacional se pueden encontrar en diferentes costos como por ejemplo la turbina Eólica tipo turbina vertical, con una potencia nominal de 400W, voltaje DC 12V, con controlador de carga en **$39,990 Pesos**

MXN, Incluye aspas de fibra de vidrio reforzada de alta calidad y motor sin núcleo de imán permanente trifásico, baja velocidad del viento de arranque, baja vibración y bajo ruido, por lo que puede aumentar la utilización de energía eólica y la generación anual de energía eléctrica. Es una buena opción para uso doméstico.



Figura 9 Turbina eólica mercado mexicano

3.1.6.1 Características destacadas

- Aspas en espiral vertical de alta calidad y mayor estabilidad.
- Baja velocidad de arranque
- Potente rendimiento.
- Compacto y fijo
- Fácil instalación

3.1.6.2. Especificaciones técnicas

- Velocidad de viento de arranque baja: 1.3 m / s
- Velocidad de viento de corte inferior: 2.5 m / s

- Velocidad nominal del viento: 11 m / s
- La velocidad máxima instantánea del viento = 45m / s
- Tensión nominal: 12 V DC
- Potencia nominal: 400 W
- Potencia máxima: 450 W
- Peso: 48.5 lb (22 kg)
- Altura de las aspas: 1.05 m
- Cantidad de aspas: 2
- Material de las aspas: fibra de vidrio reforzada
- Generador: motor sin núcleo de imán permanente trifásico (rotor externo)
- Sistema de control: electroimán
- Altura de montaje: 12 m
- Grado de protección del generador: IP65
- Temperatura ambiente de trabajo: de -25 a + 45 grados
- Humedad del ambiente de trabajo: < 90%
- Protección contra exceso de velocidad: freno electromagnético
- Protección contra sobrecarga: freno electromagnético y unidad de descarga

3.1.6.3. Contenido del paquete

- 1 turbina eólica de turbina vertical
- 1 controlador de carga
- 1 anillo de brida
- 4 tornillos
- 2 llaves
- Manual del producto.
- Otra opción que se encontró en el mercado Nacional fue el del modelo MXSRK-001-001 que es un Turbina eólica vertical de la marca Swirlkit por VentDepot en **$19,859.73 Pesos MXN.**



Figura 10 Turbina eólica mercado mexicano 2

3.1.6.4. Características destacadas

El sistema cuenta con un novedoso método de control basado en un electroimán para aprovechar la energía del viento y convertirla en una potente fuente de electricidad. Su diseño está compuesto por 5 aspas fabricadas con una resistente aleación de aluminio y fibra de vidrio reforzado, lo que le confiere mayor durabilidad y estabilidad.

Este sistema ha sido diseñado de forma compacta y ligera, garantizando así una larga vida útil. Se sugiere su instalación en postes de 8 a 10 metros de altura, dependiendo de las condiciones del viento.

Además, cuenta con un factor de protección IP20, asegurando un funcionamiento seguro. Sus componentes de alta calidad son fundamentales para mantener una operación estable y eficiente.

El sistema realiza una transformación eficiente del viento y su energía en electricidad de corriente directa, ideal para su uso en aplicaciones de carga. También incorpora un inversor que aumenta la fiabilidad del sistema en aplicaciones interactivas de utilidad, lo que facilita su diseño.

Para facilitar la supervisión y el control, se ha integrado una pantalla LCD que permite visualizar en tiempo real el voltaje, el estado de la batería y otros parámetros importantes.

Con el fin de proporcionar una salida de corriente alterna estabilizada, el sistema cuenta con un transformador que asegura una alta eficiencia y baja pérdida en situaciones de carga baja.

Además, se ha implementado una protección completa y una función de alarma para mantener la estabilidad del sistema y protegerlo de posibles daños. En resumen, este sistema representa una solución confiable y eficiente para aprovechar la energía eólica y convertirla en una fuente de electricidad sostenible.

2. **CHINA:** También se tomó en cuenta otros Tipos de mercados, ya que en la actualidad tenemos la tecnología para pedir productos de otros países como China, USA etc. Solo que en este mercado hay que considerar gastos adicionales del costo del producto, ya que al final es un gasto que el consumidor final debe cubrir para poder adquirirlo, en promedio de precio se encuentran en **$800 USD = $15,000 Pesos MXN** más gastos de envió e importación al país entre otros.



Figura 11 Turbina eólica mercado extranjero

3.1.6.5. Características destacadas

El modelo FS-Blanco-800 de la marca Bayoung es un sistema eólico con 2 aspas verticales. Es pequeño, ligero y estable, con certificación CE. Tiene alta eficiencia y puede ser usado como sistema híbrido con paneles solares. Sus aplicaciones incluyen uso en marinas, barcos, farolas, hogares e iluminación de plazas. Fabricado en China, posee propiedades de resistencia a la abrasión, ácidos, antimicrobianos, productos químicos, corrosión y es a prueba de polvo.

Cuenta con una clasificación actual de 11-20A, tecnología inverter híbrida y una potencia de 800-899W. La corriente es de tipo CA/CC y su configuración es fuera de la red. Está construido en fibra de vidrio y su fuente de energía es el viento. Sus características incluyen detección automática de voltaje, motor sin escobillas, operación diurna, arriostrado fijo, flexibilidad y portabilidad.

Requiere una velocidad nominal del viento de 13 m/s y tiene una longitud de 130 cm. Ofrece diversas propiedades de protección, como protección contra corriente negra, descargas, congelamiento, heladas, rayos, bajo voltaje, circuito abierto, sobrecarga, sobre corriente, sobrevoltaje y corriente inversa.

Su potencia de salida oscila entre 701-800W, con una corriente de salida de 11-19A. Utiliza el modo de carga MPPT para maximizar la eficiencia y su voltaje de operación está entre 41-50V.

3.2. Diagnóstico de la situación actual

3.2.1. En el País

Así mismo a nivel nacional, se cuenta con diferentes parques eólicos ya que México es una zona la cual es enriquecida con la energía del viento y se estima que en futuros tiempos se pueda triplicar la producción de energía eólica tal como lo muestra la siguiente figura:



Figura 12 Diagnostico de la situación actual

En la actualidad, México cuenta con parques Eólicos que se localizan en 15 Estados

- Baja California (303 MW)
- Baja California Sur (50 MW)
- Sonora (2 MW)

- Coahuila (397 MW)
- Nuevo León (793 MW)
- Tamaulipas (1,725 MW)
- San Luis Potosí (200 MW)
- Zacatecas (230 MW)
- Jalisco (179 MW)
- Guanajuato (105 MW)
- Puebla (287 MW)
- Yucatán (244 MW)
- Quintana Roo (1.5 MW)
- Chiapas (49 MW)
- Oaxaca (2758 MW)

“De acuerdo con la Asociación Mexicana de Energía Eólica en 2022 su producción Total de MW es de 7312 MW (0.007312 KW)” (amdee, 2022).

3.2.2. En el Estado de Tamaulipas

“De acuerdo con la Asociación Mexicana de Energía eólica en 2022, Tamaulipas es de los estados que más aporta, ocupando el segundo lugar con 1,725 MW por debajo de Oaxaca que aporta 2758 MW” (amdee, 2022).

En la tabla #3 Se muestra la ubicación de los parques eólicos en Tamaulipas.

Nombre	Ubicación	# de Turbinas	MW/ KW
Parque Eólico Reynosa 1	Reynosa	123	424MW/ 0.000424KW
Parque Eólico El porvenir	Reynosa	30	54 MW/0.000054KW
Parque Eólico Salitrillo	Reynosa	30	103MW/0.000103KW

Parque Eólico El Cortijo 2	Reynosa	61	183 MW/0.000183KW
Parque Eólico El porvenir	Reynosa	30	54 MW/0.000054KW
Parque Eólico Reynosa 5	Reynosa	30	424 MW/0.000424KW
Parque Eólico San Carlos	San Carlos	60	198 MW/ 0.000198KW
Parque Eólico GEMEX	Victoria	15	50MW/0.000050KW
Parque Eólico Tres Mesas 3	Llera	15	50.8MW/0.000058KW
Parque Eólico ‘’Victoria’’	Güémez	15	49.5MW/ 0.000049MW

Tabla 3 Parques eólicos en Tamaulipas

3.2.3. En Matamoros

En la actualidad, Matamoros no cuenta con parques eólicos, sin embargo, cuenta con empresas dedicadas a crear las aspas de energía eólica para parques eólicos en todo el mundo.

TPI ha fabricado más de 70,000 palas eólicas desde el 2001, y Matamoros cuenta con una planta de TPI en parque industrial las ventanas.

También algunas instalaciones como el caso del puente internacional de Veteranos en Los Tomates es uno de los tres puentes internacionales que cruzan la frontera entre México y Estados Unidos entre las ciudades de Brownsville, Texas y Matamoros, Tamaulipas.

Cuenta con turbinas y paneles solares que aprovechan la energía del viento y rayos del sol, convirtiéndola en energía eléctrica para iluminar los postes de luz de ese sector.

3.3. Métodos de análisis e interpretación de los resultados obtenidos

3.3.1. Curva de potencia de una turbina eólica

La curva de potencia de una turbina eólica es un gráfico que indica cuál será la potencia eléctrica disponible en la turbina eólica a diferentes velocidades del viento.

