

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

IMPLEMENTACIÓN DE MÓDULOS DIDÁCTICOS DE ENERGÍA EÓLICA PARA EL LABORATORIO DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL DE LA ESFOT

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN ELECTROMECAÁNICA

Carlos Andrés Guanoluisa Torres

carlos.guanoluisa@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. ALAN DANIEL CUENCA SÁNCHEZ, MSC.

alan.cuenca@epn.edu.ec

CODIRECTOR: ING. CARLOS ORLANDO ROMO HERRERA, MSC.

carlos.romo@epn.edu.ec

Quito, agosto 2021

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por el Sr Carlos Andrés Guanoluisa Torres como requerimiento parcial a la obtención del título de TECNÓLOGO EN ELECTROMECAÁNICA, bajo nuestra supervisión:



**Ing. Alán Daniel Cuenca
Sánchez**

DIRECTOR DEL PROYECTO

CARLOS
ORLANDO
ROMO HERRERA



Firmado digitalmente por CARLOS
ORLANDO ROMO HERRERA
DN: cn=CARLOS ORLANDO
ROMO HERRERA, c=EC,
email=crom36@hotmail.com
Fecha: 2021.08.30 10:17:47 -05'00'

**Ing. Carlos Orlando Romo
Herrera**

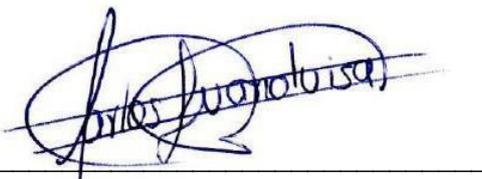
CODIRECTOR DEL PROYECTO

DECLARACIÓN

Yo Guanoluisa Torres Carlos Andres con CI: 172668247-7 declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Sin perjuicio de los derechos reconocidos en el primer párrafo del artículo 144 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación – COESC-, soy titular de la obra en mención y otorgo una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva de uso con fines académicos a la Escuela Politécnica Nacional.

Entrego toda la información técnica pertinente, en caso de que hubiese una explotación comercial de la obra por parte de la EPN, se negociará los porcentajes de los beneficios conforme lo establece la normativa nacional vigente.



Carlos Andrés Guanoluisa Torres

CI: 172668247-7

Correo: carlos.guanoluisa@epn.edu.ec

DEDICATORIA

Primeramente, a Dios por haberme guiado en el camino.

A mi madre Rosa, por brindarme apoyo incondicional e inculcarme los valores necesarios en mi vida.

A mi hermano, el cual me toma como ejemplo a seguir y me apoya en mis proyectos.

A mi familia y amigos que supieron guiarme durante mi carrera universitaria.

Guanoluisa Carlos

AGRADECIMIENTO

A mi madre por haberme permitido culminar mis estudios con su dedicación y valores.

A mi padre por haberme enseñado el valor del trabajo.

A los docentes de la institución por brindarme sus conocimientos y consejos para mi formación académica.

A Marcela quien ha sabido brindarme apoyo incondicional y brindarme su ayuda en el presente proyecto.

A mi tutor por haberme guiado, corregido e incentivado en el presente trabajo de titulación.

A mis compañeros y amigos quienes amenizaron mi estadía en la institución, siempre los llevo en el corazón con cariño.

A la Escuela Politécnica Nacional por abrirme las puertas del saber y conocimiento.

Guanoluisa Carlos

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	Introducción.....	13
1.1	Objetivo general.....	14
1.2	Objetivos específicos.....	14
1.3	Fundamentos.....	14
2	Metodología.....	17
2.1	Descripción de la metodología usada.....	17
3	Resultados y Discusión.....	19
3.1	Requerimientos de los módulos.....	19
3.2	Planos esquemáticos, eléctricos y electrónicos.....	19
	Dimensiones del aerogenerador.....	19
	Fuente generadora de viento.....	24
	Esquema de conexiones.....	26
	Esquema electrónico.....	26
3.3	Algoritmo de supervisión.....	29
3.4	Construcción de los módulos.....	32
	Estructura.....	32
	Conexiones eléctricas.....	39
	Circuito Rectificador.....	42
3.5	Pruebas y análisis de resultados.....	47
	Prueba de voltaje de alimentación de elementos electrónicos.....	47
	Prueba de voltaje con respecto a la velocidad del rotor.....	47
	Prueba de corriente respecto al voltaje generado.....	49
	Prueba de voltaje con respecto a la velocidad del viento.....	50
	Prueba de resistencia y funcionalidad del módulo.....	53
3.6	Manual de uso y mantenimiento.....	53
3.7	Hojas guía de laboratorio.....	54
4	Conclusiones y Recomendaciones.....	55

4.1	Conclusiones.....	55
4.2	Recomendaciones	56
5	Referencias Bibliográficas	57
	ANEXOS.....	59
	Anexo 1: Certificado de Funcionamiento	i
	Anexo 2: Planos y Esquemas	iii
	Anexo 3: Algoritmo de medición y supervisión	xviii
	Anexo 4: Datos técnicos.....	xx
	Anexo 5: Hojas guía	xxiv

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Tipos de aerogeneradores según el eje del rotor.....	14
Figura 1.2	Tipos de aerogeneradores de eje horizontal.....	15
Figura 1.3	Coeficiente de potencia en función de la velocidad específica.....	15
Figura 1.4	Partes de un aerogenerador.....	16
Figura 3.1	Modelo de motor generador.....	20
Figura 3.2	Esquema de la base de la góndola.....	21
Figura 3.3	Esquema de la cubierta de la góndola.....	21
Figura 3.4	Esquema del aspa.....	21
Figura 3.5	Esquema de la base de las aspas.....	22
Figura 3.6	Esquema de la nariz.....	22
Figura 3.7	Esquema de la torre.....	23
Figura 3.8	Esquema del tablero.....	23
Figura 3.9	Esquema y dimensiones (mm) de la base.....	24
Figura 3.10	Esquema de la torre (módulo ventilador).....	24
Figura 3.11	Esquema de la góndola (módulo ventilador).....	25
Figura 3.12	Esquema del aerogenerador.....	25
Figura 3.13	Esquema del módulo ventilador.....	26
Figura 3.14	Esquema del circuito rectificador de voltaje.....	26
Figura 3.15	Diseño PCB del circuito rectificador.....	29
Figura 3.16	Diagrama de flujo.....	31
Figura 3.17	Proceso de construcción de la base.....	32
Figura 3.18	Resultado de la construcción de la torre.....	33
Figura 3.19	Plantilla de la vista frontal del aspa.....	33
Figura 3.20	Resultado de la construcción del aspa.....	34
Figura 3.21	Resultado de la base de las aspas.....	34
Figura 3.22	Tablero de medición.....	35
Figura 3.23	Disposición de los elementos de cierre del tablero.....	35
Figura 3.24	a) Chumacera 8 (mm). B) Junta fija 8 (mm).....	35
Figura 3.25	Chumacera y junta fija colocadas en el módulo.....	36
Figura 3.26	Nariz del módulo aerogenerador.....	36
Figura 3.27	Construcción de la cubierta de la góndola.....	37
Figura 3.28	Ensamble de la estructura del módulo.....	37
Figura 3.29	a) Base y b) Góndola del módulo ventilador.....	38
Figura 3.30	Ensamble de la base y la torre.....	38

Figura 3.31 Estructura del módulo ventilador.	39
Figura 3.32 a) Cableado de la góndola, b) Cableado del tablero.....	39
Figura 3.33 Sensor de velocidad encoder Lm 393.	40
Figura 3.34 Arduino Uno	40
Figura 3.35 Conexiones LCD	41
Figura 3.36 Voltímetro digital.	42
Figura 3.37 Placa del circuito rectificador de voltaje	42
Figura 3.38 a) Eje de acero, b) Acople flexible	43
Figura 3.39 Conexiones realizadas en la góndola.....	43
Figura 3.40 Módulo aerogenerador.....	44
Figura 3.41 Motor usado para el ventilador.	44
Figura 3.42 Dimmer Volteck 600 (W)	44
Figura 3.43 Módulo ventilador.....	45
Figura 3.44 Módulos terminados.....	46
Figura 3.45 Anemómetro Gm816.....	46
Figura 3.46 Gráfica de Voltaje generado vs Velocidad del eje (RPM).....	48
Figura 3.47 Gráfica de Voltaje generado vs Velocidad del eje (m/s).....	49
Figura 3.48 Código QR para el video de pruebas de funcionamiento.	49
Figura 3.49 Posición del anemómetro.	51
Figura 3.50 Velocidad del viento medida.....	51
Figura 3.51 Velocidad que deja pasar el aerogenerador.	52
Figura 3.52 Gráfica voltaje vs velocidad aprovechada.....	53
Figura 3.53 Código QR para el video de manual de usuario.	54
Figura 3.54 Código QR para el video de mantenimiento.	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Valores comerciales de capacitores electrolíticos.	28
Tabla 3.2 Pines de interrupción en principales placas de Arduino.	29
Tabla 3.3 Conexiones realizadas.	41
Tabla 3.4 Prueba de voltaje de alimentación de elementos electrónicos.....	47
Tabla 3.5 Prueba de acondicionamiento de voltaje.	48
Tabla 3.6 Datos de la prueba de corriente	49
Tabla 3.7 Datos de velocidad del viento tomados	52
Tabla 3.8 Voltaje generado vs velocidad del viento aprovechada.....	52
Tabla 3.9 Resultados de la prueba de resistencia y funcionalidad.....	53

RESUMEN

El presente proyecto de titulación “Implementación de módulos didácticos de energía eólica para el Laboratorio de Tecnología Industrial LTI-ESFOT, tiene como finalidad la construcción de dos aerogeneradores didácticos, que permitan a los estudiantes de Tecnología en Electromecánica comprender los principios de la energía eólica y su aplicación en la generación de electricidad, para que de esta manera complementen los conocimientos teóricos adquiridos en clases.

A continuación, el presente documento está conformado por cinco secciones que se detallan a continuación:

La sección uno contiene la introducción en la cual se describe el planteamiento del problema y la descripción de los objetivos general y específicos propuestos para la realización del proyecto.

La sección dos contiene la descripción de la metodología usada para la construcción de los dos módulos eólicos.

En la sección tres se detallan los resultados obtenidos del proyecto, partiendo del diseño de los planos esquemáticos, selección de los componentes, proceso de construcción y pruebas de funcionamiento.

En la sección cuatro se exponen las conclusiones y recomendaciones obtenidas al finalizar el presente proyecto de titulación.

Finalmente, la sección cinco contiene las referencias bibliográficas usadas para la cumplir con los objetivos planteados en el proyecto.

PALABRAS CLAVE: Eólica, Aerogenerador, Flujo de aire, Energía Renovable.

ABSTRACT

The purpose of this degree project "Implementation of didactic wind energy modules for the Industrial Technology Laboratory LTI-ESFOT, is the construction of two didactic wind turbines, which allow students of Electromechanical Technology to understand the principles of wind energy and its application in the generation of electricity, so that they can complement the theoretical knowledge acquired in classes.

This document is made up of five sections, which are detailed below:

Section one contains the introduction in which the problem statement and the description of the general and specific objectives proposed for the realization of the project are described.

Section two contains the description of the methodology used for the construction of the two wind modules.

Section three details the results obtained from the project, starting from the design of the schematic drawings, selection of the components, construction process and operation tests.

Section four presents the conclusions and recommendations obtained at the end of this degree project.

Finally, section five contains the bibliographical references used to fulfill the objectives of the project.

KEY WORDS: Wind, Wind Turbine, Airflow, Renewable Energy.

1 INTRODUCCIÓN

Actualmente el Ecuador se encuentra en proceso de cambio de la matriz energética a través de la utilización de energías renovables no convencionales. [1] Este tipo de energías consideran la generación de electricidad, a través del aprovechamiento de recursos naturales en proyectos hidroeléctricos, eólicos, biomasa (co-generación) y solares (fotovoltaicos). [2]

Respecto al recurso eólico, en el Ecuador existen registros de dirección y velocidad de viento que se obtienen a partir de mediciones de estaciones meteorológicas. [3]. La utilización de energía eólica dentro del Ecuador empezó en el 2007 cuando se inauguró el parque eólico Galápagos en la isla San Cristóbal, con una potencia instalada de 2,4 MW y una producción anual energética estimada de 3,2 (GWh), posteriormente en el 2010 en la provincia de Loja se desarrolló el Proyecto Eólico Villonaco, de 15 MW. [4]. La energía eólica es una gran opción en locaciones que disponen de una velocidad de viento estable y considerable (6m/s a 15m/s). [5]

La carrera de Tecnología Superior en Electromecánica de la Escuela de Formación de Tecnólogos utiliza el Laboratorio de Tecnología Industrial para la realización de prácticas de diferentes materias. Dicho laboratorio no dispone módulos didácticos para la materia de “Energías Alternativas (TEMR442)”, presente en la nueva malla, en la cual se abordan capítulos correspondientes a energía solar, eólica, biomasa entre otras. Estos módulos son necesarios para complementar los conocimientos teóricos y comprender de mejor manera la utilización de los recursos renovables como fuentes de energía.

Por tal motivo, a través del presente proyecto se construyeron dos módulos didácticos de energía eólica, los cuales captan la energía cinética producida por el viento y la transforman en energía eléctrica. Además, los módulos cuentan con elementos electrónicos que permiten visualizar la velocidad del viento, velocidad del eje del motor con respecto al tiempo y la tensión a la salida.

En el **Anexo 1** se adjunta el certificado de funcionamiento del proyecto que verifica el correcto estado de los módulos eólicos construidos.

1.1 Objetivo general

Implementar módulos didácticos de energía eólica para el Laboratorio de Tecnología Industrial de la ESFOT.

1.2 Objetivos específicos

Determinar los requerimientos necesarios para los módulos didácticos.

Diseñar planos esquemáticos, eléctricos y electrónicos.

Desarrollar el algoritmo para la medición y supervisión de velocidad.

Construir los módulos en función de los planos establecidos.

Realizar pruebas de funcionamiento.

Realizar el manual de usuario y hojas guía para las prácticas de laboratorio.

1.3 Fundamentos

La energía eólica es la energía que se obtiene del viento. La energía cinética del viento puede convertirse en electricidad a través de un generador eléctrico. Este tipo de energía es una de las fuentes renovables más utilizadas en el mundo debido a sus múltiples ventajas como lo son: energía limpia, energía renovable inagotable, ayuda a reemplazar la energía producida a través de los combustibles fósiles [6]. Existen varios tipos de aerogeneradores los cuales se pueden observar en la **Figura 1.1**.

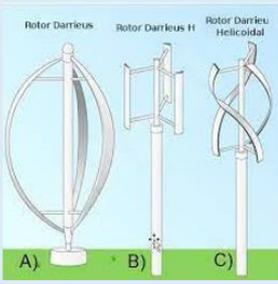
	EJE HORIZONTAL	EJE VERTICAL SUSTENTACIÓN	EJE VERTICAL ARRASTRE
			
VENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> • Eficiente • Ampliamente probado • Muy utilizado • Más económico • Muchos modelos 	<ul style="list-style-type: none"> • Eficiencia aceptable • Indiferente a la dirección del viento • Menos sensibilidad a turbulencia • Crea pocas vibraciones 	<ul style="list-style-type: none"> • Producto probado • Silencioso • Robusto y fiable • Indiferente a la dirección del viento • Puede aprovechar flujos turbulentos
DESVENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> • No soporta adecuadamente cambios frecuentes en la dirección del viento. • No tolera bien vientos racheados. 	<ul style="list-style-type: none"> • No muy probado • Más sensible a la turbulencia 	<ul style="list-style-type: none"> • Baja eficiencia • Económicamente costoso.

Figura 1.1 Tipos de aerogeneradores según el eje del rotor.

El tipo de aerogenerador más conocido es el de eje horizontal, a su vez este tipo de aerogeneradores se clasifican dependiendo de su número de aspas, entre los cuales se tiene al monopala, bipala, tripala y multipala (más de tres aspas). En la **Figura 1.2** se puede observar la clasificación de los aerogeneradores de eje horizontal. [7]

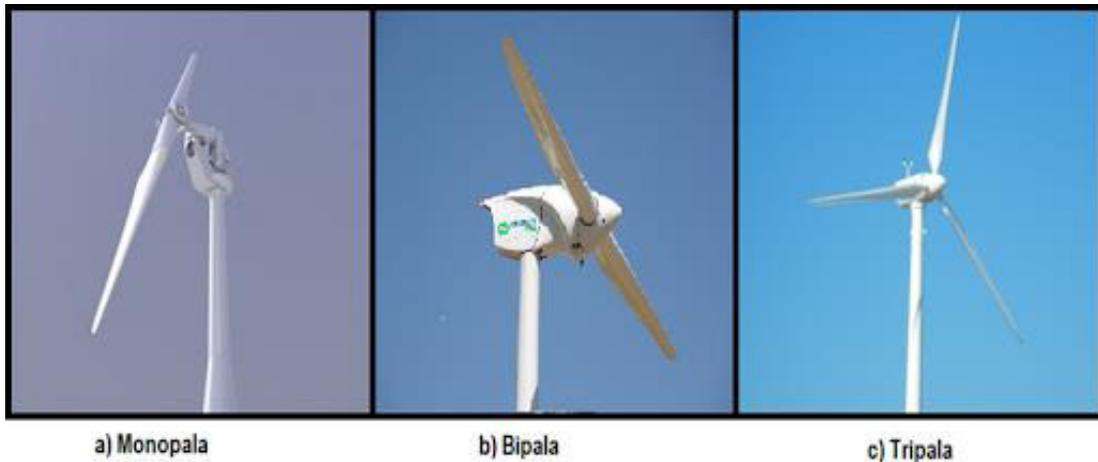


Figura 1.2 Tipos de aerogeneradores de eje horizontal

Debido a la eficiencia comprobada de los aerogeneradores de eje horizontal tripala, el presente proyecto se basa en este modelo. En la **Figura 1.3** se observan los distintos tipos de aerogeneradores con su respectiva curva de coeficiente de potencia ideal.

