

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS**

### **IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RECEPCIÓN DE DATOS PARA MÓDULOS DIDÁCTICOS DE ENERGÍA EÓLICA PARA EL LTI-ESFOT**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
TECNÓLOGO EN ELECTROMECAÁNICA / TECNÓLOGO EN ELECTRÓNICA  
Y TELECOMUNICACIONES**

**Danny Daniel Carrera Indacochea**

danny.carrera@epn.edu.ec

**Katherin Vanessa Puente Delgado**

katherin.puente@epn.edu.ec

**DIRECTOR: ING. ALAN DANIEL CUENCA SÁNCHEZ, MSC.**

alan.cuenca@epn.edu.ec

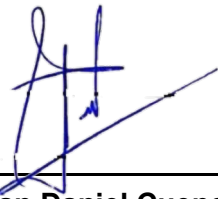
**CODIRECTOR: ING. FABIO MATÍAS GONZÁLEZ GONZÁLEZ, MSC.**

fabio.gonzalez@epn.edu.ec

**Quito, enero 2022**

# CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por los estudiantes el Sr Danny Daniel Carrera Indacochea y la Srta. Katherin Vanessa Puente Delgado como requerimiento parcial a la obtención del título de TECNÓLOGO EN ELECTROMECAÁNICA y TECNÓLOGO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES, bajo nuestra supervisión:



---

**Ing. Alan Daniel Cuenca  
Sánchez**

DIRECTOR DEL  
PROYECTO



---

**Ing. Fabio Matías González  
González**

CODIRECTOR DEL  
PROYECTO

## DECLARACIÓN

Nosotros Danny Daniel Carrera Indacochea con CI: 1722642715 y Katherin Vanessa Puente Delgado con CI: 1727409995 declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que hemos 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-, somos titulares de la obra en mención y otorgamos una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva de uso con fines académicos a la Escuela Politécnica Nacional.

Entregamos 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.



---

**Danny Carrera**

ESTUDIANTE



---

**Katherin Puente**

ESTUDIANTE

# **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo a mis padres Cesar y Holanda que me impulsaron a alcanzar mis metas y apoyarme en cada paso.

A mis hermanos Stephano y Valentina que a través de este logro se planteen metas y me superen a cada paso que den.

**Carrera Danny**

# **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mis padres por acompañarme en cada paso que he dado y por sacrificarse junto a mí en cada problema ayudándome a superarlos.

A la Escuela Politécnica Nacional y a la Escuela de Formación de Tecnólogos por acogerme en su templo de conocimiento.

A mi familia en general por el apoyo incondicional.

A mis amigos que no me dejaron desfallecer en momentos de angustia.

**Carrera Danny**

# DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre Isabel por ser mi apoyo incondicional inculcándome día a día responsabilidad, buenos valores, y por ser mi ejemplo de fuerza y resiliencia.

A mis abuelitos que son parte fundamental de mi vida y que me han acompañado a lo largo de mi vida llenándome de amor y sabiduría.

A mi tía Elvira por ser como una segunda madre que siempre me ha brindado cariño y comprensión.

A todos mis amigos que me brindaron una mano amiga en los diferentes momentos difíciles a lo largo de este camino.

**Puente Katherin**

# **AGRADECIMIENTO**

Agradezco primeramente a Dios por permitirme llegar a este momento con salud y con todos mis seres queridos.

A mi familia por el apoyo incondicional y por confiar en mí.

A la Escuela Politécnica Nacional, a la Escuela de Formación de Tecnólogos y todos los profesores que me brindaron su tiempo y conocimiento lo cual hizo posible culminar esta etapa.

A mis amigos que siempre me dieron una mano amiga en los momentos difíciles y en especial a Bryan por siempre confiar en mí.

A mis gatitos por siempre acompañarme cuando estudiaba y realizaba cada una de mis tareas.