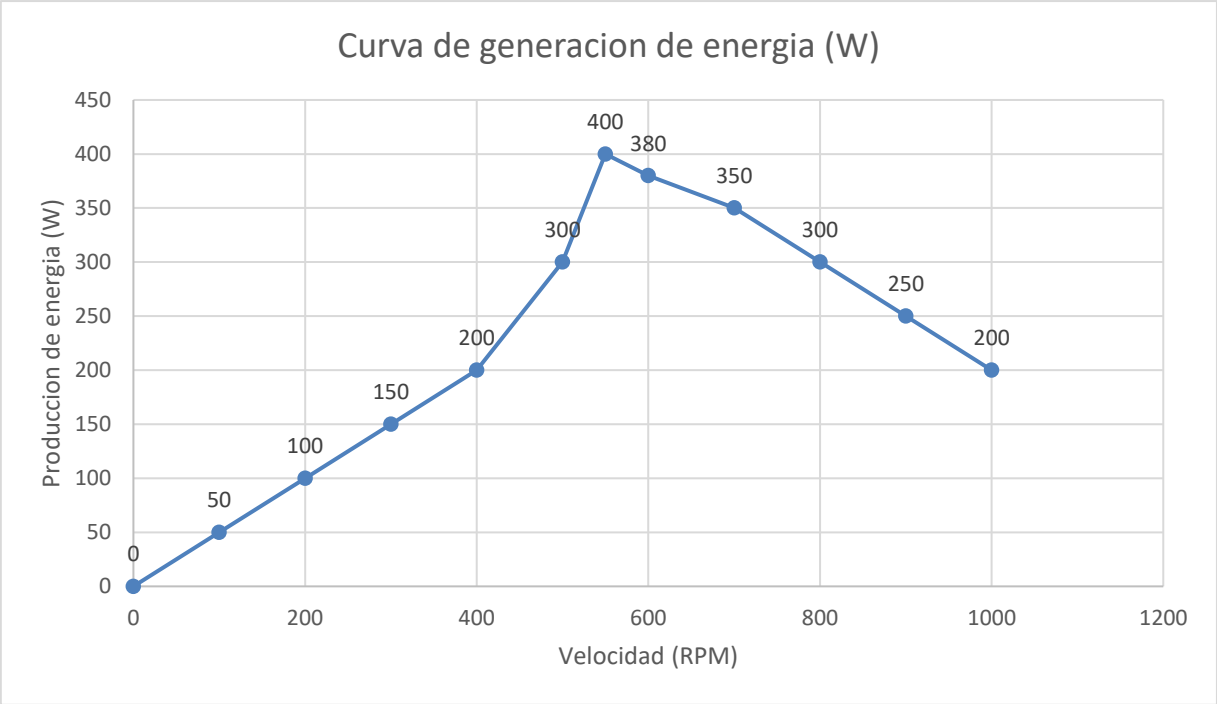

Figura 13 Curva de potencia de una turbina eólica

“El gráfico muestra la curva de potencia de una turbina eólica de 600 kW, generada a partir de mediciones de campo utilizando un anemómetro. La dispersión de puntos alrededor de la línea azul se debe a las fluctuaciones constantes en la velocidad del viento, lo que requiere tomar promedios para obtener resultados más precisos. Las mediciones exactas de la velocidad del viento pueden ser complicadas, y pequeños errores pueden tener un impacto significativo en la estimación de la energía del viento. Por lo tanto, incluso en curvas certificadas, pueden existir errores de aproximadamente +/-10%.

Es importante tener en cuenta que la curva de potencia no indica la potencia producida a una velocidad media del viento, ya que el contenido de energía varía considerablemente con la velocidad. La ubicación y las condiciones locales también pueden afectar la forma de la curva. Además, la mayor parte de la energía eólica está disponible a velocidades del viento que son el doble de la velocidad más común en la ubicación específica. También se deben considerar correcciones por cambios en la densidad del aire debido a las condiciones de temperatura y presión del aire en las que opera la turbina" *(Association, 2003)*.

3.4. Metodología implementada

Para desarrollar el diseño de la turbina eólica, es esencial tener en cuenta las condiciones de trabajo a las que estará expuesta. Los pasos clave para este desarrollo incluyen aspectos como la selección de la topología y el número de palas, así como la construcción de un prototipo.

Para iniciar el diseño, es importante conocer la ubicación destinada para la turbina, lo que conlleva la elección del tamaño, el tipo de generador, la forma de instalación y las zonas de destino. La facilidad de instalación y mantenimiento, así como la simplicidad en la construcción, son consideraciones esenciales para el diseño de generadores eólicos.

En relación con la topología, existen diversas opciones para una turbina eólica, principalmente referentes al rotor. Se deben considerar tres aspectos importantes: la posición del eje (horizontal o vertical), la fuerza resultante que actúa por el flujo (elevación o arrastre) y la relación de velocidades de puntas (máquinas de alta o baja velocidad).

Para el diseño, se deben tomar decisiones sobre la orientación del eje del rotor, el control de potencia, la posición del rotor con respecto al viento, el control del sistema de orientación, la velocidad del rotor (constante o variable), el diseño de la relación de velocidad de punta y solidez, el tipo de eje, el número de palas, la velocidad del generador y la estructura de la torre.

En cuanto al número de palas, la mayoría de las turbinas eólicas modernas utilizadas para generar electricidad tienen tres palas, aunque algunas pueden tener dos o incluso una. La elección del número de palas debe considerar el equilibrio entre la tensión en la raíz de la cuchilla y el momento de inercia polar.

La velocidad del generador puede variar, incluyendo velocidades síncronas, varias velocidades síncronas o un rango de velocidades continuamente variables. Esta elección tiene un impacto significativo en el diseño y el peso de otros componentes, como la caja de cambios y la electrónica de potencia.

Una vez obtenidas las cargas preliminares, se desarrolla un bosquejo del diseño tentativo que considera varios subsistemas de la turbina, como el rotor, la transmisión y la torre. También se deben tomar en cuenta aspectos generales, como los métodos de fabricación, la facilidad de mantenimiento, la estética, el ruido y otras condiciones ambientales.

“Además, se necesita estimar los costos y gastos energéticos, lo cual es crucial en el diseño, ya que se debe anticipar el costo de fabricación de la turbina, tanto en el prototipo como en la producción” (Mendoza Ceron, 2017).

3.5. Diseño del prototipo

En la Figura 16 se describe el diagrama de bloque donde entra la velocidad del viento hacia las aspas eólicas y anemómetros, que a su vez se encuentran conectadas a las tarjetas ESP32-WROOM-32 y antenas de comunicación LoRa, para enviar y recibir los datos que tiene el aerogenerador.

3.5.1 Diagrama de bloque

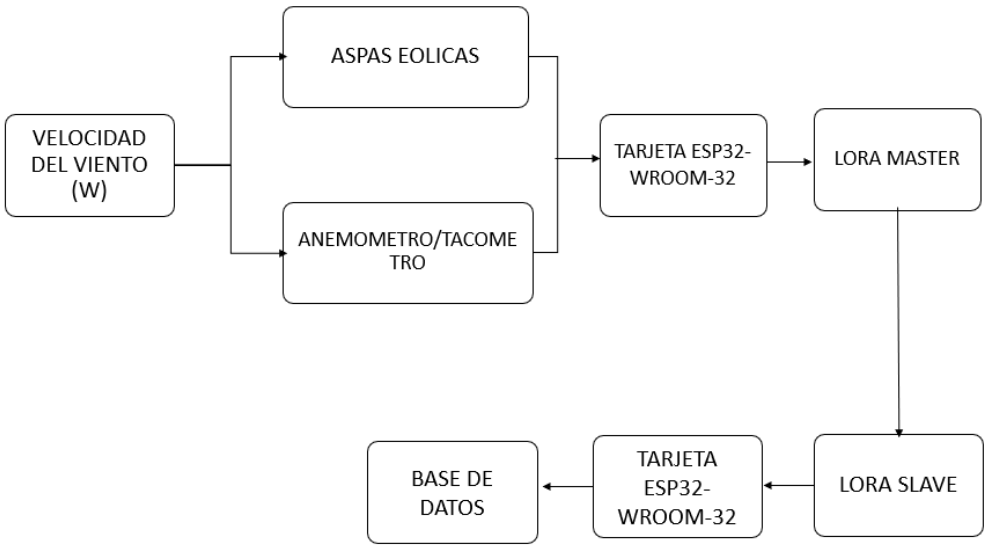

Figura 14 Diagrama de bloques

– Lista de materiales o componentes

- Base de las Aspas Eólicas
- Aspas Eólicas
- Ejes
- Chumaceras (Baleros)
- Estructura
- Anemómetro
- Tacómetro
- 2 tarjetas ESP32-WROOM-32

- 2 antenas LoRa E32-TTL-100

3.5.2 Presupuesto

En el proyecto se ha dado el tiempo de revisar cotizaciones de acuerdo con las necesidades de la turbina eólica, en las cuales se busca mantener el costo bajo, pero con materiales que cumplan la calidad que se requiera.

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 Ohms	$0.60
2 tablillas ESP32-WROOM-32	$540
2 tarjetas LoRa E220-900t22d	$864
TOTAL	$4,166.6

Tabla 4 Presupuesto

3.6. Construcción del prototipo:

El funcionamiento del Prototipo de turbina eólica de eje vertical consta de un ensamble de componentes (Bases de las aspas, Aspas eólicas, ejes, chumaceras, estructura Motor), el cual se colocará en el exterior para poder generar energía eólica para transformarla a energía eléctrica y poder utilizarla para un aula del Instituto tecnológico de Matamoros.

3.6.1. Diseño

Etapas de producción:

3.6.1.1. Base de las Aspas eólicas

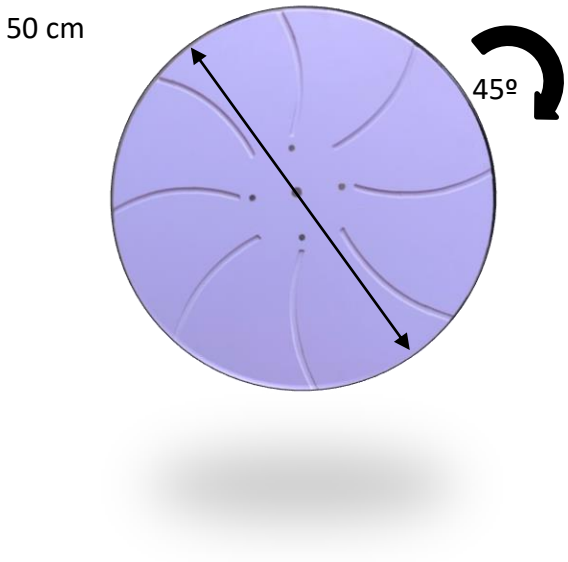

Figura 15 Base de aspas eólicas

El material que se utilizó para la base de la turbina fue Trovicel, el material fue considerado así, ya que es resistente al agua y cuenta con un grosor de 6 mm Las dimensiones son de 50 cm de diámetro y los espacios para las aspas eólicas se midió a 45 º de distancia, se cortó con maquina CNC para hacer los orificios de los ejes y los espacios para las aspas eólicas

3.6.1.2. Aspas eólicas

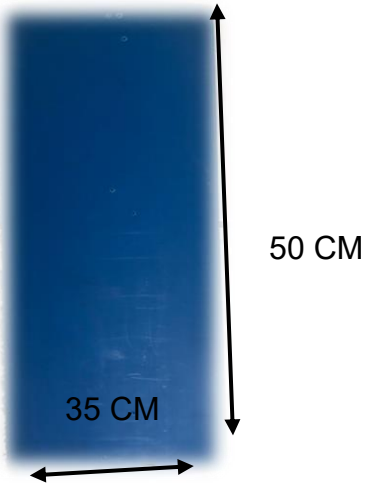

Figura 16 Aspas eólicas

Para las aspas eólicas se implementó con material reciclado de plástico, el cual fue medido a 50 cm de largo y 35 cm de ancho, fue considerado así para que coincidieran con las medidas de la base de la turbina.