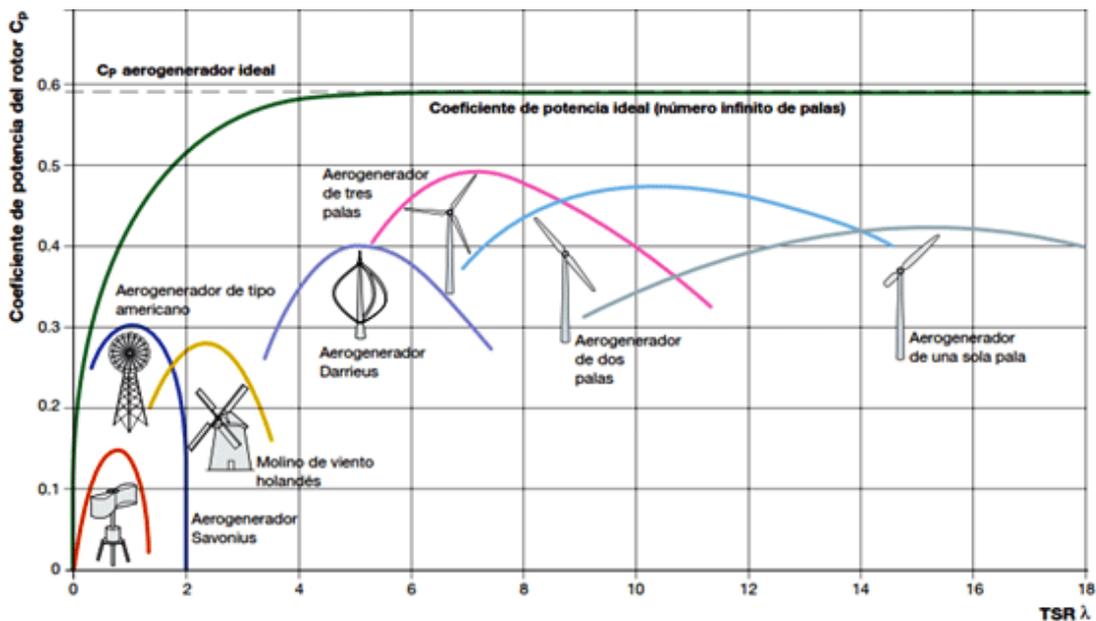
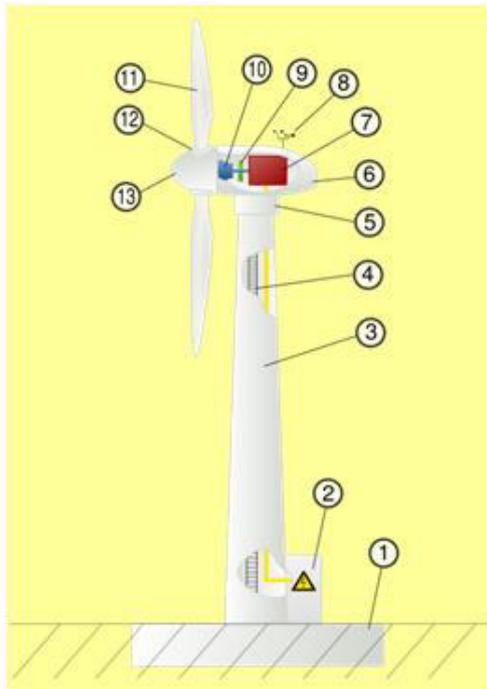


Figura 1.3 Coeficiente de potencia en función de la velocidad específica.

Al ser el aerogenerador de eje horizontal tripala el que se tomó como referencia para el presente proyecto, en la **Figura 1.4** se muestran sus principales partes.



Esquema de una turbina eólica:

1. Cimientos
2. Conexión a la red eléctrica
3. Torre
4. Escalera de acceso
5. Sistema de orientación
6. Góndola
7. Generador
8. Anemómetro
9. Freno
10. Caja de cambios
11. Pala
12. Inclinación de la pala
13. Rueda del rotor

Figura 1.4 Partes de un aerogenerador.

2 METODOLOGÍA

2.1 Descripción de la metodología usada

Se realizó un estudio de las necesidades en cuanto a material didáctico de la materia de Energías Renovables para el LTI-ESFOT y se propuso la construcción de dos módulos eólicos didácticos que permitan complementar el aprendizaje de los estudiantes.

Tomando como referencia un aerogenerador industrial de 3 aspas se diseñaron los planos esquemáticos del módulo aerogenerador, posteriormente se establecieron los instrumentos que serían usados para poder diseñar los planos eléctricos y electrónicos que permitieron cumplir los requerimientos necesarios. Adicionalmente, se diseñó un módulo ventilador el cual permite el correcto funcionamiento del módulo eólico, este es necesario debido a que los ventiladores comerciales actualmente no poseen un flujo de aire suficiente para el correcto funcionamiento del aerogenerador didáctico.

Teniendo en cuenta que se buscaba mostrar la velocidad del eje del aerogenerador se utilizó un sensor de velocidad con encoder (Lm 393), este sensor en conjunto con la placa de procesamiento Arduino UNO, un LCD 16x2 y el algoritmo diseñado, se encargan de supervisar la velocidad del eje del generador tanto en revoluciones por minuto (RPM) como en metros sobre segundo (m/s).

Para generar el voltaje requerido se utilizó un motor de inducción monofásico con rotor jaula de ardilla, este tiene la característica de funcionar como generador aplicando energía rotatoria en el eje, debido a que el voltaje producido es alterno, se diseñó y construyó un circuito rectificador para convertirlo a voltaje continuo. Para supervisar el voltaje producido por el aerogenerador se utilizó un voltímetro con rango de entre 0 (V) y 30 (V), este instrumento de medición se conectó en paralelo a la salida del circuito rectificador.

En el ventilador se utilizó un motor de taladro adaptado para realizar el giro de las aspas que producen un flujo de viento, es necesario tener un control de velocidad de giro del motor ya que esto ayuda a realizar las respectivas pruebas de funcionamiento del aerogenerador, por este motivo se seleccionó un dimmer de 600 (W), suficiente para controlar el motor de 500 (W) del taladro.

Debido a los elementos que deben contener los módulos y que estos deben ser fáciles de manipular se determinó la utilización de madera de 9 (mm) para las bases y las

góndolas del ventilador, PVC para las aspas y la torre, acrílico para la construcción del tablero de instrumentos del aerogenerador, fibra de vidrio y masilla plástica para la construcción de la góndola del aerogenerador, el uso de estos materiales aseguró la resistencia y durabilidad de los módulos.

Para las conexiones eléctricas del aerogenerador se usó cable de cobre (18 AWG) el cual pasa por el interior de la torre hasta el tablero de medición. Para la comunicación del LCD se soldaron cables al módulo y se realizó la respectiva conexión a los pines establecidos. Por último, se cargó el algoritmo diseñado previamente al Arduino y se lo integró al tablero.

Una vez construidos los dos módulos eólicos y los dos módulos ventiladores se realizaron pruebas de funcionamiento tanto de la parte eléctrica como de la parte mecánica. En la parte eléctrica se realizaron pruebas de voltaje, corriente y conexión de los instrumentos de medición, en la parte mecánica se realizaron pruebas de dureza de los materiales usados, lubricación de las partes móviles y verificación de ejes nivelados.

Culminadas las pruebas de funcionamiento, se realizaron dos videos para mostrar el uso correcto de los módulos y el respectivo mantenimiento necesario para cumplir con la vida útil de los mismos. Adicionalmente, se realizaron dos hojas guías de prácticas para que los estudiantes puedan familiarizarse con la utilización de los módulos.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se construyeron dos módulos eólicos para el LTI-ESFOT que permiten convertir la energía cinética del viento a energía eléctrica, específicamente voltaje. El módulo permite captar la energía cinética del viento con un sistema de aspas separadas 120 grados entre ellas, convirtiendo la energía cinética a energía rotativa la cual es transmitida por un eje de acero inoxidable al generador que permite convertir dicha energía en energía eléctrica de tipo alterna que posteriormente es convertida en energía continua por un circuito rectificador.

3.1 Requerimientos de los módulos

Para establecer los requerimientos que deben cumplir los módulos eólicos, se revisó el Programa de Estudio de Aprendizaje (PEA) de la materia de Energías Alternativas (TEMR442) de la carrera de Tecnología Superior en Electromecánica [8]. En dicha asignatura se abordan los conceptos generales de energía eólica, las partes principales de los aerogeneradores y sus respectivas aplicaciones tanto en tierra como en el mar.

En base a esto, se han determinado las características principales que deben disponer los módulos didácticos:

- Tamaño adecuado en función de las dimensiones de las mesas de trabajo del LTI-ESFOT.
- Utilización de los aerogeneradores dentro de las instalaciones utilizando un generador de viento artificial.
- Configuración de tres aspas en base a modelos a escala real.
- Generación de voltaje en un rango de 0 (V) a 5 (V) en base al viento aprovechado.
- Tablero de medición en donde se puedan visualizar las principales variables: velocidad, voltaje y corriente.

3.2 Planos esquemáticos, eléctricos y electrónicos

Dimensiones del aerogenerador

Para establecer las dimensiones de los módulos eólicos se consideraron dos factores:

- El tamaño del motor generador y el tamaño de aspas necesarios para permitir el movimiento del rotor.
- Las dimensiones y espacios disponibles en las mesas de trabajo del LTI-ESFOT.

En cuanto a la elección del motor generador se realizó pruebas con motores DC, sin embargo, el voltaje alcanzado al momento de girar su rotor con ayuda de las aspas no fue superior a los 2.2 (V), por tal motivo se decidió probar con un motor AC y se verificó que el voltaje generado por este era aproximadamente 8 (V_{AC}), es decir con el circuito rectificador de voltaje daría el voltaje requerido, 5 (V), para el módulo aerogenerador.

Las dimensiones de cada una de las partes diseñadas del módulo aerogenerador y el módulo ventilador se encuentran detalladas en el **Anexo 2**.

Góndola

En base a las consideraciones anteriores, se utilizó un motor de inducción monofásico (AC) de una bomba de agua de una lavadora LG, este tipo de motores permiten generar voltaje y corriente en sus borneras cuando se aplica energía rotatoria en el eje, para usar el motor como generador se eliminó las palas del eje. En la **Figura 3.1** se observa el modelo de motor utilizado, y en el **Anexo 4 Tabla A.1** se detalla los datos técnicos del motor.



Figura 3.1 Modelo de motor generador.

Tomando en cuenta las dimensiones del generador, se determinó que la base de la góndola debe tener un tamaño de 100 (mm) de ancho, 109 (mm) de alto y 200 (mm) de largo. Para reducir la resistencia al paso del aire se realizaron cortes triangulares en la base de la góndola como se muestra en la **Figura 3.2**.

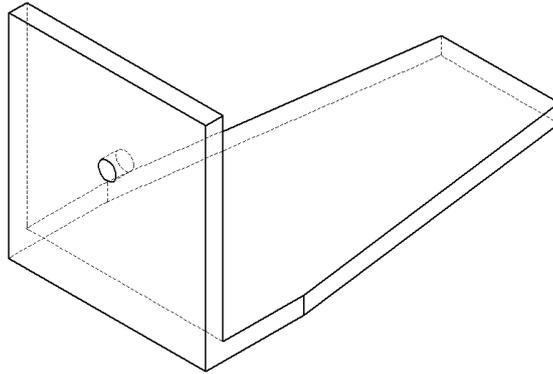


Figura 3.2 Esquema de la base de la góndola.

Para cubrir y proteger los instrumentos que contiene la base de la góndola se diseñó una cubierta. En la **Figura 3.3** se observa el esquema de la cubierta de la góndola.

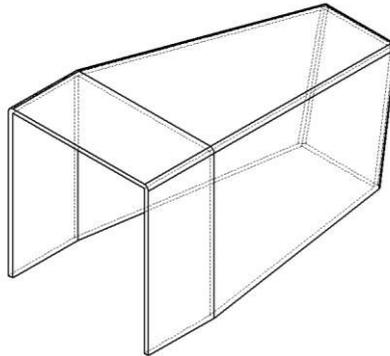


Figura 3.3 Esquema de la cubierta de la góndola.

Aspas

Para captar la energía cinética del viento se determinó que la longitud del aspa debe ser de 300 (mm), esta longitud permitirá mover el rotor del generador de manera eficiente. En la **Figura 3.4** se observa el esquema del aspa.



Figura 3.4 Esquema del aspa.

Para acoplar el sistema de tres aspas con el eje se diseñó una base circular de 9 (mm) de grosor y un radio de 37 (mm) con un desbastado cada 120 grados que permita acoplar las aspas. En la **Figura 3.5** se observa el esquema de la base de las aspas.

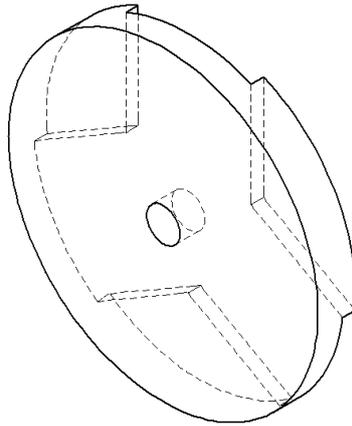


Figura 3.5 Esquema de la base de las aspas.

Nariz

Para evitar la resistencia al flujo de aire y brindar protección a la base de las aspas se diseñó una nariz que encaje a presión sobre esta. En la **Figura 3.6** se observa el esquema de la nariz de las aspas.

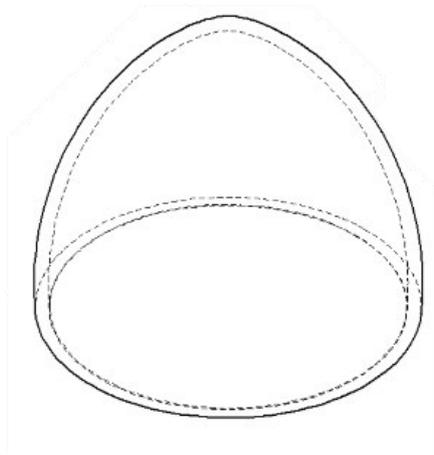


Figura 3.6 Esquema de la nariz.

Torre

Tomando en cuenta el peso de las aspas y la góndola se diseñó una torre la cual tiene forma de cono truncado de 450 (mm) de altura, diámetro inferior de 74 (mm) y diámetro superior de 70 (mm), en la **Figura 3.7** se observa el esquema de la torre.

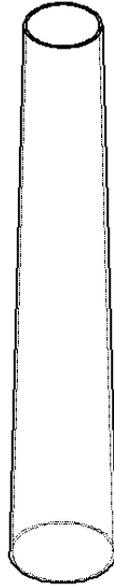


Figura 3.7 Esquema de la torre.

Tablero

La lectura de datos debe ser sencilla para el usuario por lo cual se diseñó el tablero con un ángulo de 45 grados a una altura de 70 (mm) en la cual se ubicarán los LCDs y las borneras que permitan la toma de datos, esta disposición de los elementos brinda seguridad y confort al usuario, el esquema del tablero se observa en la **Figura 3.8**.

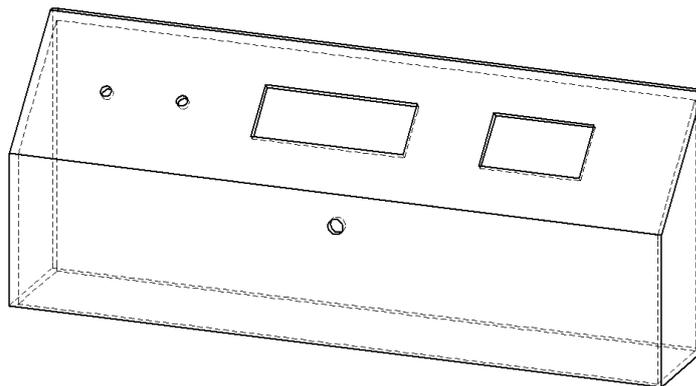


Figura 3.8 Esquema del tablero.

Base

Para soporte del aerogenerador se diseñó una base rectangular de 300 (mm) de largo por 350 (mm) de ancho, en la **Figura 3.9** se observan las dimensiones de la base.

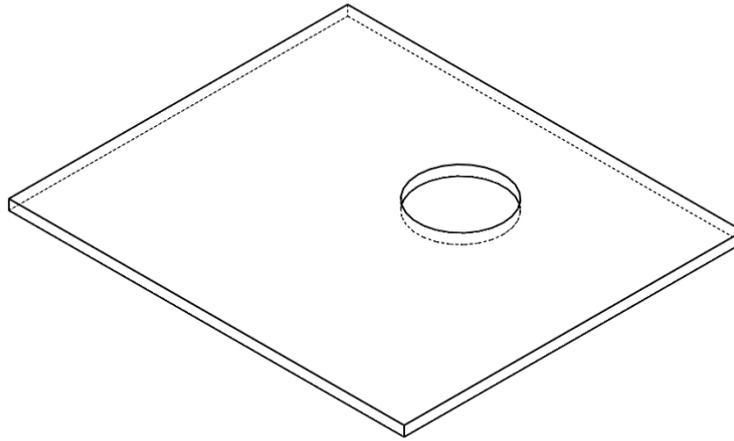


Figura 3.9 Esquema y dimensiones (mm) de la base

Fuente generadora de viento

Como fuente generadora de viento se diseñó un dispositivo que permita suministrar viento continuo al módulo eólico, por lo cual debe tener dimensiones similares al módulo eólico, sin embargo, al usar un motor más pesado es necesario que la torre tenga mayor robustez por lo cual se decidió usar una torre con forma cilíndrica con un radio de 74 (mm) y una altura de 450 (mm) como se muestra en la **Figura 3.10**. Para la base de la torre se utilizó el mismo diseño de la **Figura 3.9**.

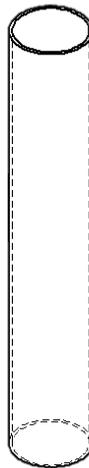


Figura 3.10 Esquema de la torre (módulo ventilador).

Debido a que se utilizó un motor pesado para generar el flujo de aire, la góndola se diseñó de manera que dicho motor ingrese de manera fija, en la **Figura 3.11** se observa el esquema de la góndola del módulo ventilador.

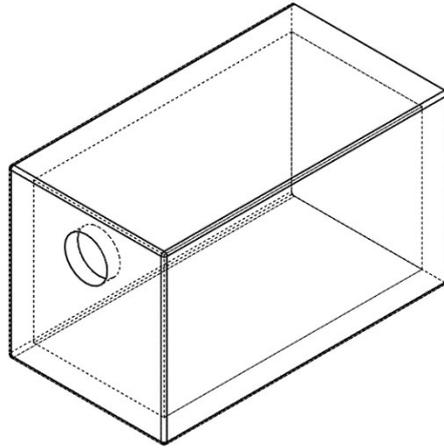


Figura 3.11 Esquema de la góndola (módulo ventilador).

Tomando en cuenta las dimensiones de las mesas de trabajo del LTI-ESFOT, 1 (m) de largo por 0,60 (m) de ancho y el espacio disponible en cada mesa es de 1 (m) de largo por 0,30 (m) de ancho, se determinó que se debe utilizar una mesa auxiliar para el apoyo de los módulos.

En la **Figura 3.12** y **Figura 3.13** se observan los esquemas del módulo aerogenerador y el módulo ventilador respectivamente. En el **Anexo 2** lámina 7 se detalla el ensamble del módulo eólico, en la **lámina 11** se puede observar el detalle del ensamble del módulo ventilador y en la **lámina 12** se observa la disposición del módulo eólico con respecto al módulo ventilador al momento de su utilización.

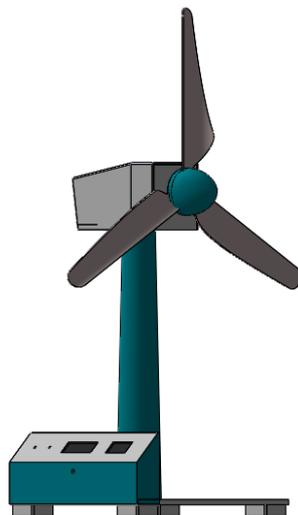


Figura 3.12 Esquema del aerogenerador.

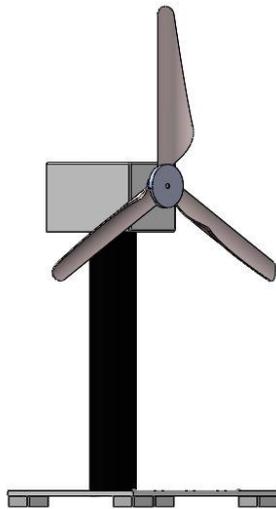


Figura 3.13 Esquema del módulo ventilador

Esquema de conexiones

En el **Anexo 2 lámina 15**, se observan las conexiones realizadas entre el generador, el sensor encoder, la pantalla LCD y el voltímetro, elementos que se usaron para el monitoreo de la velocidad del eje del generador y el voltaje generado.