**Puente Katherin**

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1   | INTRODUCCIÓN .....   | 1  |
| 1.1 | Objetivo general.....  | 2  |
| 1.2 | Objetivos específicos.....   | 2  |
| 1.3 | Fundamentos .....  | 2  |
|     | <i>Ubidots</i> .....   | 2  |
|     | Energía eólica .....   | 3  |
|     | Comunicación I2C.....  | 5  |
| 2   | METODOLOGÍA.....   | 6  |
| 2.1 | Descripción de la metodología usada .....                          | 6  |
| 3   | RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....                                       | 8  |
| 3.1 | Requerimientos.....  | 8  |
| 3.2 | Planos esquemáticos, eléctricos y electrónicos.....                | 10 |
|     | Módulo Eólico.....   | 10 |
|     | Módulo generador de viento .....                                   | 15 |
|     | Esquema electrónico.....   | 17 |
|     | Módulo de comunicación .....                                       | 17 |
|     | Esquema eléctrico.....   | 18 |
| 3.3 | Construcción de los dos módulos didácticos de energía eólica ..... | 18 |
|     | Estructura .....   | 18 |
|     | Conexiones eléctricas .....  | 24 |
| 3.4 | Comunicación maestro-esclavo. ....                                 | 26 |
| 3.5 | Entorno gráfico para presentación de datos. ....                   | 30 |
| 3.6 | Pruebas y análisis de resultados.....                              | 31 |
|     | Acondicionamiento de voltaje de salida .....                       | 32 |
|     | Prueba de corriente respecto al voltaje generado.....              | 32 |
|     | Prueba de velocidad aprovechada .....                              | 33 |
|     | Prueba de conectividad.....  | 35 |



|   |     |
|---|-----|
| Prueba de funcionalidad .....                                 | 35  |
| 3.7 Manual de Uso y Mantenimiento .....                       | 36  |
| 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....                        | 36  |
| 4.1 Conclusiones.....   | 36  |
| 4.2 Recomendaciones .....                                     | 37  |
| 5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                            | 38  |
| Anexos .....  | 41  |
| Anexo 1: Certificado de Funcionamiento .....                  | i   |
| Anexo 2: Planos y Esquema .....                               | iii |
| Anexo 3: Datos técnicos.....                                  | xvi |
| Anexo 4: Algoritmos para la comunicación maestro-esclavo..... | xix |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1.1</b> Tablero de Ubidots .....  | 3  |
| <b>Figura 1.2</b> Clasificación de los aerogeneradores.....                             | 3  |
| <b>Figura 1.3</b> Tipos de aerogeneradores de eje horizontal .....                      | 4  |
| <b>Figura 1.4</b> Esquema de una turbina eólica .....                                   | 4  |
| <b>Figura 1.5</b> Arquitectura I2C .....  | 5  |
| <b>Figura 3.1</b> Módulo Arduino Uno .....  | 8  |
| <b>Figura 3.2</b> NodeMCU ESP8266 ESP-12E .....   | 9  |
| <b>Figura 3.3</b> Bomba de drenaje de lavadora Samsung.....                             | 10 |
| <b>Figura 3.4</b> Esquema de la base de la góndola. ....                                | 10 |
| <b>Figura 3.5</b> Esquema de la góndola del módulo eólico. ....                         | 11 |
| <b>Figura 3.6</b> Esquema del aspa. ....  | 11 |
| <b>Figura 3.7</b> Esquema de la base de las aspas.....                                  | 12 |
| <b>Figura 3.8</b> Esquema de la Nariz.....  | 12 |
| <b>Figura 3.9</b> Esquema de la torre.....  | 13 |
| <b>Figura 3.10</b> Esquema del tablero .....  | 13 |
| <b>Figura 3.11</b> Esquema de la base.....  | 14 |
| <b>Figura 3.12</b> Esquema y dimensiones de la góndola. ....                            | 14 |
| <b>Figura 3.13</b> Esquema y dimensiones de la torre. ....                              | 15 |
| <b>Figura 3.14</b> Diseño 3D del módulo eólico.....                                     | 15 |
| <b>Figura 3.15</b> Diseño 3D del generador de viento. ....                              | 16 |
| <b>Figura 3.16</b> Esquema del circuito rectificador.....                               | 16 |
| <b>Figura 3.17</b> Diseño de PCB.....   | 17 |
| <b>Figura 3.18</b> Esquema del módulo de comunicación. ....                             | 17 |
| <b>Figura 3.19</b> Góndola. ....  | 18 |
| <b>Figura 3.20</b> Vista frontal del aspa.....  | 19 |
| <b>Figura 3.21</b> Aspa cortada y lijada.....   | 19 |
| <b>Figura 3.22</b> Torre adherida a la base. ....                                       | 20 |
| <b>Figura 3.23</b> Módulo eólico.....   | 20 |
| <b>Figura 3.24</b> Módulo generador de viento.....                                      | 21 |
| <b>Figura 3.25</b> Base con aspas.....  | 21 |
| <b>Figura 3.26</b> Acople flexible.....   | 22 |
| <b>Figura 3.27</b> a) Chumacera de 8 (mm), b) Junta fija de 8 (mm).....                 | 22 |
| <b>Figura 3.28</b> a) Copa de vino blanco plástica, b) nariz del módulo generador. .... | 23 |
| <b>Figura 3.29</b> Ensamble del módulo generador.....                                   | 23 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 3.30</b> Ensamble del módulo generador de viento .....                      | 24 |
| <b>Figura 3.31</b> Circuito rectificador .....  | 25 |
| <b>Figura 3.32</b> Taladro de impacto .....   | 26 |
| <b>Figura 3.33</b> Diagrama de flujo del programa de los esclavos .....               | 28 |
| <b>Figura 3.34</b> Diagrama de flujo del programa del Maestro .....                   | 29 |
| <b>Figura 3.35</b> Panel de inicio de <i>Joomla</i> .....                             | 30 |
| <b>Figura 3.36</b> Menús de la página web .....                                       | 30 |
| <b>Figura 3.37</b> Menú de información.....   | 31 |
| <b>Figura 3.38</b> Menú de datos.....   | 31 |
| <b>Figura 3.39</b> Velocidad del viento medida .....                                  | 34 |
| <b>Figura 3.40</b> Velocidad del viento en la parte posterior del aerogenerador ..... | 34 |
| <b>Figura 3.41</b> Código QR Manual de Uso y Mantenimiento .....                      | 36 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 3.1</b> Conexiones Realizadas.....                          | 25 |
| <b>Tabla 3.2</b> Prueba de acondicionamiento de voltaje. ....        | 32 |
| <b>Tabla 3.3</b> Relación de voltaje y corriente. ....               | 33 |
| <b>Tabla 3.4</b> Relación de velocidad.....                          | 33 |
| <b>Tabla 3.5</b> Datos mostrados en la página y en los módulos. .... | 35 |
| <b>Tabla 3.6</b> Resultados de las pruebas de funcionalidad. ....    | 35 |