3.6.1.3. Ejes

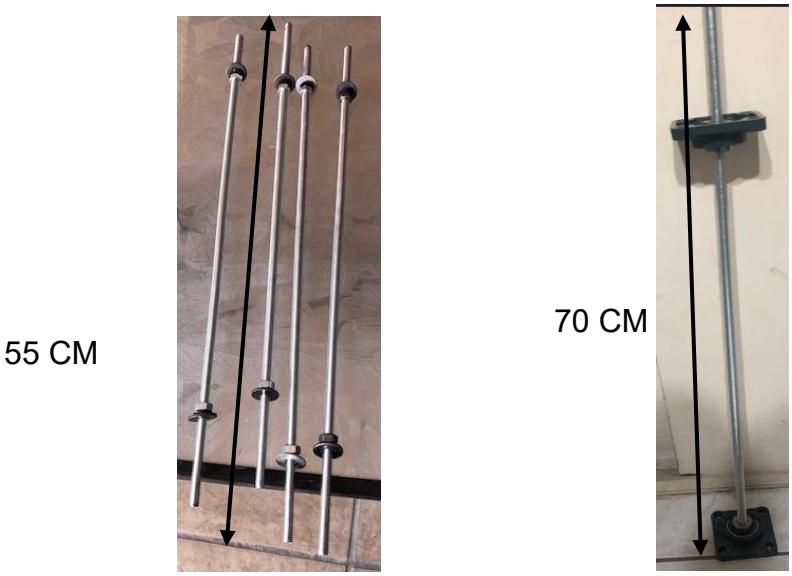

Figura 17 Ejes

Los ejes constan de Arandelas Planas, tuercas hexagonales y varilla con rosca de 1/2” de diámetro para las chumaceras y las bases de las aspas eólicas.

3.6.1.4. Chumaceras (Baleros)



Figura 18 Chumaceras (baleros)

3.6.1.4.1. Primeras Pruebas

Chumacera de pared de diámetro interior de 1/2”

3.6.1.4.2. Mejora de Baleros

Debido a que las primeras pruebas que se hicieron con las chumaceras en la estructura presentaron problemas, se decidió remplazarlas por baleros del modelo 5972K101_Ball Bearing los cuales fueron puestos a presión en las bases y así mismo colocando la flecha a presión entre los 2 valeros y la estructura de la turbina

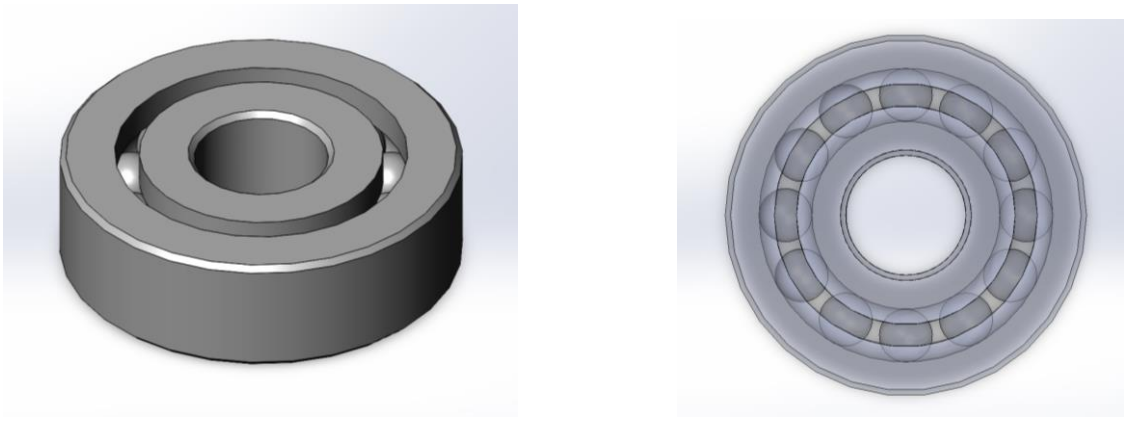

Figura 19 Mejora de baleros

Fue necesario el diseño de unas bases de aluminio para balero colocadas en la parte superior e inferior de la turbina con una flecha Thompson como eje giratorio para tener estabilidad y generar menos fuerza al momento giratorio de las hélices, para esto se utilizó una flecha de 5/8” x 20” de largo.

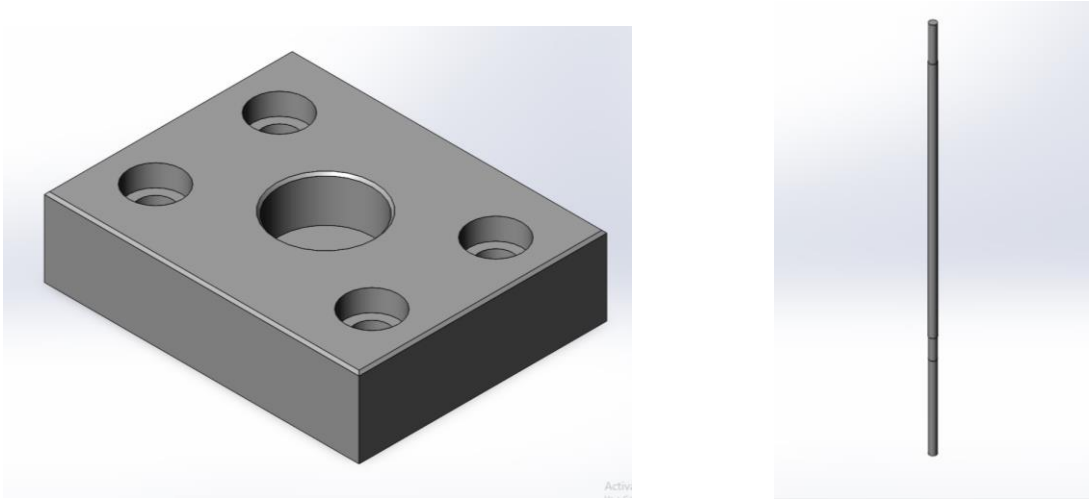

Figura 20 Bases y flecha

3.6.1.5. Estructura

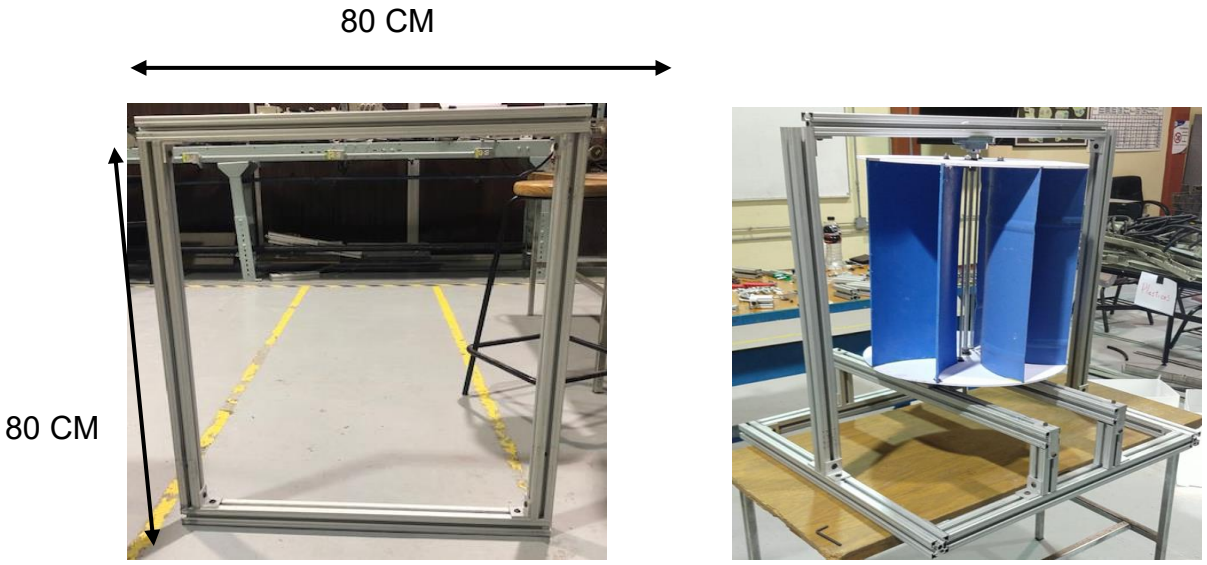

Figura 21 Primera versión de estructura

3.6.1.5.1. Primeras Pruebas

El material que se utilizó para la estructura fueron vigas de aluminio recicladas, las cuales se maquinaron para poder encajar el diámetro de las chumaceras y los ejes, se tomó como referencia lo largo de las aspas, dándole 80 cm de largo y ancho para poder montar la Turbina eólica.

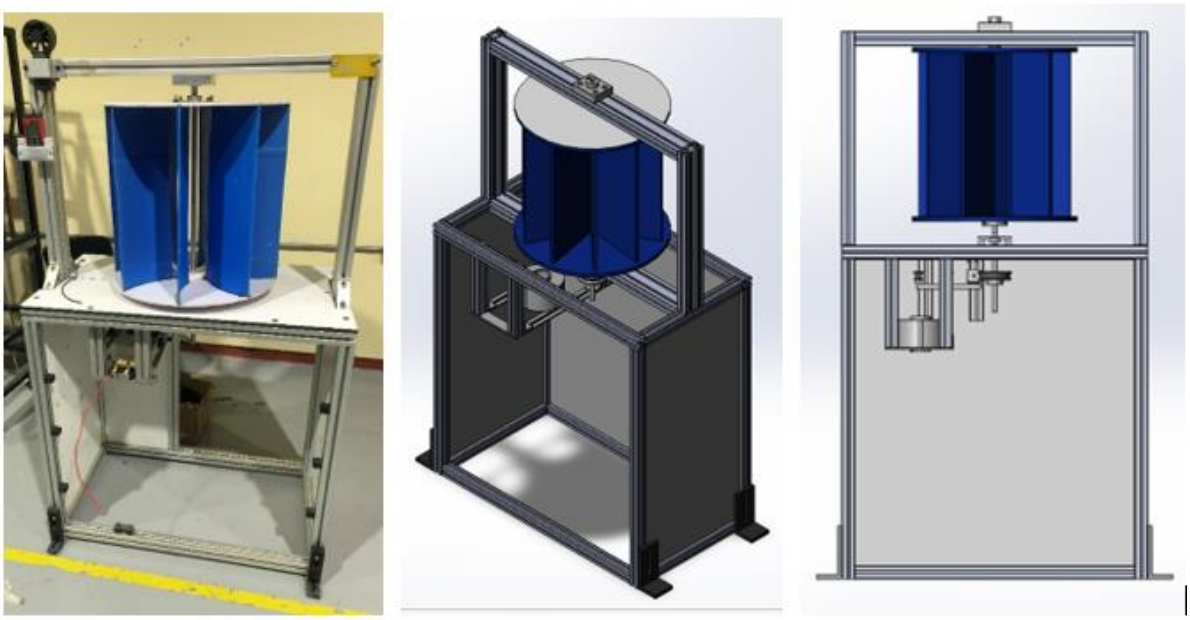

Figura 22 Mejora de estructura

Para la mejora de la estructura, se realizó con material de aluminio “perfil industrial” de medidas 40x40mm y 40x60mm, junto con la tornillería y tuercas para ensamblar, así como gomas en la parte inferior para estabilizar el diseño junto con tapas de madera con velcro negro para una mejor vista exterior.