Esquema electrónico

El circuito rectificador se diseñó usando el programa Proteus versión 8.8, esta es una herramienta que permite la simulación de circuitos electrónicos con microcontroladores [9], En la **Figura 3.14**, se muestra el diagrama esquemático de la placa utilizada para rectificar el voltaje alterno (V_{AC}) y convertirlo en voltaje continuo (V_{DC}) para que puedan ser leídos por los instrumentos de medición, en la bornera J1 ingresa voltaje AC y en la bornera J2 se obtiene el voltaje rectificado.

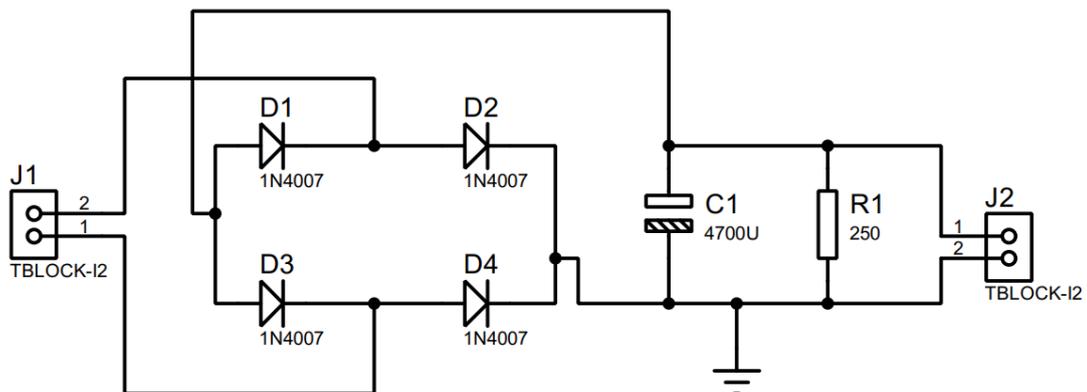


Figura 3.14 Esquema del circuito rectificador de voltaje.

La resistencia de carga se determinó utilizando la **Ecuación 3.1**.

$$V = I * R$$

Ecuación 3.1 Ley de Ohm.

Donde:

V : Voltaje (V)

I : Corriente (A)

R : Resistencia (Ω)

Teniendo en cuenta el voltaje máximo de salida de 5 (V) y la corriente máxima de salida de 20 (mA) se realizó el siguiente cálculo:

$$V = I * R$$

$$R = \frac{V}{I}$$

$$R = \frac{5 \text{ (V)}}{0.02 \text{ (A)}} = 250 \text{ (\Omega)}$$

Para el cálculo del capacitor se tuvo en cuenta un voltaje de rizado (V_{rs}) de 2 % del voltaje máximo generado correspondiente a 0.1 (V). Utilizando la **Ecuación 3.2** se calculó el valor de la capacitancia mínima que se puede colocar en el circuito rectificador.

$$C = \frac{I}{f * V_{rs}}$$

Ecuación 3.2 Cálculo del capacitor.

Donde:

I : Corriente de salida (A)

V_{rs} : Voltaje de rizado (V)

f : Frecuencia (Hz)

C : Capacitancia (F)

Tomando en cuenta la frecuencia obtenida de los datos técnicos del motor generador, **Anexo 4 Tabla A.1**, correspondiente a 60 (Hz), el voltaje de rizado requerido 0.1 (V) y la corriente de salida cuando se tiene un voltaje máximo correspondiente a 20 (mA), se realizó el siguiente cálculo:

$$C = \frac{0.02 \text{ (A)}}{60 \text{ (Hz)} * 0.1 \text{ (V)}}$$

$$C = 0.003333 \text{ (F)}$$

Realizando la conversión de unidades se tiene una capacitancia mínima de 3333 (uF), teniendo el valor de la capacitancia mínima se buscó entre los valores comerciales un capacitor electrolítico del valor calculado o superior, ya que, si la capacitancia es mayor el voltaje de rizado será menor al 2% requerido, sin embargo, el costo del capacitor incrementa. En la **Tabla 3.1** se puede observar los valores comerciales de capacitores electrolíticos.

Tabla 3.1 Valores comerciales de capacitores electrolíticos.

Capacitores Electrolíticos (Valores Comerciales)						
uF	uF	uF	uF	uF	uF	uF
0.1	1	10	100	1000	10000	100000
0.12	1.2	12	120	1200	12000	-
0.22	2.2	22	220	2200	22000	-
0.33	3.3	33	330	3300	33000	-
0.47	4.7	47	470	4700	47000	-
0.56	5.6	56	560	5600	56000	-
0.68	6.8	68	680	6800	68000	-
0.82	8.2	82	820	8200	82000	-

Tomando en cuenta los valores de la **Tabla 3.1** se determinó el uso de un capacitor electrolítico de 4700 (uF), para el filtro del circuito rectificador de voltaje.

En la **Figura 3.15** se observa el diseño PCB obtenido del programa Proteus el cual se plasmó en baquelita para construir el circuito de rectificación.

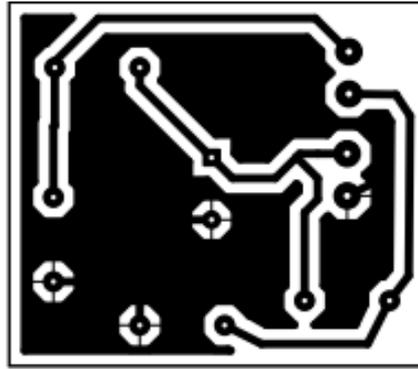


Figura 3.15 Diseño PCB del circuito rectificador.

En el **Anexo 2 lámina 16**, se observa el diagrama electrónico, realizado en el programa Proteus versión 8.8, de los componentes utilizados en el aerogenerador.

3.3 Algoritmo de supervisión

El algoritmo permite obtener datos de velocidad del eje del generador. Para esto se utilizó un sensor de velocidad con un enconder colocado en el eje del generador, los pines del sensor de velocidad se conectaron al Arduino Uno, para permitir que este sensor pueda funcionar de manera eficiente se diseñó el algoritmo mostrado en el **Anexo 3**. En el algoritmo se puede observar el código que permite transformar los pulsos generados por el sensor de velocidad, en RPM y en metros sobre segundo (m/s).

Para tomar los pulsos brindados por el sensor de velocidad se utilizaron los pines de interrupción de la placa Arduino Uno, las interrupciones detectan un cambio de estado en el pin permitiendo consultar repetitivamente el valor de entrada [10], el cambio de estado está dado de manera externa, ya que la señal será emitida por un enconder el cual está conectado el eje del generador. En el caso de que se desee realizar una actualización en el módulo y sea necesario hacer uso de otra placa Arduino, se debe modificar el algoritmo para coincidir los pines de interrupción con el pin de salida del sensor de velocidad, por lo cual en la **Tabla 3.2** se observan los pines de interrupción de las principales placas de Arduino.

Tabla 3.2 Pines de interrupción en principales placas de Arduino.

Placa de Arduino	Int.0	Int.1	Int.2	Int.3	Int.4	Int.5
Uno, Ethernet	2	3				
Mega, Mega 2560, Mega ADK	2	3	21	20	19	18

Placa de Arduino	Int.0	Int.1	Int.2	Int.3	Int.4	Int.5
Placas basadas en 32u4 (Leonardo, Micro)	3	2	0	1	7	
DUE	Todos los pines del Arduino Due pueden usarse para interrupciones					

Para detectar el cambio de estado en el pin digital 2, se utilizó la condición RISING la cual permite detectar el cambio en el flanco de subida, es decir, cuando pasa de un estado bajo a un estado alto. Adicionalmente el algoritmo contiene código el cual permite convertir la cantidad de interrupciones que se produjeron en 1 segundo en el pin digital 2 y convertirlos en revoluciones por minuto (RPM) y metros sobre segundo (m/s), para lo cual se utilizaron las **Ecuaciones 3.3 y 3.4**.

$$RPM = \frac{n * 60}{m}$$

Ecuación 3.3 Cálculo de revoluciones por minuto.

Donde:

RPM : Revoluciones por minuto.

N : Interrupciones del pin digital 2 en el lapso de 1 segundo.

M : Número de muescas del encoder.

$$V = \frac{RPM * \pi * d}{60}$$

Ecuación 3.4 Cálculo de velocidad en (m/s).

Donde:

RPM : Revoluciones por minuto.

D : Diámetro de la circunferencia del encoder (m).

Para adaptar las **Ecuaciones 3.3 y 3.4** al algoritmo se tomó en cuenta que se tiene el diámetro en milímetros, por este motivo se realizó conversión de unidades obteniendo la **Ecuación 3.5**.

$$V = \frac{RPM * \pi * d}{60000}$$

Ecuación 3.5 Cálculo de velocidad en (m/s)

Donde:

RPM : Revoluciones por minuto.

D : Diámetro de la circunferencia del encoder (mm)

Para mostrar los datos en la pantalla LCD 16x2 se utilizó la librería *LiquidCrystal.h*, la cual permite crear un objeto que representa al LCD y contiene todas las operaciones de “bajo nivel” para que resulte sencilla la programación de este dispositivo. [11]

El diagrama de flujo del algoritmo usado para la programación del Arduino se muestra en la **Figura 3.16**.

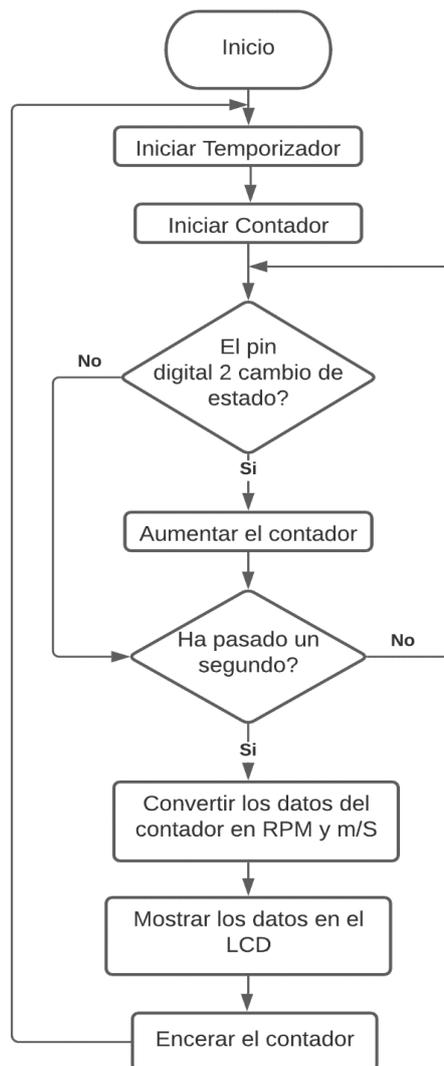


Figura 3.16 Diagrama de flujo.

3.4 Construcción de los módulos

Tomando en cuenta que el módulo debe ser resistente y portable se tomó la decisión de usar madera trípex de 9 (mm) para la estructura tanto de la base de todo el aerogenerador, como para la base de la góndola. Para las tres aspas y la torre se usó PVC y para el tablero de medición se utilizó acrílico.

Se construyeron los módulos didácticos de acuerdo con las dimensiones establecidas en los planos esquemáticos. A continuación, se describen las actividades llevadas a cabo.

Estructura

Se marcaron las dimensiones de la base de la góndola y la base del módulo para realizar los cortes respectivos, la base de la góndola se fijó con pegamento para madera y tornillos de acero. En la **Figura 3.17** se puede observar el resultado obtenido, literal a) resultado de la góndola, literal b) resultado de la base.

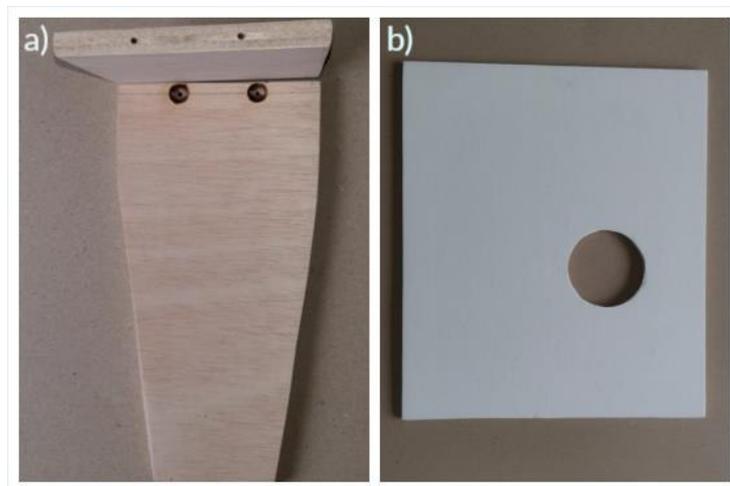


Figura 3.17 Proceso de construcción de la base.

Para la construcción de la torre se tomó en cuenta que para fijarla sobre la base se introduciría a través de un agujero de 74 (mm) de diámetro y se realizaría un doblé de 10 (mm) en el perímetro tanto de la parte inferior como superior de la torre, por lo tanto, se añadió 9 (mm) que se pierden al introducir la torre en la base y 20 (mm) que permiten fijar la torre con la base y la góndola, de esta manera a las dimensiones establecidas se añaden 29 (mm) adicionales.

Se cortó una sección de tubo PVC de 479 (mm) de alto, se procedió a marcar una línea media para realizar un corte triangular de base 60 (mm) que permita darle forma de cono

truncado al PVC y se le aplicó calor para que pueda doblarse uniendo las secciones cortadas con pegamento epoxi de doble compuesto.

Una vez seco el pegamento se aplicó calor en el diámetro superior e inferior para realizar un doblé de 10 (mm) para posteriormente pintarse de color celeste. En la **Figura 3.18** se puede observar en el literal a) el resultado de la parte superior y en el literal b) el resultado de la parte inferior.

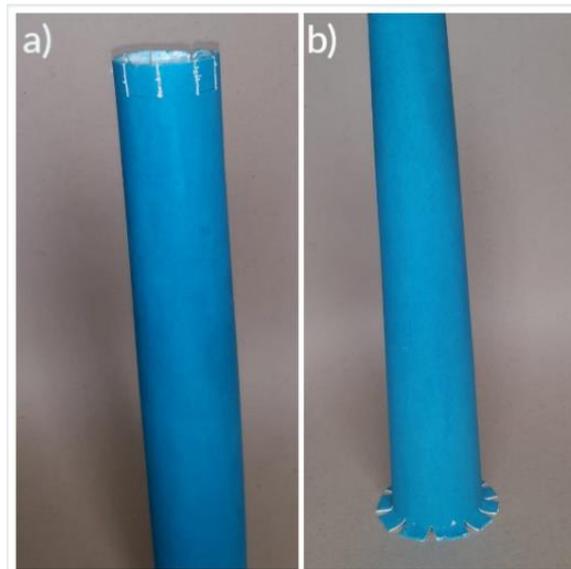


Figura 3.18 Resultado de la construcción de la torre.

Para realizar las aspas se imprimió la vista frontal realizada en SolidWorks (**Figura 3.19**) y se la usó de plantilla para plasmarla en el tubo PVC de 75 (mm) de diámetro para proceder al corte. Una vez realizado el corte de las aspas se pulió la superficie con lija # 150 para eliminar imperfecciones. El resultado se puede observar en la **Figura 3.20**.

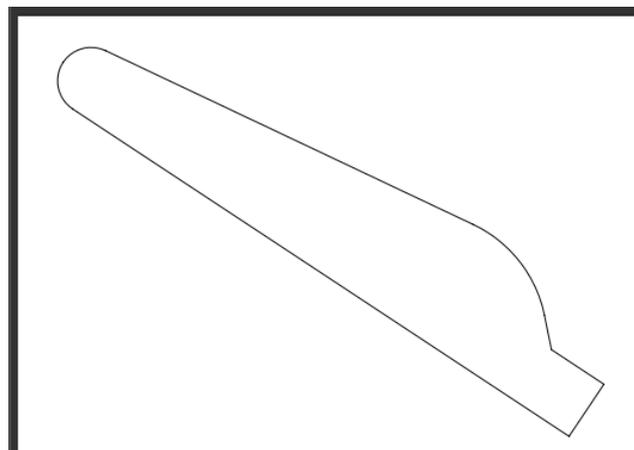


Figura 3.19 Plantilla de la vista frontal del aspa.



Figura 3.20 Resultado de la construcción del aspa.

La base que permite unir el eje con las aspas se realizó de madera de 9 (mm) cumpliendo con las dimensiones previamente establecidas. Una vez cortada la pieza se realizaron los surcos en los cuales se colocaron las aspas fijadas con tornillo para madera y pegamento epoxi. En la **Figura 3.21** se observa el procedimiento realizado, en el literal a) vista frontal y b) vista posterior.

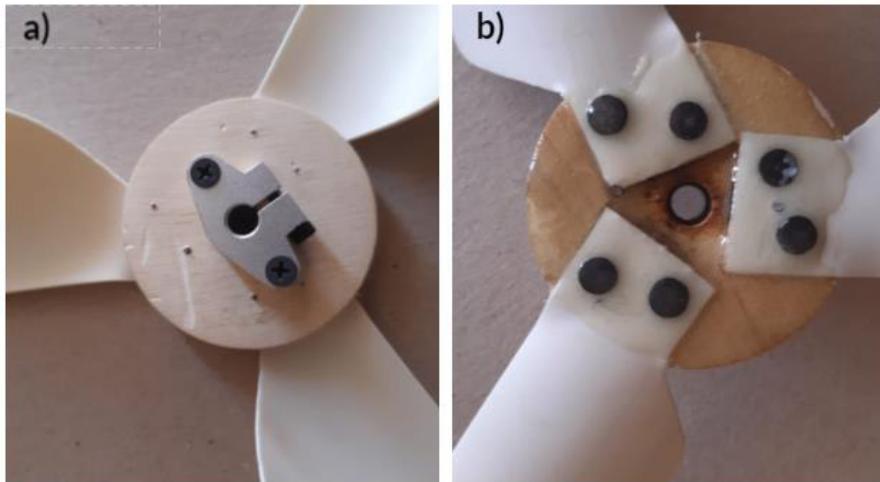


Figura 3.21 Resultado de la base de las aspas.

Para la construcción del tablero se enviaron las dimensiones y planos del **Anexo 2 lámina 8**, a un centro especialista en acrílico. El tablero construido se observa en la **Figura 3.22**

Para futuras ampliaciones del módulo eólico y un fácil acceso a los circuitos, se colocaron imanes de neodimio con ángulos de latón para que la cubierta posterior se mantenga fija y también se pueda retirar en caso de requerir modificaciones.

En la **Figura 3.23** a) se puede observar la disposición de los imanes de neodimio en la cubierta del tablero y en el literal b) se puede apreciar el ángulo de latón colocado en el tablero para sujeción de la cubierta.



Figura 3.22 Tablero de medición.