## RESUMEN

El presente proyecto de titulación tiene como objetivo la implementación de un sistema de recepción de datos para los módulos didácticos de energía eólica del Laboratorio de Tecnología Industrial LTI-ESFOT; además de la construcción de dos módulos didácticos eólicos adicionales que permitan mejorar las actividades académicas del componente práctico de la materia de Energías Renovables y Eficiencia Energética.

El presente documento consta de cinco secciones, las cuales se detallan a continuación:

En la primera sección, se encuentran la introducción, los objetivos y los fundamentos teóricos, los cuales brindan una perspectiva clara sobre el desarrollo del presente proyecto de titulación.

En la segunda sección se detalla la metodología que se utilizó a lo largo del desarrollo del sistema de recepción de datos y construcción de los módulos didácticos de energía eólica.

En la tercera sección se explican el procedimiento y los resultados obtenidos, mostrando paso a paso el cumplimiento de los objetivos específicos del proyecto de titulación mediante imágenes, tablas y videos.

En la cuarta sección se presentan las conclusiones obtenidas al final del desarrollo del proyecto y las recomendaciones para el mantenimiento y uso de los módulos como el sistema de recepción de datos.

Finalmente, en la quinta sección se muestran las referencias bibliográficas utilizadas para la realización de este proyecto de titulación.

**PALABRAS CLAVE:** Aerogenerador, Eólica, Maestro-Esclavo, *Ubidots*.

## **ABSTRACT**

*The objective of this degree project is the implementation of a data reception system for the wind energy didactic modules of the LTI-ESFOT Industrial Technology Laboratory; in addition to the construction of two additional wind power didactic modules that will improve the academic activities of the practical component of the Renewable Energy and Energetic Efficiency subject.*

*This document consists of five sections, which are detailed below:*

*In the first section, there are the introduction, the objectives and the theoretical foundations, which provide a clear perspective on the development of this degree project.*

*The second section details the methodology used throughout the development of the data reception system and construction of the wind energy didactic modules.*

*The third section explains the procedure and the results obtained, showing step by step the fulfillment of the specific objectives of the degree project through images, tables and videos.*

*The fourth section presents the conclusions obtained at the end of the project development and the recommendations for the maintenance and use of the modules as the data reception system.*

*Finally, the fifth section shows the bibliographic references used to carry out this degree project.*

**KEY WORDS:** Wind Turbine, Wind, Master-Slave, Ubidots.

# 1 INTRODUCCIÓN

Los recursos naturales y por tanto las energías renovables son la base de los tres pilares del desarrollo sostenible: calidad medioambiental, social y económico [1]. Por tanto, dichas tecnologías han experimentado un gran desarrollo alrededor del mundo; la energía solar y eólica se han convertido en las principales fuentes de electricidad puesto que cada vez se vuelven más rentables permitiéndoles llegar a ser el 8,7% de la electricidad mundial en el 2019 [2].