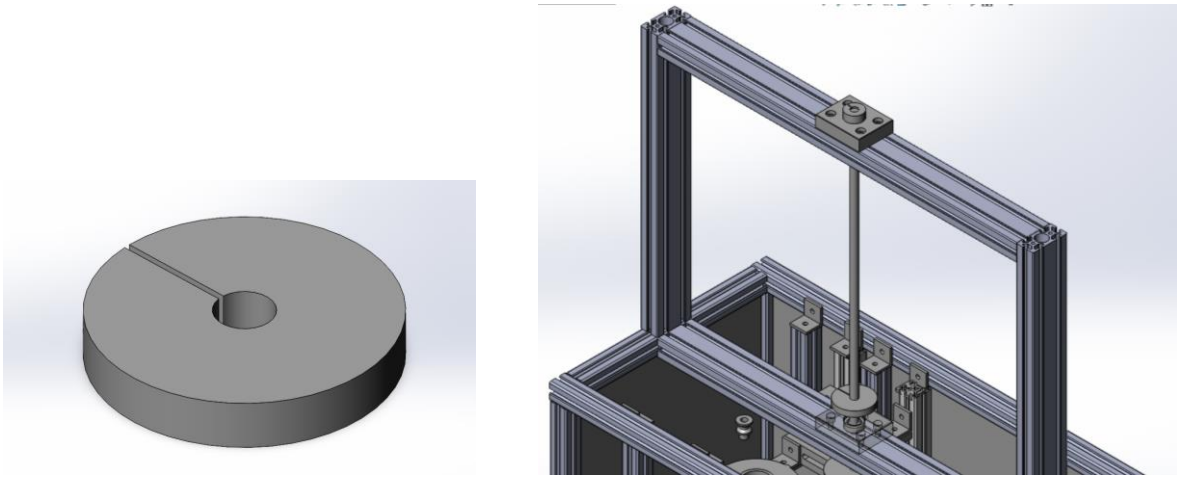

Figura 23 Candados

Se incorporaron unos candados en la turbia para ejercer presión reforzar el área de la turbina para que se mantuviera estable a la hora de girar, estos fueros hechos con material CRS de dos diámetros diferentes en la parte inferior y superior de la estructura.

3.6.1.6. Sistemas de poleas

Para generar menos fuerza en el sistema giratorio de la turbina hacia el alternador se colocó 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 y así tener mayor rendimiento del imán permanente que contiene el rotor, este funcionamiento dependa mucho de la velocidad del aire que se esté dando en el ambiente

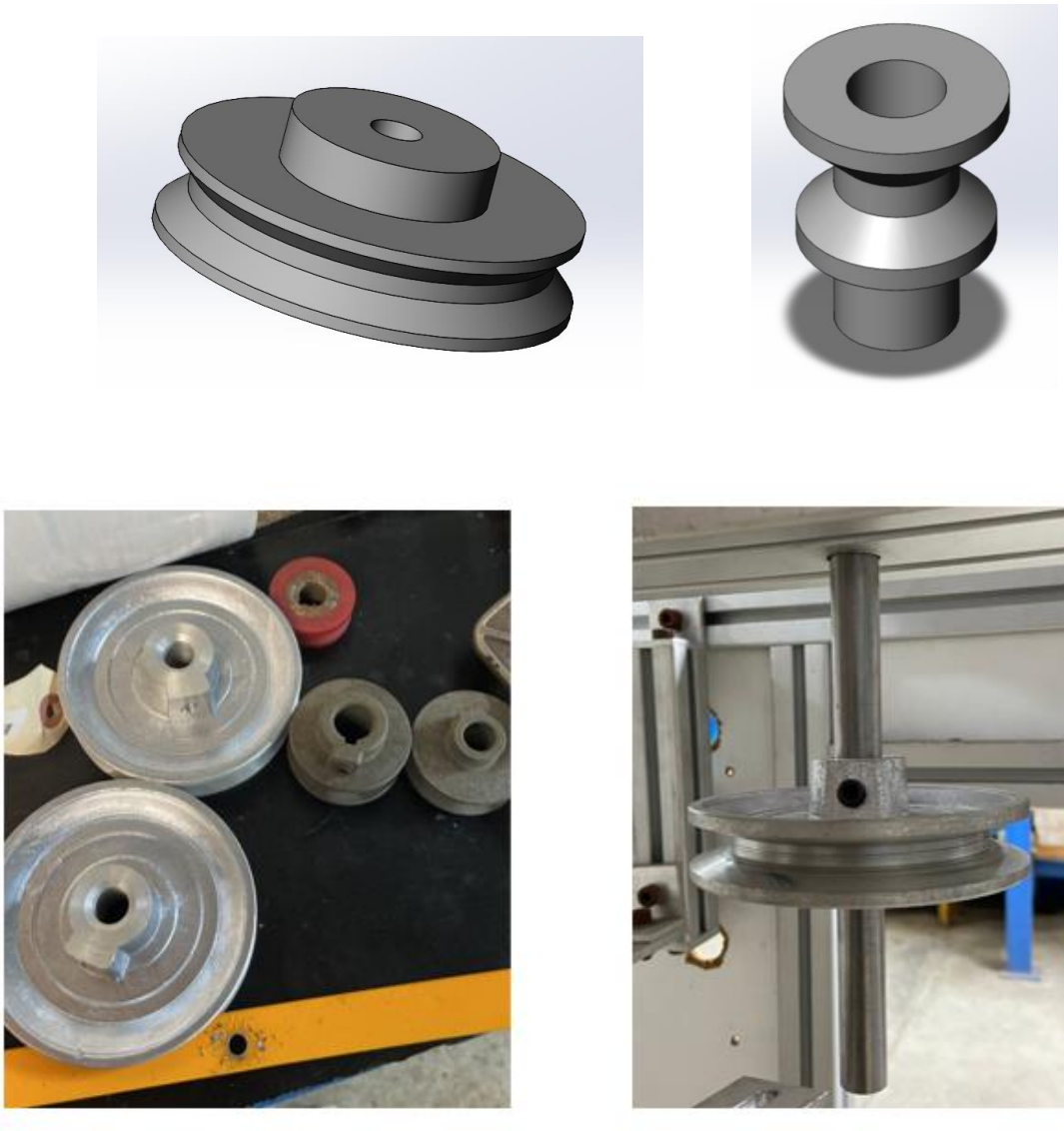

Figura 24 Sistema de poleas

3.6.1.7. Ensamblaje

Para el ensamble de la turbina se fabricaron bases y ángulos de aluminio para sostener el alternador, el tacómetro y el anemómetro sobre la estructura. Se integraron paredes de madera alrededor de la estructura para tener una mejor estética, así mismo utilizamos la tornillería adecuada para todo el ensamble.

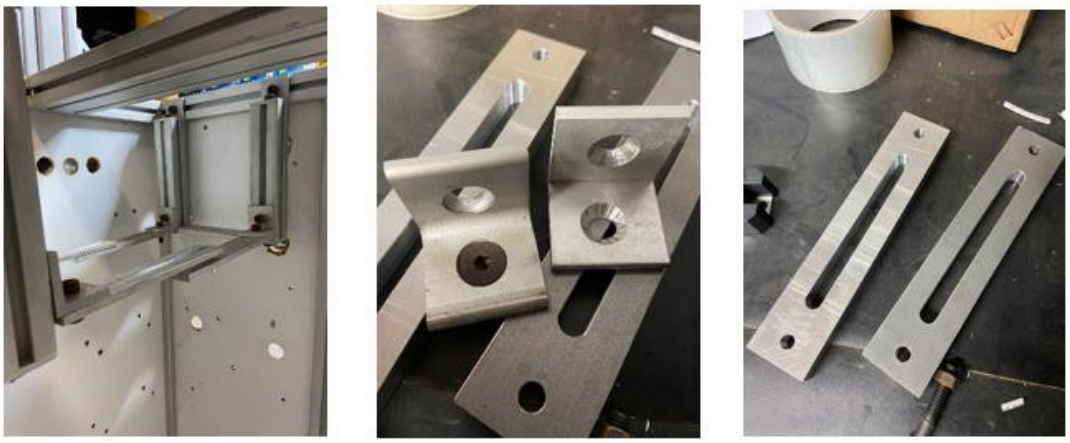

Figura 25 Ángulos y bases de aluminio

3.6.1.8. Anemómetro



Figura 26 Anemómetro

Se realizó una investigación de distintos modelos de anemómetros disponibles en el mercado, considerando sus especificaciones para determinar la mejor opción en términos de costo y beneficio para el prototipo. El modelo seleccionado fue JL-FS2 debido a que cuenta con materiales de alta calidad, como aleación de aluminio en la carcasa del sensor y copa de viento, utilizando tecnología de fundición de precisión de molde especial, lo que garantiza una alta precisión en las medidas y una resistencia

notable. Además, el circuito interno ha sido procesado con medidas de protección para asegurar su durabilidad y fiabilidad. El sensor posee una alta resistencia, es resistente a la intemperie, a la corrosión y al agua, y cuenta con un peso de 1 kg.

3.6.1.8.1. Especificaciones de Anemómetro

El anemómetro ofrece las siguientes características:

- La señal de salida tiene un rango de 0-5 V (voltaje de señal).
- Requiere un voltaje de suministro de DC12-24V.
- El consumo de energía máximo es de ≤0.3W.
- La velocidad mínima de inicio del viento es de 0.4-0.8 m/s.
- La resolución de medición es de 0.1 m/s.
- El rango efectivo de medición abarca desde 0 hasta 30 m/s.
- La distancia máxima de transmisión mediante cable es de 8 metros.
- Utiliza transmisión por cable como medio de comunicación.
- Se conecta mediante tres cables.
- La temperatura de trabajo puede variar desde -40 ℃ hasta 80 ℃.
- El mapa de cableado consta de VCC (rojo), GND (negro), voltaje (amarillo) y corriente (azul).

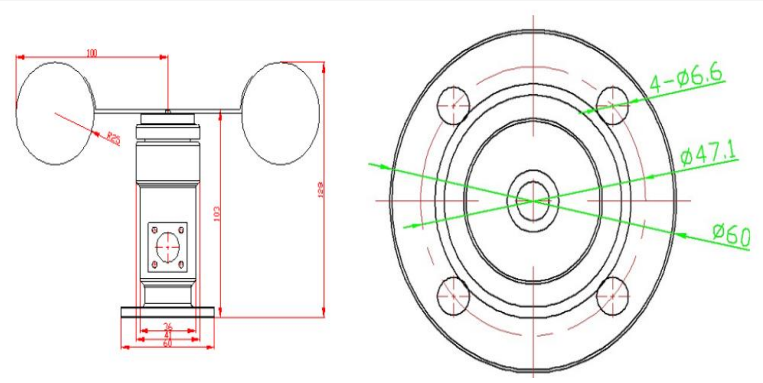

Figura 27 Especificaciones de anemómetro

3.6.1.9. Tacómetro

Se instaló un tacómetro el cual mide la velocidad de rotación del eje motor por medio de revoluciones por minuto (RPM) en este caso adaptado a la turbina y así hacer un cálculo para determinar la relación de rpm y el voltaje que se estaba generando.