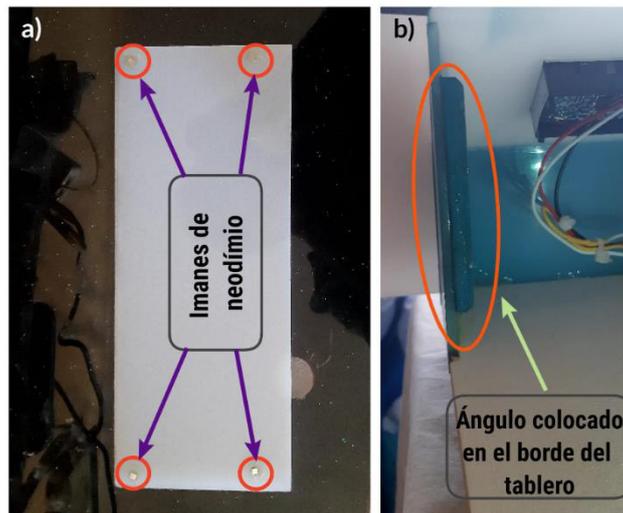


Figura 3.23 Disposición de los elementos de cierre del tablero.

Para permitir la transmisión del giro de las aspas al generador mediante el eje se colocó una chumacera de 8 (mm) en la base de la góndola y una junta fija de 8 (mm) en la base de las aspas. En la **Figura 3.24** se observan dichos elementos. En la **Figura 3.25** se observan los componentes instalados, en el literal a) chumacera colocada en la base de la góndola y el literal b) la junta fija colocada en la base de las aspas.

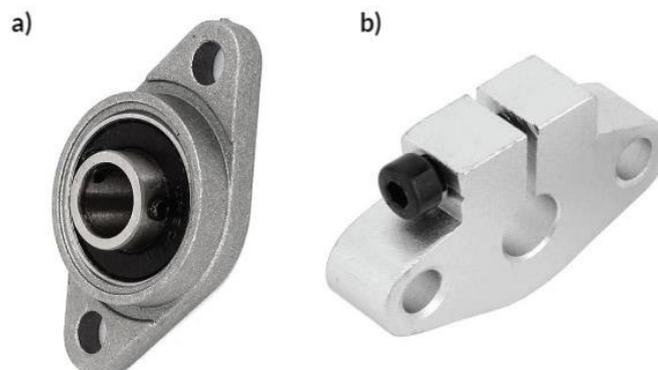


Figura 3.24 a) Chumacera 8 (mm). B) Junta fija 8 (mm).

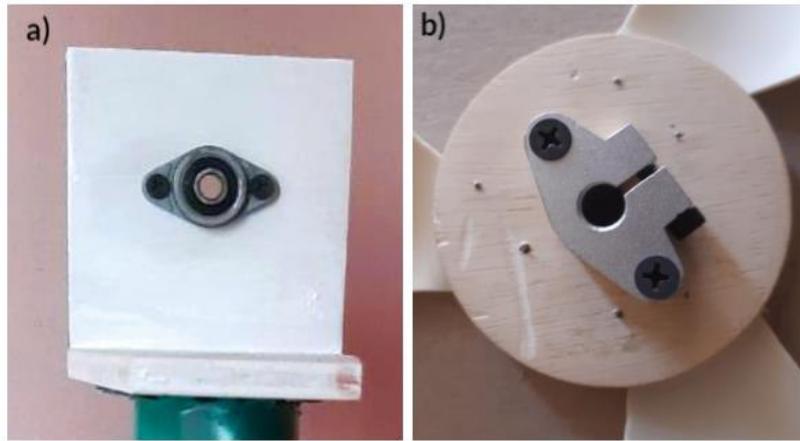


Figura 3.25 Chumacera y junta fija colocadas en el módulo.

La nariz se construyó usando una copa plástica de vino blanco. Para cumplir con las dimensiones se eliminó la base y el tallo de la copa, al cáliz se le redujeron 10 (mm) del borde y se realizaron cortes en los cuales ingresaron las aspas. El resultado se puede observar en la **Figura 3.26**.



Figura 3.26 Nariz del módulo aerogenerador.

Para la construcción de la cubierta de la góndola se construyó una base de cartón prensado tomando en cuenta las medidas del **Anexo 2 lámina 3**.

Una vez obtenida la estructura se procedió a fortalecer la misma, este proceso se llevó a cabo usando fibra de vidrio, para que la superficie no quede rugosa y sea fácil de pintar sobre la fibra de vidrio se colocó masilla plástica la cual después de lijar se procedió a pintar. En la **Figura 3.27** literal a) se observa la base construida con cartón prensado y en el literal b) el resultado de la cubierta de la góndola pintada.

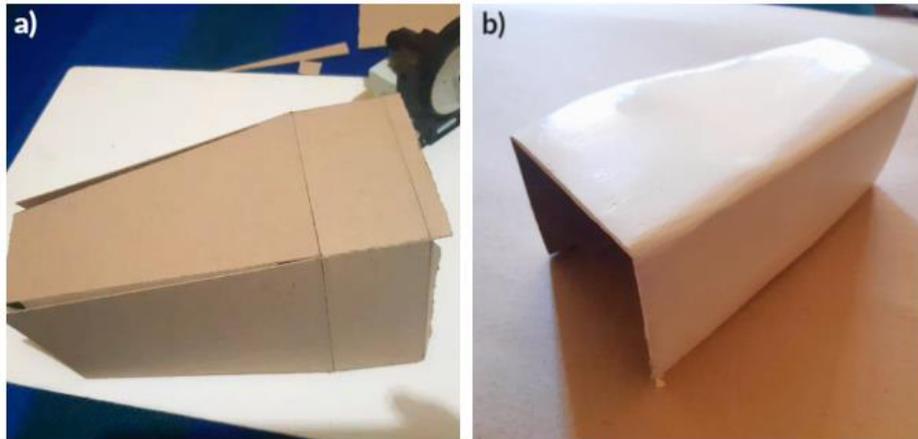


Figura 3.27 Construcción de la cubierta de la góndola.

Una vez obtenidas todas las piezas se procedió al ensamble del módulo, haciendo uso de tornillos para madera se realizaron las uniones entre la base, la torre y la góndola. Para unir el tablero con la estructura se utilizó pegamento epoxi, en la **Figura 3.28** se observa el resultado del ensamble de la estructura del módulo eólico.



Figura 3.28 Ensamble de la estructura del módulo.

Para la construcción de la estructura del módulo ventilador se utilizó madera de 9 (mm) de grosor tanto para la base como para la góndola. Se cortaron las piezas respectivas y se ensamblaron las piezas usando pegamento para madera y tornillos para madera, dando como resultado la **Figura 3.29**, en el literal a) se observa el resultado de la base

del módulo y en el literal b) el resultado de la construcción de la góndola del módulo ventilador.

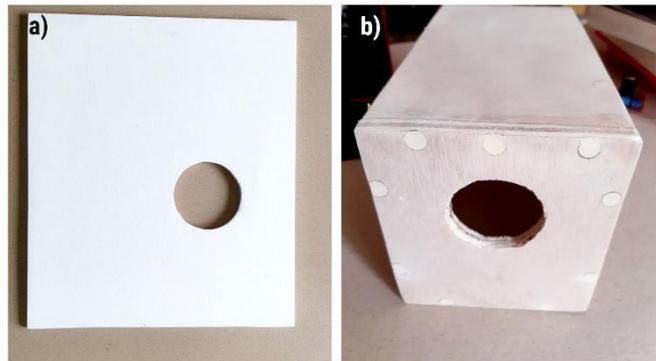


Figura 3.29 a) Base y b) Góndola del módulo ventilador.

La torre se construyó utilizando tubo PVC de 74 (mm) de diámetro. A la altura mencionada en los planos se añadieron 29 (mm) adicionales debido al dobles de 10(mm) de los extremos para permitir la unión tanto a la góndola como a la base, y a los 9 (mm) que se pierden al atravesar el orificio de la base. En la **Figura 3.30** se observa el resultado de ensamblar la estructura.



Figura 3.30 Ensamble de la base y la torre.

Obtenida esta estructura se procedió a ensamblar la góndola, la cual se fijó con pegamento epoxi y tornillos para madera. La estructura final del módulo ventilador se muestra en la **Figura 3.31**.



Figura 3.31 Estructura del módulo ventilador.

Conexiones eléctricas

En la base de la góndola se realizó una perforación la cual permite que el cableado pase por la torre hasta el tablero de medición, los cables que pasan por este orificio son; tres cables para el sensor de velocidad (Vin, GND y Señal), dos cables que permiten conectar la salida del circuito rectificador con las borneras de medición y el voltímetro. En la **Figura 3.32** se observa el resultado de las conexiones realizadas y en la **Figura 3.33** se observa el sensor encoder de velocidad usado.

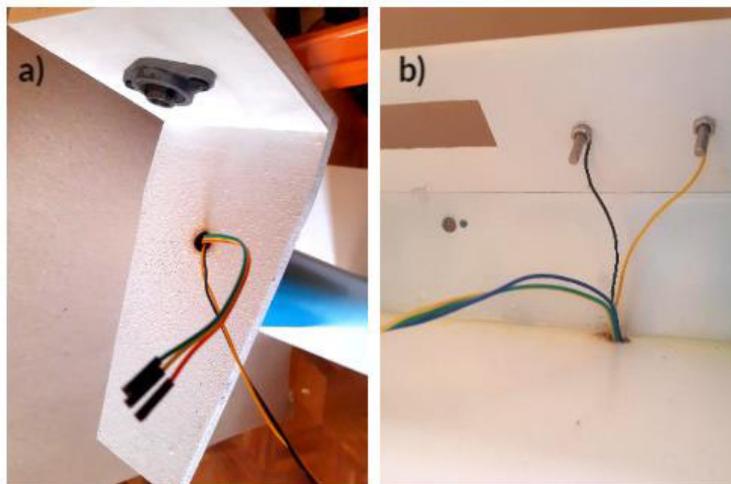


Figura 3.32 a) Cableado de la góndola, b) Cableado del tablero.

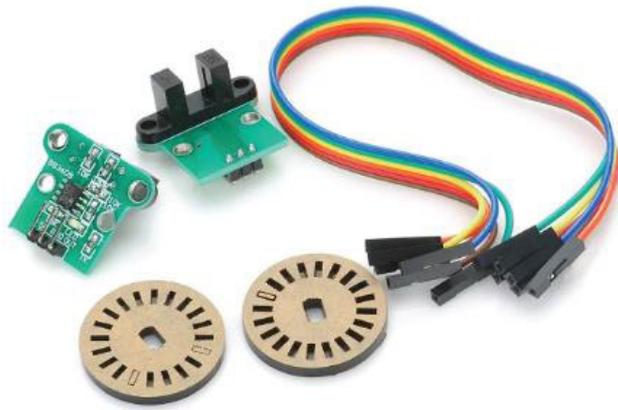


Figura 3.33 Sensor de velocidad encoder Lm 393.

En el **Anexo 4** Datos Técnicos **Tabla A. 2** se encuentran los datos técnicos del sensor Lm 393.

Para poder realizar las conexiones del LCD 16x2 con el Arduino se soldaron cables en los pines VSS, VDD, Vo, RS, RW, E, D4, D5, D6, D7, A, K. En el pin Ánodo (A) se conectó una resistencia de 330 (Ω) para protección del sistema de iluminación de la pantalla, el pin Vo permite ajustar el brillo de la pantalla LCD, para comodidad del usuario se ha conectado un potenciómetro de 1 (K Ω). El voltaje de alimentación tanto para la pantalla LCD, voltímetro y el sensor se toma de los puertos de 5 (V) del Arduino Uno (**Figura 3.34**). Cada cable se encuentra etiquetado para identificar el orden de conexión, en la **Tabla 3.3** se detallan las conexiones realizadas y en la **Figura 3.35** se observa en el literal a) los cables soldados al LCD y potenciómetro y en el literal b) el etiquetado de los cables.

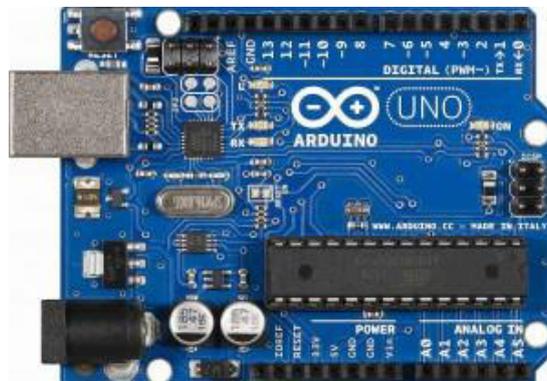


Figura 3.34 Arduino Uno

En el **Anexo 4** Datos Técnicos **Figura A1** se encuentra la distribución de pines y en la **Tabla A. 3** la información técnica del Arduino.

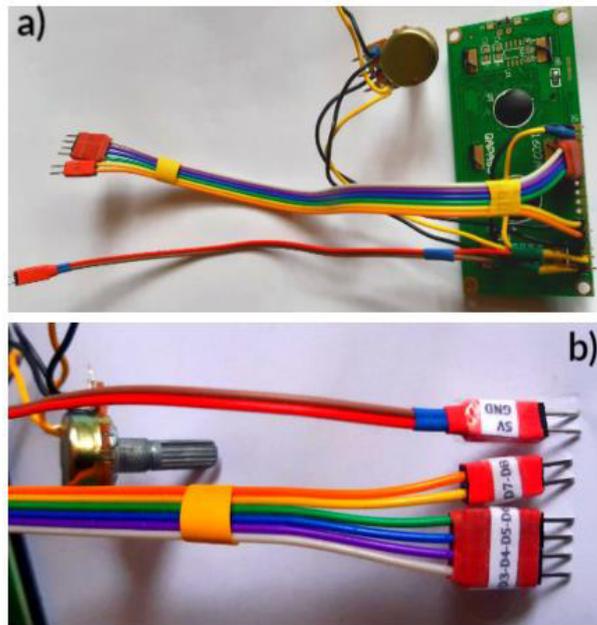


Figura 3.35 Conexiones LCD

Tabla 3.3 Conexiones realizadas.

LCD 16x2	Arduino
VSS	GND
VDD	5V
VO	N/A
RS	D8
RW	GND
E	D7
D0	N/A
D1	N/A
D2	N/A
D3	N/A
D4	D6
D5	D5
D6	D4
D7	D3
A	5V
K	GND

Para la medición del voltaje generado se colocó un voltímetro digital el cual muestra los datos en 3 display de 7 segmentos, este voltímetro necesita tener una alimentación de entre 4 y 9 (V) por lo cual se tomó el voltaje de los pines de salida de voltaje, 5 (V), del Arduino Uno. En la **Figura 3.36** se observa el modelo de voltímetro utilizado y en el **Anexo 4 Tabla A. 4** se pueden revisar los datos técnicos del voltímetro.



Figura 3.36 Voltímetro digital.

Circuito Rectificador

Utilizando el circuito PCB diseñado, se imprimió en papel termotransferible para grabarse sobre una placa de cobre, la cual después de grabarse se procedió a perforar y soldar los componentes electrónicos que le corresponden. En la **Figura 3.37** literal a) se observa la parte inferior de la placa y en el literal b) se observa la parte superior de la placa con los componentes soldados.

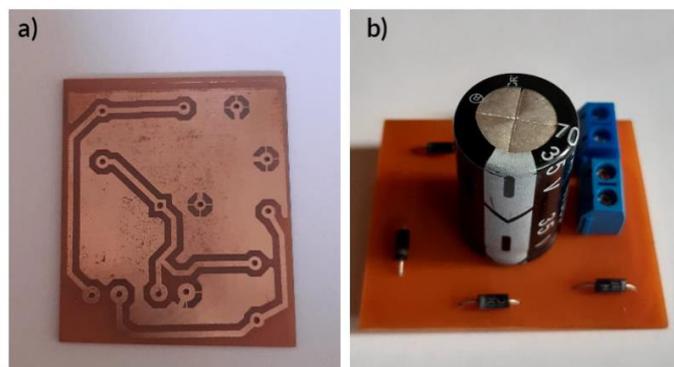


Figura 3.37 Placa del circuito rectificador de voltaje

Una vez realizado el proceso de construcción de la estructura, cableado y circuito de rectificación se procedió al ensamble del módulo colocando los instrumentos de medición en el tablero, realizando las conexiones respectivas al generador y al Arduino Uno.

Para realizar la transmisión de energía tomada por las aspas hacia el rotor del generador, se conectó un eje de acero inoxidable de 8 (mm) de diámetro y 80 (mm) de largo. Este eje se asegura en la junta fija de la base de las aspas, pasa por la chumacera ubicada en la base de la góndola (**Figura 3.25**), dejando un espacio de 10 (mm) entre la base de la góndola y la base de las aspas.

En uno de los extremos del eje se coloca el encoder de tal manera que no obstruya el giro del sistema, mientras que en el otro extremo se coloca un acople flexible con reducción de 8 (mm) a 5 (mm). En la **Figura 3.38 a)** se observa el eje de acero inoxidable y **b)** el acople flexible usado para unir el eje de acero con el eje del generador, en la **Figura 3.39** se observan las conexiones realizadas sobre la estructura de la góndola y en la **Figura 3.40** se observa el módulo aerogenerador terminado.

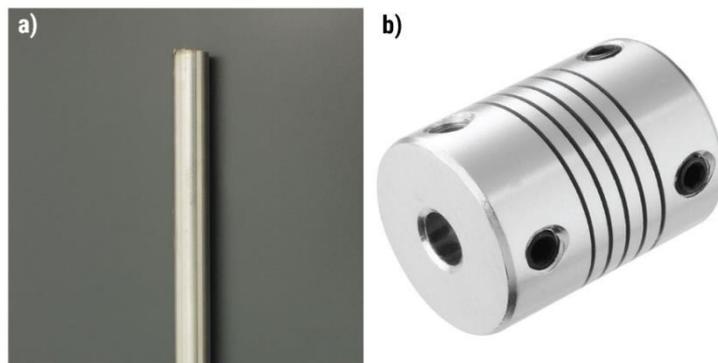


Figura 3.38 a) Eje de acero, b) Acople flexible

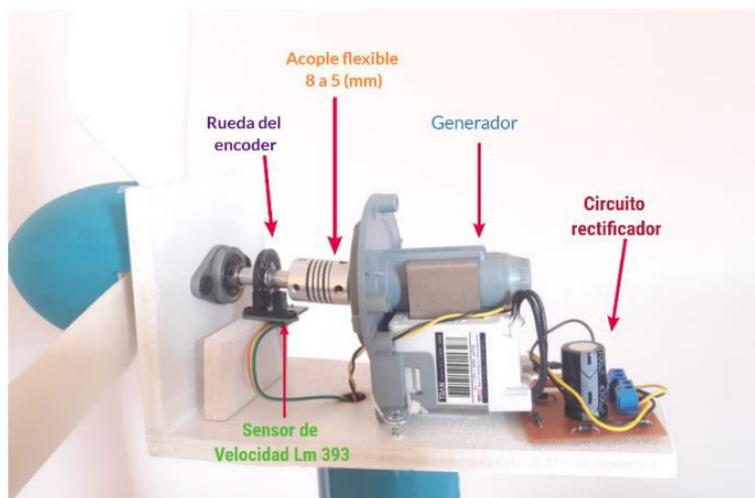


Figura 3.39 Conexiones realizadas en la góndola



Figura 3.40 Módulo aerogenerador.

El módulo ventilador se completó realizando la conexión del motor que ayudará a mover las aspas, el motor que se usó es de un rotomartillo (**Figura 3.41** literal a)), al cual se le corto la parte del mango para poder introducirlo a la góndola del módulo (**Figura 3.29** literal b)), el control de velocidad del motor se logró gracias a un dimmer rotatorio de 600 (W) (**Figura 3.42**) suficiente para la carga que el rotomartillo requiere.