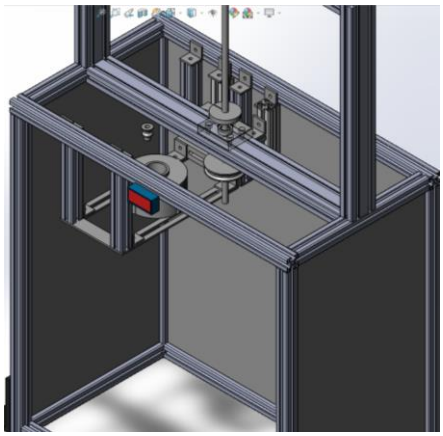



Figura 28 Tacómetro

3.6.1.9.1. Especificaciones de Tacómetro

- Precisión de medición: ± 0,1%
- Modo de visualización: LED de 0,56"
- Frecuencia de actualización de la pantalla:> 3 veces/s.
- Fuente de alimentación de trabajo: DC8-24V, 30mA, rango de medición: 10-9999RPM
- Interruptor de proximidad de pasillo: magnético
- Tamaño de la apariencia: 80 x 42 x 25 mm / 3,14 x 1,65 x 0,98 pulgadas
- Pantalla LED (opcional): rojo, azul
- Peso: 80 g (rojo), 105 g (azul)
- Pantalla de rango excesivo: la primera muestra "1" o "-1", y las tres últimas no muestran

3.6.1.10. Arduino Uno



Figura 29 Arduino uno

El Arduino UNO se usa para la conexión del anemómetro y tacómetro y así poder mediante un programa sacar los valores de ambos aparatos de la velocidad del viento en RPM ´s.

3.7. Prueba del prototipo

Una vez que el prototipo de la turbina eólica de eje Vertical fuera ensamblado con todos sus componentes, se probaron 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 para algún salón del Instituto Tecnológico de Matamoros.

3.7.1. Prueba 1. prueba de funcionabilidad del anemómetro y tacómetro.

La primer Prueba que se elaboró fue la de **Funcionabilidad del Anemómetro y Tacómetro**, Para poder realizarla se hizo pruebas con Arduino uno y una fuente de Voltaje de 12 Volts.

La tarjeta Arduino tiene señal digital y análoga, y los cables de señal del Tacómetro y Anemómetro se conectaron a las entradas del Arduino.

Los cables positivos del Tacómetro y Anemómetro se conectaron al positivo de la fuente de voltaje de 12 V.

Los cables negativos del Tacómetro y Anemómetro se conectaron a GND de la fuente de voltaje de 12 V y del Arduino uno.

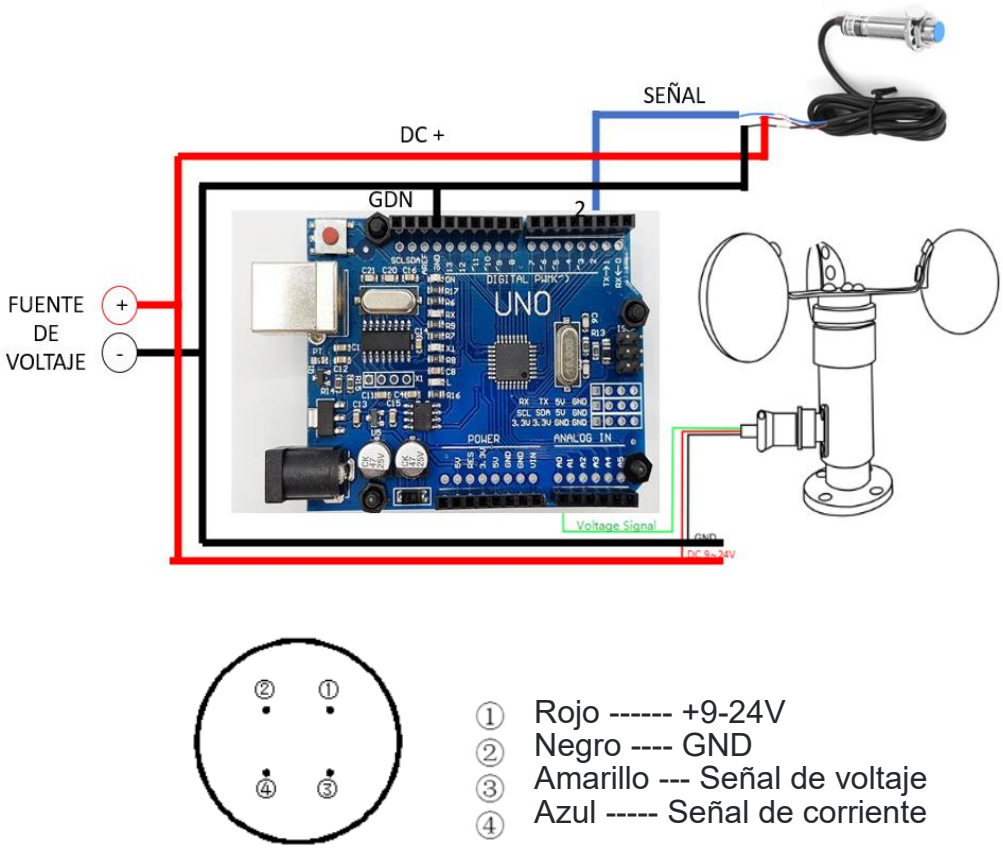

Figura 30 Diagrama de conexión anemómetro y tacómetro

3.7.1.1. Código de anemómetro y tacómetro

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.

```ino
float revolutions=0;
int rpm=0; // max value 32,767 16 bit
long  startTime=0;
long  elapsedTime;

void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    pinMode(2, INPUT_PULLUP);           // set pin to input
}

void loop() {
    int sensorValue = analogRead(A0);
    float outvoltage = sensorValue * (5.0 / 1023.0);
    Serial.print("outvoltage = ");
    Serial.print(outvoltage);
    Serial.println("V");
    int Level = 6*outvoltage;//The level of wind speed is proportional to the output voltage.
    Serial.print("wind speed is ");
    Serial.print(Level);
    Serial.println(" level now");
    Serial.println();

    revolutions=0;
    rpm=0;
    startTime=millis();
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2),interruptFunction,RISING);
    delay(10000);
    detachInterrupt(2);

    //now let's see how many counts we've had from the hall effect sensor and calc the RPM
    elapsedTime=millis()-startTime;     //finds the time, should be very close to 1 sec

    if(revolutions>0)
    {
      rpm=(max(1, revolutions) * 60000) / elapsedTime;        //calculates rpm
    }
    String outMsg = String("RPM :") + rpm;
    Serial.println(outMsg);
    delay(500);
}

void interruptFunction() //interrupt service routine
{
    revolutions++;
}
```

Figura 31 Código en Arduino

3.7.2. Prueba 2: prueba de comunicación entre antenas Lora.

La segunda prueba que se realizo fue la de comunicación entre Antenas LoRa.

Para poder realizarla se hizo pruebas con dos Tarjetas ESP32-WROOM-32, dos Antenas LoRa y una fuente de Voltaje de 12 Volts.

Se realizaron dos programas en Arduino para comunicar ambas tarjetas ESP32 y Antenas LoRa.

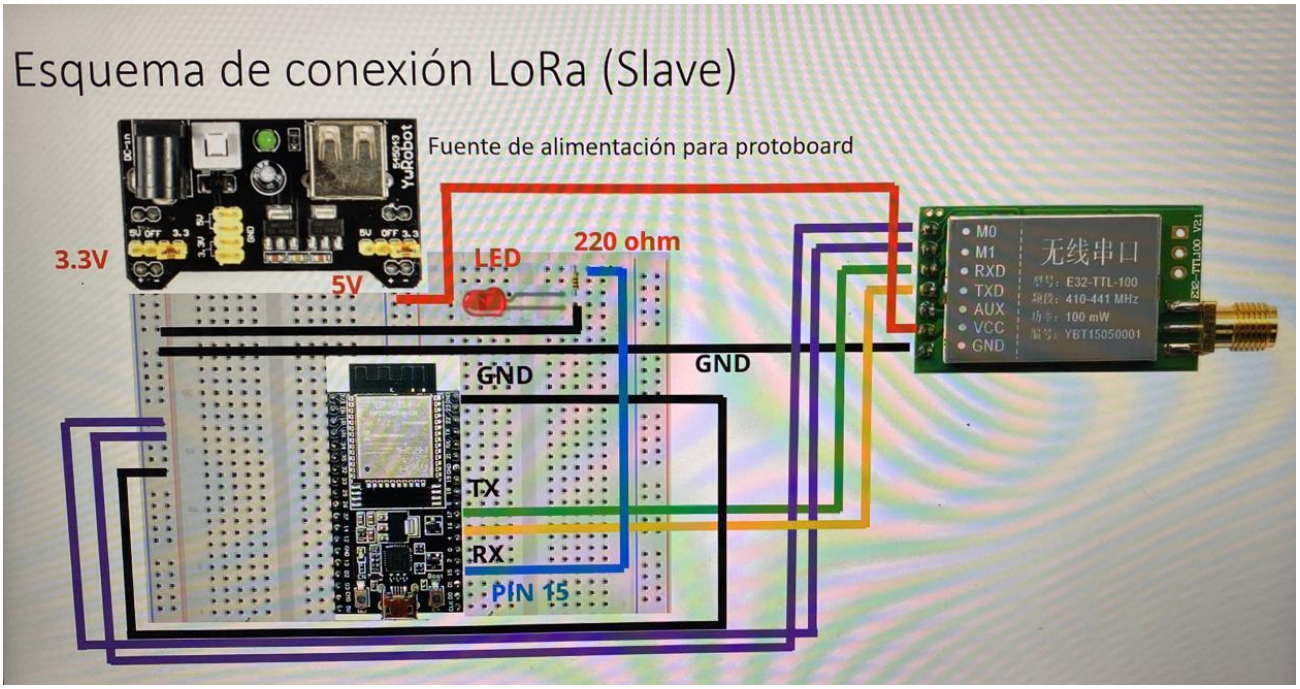

Figura 32 Diagrama de conexión Lora (slave)