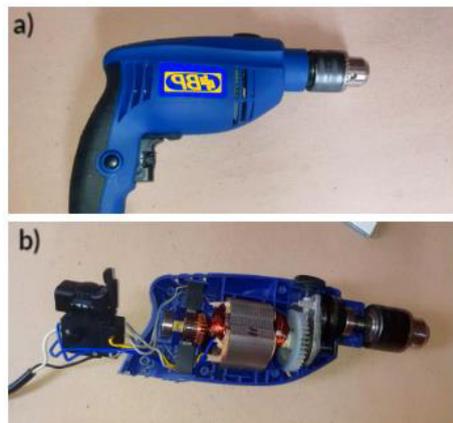


Figura 3.41 Motor usado para el ventilador.



Figura 3.42 Dimmer Volteck 600 (W)

En el **Anexo 4** Datos Técnicos **Tabla A. 5** se encuentran los datos técnicos del dimmer usado.

Las aspas se unieron al mandril del rotomartillo usando un eje de 5 (cm) de longitud y 8 (mm) de diámetro. Una vez colocado el rotomartillo en el mandril se colocó una malla metálica en la parte trasera de la góndola, esto se realizó para que el motor tenga una correcta ventilación evitando el sobrecalentamiento. Para finalizar se colocaron topes en la base de módulo para que se sostenga de manera firme y evite el contacto directo con el cableado que pasa por la base. En la **Figura 3.43** se observa el módulo ventilador terminado.



Figura 3.43 Módulo ventilador.

Finalmente, en la **Figura 3.44** se observan los dos aerogeneradores didácticos con sus respectivos módulos generadores de viento.



Figura 3.44 Módulos terminados.

Un elemento adicional usado para medir la velocidad del viento producida por el ventilador es el anemómetro, el modelo elegido para los módulos es el Gm816 (**Figura 3.45**) este es un instrumento manual, el cual permite medir la velocidad del viento en (m/s), (Km/h), (mph) adicional a esto permite medir la temperatura de ambiente en (°C) y en (°F).



Figura 3.45 Anemómetro Gm816.

3.5 Pruebas y análisis de resultados

Una vez finalizada la implementación se realizaron varias pruebas para determinar el correcto funcionamiento de los módulos eólicos, para todas las pruebas se tiene en cuenta la resistencia de carga del circuito rectificador correspondiente a 250 (Ω).

Prueba de voltaje de alimentación de elementos electrónicos

La prueba consiste en medir el voltaje que le llega al Arduino UNO, sensor de velocidad Lm393, LCD 16x2 y el voltímetro digital ubicado en el tablero, para compararse con el rango de voltaje requerido de alimentación de cada elemento. En la **Tabla 3.4** se observa una comparación de los voltajes medidos y requeridos por los distintos elementos electrónicos de los módulos aerogeneradores.

Tabla 3.4 Prueba de voltaje de alimentación de elementos electrónicos.

Elemento	Voltaje de alimentación medido (V)	Voltaje de alimentación requerido (V)	Estado
Arduino Uno (USB tipo B)	5.01	5.00	Correcto
Voltímetro digital	4.88	4.00 – 9.00	Correcto
Lm393	2.85	2.30 – 12.00	Correcto
LCD 16x2	3.82	1.60 – 5.50	Correcto

Prueba de voltaje con respecto a la velocidad del rotor

Esta prueba consiste en tomar datos del voltaje generado por el módulo y compararlas con la velocidad de giro del aerogenerador, el dato de velocidad de giro se toma del LCD 16x2 y el voltaje producido se toma del voltímetro digital. Adicional a la prueba mencionada se comprobó el correcto funcionamiento del voltímetro digital, para ello se colocó un multímetro en las borneras de voltaje del aerogenerador y se realizó una comparación de voltajes.

Se tomaron seis valores al azar para los cuales se tomó el voltaje mostrado en el voltímetro del tablero, el multímetro externo y la velocidad del eje del generador tanto en (RPM) como en (m/s).

Tabla 3.5 Prueba de voltaje con respecto a la velocidad.

Voltaje Multímetro	Voltaje Voltímetro Digital	Error (%)	Velocidad	
			(RPM)	(m/s)
1.210	1.210	0.000	126	0.170
1.618	1.600	1.110	150	0.200
2.104	2.100	0.190	171	0.230
2.819	2.820	0.035	204	0.280
3.736	3.750	0.375	255	0.350
4.800	4.840	0.833	324	0.440

En la **Tabla 3.5** se observa que los errores de todas las mediciones son menores al 5%, por lo tanto, el voltímetro colocado en el tablero se encuentra funcionando de manera correcta. En la **Figura 3.46** se observa la gráfica de Voltaje generado vs la velocidad del eje en (RPM) y en la **Figura 3.47** se observa la gráfica de Voltaje generado vs la Velocidad del eje en (m/s). Escaneando el código QR de la **Figura 3.48** se puede acceder al video de las pruebas realizadas.

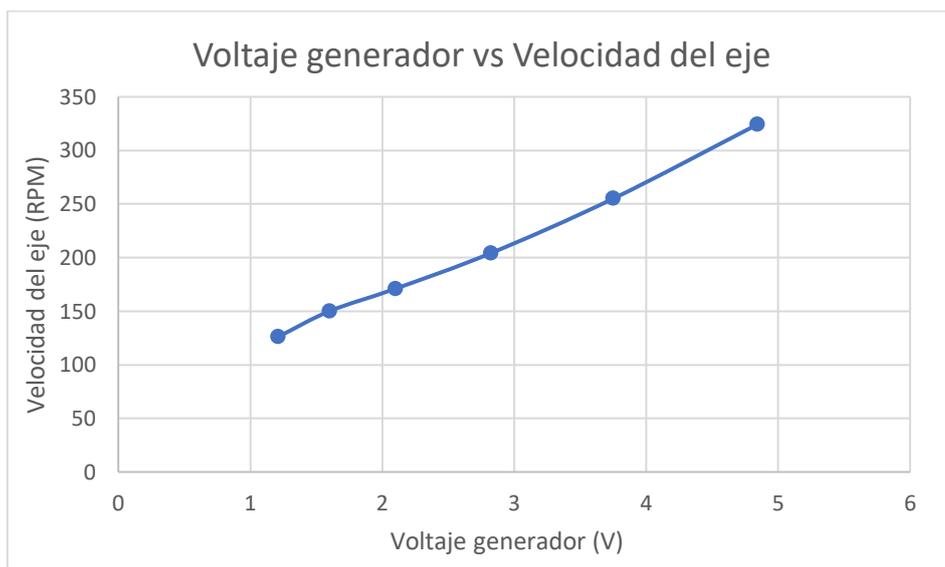


Figura 3.46 Gráfica de Voltaje generado vs Velocidad del eje (RPM).

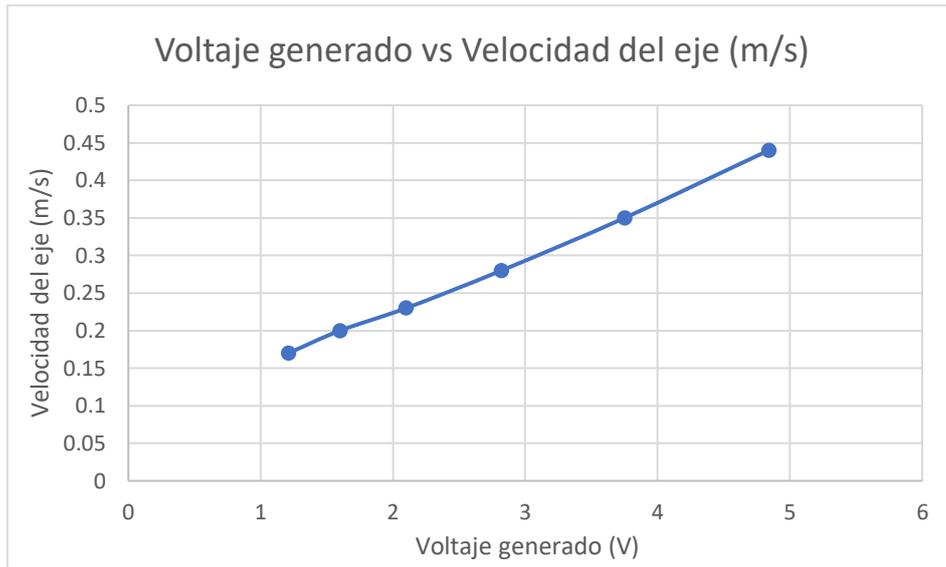


Figura 3.47 Gráfica de Voltaje generado vs Velocidad del eje (m/s).



Figura 3.48 Código QR para el video de pruebas de funcionamiento.

Prueba de corriente respecto al voltaje generado

La prueba consiste en colocar un amperímetro en las borneras correspondientes a la medición de corriente y comparar el amperaje obtenido en relación con el amperaje calculado. Para calcular la corriente ideal se utilizó la **Ecuación 3.1**, se debe tener en cuenta que la salida de corriente está en miliamperios (mA) y la resistencia de carga es de 250 (Ω). La prueba puede observarse escaneando el código QR de la **Figura 3.48**.

Tabla 3.6 Datos de la prueba de corriente

Voltaje (V)	Corriente Calculada (mA)	Corriente Medida (mA)	Error (%)
0.52	2.08	2.16	3.84
1.70	6.80	6.71	1.32

Voltaje (V)	Corriente Calculada (mA)	Corriente Medida (mA)	Error (%)
2.05	8.20	8.32	1.46
2.90	11.60	11.60	0.00
3.43	13.72	13.44	2.04
4.04	16.16	16.37	1.30
4.75	19.26	19.00	1.35
4.99	19.96	19.99	0.15

Haciendo uso de la **Ecuación 3.6** se determinó que la potencia máxima del módulo aerogenerador es de 99.75 (mW).

$$P = V * I$$

Ecuación 3.6 Cálculo de potencia

Donde:

P : Potencia (W)

V : Voltaje (V)

I : Corriente (A)

Para el cálculo se tomó en cuenta el voltaje y corriente máxima tomados como datos en la **Tabla 3.6**, es decir 4.99 (V) y 19.99 (mA).

$$P = 4.99(V) * 0.01999(A) = 0.09975 (W) = 99.75 (mW)$$

Prueba de voltaje con respecto a la velocidad del viento

Debido al peligro que propone colocar el anemómetro entre las aspas de los módulos en funcionamiento, para realizar la prueba de velocidad de viento respecto al voltaje generado se realizó el procedimiento indicado a continuación:

- Se colocaron los módulos separados una distancia de 25 (cm).
- Se colocó el anemómetro detrás de las aspas del aerogenerador para tomar el viento no aprovechado por este, tomando en cuenta la posición del anemómetro (**Figura 3.49**).
- Se retiró el módulo aerogenerador.

- Se colocó el anemómetro en la referencia tomada anteriormente, se midió la velocidad del viento producida por el ventilador en tres posiciones, la primera a baja velocidad, la segunda a media velocidad y la tercera a máxima velocidad (**Figura 3.50**).
- Una vez tomadas las medidas, se colocó nuevamente el aerogenerador y se tomaron nuevamente las medidas de velocidad del viento a baja, media y alta velocidad. Se debe tener en cuenta que el anemómetro tiene que colocarse en la misma posición de referencia (**Figura 3.51**).
- Para finalizar la prueba, se realizó una diferencia entre los datos tomados en el proceso mostrado en la **Figura 3.50** y los datos tomados posteriormente, el resultado de esta operación es la velocidad del viento aprovechada por el aerogenerador. En la **Tabla 3.7** se observan los datos tomados y la velocidad de viento aprovechada calculada.

La prueba se puede observar escaneando el código QR de la **Figura 3.48**.



Figura 3.49 Posición del anemómetro.



Figura 3.50 Velocidad del viento medida.

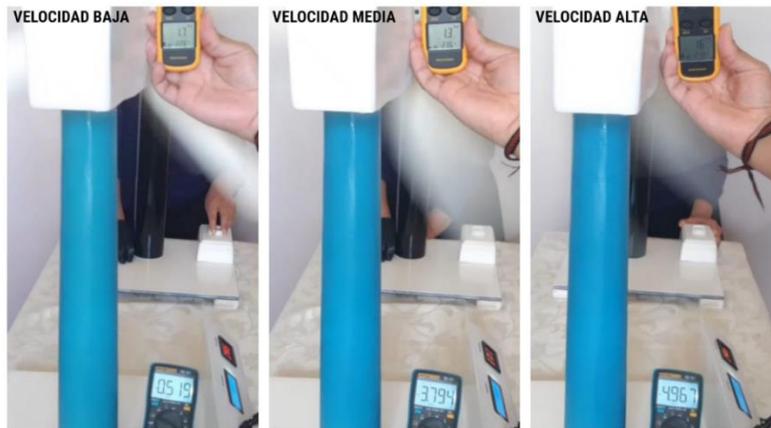


Figura 3.51 Velocidad que deja pasar el aerogenerador.

Tabla 3.7 Datos de velocidad del viento tomados

Potencia del ventilador	Velocidad sin aerogenerador (m/s)	Velocidad con aerogenerador (m/s)	Velocidad del viento aprovechada (m/s)
Baja	2.3	1.7	0.6
Media	3.7	1.3	2.4
Alta	5.7	1.6	4.1

La prueba puede observarse escaneando el código QR de la **Figura 3.48**, en la sección 3. En la **Tabla 3.8** se observa los datos de voltaje producidos por el aerogenerador y la velocidad de viento aprovechada por este y en la **Figura 3.52** se observa la gráfica de estos datos.

Tabla 3.8 Voltaje generado vs velocidad del viento aprovechada

Velocidad	Voltaje	Velocidad del viento aprovechada (m/s)
Baja	0.519	0.6
Media	3.794	2.4
Alta	4.967	4.1

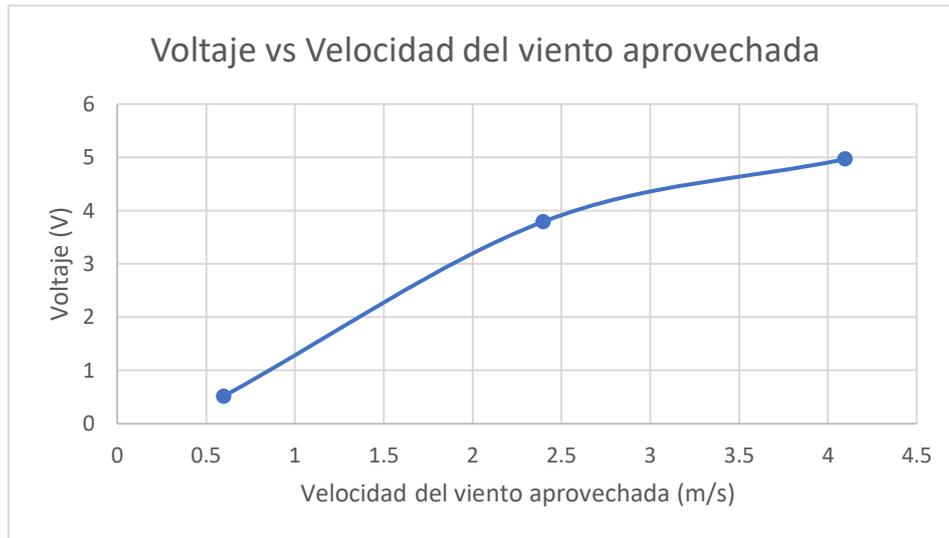


Figura 3.52 Gráfica voltaje vs velocidad aprovechada.

Prueba de resistencia y funcionalidad del módulo

En la prueba de resistencia y funcionalidad se tomó en cuenta la alineación del eje, movilidad de las aspas, cableado y resistencia al peso de la estructura. En la **Tabla 3.9** se observa el resultado de las pruebas.

Tabla 3.9 Resultados de la prueba de resistencia y funcionalidad.

Parte	Funcionalidad
Aspas	CORRECTO
Góndola	CORRECTO
Torre	CORRECTO
Base	CORRECTO
Tablero	CORRECTO
Dimmer	CORRECTO
Alineación de ejes	CORRECTO
Instrumentos de medición	CORRECTO
Cableado	CORRECTO

3.6 Manual de uso y mantenimiento

Para facilitar el uso y mantenimiento del módulo se realizaron dos videos explicativos a los cuales se puede acceder escaneando los códigos QR de la **Figura 3.53** y **Figura 3.54** respectivamente.



Figura 3.53 Código QR para el video de manual de usuario.



Figura 3.54 Código QR para el video de mantenimiento.

3.7 Hojas guía de laboratorio

Se elaboraron dos hojas guías de laboratorio para que los estudiantes se familiaricen con los módulos y puedan aplicar los conocimientos teóricos adquiridos en clases. Las hojas guía dispuestas para las practicas se encuentran en el **Anexo 5**.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- La resistencia de carga del circuito rectificador debe ser correctamente calibrada para que permita la correcta descarga del capacitor, si la resistencia es muy baja el voltaje de salida no será estable, si la resistencia es muy alta no se descargará de manera eficiente, el rango de resistencias se encuentra entre los 100 (Ω) y 1.5 ($k\Omega$).
- La capacitancia del circuito rectificador debe ser como mínimo de 3333 (μF), se puede usar capacitores de capacitancia superior ya que estos ayudaran a reducir el voltaje de rizado con mayor eficiencia, sin embargo, se debe tener en cuenta que los capacitores de mayor capacitancia tienen un elevado costo.
- La correcta alineación del eje influye en la duración y rendimiento del aerogenerador, por este motivo se optó por el uso de chumaceras lubricadas por grasa, usadas en maquinaria de impresión 3D.
- El eje debe poder soportar la fuerza del giro de las aspas por este motivo se optó por el uso de acero inoxidable de 8 (mm) de diámetro.
- Para permitir que el aerogenerador cumpla su función se debe romper la inercia por lo cual se le debe dar un cuarto de giro para que empiece su funcionamiento, sin embargo, esta acción no sería necesaria si la velocidad del viento es superior a los 7m/s.
- Tomando en cuenta que los pines de salida de voltaje del Arduino UNO, son los proveedores de energía tanto para el LCD 16x2 y el voltímetro digital, y a su vez el Arduino puede ser alimentado por medio del cable USB tipo B, 5 (V), o con una fuente de entre 7 y 12 (V) en el Jack de alimentación, el brillo del LCD puede ser regulado con la perilla que se encuentra en el tablero de instrumentos (dependiendo de la alimentación del Arduino Uno), esto para que se pueda percibir de manera correcta los valores mostrados.
- Debido a que los módulos serán usados dentro del laboratorio y deben ser manipulados por los estudiantes se optó por materiales como la madera, tubo PVC y acrílico, ya que estos son duraderos y livianos permitiendo a los estudiantes la correcta maniobrabilidad con los módulos.
- El voltaje producido por el aerogenerador llega a los 5 (V) y la velocidad del viento se incrementa, dicho voltaje aumentará ligeramente, pero volverá a estabilizarse en su valor máximo.

- Los instrumentos de medición utilizados en el módulo permiten el registro y análisis de variables físicas y eléctricas, lo cual es muy importante para comprender los principios de funcionamiento de un aerogenerador y la utilización del recurso eólico como fuente de energía.
- La curva de respuesta entre el voltaje generado con la velocidad del viento aprovechada por el aerogenerador es lineal, debido a que si aumenta la velocidad del viento también lo hace de forma proporcional el voltaje a la salida.