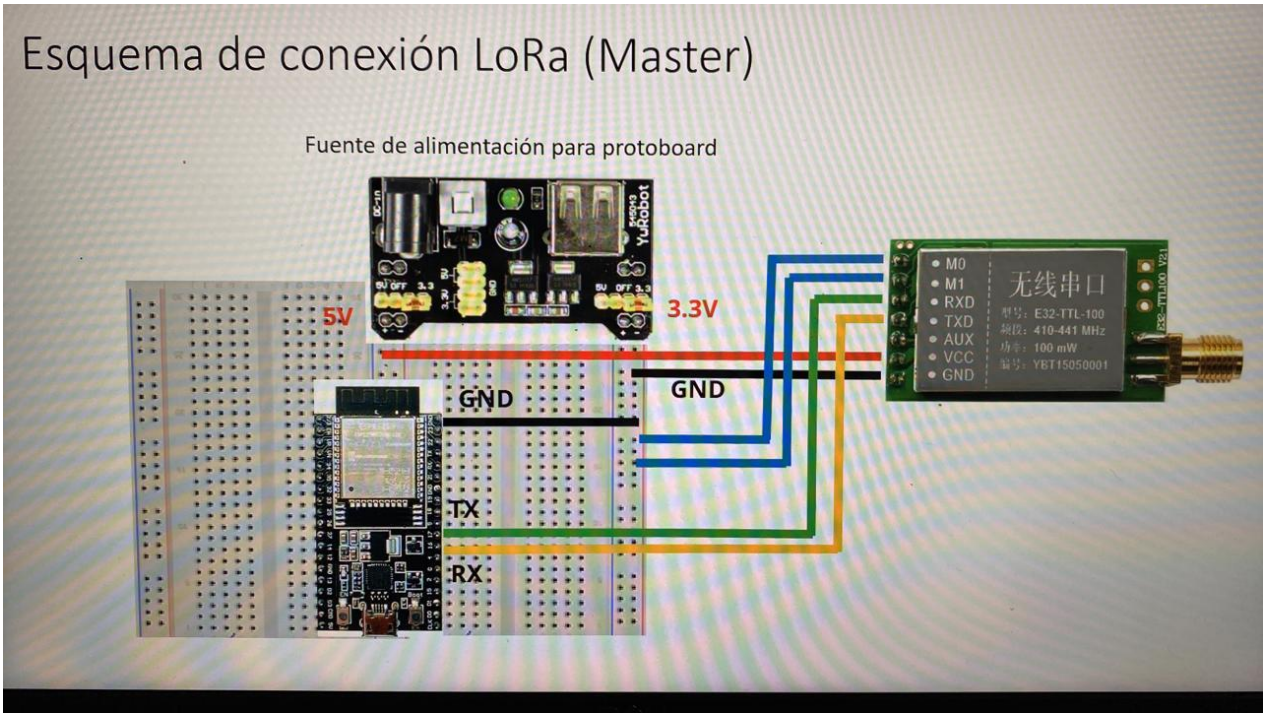

Figura 33 Diagrama de conexión Lora (máster)

master.ino

```
1   #include <Arduino.h>
2   #include <HardwareSerial.h>
3
4   HardwareSerial SerialPort(2); // use UART2
5
6   void setup()
7   {
8     Serial.begin(9600);
9     SerialPort.begin(9600, SERIAL_8N1, 16, 17);
10    Serial.print("Ready to send messages...");
11  }
12  void loop()
13  {
14    SerialPort.print(1);
15    Serial.print(1);
16    delay(2000);
17    SerialPort.print(0);
18    Serial.print(0);
19    delay(2000);
20  }
```

Figura 34 Código Lora máster

Este programa utiliza la biblioteca "Arduino.h" y "HardwareSerial.h". El programa configura dos puertos serie, uno usando la función "Serial" (puerto serie predeterminado) y otro usando la instancia de "HardwareSerial" llamada "SerialPort" (puerto serie 2).

En la función "setup ()", se inicializa el puerto serie predeterminado a 9600 baudios y el puerto serie 2 también se inicia a 9600 baudios, pero con la configuración "SERIAL_8N1" (8 bits de datos, sin paridad y 1 bit de parada) y los pines 16 y 17 se utilizan como pines TX y RX respectivamente.

En la función "loop ()", el programa envía alternativamente el valor "1" y "0" en ambos puertos serie. Primero se envía un "1" a través de los dos puertos serie, seguido de un retraso de 2 segundos. Luego se envía un "0" a través de los dos puertos serie, seguido de otro retraso de 2 segundos. Este proceso se repite indefinidamente.

En resumen, este programa envía alternativamente los valores "1" y "0" a través de dos puertos serie, uno predeterminado y otro específico, con un retraso de 2 segundos entre ellos.

slave.ino

```
#include <Arduino.h>
#include <HardwareSerial.h>

HardwareSerial SerialPort(2); // use UART2


char number  = ' ';
int LED = 15;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  SerialPort.begin(9600, SERIAL_8N1, 16, 17);
  pinMode(LED, OUTPUT);
}
void loop()
{
  //Serial.print(SerialPort.available());
  if (SerialPort.available())
  {
    char number = SerialPort.read();
    Serial.print(number);
    if (number == '0') {
      digitalWrite(LED, LOW);
    }
    if (number == '1') {
      digitalWrite(LED, HIGH);
    }
  }
  //digitalWrite(LED, HIGH);
  //delay(2000);
}
```

Figura 35 Código Lora slave

Este programa utiliza una comunicación serial para encender y apagar un LED conectado a un pin del ESP32-WROOM-32. El programa utiliza el UART2 del Arduino para recibir comandos desde un dispositivo externo a través de una conexión serial.

En la función "setup ()", se inicializa la comunicación serial a una velocidad de 9600 baudios tanto para el puerto serie como para el puerto UART2. También se define el pin LED como salida.

En el bucle principal del programa, se verifica si hay datos disponibles en el puerto UART2. Si hay datos disponibles, se lee el primer byte de datos y se almacena en la variable "number". Si el byte leído es igual a '0', se apaga el LED y si es igual a '1', se enciende el LED. Luego, se envía el byte leído a través del puerto serie.

El programa también incluye algunas líneas de código comentadas que se pueden usar para probar el LED sin necesidad de la comunicación serial. Estas líneas hacen que el LED se encienda durante 2 segundos y luego se apague durante 2 segundos en un bucle infinito.

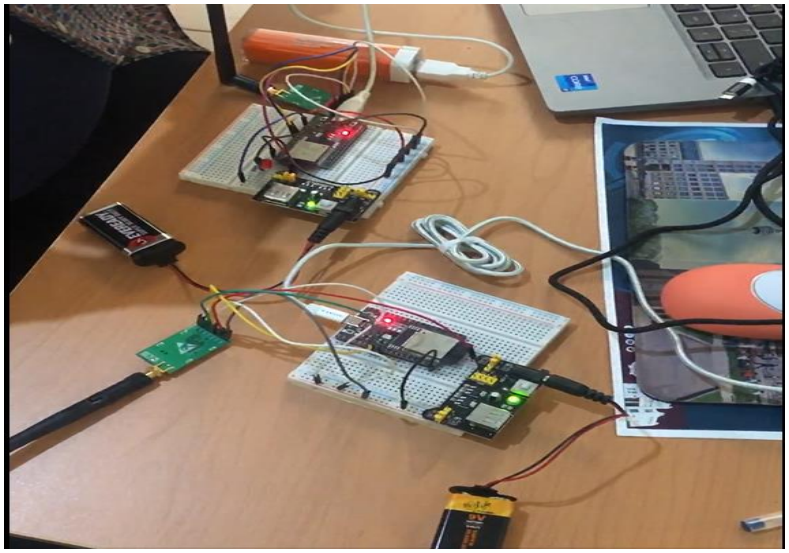

Figura 36 Pruebas de comunicación antenas Lora

3.7.3. Prueba 3: pruebas finales.

Para poder realizar las pruebas finales se utilizó la misma conexión de la segunda prueba, en donde se adaptó el Anemómetro, las dos Tarjetas ESP32-WROOM-32, dos Antenas LoRa y una fuente de Voltaje de 12 Volts,

Se realizaron dos programas en Arduino para comunicar ambas tarjetas ESP32 y Antenas LoRa.

SlaveAI.ino

```ino
#include <Arduino.h>
#include <HardwareSerial.h>

HardwareSerial SerialPort(2); // use UART2
int LED = 15;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  SerialPort.begin(9600, SERIAL_8N1, 16, 17);
  pinMode(LED, OUTPUT);
}
void loop()
{
  if (SerialPort.available())
  {
    String msg = SerialPort.readStringUntil(';'); // leer la cadena hasta que llegue el punto y coma
    int indexComa = msg.indexOf(','); // encontrar la posición de la coma
    String strLevel = msg.substring(0, indexComa); // extraer el valor de nivel de viento
    String strRPM = msg.substring(indexComa+1, msg.length()-1); // extraer el valor de RPM

    int Level = strLevel.toInt();
    int rpm = strRPM.toInt();

    Serial.print("wind speed is ");
    Serial.print(Level);
    Serial.println(" level now");
    Serial.print("RPM: ");
    Serial.println(rpm);
    Serial.println();

    if (Level > 3) {
      digitalWrite(LED, HIGH);
    }
    else {
      digitalWrite(LED, LOW);
    }
  }
  delay(1000);
}
```

Figura 37 Código slave pruebas finales

MasterAl.ino

```ino
#include <Arduino.h>
#include <HardwareSerial.h>

HardwareSerial SerialPort(2); // use UART2
float revolutions = 0.0;
float uno = 1.0;
int rpm = 0;  // max value 32,767 16 bit
long startTime = 0;
long elapsedTime = 0;
const int Tacometro = 4; // Lectura Digital Tacometro SE CONECTA AL G4
const int potpin = 34; // se conecta al G34

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  SerialPort.begin(9600, SERIAL_8N1, 16, 17);
  pinMode(Tacometro, INPUT_PULLUP);
}

void loop()
{
  int sensorValue = analogRead(potpin);  //6
  float outvoltage = sensorValue * (5.0 / 1023.0);
  Serial.print("outvoltage = ");
  Serial.print(outvoltage);
  Serial.println("V");
  int Level = 6 * outvoltage;  //The level of wind speed is proportional to the output voltage.
  Serial.print("wind speed is ");
  Serial.print(Level);
  Serial.println(" level now");
  Serial.println();

  revolutions = 0;
  rpm = 0;
  startTime = millis();
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(4), interruptFunction, RISING);
  delay(10000);
  detachInterrupt(4);

  elapsedTime = millis() - startTime;

  if (revolutions > 0) {
    rpm = (max(uno, revolutions) * 60000) / elapsedTime;
  }

  String outMsg = String(Level) + "," + String(rpm) + ";"; // separar valores por coma y finalizar con punto y coma
  SerialPort.println(outMsg);
  Serial.println(outMsg);
  delay(5000);
}

void interruptFunction()  //interrupt service routine
{
  revolutions++;
}
```

Figura 38 Código máster pruebas finales

Wind Speed	Value
1	0.17
2	0.33
3	0.5
4	0.67
5	0.83
6	1
7	1.17
8	1.33
9	1.5
10	1.67
11	1.83
12	2
13	2.17
14	2.33
15	2.5
16	2.67
17	2.83
18	3
19	3.17
20	3.33
21	3.6
22	3.67
23	3.83
24	4
25	4.17
26	4.33
27	4.5
28	4.67
29	4.83
30	5

Figura 39 Datos de velocidad del viento y salida de voltaje de anemómetro

En la tabla se muestra los datos de la velocidad del viento con respecto a la salida de voltaje del anemómetro, estos datos fueron tomados de la especificación del modelo de anemómetro.



Figura 40 Resultados de pruebas a "nivel 1" 3.5 m/s

En la figura se muestra los datos del Serial Monitor del programa Arduino IDE, donde se le coloco un ventilador al Nivel 1 (3.5 m/s) donde muestra una lectura aproximada de 1.3 V de salida de voltaje y el programa Slave recibe los datos y los marca por nivel de velocidad del viento.



Figura 41 Resultados de pruebas a “nivel 2” 3.8 M/S

En la figura se muestra los datos del Serial Monitor del programa Arduino IDE, donde se le coloco un ventilador al Nivel 2 (3.8 m/s) donde muestra una lectura aproximada de 1.6 V de salida de voltaje y el programa Slave recibe los datos y los marca por nivel de velocidad del viento.



Figura 42 Resultados de pruebas a “nivel 3” 4.3 M/S

En la figura se muestra los datos del Serial Monitor del programa Arduino IDE, donde se le colocó un ventilador al Nivel 3 (4,3 m/s) donde muestra una lectura aproximada de 2.5 V de salida de voltaje y el programa Slave recibe los datos y los marca por nivel de velocidad del viento.

En esta última prueba, se llevó a cabo el envío de los datos recopilados por el anemómetro y el tacómetro utilizando las antenas LoRa. Se implementaron dos programas: uno actuó como maestro (máster) y el otro como esclavo (Slave). Los datos de velocidad del viento y RPM se enviaron de forma inalámbrica entre estos dispositivos mediante la tecnología LoRa.

En resumen, se llevaron a cabo tres pruebas: la primera para verificar el funcionamiento de los sensores (anemómetro y tacómetro), la segunda para evaluar

la comunicación entre antenas LoRa y la tercera para transmitir los datos del anemómetro y tacómetro a través de antenas LoRa utilizando programas maestro y esclavo. (En la cita bibliográfica se adjunta un enlace de una breve explicación de las pruebas finales) (Tello Olivas, 2023).

CAPÍTULO IV RESULTADOS

El proyecto "Diseño y construcción de una turbina eólica mediante un análisis costo beneficio" ha logrado ofrecer un producto que cumple con los mismos requerimientos que otros disponibles en el mercado nacional y extranjero, a un costo significativamente más bajo. Mientras que el rango de precios en el mercado nacional oscila entre los 20,000 MXN y 40,000 MXN, y en el mercado extranjero se encuentra alrededor de los 15,000 MXN (más costos de envíos e importación), el proyecto ha logrado mantener un costo de tan solo 4,166.60 MXN el cual podría producir 400 Watts de energía eléctrica.

El proyecto "Diseño y Construcción de una Turbina Eólica mediante un Análisis Costo Beneficio" se posiciona como una alternativa muy atractiva en el mercado al proporcionar una opción accesible sin comprometer el cumplimiento de los requerimientos.

Mercado	Costo
México	**$39,990 Pesos MXN**
México	**$19,859.73 Pesos MXN.**
China	**$800 USD = $15,000 Pesos MXN**

Tabla 5 Comparación de Costos en el Mercado

4.1. Resultado de la hipótesis general

A partir de los resultados obtenidos en la investigación, se puede concluir que las hipótesis planteadas son verdaderas. Se demostró que es factible diseñar una turbina eólica de bajo costo y ensamblarla con materiales accesibles, sin afectar su correcto funcionamiento.

Basado en las especificaciones para el "Alternador trifásico de motor de imán permanente" modelo "AVAN-400W", se plantea una descripción de sus características

principales y en base a sus datos una curva de generación de energía en función de la velocidad:

Características del Generador:

- Tipo de elemento: Generador de imanes permanentes.
- Modelo: AVAN-400W.
- Potencia nominal: 400 W.
- Velocidad estimada: 550 RPM.
- Generador de imanes permanentes: Generador trifásico de imanes permanentes de corriente alterna (CA).
- Clase de aislamiento: Clase F.
- Nivel de protección: IP55.
- Vida útil: Más de 20 años.
- Tratamiento superficial: Acabado pulverizado.
- Material de imán permanente: Neodimio de tierras raras (NdFeB).
- Altura del generador: Aproximadamente 70 mm (2.8 pulgadas), 81 mm (3.2 pulgadas).
- Diámetro del generador: Aproximadamente 150 mm (5.9 pulgadas).

Curva de generación de energía en función de la velocidad: La curva de generación de energía de este generador se espera que muestre un aumento gradual en la producción de energía a medida que la velocidad de rotación (RPM) aumenta. Alrededor de la velocidad estimada de 550 RPM, se alcanzará la potencia nominal de 400 W. A velocidades inferiores a esta, la generación de energía será menor, mientras que a velocidades superiores podría haber un nivel máximo de generación de energía. La curva representaría esta relación proporcional entre la velocidad y la producción de energía.

Velocidad (RPM)	producción de Energía (W)
0	0
100	50
200	100
300	150
400	200
500	300
550	400
600	380
700	350
800	300
900	250
1000	200

Tabla 6 Curva de generación de energía de AVAN-400W

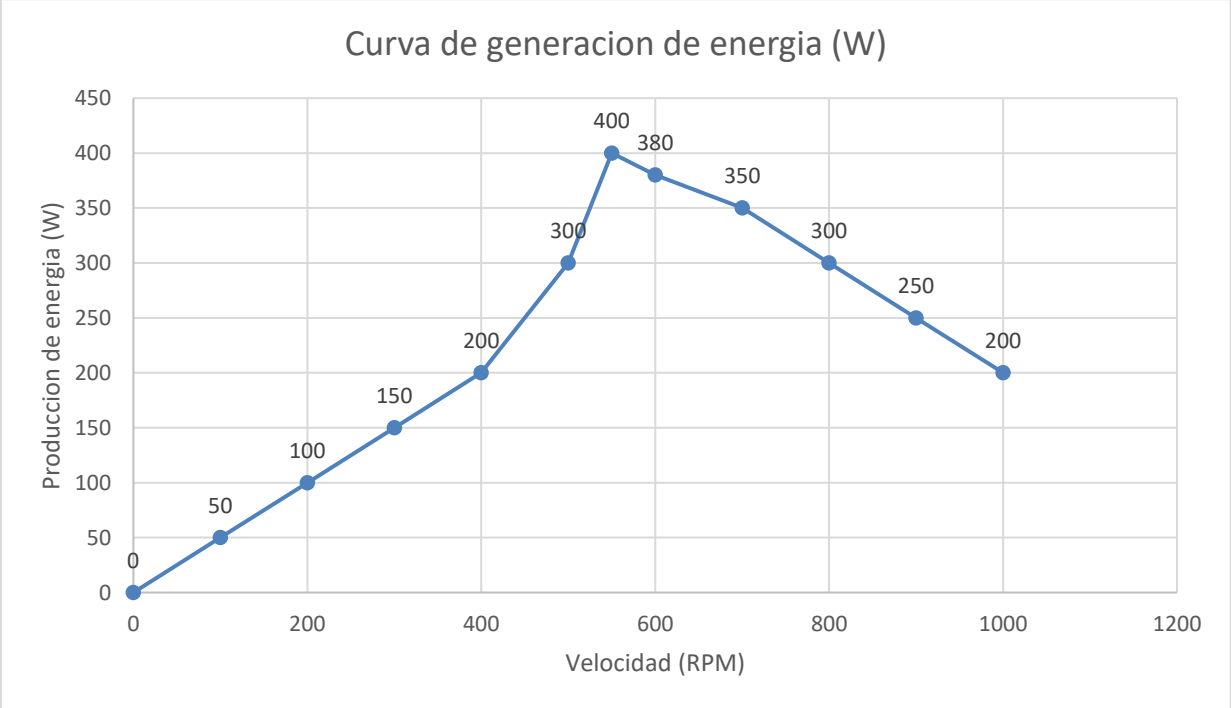

Figura 43 Curva de generación de energía de AVAN-400W

La curva comenzaría en un punto bajo en el eje vertical a velocidades de rotación muy bajas, indicando una producción de energía mínima. A medida que la velocidad de rotación aumenta, la curva se elevaría gradualmente, mostrando un aumento constante en la producción de energía.

Alrededor de la velocidad estimada de 550 RPM, la curva alcanzaría un pico en la potencia nominal de 400 W, lo que representa la máxima producción de energía esperada para el generador.

A medida que la velocidad de rotación sigue aumentando más allá de 550 RPM, la curva podría comenzar a nivelarse o incluso mostrar un ligero descenso, lo que indicaría que la producción de energía se estabiliza o disminuye a velocidades muy altas de rotación.

Esta curva representaría la relación proporcional entre la velocidad de rotación y la producción de energía del generador, mostrando cómo la turbina eólica responde a diferentes velocidades del viento.

Es importante destacar que esta es una descripción general basada en las especificaciones proporcionadas por el fabricante del alternador.

4.2. Resultado de la hipótesis secundaria 1

En cuanto a las hipótesis secundarias, se puede afirmar que el diseño mediante software fue fundamental para asegurar el correcto funcionamiento de la turbina eólica.

4.3. Resultado de la hipótesis secundaria 2

Por otra parte, el ensamblaje de materiales de bajo costo no afectó el correcto funcionamiento de la turbina.

4.4. Resultado de la hipótesis secundaria 3

Finalmente, se comprobó que es factible convertir la energía del viento en energía eléctrica para usar en el Instituto Tecnológico de Matamoros.

Velocidad del viento	RPM de la turbina	Voltaje de salida del Generador (V) energía generada
Nivel 1 (3.5 m/s)	6	1.3 V
Nivel 2 (3.8 m/s)	10	1.6 V
Nivel 3 (4,3 m/s)	14	2.5 V

Tabla 7 RPM de la turbina eólica

La tabla 6 muestra cómo el voltaje de salida de la turbina eólica del Instituto Tecnológico de Matamoros aumenta a medida que la velocidad del viento aumenta, lo que demuestra que el mecanismo diseñado logró alcanzar las RPM adecuadas para que el generador pudiera generar la velocidad necesaria para producir energía eléctrica de manera efectiva.

En resumen, se puede afirmar que la hipótesis general es verdadera, ya que se logró diseñar y construir una turbina eólica de bajo costo en el Instituto Tecnológico de Matamoros y que es posible llevarlo a cabo mediante el uso de materiales de bajo costo y el diseño adecuado.

Las hipótesis secundarias también fueron corroboradas, demostrando la viabilidad del proyecto y la posibilidad de implementar este tipo de tecnología en otros lugares.
Los datos de la velocidad del viento a la que se sometió y los RPM y voltaje de salida que presento la turbina eólica del Instituto Tecnológico de Matamoros presentados, han demostrado la factibilidad de convertir la energía del viento en energía eléctrica utilizando el mecanismo diseñado con éxito. El programa Arduino IDE, junto con el ventilador, permitió obtener datos precisos de la velocidad del viento en diferentes niveles, y a través del generador, se pudo medir la salida de voltaje correspondiente a cada nivel de velocidad.

La razón por la cual no se realizó una comparativa física con otra turbina comercial fue debido a los altos costos asociados con la adquisición de una turbina nueva. Las turbinas eólicas comerciales suelen tener precios significativamente más elevados, lo que puede ser una limitante para proyectos con recursos financieros limitados, como el caso del estudio realizado.