4.2 Recomendaciones

- Antes de utilizar los módulos eólicos, hacer uso de la llave Allen número 6 para verificar si las aspas se encuentran correctamente ajustadas al eje.
- Si se desea mejorar el módulo con funciones complementarias, se recomienda utilizar los pines analógicos y pines digitales 1,3,10,11,12,13,14 los cuales se encuentran libres.
- Si es necesario cambiar la placa de procesamiento para posibles actualizaciones se debe tener en cuenta que el pin de salida del sensor de velocidad debe ir conectada a un puerto que pueda trabajar con interrupciones, por lo tanto, el algoritmo de supervisión debe modificarse para funcionar correctamente.
- Por seguridad de los usuarios, el módulo ventilador debe ser sujeto durante su funcionamiento. Para evitar esta acción se recomienda colocar un riel graduado que sujete el ventilador y el aerogenerador, evitando así posibles afectaciones a los usuarios.
- La parte posterior de la malla del módulo ventilador siempre debe estar libre de impurezas u objetos extraños, ya que si se obstruye puede provocar sobrecalentamiento y daños en el módulo.
- Tener en cuenta las magnitudes que serán medidas al utilizar los módulos, si se mide únicamente voltaje se debe puentear la bornera de corriente con el común, esta acción conecta la resistencia de carga, de no ser así conectar el amperímetro en la bornera de corriente y la bornera común. Para ayuda visual observar el video de “Manual de Usuario” **Figura 3.53**.
- De darse el caso en el que el LCD no muestre datos, aún después de manipular la perilla de contraste, abrir el tablero de medición y revisar que las conexiones se encuentren en el orden correcto, todos los cables se encuentran etiquetados con el pin de Arduino al que corresponden.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] REVE, «Ecuador, potencia renovable,» 31 Marzo 2015. [En línea]. Available: <https://www.ewind.com/2015/03/31/ecuador-potencia-de-energias-renovables/>.
- [2] D. e. Telégrafo, «Las renovables son el futuro energético de Ecuador,» 25 Enero 2020. [En línea]. Available: <https://www.ewind.com/2020/01/25/las-renovables-son-el-futuro-energetico-de-ecuador/#:~:text=En%20Ecuador%20es%20un%20tema,de%20combustibles%20de%20origen%20f%C3%B3sil..>
- [3] Á. I. R. S. V. F. E. C. Q. V. C. y P. Palacios, «Produccion de energia eólica en el Ecuador vol III,» *Ciencia Digital*, pp. 22-32, 2019.
- [4] TechCDM, «La Energía eólica en el Ecuador,» 15 Marzo 2019. [En línea]. Available: www.tech4cdm.com..
- [5] E. Carrión, «Eólica en Ecuador: Loja, gran potencial en recurso eólico y en radiación solar,» 7 Agosto 2019. [En línea]. Available: <https://www.ewind.com/2019/08/07/eolica-en-ecuador-loja-gran-potencial-en-recurso-eolico-y-en-radiacion-solar/>.
- [6] Factor energía, «Energía eólica. Qué es, cómo funciona, ventajas y desventajas,» 23 Julio 2018. [En línea]. Available: <https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/energia-eolica/>.
- [7] RENOVETEC, «Energía Eólica,» 30 Marzo 2019. [En línea]. Available: <http://www.mantenimientodeaerogeneradores.com/index.php/clasificacion-de-aerogeneradores>.
- [8] ESFOT, «Tecnología Superior en Electromecánica - TSEM,» 9 Junio 2021. [En línea]. Available: <https://esfot.epn.edu.ec/index.php/oferta-academica/tecnologia-superior-en-electromecanica>.
- [9] Laboratorio de Electrónica, «Proteus,» 11 Noviembre 2018. [En línea]. Available: <http://labelectronica.weebly.com/proteus.html>.

- [10] J. E. Crespo, «Interrupciones Arduino,» 13 Noviembre 2016. [En línea]. Available: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/11/13/interrupciones/>.
- [11] J. L. Quijado, «La librería LiquidCrystal,» 2 Abril 2016. [En línea]. Available: <https://eldesvandejose.com/2016/04/02/la-libreria-liquidcrystal/>.

ANEXOS

ANEXO 1: CERTIFICADO DE FUNCIONAMIENTO



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

Campus Politécnico "J. Rubén Orellana R

Quito, 24 de agosto de 2021

CERTIFICADO DE FUNCIONAMIENTO DE PROYECTO DE TITULACIÓN

Yo, Alan Daniel Cuenca Sánchez, docente a tiempo completo de la Escuela Politécnica Nacional y como director de este trabajo de titulación, certifico que he constatado el correcto funcionamiento de los módulos eólicos, los cuales fueron implementados por el estudiante Guanoluisa Torres Carlos Andrés.

El proyecto cumple con los requerimientos de diseño y parámetros necesarios para que los usuarios de la ESFOT puedan usar los módulos con seguridad para los equipos y las personas.

DIRECTOR

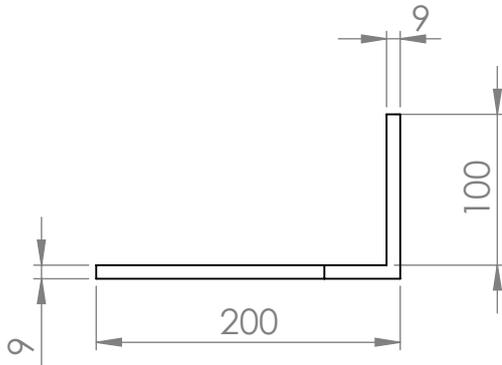
Ing. Alan Daniel Cuenca Sánchez., Msc.

Ladrón de Guevara E11-253, Escuela de Formación de Tecnólogos, Oficina 22. EXT: 2736
email: alan.cuenca@epn.edu.ec

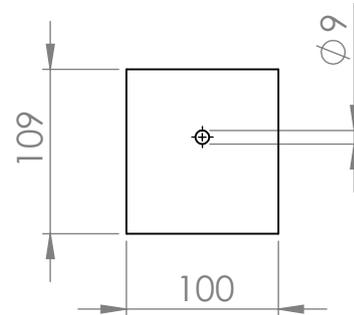
Quito-Ecuador

ANEXO 2: PLANOS Y ESQUEMAS

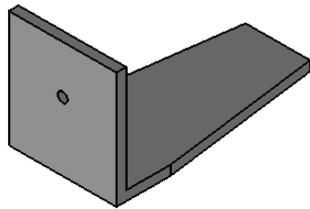
Vista lateral izquierda



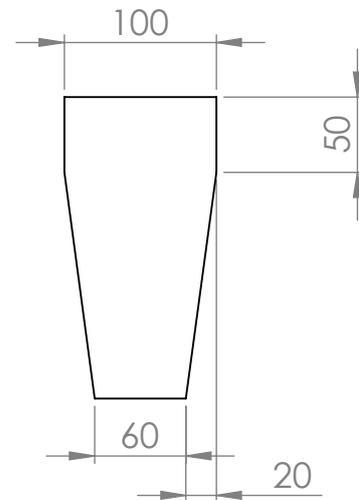
Vista Frontal



Vista Isométrica



Vista Inferior



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT

Base de la góndola
del aerogenerador

**TRATAMIENTO
TÉRMICO:** N/A

MATERIAL:
Madera

ESCALA: 1:5

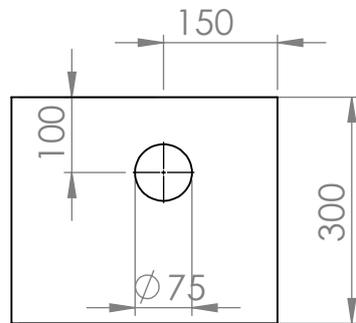
FORMATO: A4

DISEÑADO POR:
Carlos Andrés Guanoluisa Torres

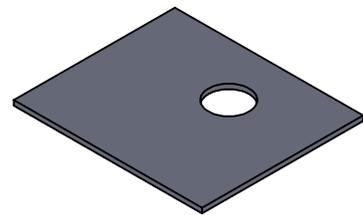
FECHA: 24/08/2021

LÁMINA: 1

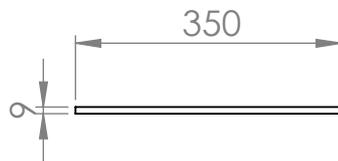
Vista Superior



Vista Isométrica



Vista Lateral



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT

Base del módulo
aerogenerador

**TRATAMIENTO
TÉRMICO:** N/A

MATERIAL:
Madera

ESCALA: 1:10

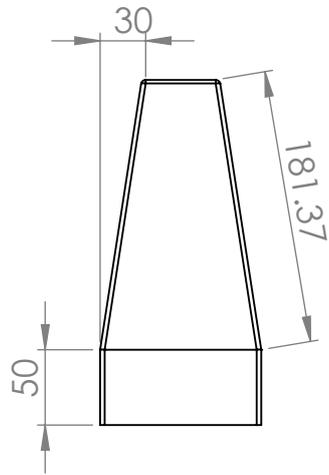
FORMATO: A4

DISEÑADO POR:
Carlos Andrés Guanoluisa Torres

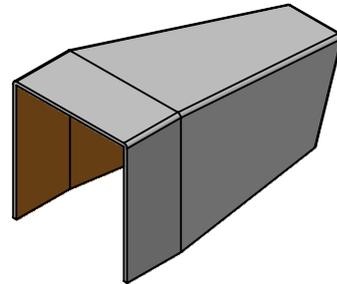
FECHA: 24/08/2021

LÁMINA: 2

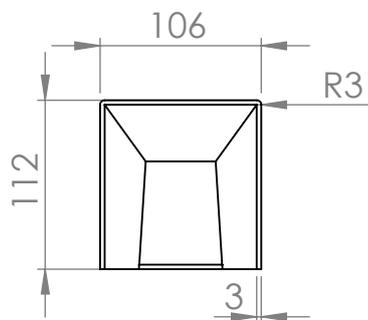
Vista Superior



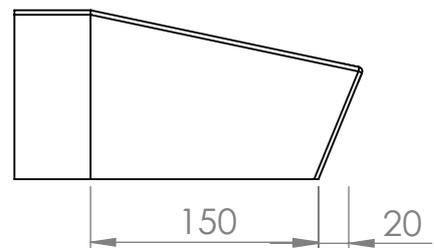
Vista Isométrica



Vista Frontal



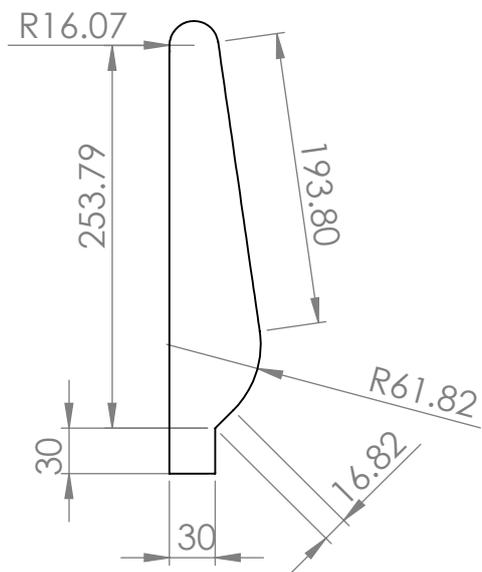
Vista Lateral Derecha



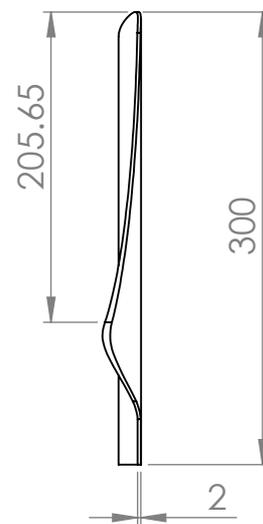
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT

Cubierta de la góndola del aerogenerador	TRATAMIENTO TÉRMICO: N/A	MATERIAL: Fibra de vidrio
	ESCALA: 1:5	FORMATO: A4
DISEÑADO POR: Carlos Andrés Guanoluisa Torres	FECHA: 24/08/2021	LÁMINA: 3

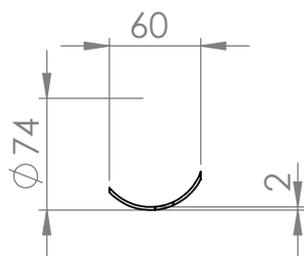
Vista Frontal



Vista Lateral Derecha



Vista Inferior



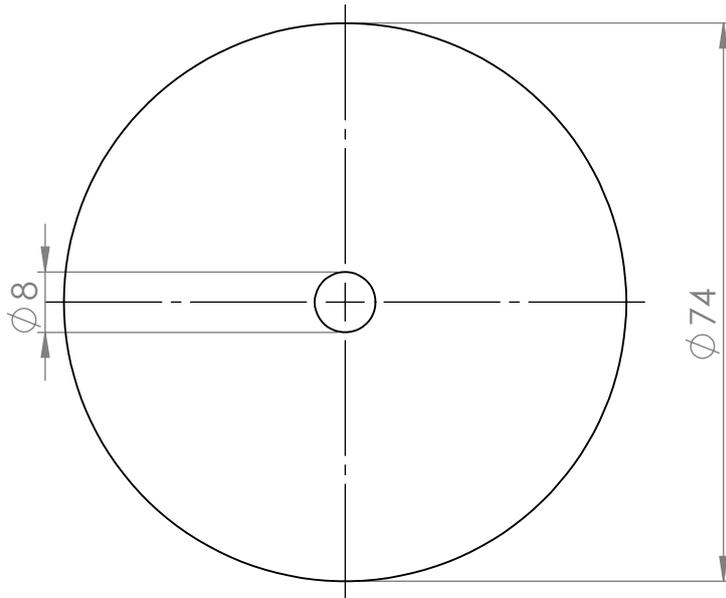
Vista Isométrica



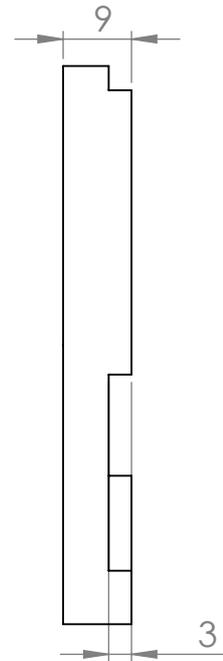
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT

Aspa	TRATAMIENTO TÉRMICO: N/A	MATERIAL: PVC
	ESCALA: 1:5	FORMATO: A4
DISEÑADO POR: Carlos Andrés Guanoluisa Torres	FECHA: 24/08/2021	LÁMINA: 4

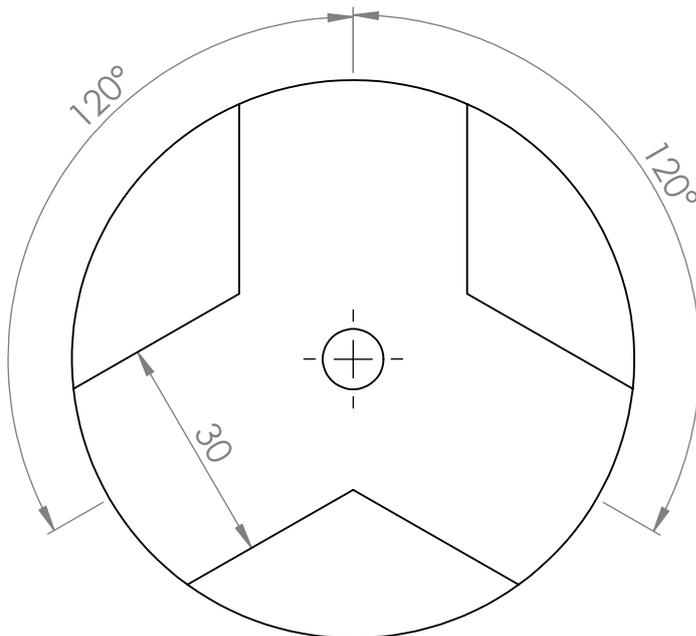
Vista Frontal



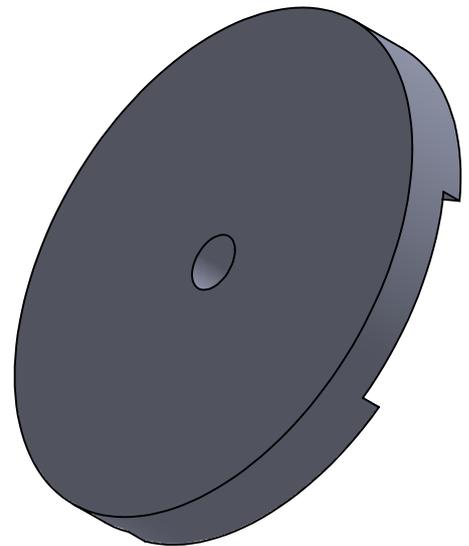
Vista Lateral



Vista Posterior



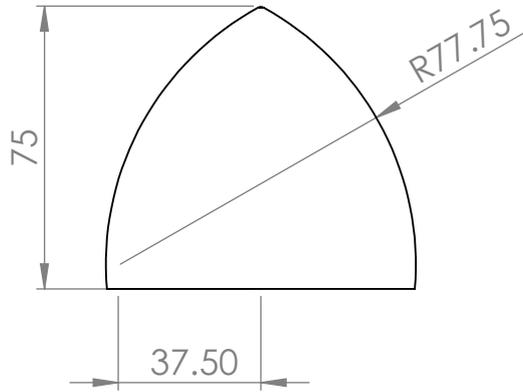
Vista Isométrica



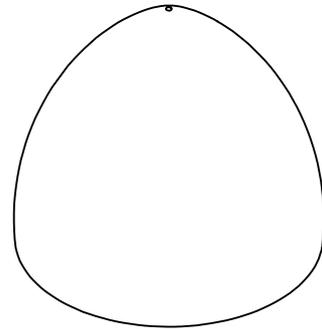
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT

Base de las aspas	TRATAMIENTO TÉRMICO: N/A	MATERIAL: Madera
	ESCALA: 1:1	FORMATO: A4
DISEÑADO POR: Carlos Andrés Guanoluisa Torres	FECHA: 24/08/2021	LÁMINA: 5

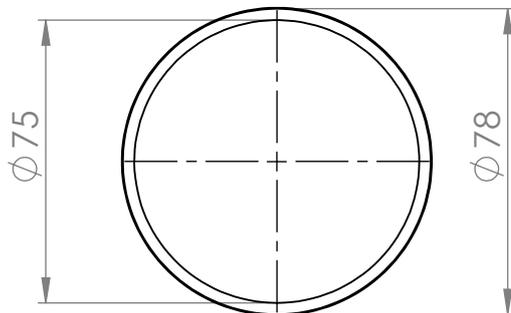
Vista Lateral



Vista Isométrica



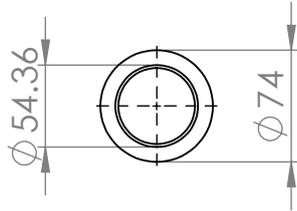
Vista Inferior



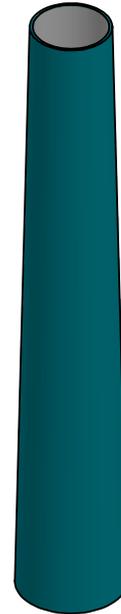
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT

Naríz del Aerogenerador	TRATAMIENTO TÉRMICO: N/A	MATERIAL: PVC
	ESCALA: 1:2	FORMATO: A4
DISEÑADO POR: Carlos Andrés Guanoluisa Torres	FECHA: 24/08/2021	LÁMINA: 6

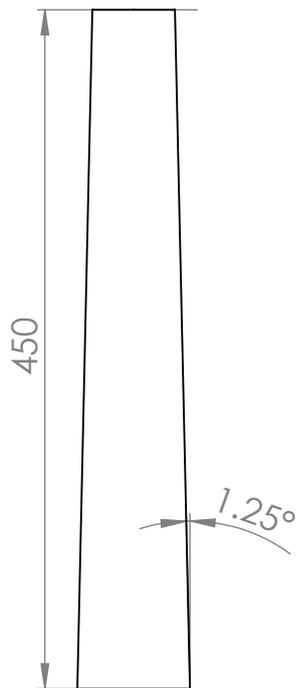
Vista Superior



Vista Isométrica



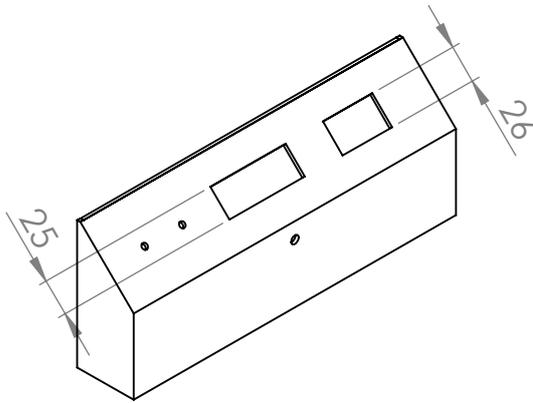
Vista Frontal



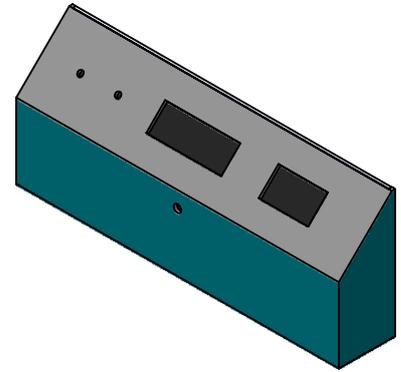
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT

Torre del aerogenerador	TRATAMIENTO TÉRMICO: N/A	MATERIAL: PVC
	ESCALA: 1:5	FORMATO: A4
DISEÑADO POR: Carlos Andrés Guanoluisa Torres	FECHA: 21/08/2021	LÁMINA: 7

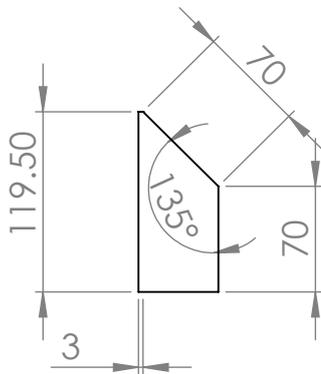
Vista Isométrica Izquierda



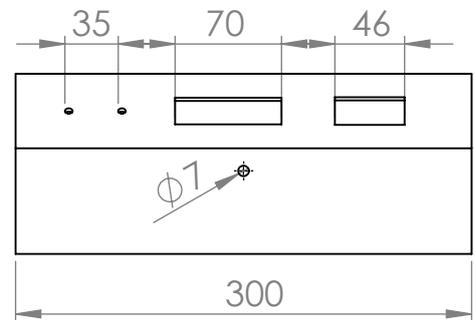
Vista Isométrica



Vista Lateral Izquierda



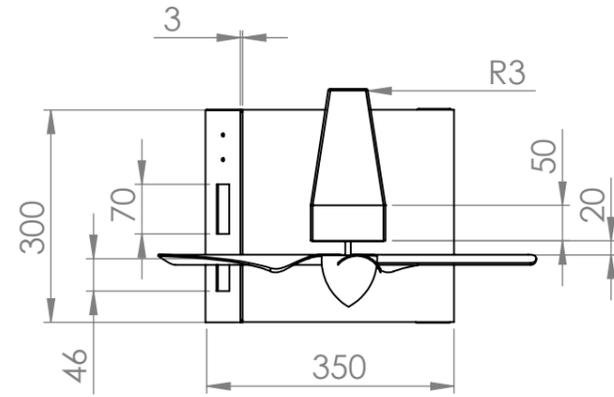
Vista Frontal



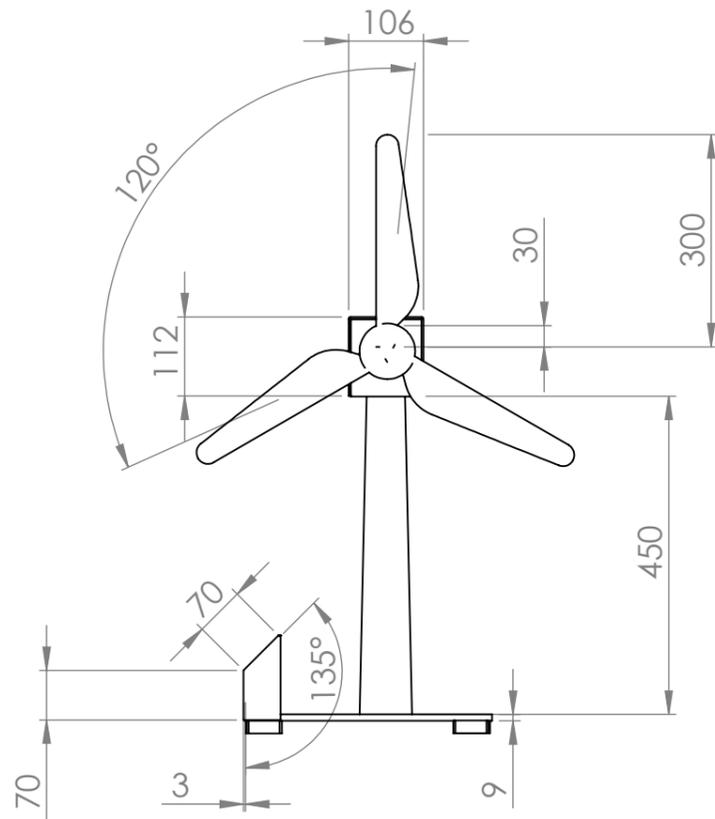
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT

Tablero del aerogenerador	TRATAMIENTO TÉRMICO: N/A	MATERIAL: Acrílico
	ESCALA: 1:5	FORMATO: A4
DISEÑADO POR: Carlos Andrés Guanoluisa Torres	FECHA: 24/08/2021	LÁMINA: 8

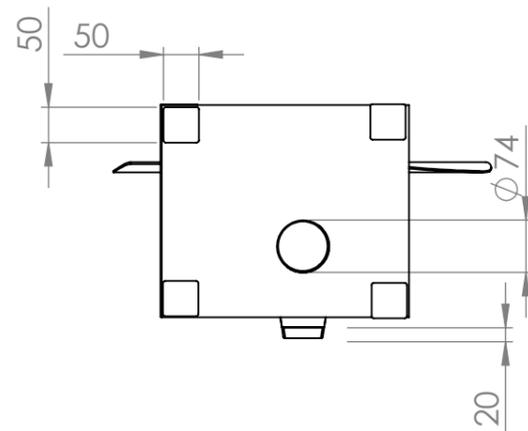
Vista Superior



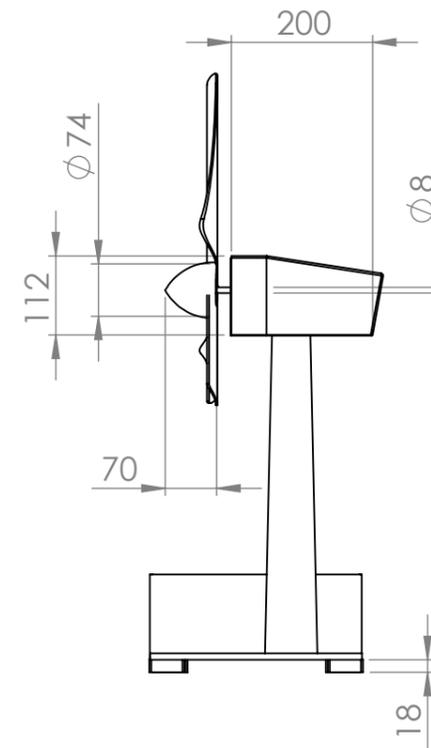
Vista Frontal



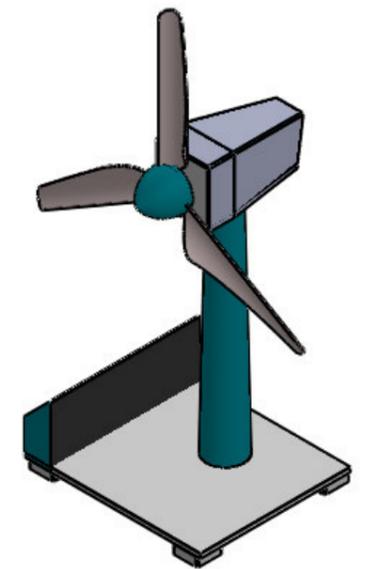
Vista Inferior



Vista Lateral



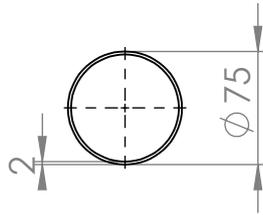
Vista Isométrica



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT

Módulo aerogenerador	TRATAMIENTO TÉRMICO: N/A	MATERIAL: PVC - Madera
	ESCALA: 1:10	FORMATO: A3
DISEÑADO POR: CARLOS ANDRÉS GUANOLUISA TORRES	FECHA: 24/08/2021	LÁMINA: 9

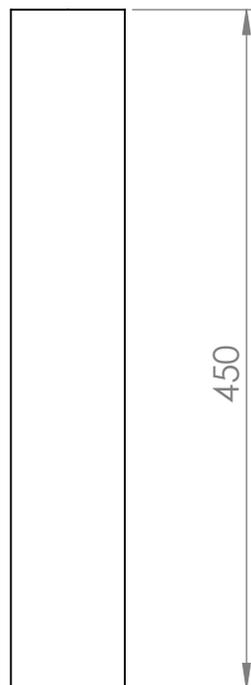
Vista Superior



Vista Isométrica



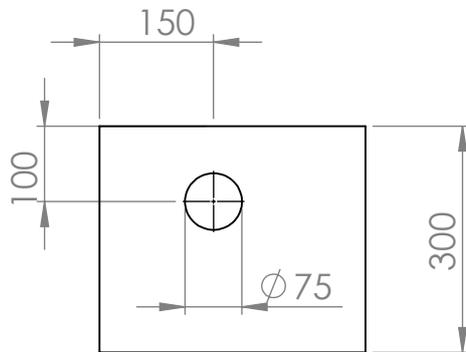
Vista Lateral



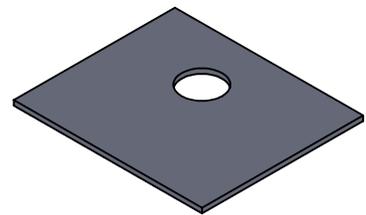
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT

Torre del módulo ventilador	TRATAMIENTO TÉRMICO: N/A	MATERIAL: PVC
	ESCALA: 1:5	FORMATO: A4
DISEÑADO POR: Carlos Andrés Guanoluisa Torres	FECHA: 24/08/2021	LÁMINA: 10

Vista Superior



Vista Isométrica



Vista Lateral



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT

Base del módulo ventilador

TRATAMIENTO TÉRMICO: N/A

MATERIAL:
Madera

ESCALA: 1:10

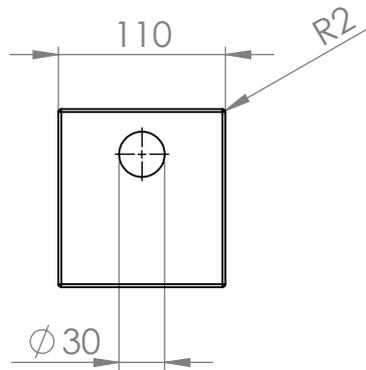
FORMATO: A4

DISEÑADO POR:
Carlos Andrés Guanoluisa Torres

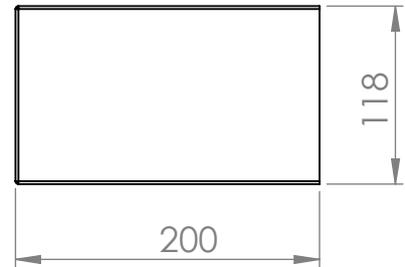
FECHA: 24/08/2021

LÁMINA: 11

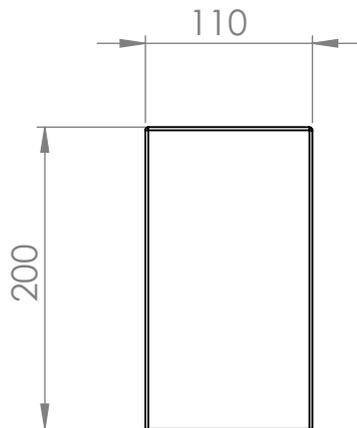
Vista Frontal



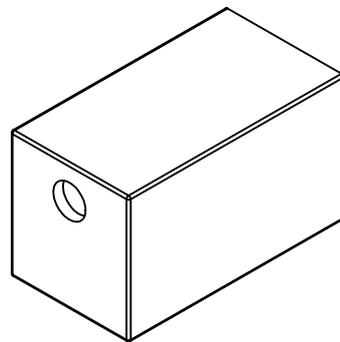
Vista Lateral



Vista Inferior



Vista Isométrica



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT

Góndola del ventilador

**TRATAMIENTO
TÉRMICO:** N/A

MATERIAL:
Madera

ESCALA: 1:5

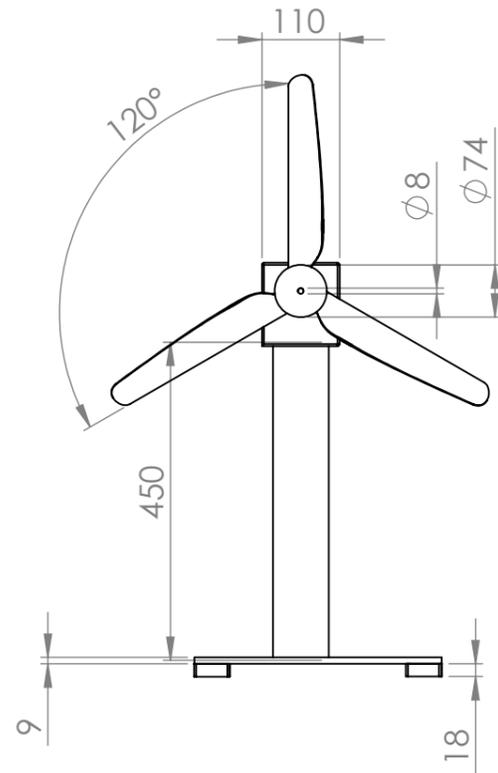
FORMATO: A4

DISEÑADO POR:
Carlos Andrés Guanoluisa Torres

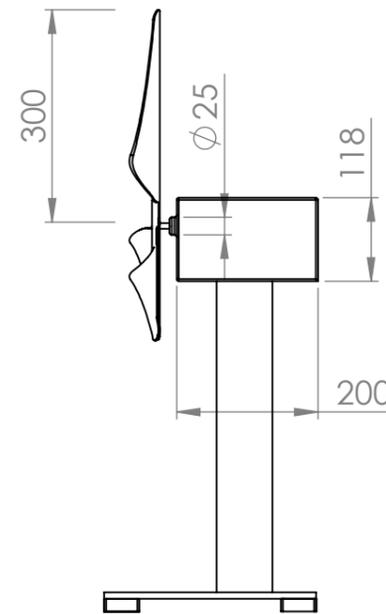
FECHA: 24/08/2021

LÁMINA: 12

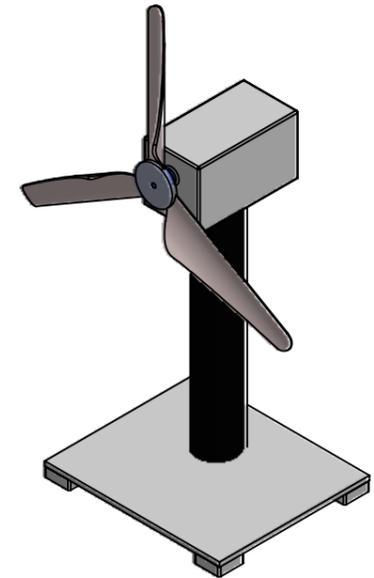
Vista Frontal



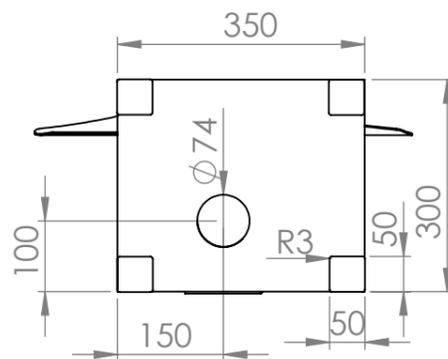
Vista Lateral Derecha



Vista Isométrica



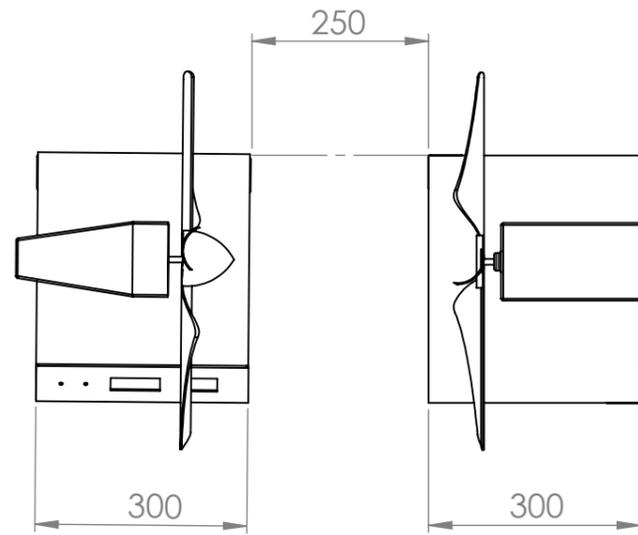
Vista Inferior



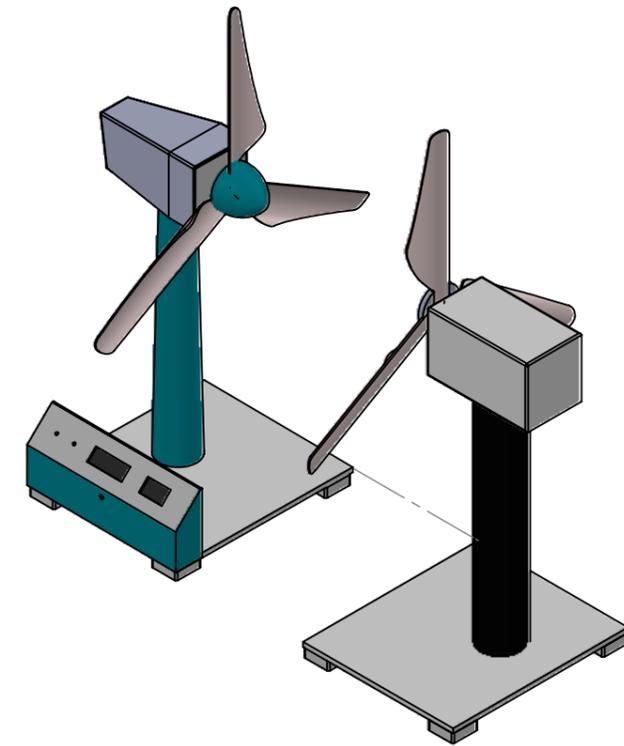
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT

Módulo ventilador	TRATAMIENTO TÉRMICO: N/A	MATERIAL: PVC - Madera
	ESCALA: 1:10	FORMATO: A3
DISEÑADO POR: CARLOS ANDRÉS GUANOLUISA TORRES	FECHA: 24/08/2021	LÁMINA: 13

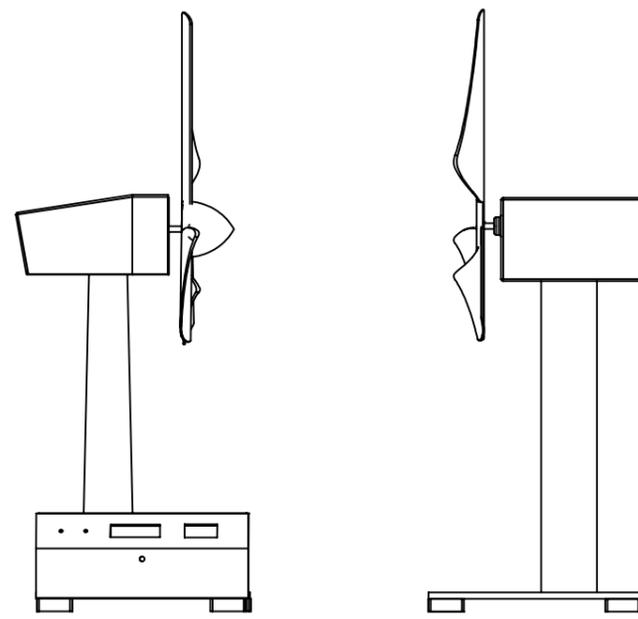
Vista Superior



Vista Isométrica

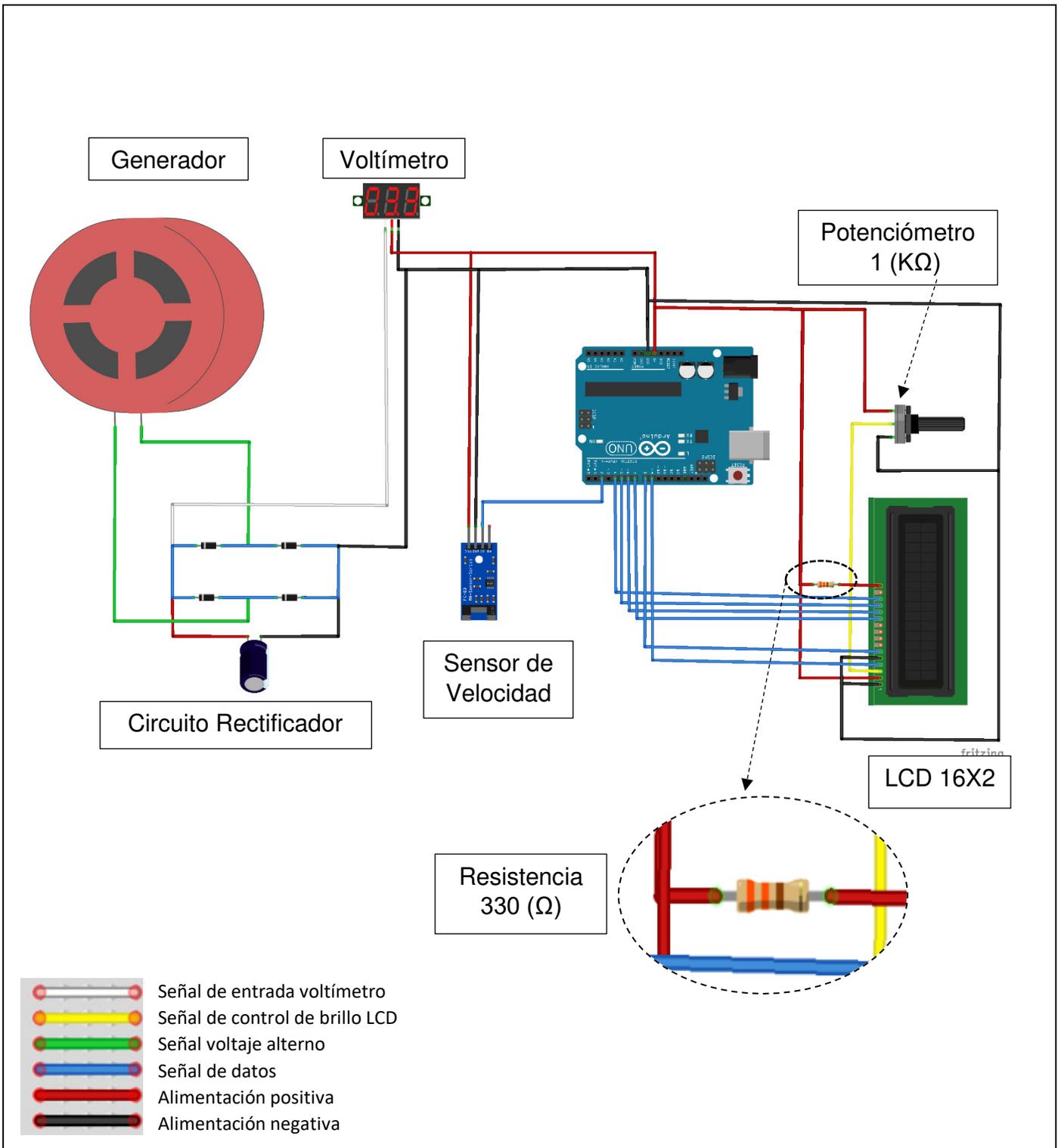


Vista Lateral



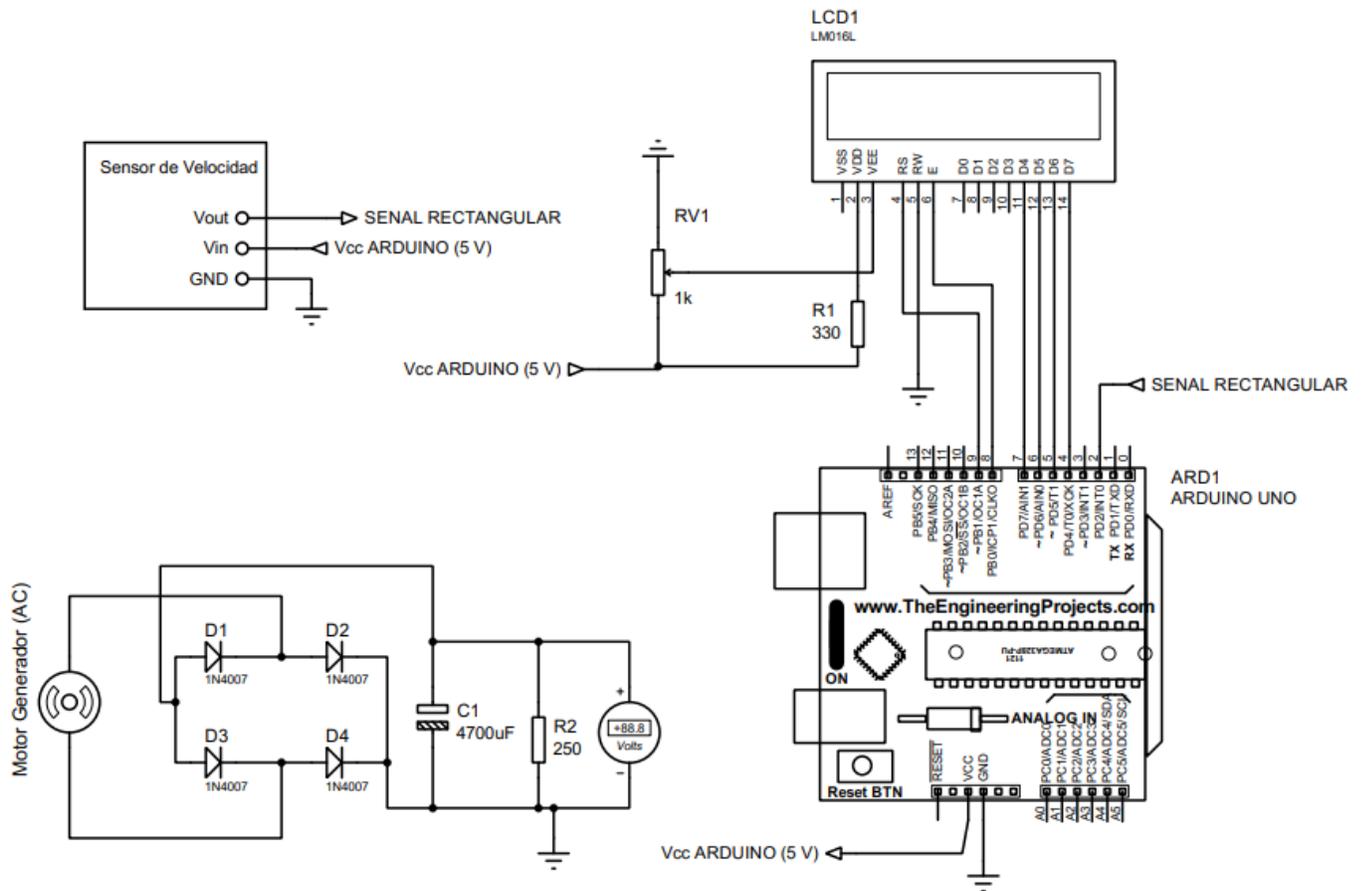
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT

Disposición de los módulos	TRATAMIENTO TÉRMICO: N/A	MATERIAL: PVC / Madera
	ESCALA: 1:10	FORMATO: A3
DISEÑADO POR: CARLOS ANDRÉS GUANOLUISA TORRES	FECHA: 24/08/2021	LÁMINA: 14



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT

Esquema de conexiones	TRATAMIENTO TÉRMICO: N/A	MATERIAL: N/A
	ESCALA: N/A	FORMATO: A4
DISEÑADO POR: Carlos Andrés Guanoluisa Torres	FECHA: 24/08/2021	LÁMINA: 15



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT

Esquema Electrónico	TRATAMIENTO TÉRMICO: N/A	MATERIAL: N/A
	ESCALA: N/A	FORMATO: A4
DISEÑADO POR: Carlos Andrés Guanoluisa Torres	FECHA: 24/08/2021	LÁMINA: 16

ANEXO 3: ALGORITMO DE MEDICIÓN Y SUPERVISIÓN

```

#include <LiquidCrystal.h>

LiquidCrystal lcd(9,8,7,6,5,4); //RS,E,D4,D5,D6,D7(9,8,7,6,5,4)

volatile int contador =0;
unsigned int espacios = 20; //muescas del encoder
const int diametro = 26; //diametro en milimetros
float radio = 0;
float velocidad = 0; //velocidad en m/s
unsigned int RPM=0;
void setup() {

    attachInterrupt(0,interrupcion,RISING); // interrupción
    lcd.setBacklightPin(3,POSITIVE);
    lcd.setBacklight(HIGH);
    lcd.begin(16,2);
    lcd.clear();

}

void loop() {
    delay(999);
    RPM=contador*(60/espacios); //Calculo de RPM
    velocidad = (RPM*3.1416/60000)*diametro; // (RPM*Pi*diametro/60*1000)
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print(RPM);
    lcd.print(" RPM ");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Vel. = ");
    lcd.print(velocidad,2);
    lcd.print(" m/s");
    contador =0; //encerar contador para empezar de nuevo

}

void interrupcion(){
    contador++; //Aumenta contador
}

```

ANEXO 4: DATOS TÉCNICOS

Tabla A. 1 Datos técnicos del motor generador.

Característica	Valor
Tipo	Monofásico de inducción
Tipo de rotor	Jaula de Ardilla
Frecuencia	60 (Hz)
Velocidad de giro	2700 (RPM)
Voltaje de alimentación	110 (V)
Potencia	35 (W)
Impedancia	150-180 (Ω)

Tabla A. 2 Datos técnicos sensor Im 393.

Característica	Datos
Tensión de alimentación (Vcc)	2.3 a 12 (V)
Tiempo de respuesta	1.3 (μ seg)
Señal de salida	Cuadrada
Salida en cortocircuito con tierra	Continuo
Temperatura de operación	0 a 70 ($^{\circ}$ C)
Encapsulados	PDI-8, SOIC-8
Voltaje de salida compatible con niveles lógicos DTL, ECL, TTL, MOS y CMOS	

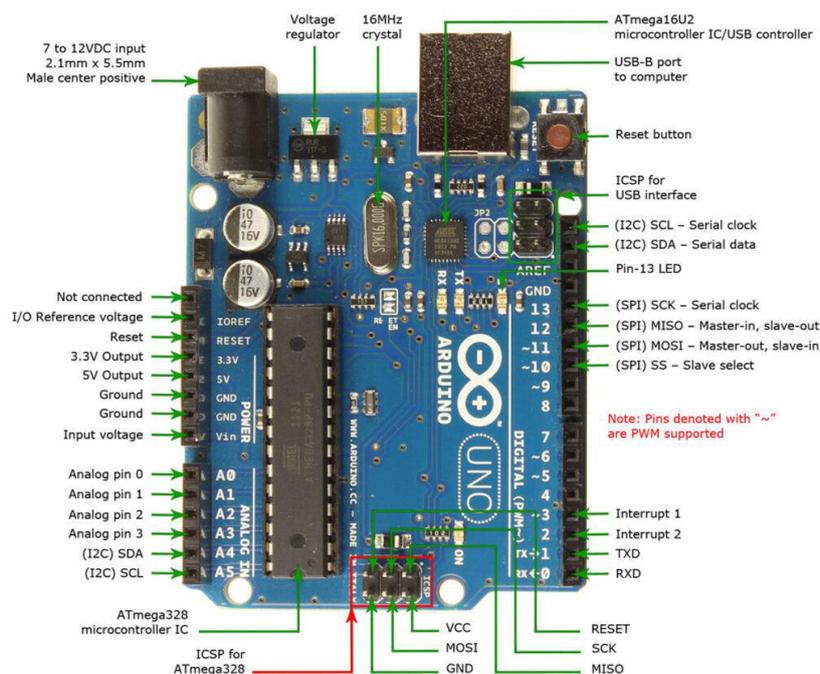


Figura A. 1 Distribución de pines Arduino Uno

Tabla A. 3 Datos técnicos Arduino Uno.

Microcontrolador	ATmega328P
Tensión de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12 V
Voltaje de entrada (límite)	6-20 V
Pines de E / S digitales	14 (de los cuales 6 proporcionan salida PWM)
Pines de E / S digitales PWM	6
Pines de entrada analógica	6
Corriente CC por pin de E / S	20 mA
Corriente CC para pin de 3.3V	50 mA
Memoria flash	32 KB (ATmega328P) de los cuales 0,5 KB utiliza el gestor de arranque
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Velocidad de reloj	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Largo	68,6 milímetros
Ancho	53,4 milímetros
Peso	25 g

Tabla A. 4 Datos técnicos del voltímetro digital.

Característica	Valor
Voltaje de Alimentación	4.00 a 9.00 (V)
Rango de medición	0.00 a 29.9 (V)
Polaridad de entrada	Tensión DC
Precisión de medición	1 % (+/- 1 dígito)
Velocidad de actualización	500 (ms)
Temperatura de funcionamiento	10 a 65 (°C)
Tamaño	48 (mm) x 29 (mm) x 20 (mm)

Tabla A. 5 Datos técnicos dimmer 600 (W) Volteck.

Característica	Valor
Color	Marfil
Tensión	120 V
Frecuencia	60 Hz
Potencia	600 W
Peso	87 g

ANEXO 5: HOJAS GUÍA



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

GUIA DE PRÁCTICAS (para Estudiantes)
LABORATORIO TALLER
No. Práctica:

CARRERA: ASA ___ ASI ___ EM _X_ ET ___
ASIGNATURA: Energías Alternativas CÓDIGO: TEMR442 GRUPO: ___
FECHA: (dd/mm/aa)

APELLIDOS Y NOMBRES :

CÉDULA DE IDENTIDAD:

1. PROPÓSITO DE LA PRÁCTICA:

Introducir a los estudiantes al uso de los módulos eólicos, dando a conocer las partes principales del módulo y el funcionamiento correcto del mismo.

2. OBJETIVO GENERAL:

Aplicar los conocimientos de energía eólica para comprender el funcionamiento de un aerogenerador didáctico.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- * Familiarizar al estudiante con los módulos eólicos.
- * Distinguir las partes principales de los módulos eólicos.
- * Conocer el procedimiento correcto para el uso de los módulos eólicos.

4. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES Y PROCEDIMIENTO DE LA PRÁCTICA:

- * Ver el video de "Manual de Usuario" de los módulos eólicos.
- * Identificar las partes del módulo eólico.
- * Encender los módulos y prepararlos para su funcionamiento.
- * Poner en funcionamiento los módulos y tomar valores aleatorios de voltajes generados con su respectiva velocidad de giro del eje del generador.



5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS:

6. RESULTADOS

7. CONCLUSIONES

8. BIBLIOGRAFÍA REFERENCIAL:

FIRMA DEL ESTUDIANTE



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

GUIA DE PRÁCTICAS
LABORATORIO TALLER x
No. Práctica:

CARRERA: ASA ___ ASI ___ EM _X_ ET ___
ASIGNATURA: Energías Alternativas CÓDIGO: TEMR442 GRUPO: _____

FECHA: (dd/mm/aa)

APELLIDOS Y NOMBRES :

CÉDULA DE IDENTIDAD:

1. PROPÓSITO DE LA PRÁCTICA: Relacionar el voltaje, corriente, velocidad de giro del motor y velocidad del viento producida por el módulo generador.

2. OBJETIVO GENERAL: Usar los módulos eólicos para realizar mediciones de voltaje, corriente, velocidad de giro del generador y relacionarlas con la velocidad de viento del módulo generador.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- * Hacer uso correcto de los instrumentos de medición en el módulo.
- * Relacionar el voltaje generado con la corriente generada para calcular la potencia.
- * Relacionar el voltaje generado con la velocidad de viento producida por el módulo generador de viento.

4. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES Y PROCEDIMIENTO DE LA PRÁCTICA:

- * Observar el video de "*Pruebas de funcionamiento*" para medir de forma correcta las magnitudes requeridas.
- * Tomar medidas de voltaje, corriente, velocidad de giro del rotor y velocidad de viento producido por el módulo generador de viento, de ser posible grabar el proceso para tomar las medidas con mayor precisión.
- * Realizar las gráficas de voltaje en relación a la corriente, voltaje en relación a la velocidad de giro del rotor y voltaje en relación velocidad del viento.



5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS:

6. RESULTADOS

7. CONCLUSIONES

8. BIBLIOGRAFÍA REFERENCIAL:

FIRMA DEL ESTUDIANTE