En lugar de realizar una comparativa física, se optó por realizar una comparativa numérica utilizando datos disponibles con las especificaciones de las turbinas eólicas. Esta comparativa numérica permitirá evaluar el rendimiento de la turbina del Instituto Tecnológico de Matamoros y las dos turbinas eólicas comerciales en diferentes velocidades del viento, con el fin de determinar cuál de ellas ofrece una mejor eficiencia y generación de energía a costos más bajos.

La tabla se estructurará de la siguiente forma:

Velocidad del viento (m/s)	Turbina Instituto Tecnológico de Matamoros de $4,166.6 pesos MXN		Turbina eólica de (400 W) de $39,990 Pesos MXN		Turbina (MXSRK-001-001) de $19,859.73 Pesos MXN.	
	RPM de la turbina	Energía generada (V)	RPM de la turbina	Energía generada (V)	RPM de la turbina	Energía generada (V)
1.3	2.22	0.5	3.03	1.3	6	1.3
2.0	3.4	.8	4.76	1.9	10	1.6
3.5	6	1.3	8.33	2.5	17.4	2.3
3.8	10	1.6	8.89	2.8	19.2	2.4
4.3	14	2.5	10.24	3.2	22	2.6
6.0	19.5	3.5	14.29	4.5	38.4	3.4
8.0	26.0	4.5	19.05	6.0	64.4	4.5
10.0	32.5	5.8	23.81	8.0	100	5.7
11.0	36.0	6.0	26.67	8.9	115	6.2

15.0	48.8	8.5	36.19	11.5	192	8.3
20.0	65.0	11.5	48.25	16.0	284	11.1
25.0	81.5	14.5	60.31	20.0	368	13.7

Tabla 8 Comparación de Datos

Mediante una simulación de datos con las especificaciones de cada turbina se realizó un análisis de los datos donde muestra que la turbina eólica del Instituto Tecnológico de Matamoros y la turbina eólica de 400 W a un costo de 39,990 MXN presentan una generación de energía más baja en comparación con la turbina (MXSRK-001-001) a un costo de 19,859.73 MXN en la mayoría de las velocidades del viento. Sin embargo, la turbina del Instituto Tecnológico de Matamoros tiene una ventaja significativa en la velocidad del viento más baja (1.3 m/s) con una generación de energía de 2.22 V. La turbina (MXSRK-001-001) alcanza la mayor generación de energía en la mayoría de las velocidades del viento, especialmente en la velocidad nominal del viento de 11.0 m/s con 6.0 V

CAPÍTULO V CONCLUSIONES

5.1. Conclusiones

En conclusión, en la presente investigación 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 una turbina eólica 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, dos tarjetas ESP32-WROOM-32 y dos antenas LoRa E32-TTL-100. 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 primera 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.

En la segunda prueba se verificó la comunicación entre las dos tarjetas ESP32-WROOM-32 y las dos antenas LoRa para poder enviar los datos de medición de la turbina a una computadora. Se programaron ambas tarjetas y se utilizaron dos antenas LoRa para enviar y recibir datos.

Se puede concluir que es factible diseñar y construir una turbina eólica de bajo costo y utilizarla como fuente de energía renovable en el Instituto Tecnológico de Matamoros. Además, se comprobó que es posible medir la velocidad del viento y la

rotación de la turbina mediante un anemómetro y tacómetro, y que se pueden enviar y recibir datos mediante la comunicación entre las tarjetas ESP32-WROOM-32 y las antenas LoRa. Todo esto guarda relación con las hipótesis planteadas, demostrando que es posible diseñar y construir una turbina eólica para ahorrar costos en el Instituto Tecnológico de Matamoros, que se pueden ensamblar materiales de bajo costo sin afectar su correcto funcionamiento, y que es factible convertir la energía del viento en energía eléctrica para su uso en la institución.

5.2. Recomendaciones

1. Verificación inicial: Antes de comenzar a utilizar el proyecto, asegurarse de que todos los componentes estén correctamente conectados y funcionando adecuadamente. Verifica las conexiones eléctricas.
2. Configuración de comunicación LoRa: asegúrese de configurar correctamente los parámetros de comunicación, como la frecuencia, la potencia de transmisión y las direcciones de las antenas maestra y esclava. Una configuración adecuada es crucial para una comunicación confiable.
3. Instalación de antenas: Si la comunicación entre antenas LoRa se realiza a larga distancia, coloque las antenas en una ubicación elevada y despejada para obtener un mejor alcance y evitar interferencias.
4. Monitoreo y mantenimiento: Realice un seguimiento regular del funcionamiento del proyecto y monitorea los datos recibidos. Si es necesario, lleva a cabo mantenimientos periódicos para asegurarse de que los sensores y las antenas estén en buenas condiciones de funcionamiento.
5. Protección contra condiciones climáticas adversas: Si el proyecto se utiliza en exteriores, asegúrese de proteger adecuadamente los componentes electrónicos y las conexiones para evitar daños causados por la humedad, la lluvia o el polvo. Utilice cajas resistentes a la intemperie si es necesario.

6. Validación de datos: Antes de tomar decisiones basadas en los datos recopilados, deberá de validar su precisión y fiabilidad. Compara las mediciones del anemómetro y tacómetro con otras fuentes confiables para asegurarse de que los datos sean consistentes.
7. Advertencia sobre limitaciones: Es importante reconocer que el proyecto puede tener ciertas limitaciones dependiendo de los sensores utilizados, la distancia de comunicación LoRa y las condiciones ambientales. Ten en cuenta estas limitaciones al interpretar los datos y tomar decisiones.

Siguiendo estas recomendaciones, podrá utilizar el proyecto de manera segura y efectiva, aprovechando los datos obtenidos para diversas aplicaciones relacionadas con la medición de la velocidad del viento y los RPM.

Fuentes de Información

F. Manwell, J., G. McGowan, J., & L. Rogers, A. (2009). *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application.* Wiley.

amdee. (1 de Sep de 2022). *Asociacion Mexicana de Energia Eolica*. Obtenido de https://amdee.org/mapas-eolicos.html

Arteaga Bajaña , E. A., & León Uve , J. A. (2022). “IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN METEOROLÓGICA PARA ELMONITOREO ATMOSFÉRICO EN EL CANTÓN LA MANÁ. *UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI*, 104.

Association, D. W. (7 de Mayo de 2003). *Windpower*. Obtenido de http://xn--drmstrre-64ad.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/es/tour/wres/pwr.htm

Augustin, A., Clausen, Y., & Townsley, W. (2016). A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things.

ciergalapagos. (2019). *CIER Galápagos*. Obtenido de https://ciergalapagos.wordpress.com/renovables/energia-eolica/

De la Cruz Trejo, B., & Moran Flores , E. B. (2021). *Diseño y construcción de un generador eléctrico.* H. Matamoros Tamaulipas: Instituto Tecnologico de Matamoros.

Díaz, A. (2017). El costo-beneficio como herramienta de decisión en la inversión en actividades científicas. *ARTÍCULO*.

Duran Azuara, C. (2021). *DISEÑO DE TURBINA EÓLICA MÓVIL.* Boca del Río, Veracruz: Universidad Veracruzana.

Ealde. (19 de Julio de 2021). Obtenido de https://www.ealde.es/costes-de-proyectos-de-energia-eolica/

Elshaer, A., Khan, F., & Alomainy, A. (2019). *Industrial IoT Applications with LoRa: A Study on Water Quality Monitoring System.* International Conference on Internet of Things and e-Health.

Garcia Mares, O., & Zarco Villaverde, M. (2023). *Simulación y control de una turbina eólica mediante un software de alto nivel.* H. Matamoros, Tamaulipas: INSTITUTO TECNOLOGICO DE MATAMOROS.

Gasch, R., & Twele, J. (2018). Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application,.

Hernández Chavarría , F. (2002). *Fundamentos de Epidemiologia.* San Jose, Costa Rica: EUNED.

Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodologia de la investigacion.* Mexico: Mc Graw Hill.

Hernando Villamar, I. A., & Martinez Ramirez, R. (2021). *DISEÑO Y MODELADO DE UNA TURBINA EOLICA.* H. Matamoros: INSTITUTO TECNOLOGICO DE MATAMOROS.

Jarauta, L. (2014). Las energias renovables. Barcelona: UOC.

Lopez, M. V. (2013). *Ingenieria de la Energia Eolica.* Barcelona: marcombo.

Marcial Alarcon, A. (2019). *Energia eolica y solar.* España: Elearning S.L.

McDiarmid, M. (2007). *Sistemas Eólicos Pequeños paraGeneración de Electricidad.* Energía Eficiencia y Energía Renovable.

Mendoza Ceron, N. N. (2017). *DISEÑO DE UN GENERADOR ÉOLICO DE EJE VERTICAL.* Pachuca de Soto, Hidalgo: INSTITUTO TECNOLÓGICO DE PACHUCA.

Ocegueda Mercado, C. (2004). *Metodologia de la investigacion.* Mexico.

Ritter, M. E. (2013). *Wind measurement methods and instruments.* USA: Renewable Energy.

Simon, K., & Verner, P. (2019). ESP32 Development with Arduino. ISBN-13.

Solar, R. M. (2015). *Energías renovables y eficiencia energética en el sector doméstico.*

Stiftung, S. (13 de Jul de 2018). *Portal de Medios para la enseñanza de STEM*. Obtenido de https://medienportal.siemens-stiftung.org/es/turbina-eolica-vista-interior-107393

Sutherland, H. (2014). Vertical Axis Wind Turbines: History, Technology, and Applications.

Tello Olivas, C. A. (01 de Agosto de 2023). *Video Pruebas Finales*. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=VyNFFGvyovQ

Tiwari, N., Patel, D., Chauhan, B., & Jat, R. (2020). *Smart Parking Management System Using LoRa Technology.* Singapore: Intelligent Computing and Applications.

Twenergy. (5 de Nov de 2019). *Twenergy*. Obtenido de https://twenergy.com/energia/energia-eolica/como-se-elige-la-mejor-zona-para-instalar-molinos-de-viento-1469/

Valero, A. (2014). *Energías renovables: fundamentos, tecnologías, aplicaciones y experiencias.*

Zhang, H., Wang, T., Liu, S., & Shu, L. (2019). *Smart City Environment Monitoring System Based on LoRa Wireless Sensor Network.* Sensors.

turnitin **Identificación de reporte de similitud** oid:20755:250954483

NOMBRE DEL TRABAJO
TESIS_Final_REVISORES_V1.docx

AUTOR
Cristian Alejandro Tello Olivas

RECUENTO DE PALABRAS
14054 Words

RECUENTO DE CARACTERES
74949 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS
90 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO
16.8MB

FECHA DE ENTREGA
Aug 5, 2023 12:53 AM CDT

FECHA DEL INFORME
Aug 5, 2023 12:56 AM CDT

4% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base

- 3% Base de datos de Internet
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossr
- 3% Base de datos de trabajos entregados

Excluir del Reporte de Similitud

- Fuentes excluidas manualmente
- Bloques de texto excluidos manualmente

Resumen