El Ecuador desde hace algunos años está realizando cambios en su matriz energética mediante la utilización de energías renovables no convencionales; debido a esto se han construido la central Eólica Villonaco la primera central eólica del Ecuador continental ubicada en Loja y el Proyecto Eólico Isla San Cristóbal en la provincia de Galápagos el primer y de mayor tiempo de operación en el país [3].

La Escuela de Formación de Tecnólogos (ESFOT), cuenta con la carrera de Tecnología Superior en Electromecánica donde se dicta la materia de “Energías Alternativas (TEMR442)” [4] la cual para el componente práctico utiliza 2 módulos didácticos de energía eólica que se encuentran en el Laboratorio de Tecnología Industrial (LTI). Sin embargo, considerando el número de estudiantes que utilizan el laboratorio, se realizó la construcción de dos módulos adicionales.

Además, se implementó un sistema de recepción y almacenamiento de los datos de velocidad y voltaje de los módulos. Estos datos son visualizados dentro de una página web para su posterior análisis.

En el Anexo 1 se adjunta el certificado de funcionamiento donde se verifica el correcto estado de los módulos eólicos y el sistema de comunicación.

## 1.1 Objetivo general

Implementar un sistema de recepción de datos para los módulos didácticos de energía eólica para el LTI-ESFOT.

## 1.2 Objetivos específicos

Determinar los requerimientos para el sistema de transmisión y recepción de datos.

Diseñar planos esquemáticos, eléctricos y electrónicos.

Construir dos módulos didácticos de energía eólica.

Desarrollar algoritmos para la comunicación maestro-esclavo.

Diseñar el entorno gráfico en la página web para presentación de datos.

Realizar pruebas de funcionamiento.

## 1.3 Fundamentos

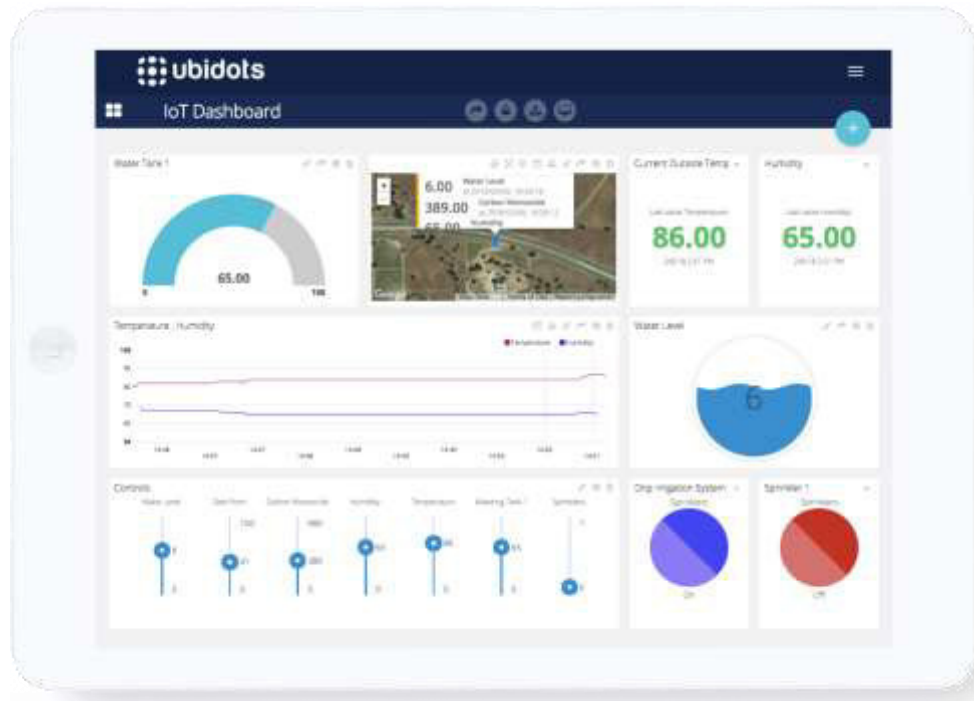
### ***Ubidots***

*Ubidots* es una plataforma de Internet de las cosas (IoT) y la nube que nació en el 2012, gracias a una empresa que brinda servicios de ingeniería [5]. Actualmente, la plataforma brinda servicios a diversas industrias a nivel mundial debido a su arquitectura central, implementación de aplicaciones en la nube y facilidad de uso [5].

Esta plataforma cuenta con información detallada acerca de su funcionamiento y compatibilidad con dispositivos, para los cuales existen librerías que facilitan la conexión entre ellos. Dentro de la plataforma se pueden realizar no solo lectura de datos, sino que se pueden realizar operaciones matemáticas con los datos y entre ellos para posteriormente ser mostradas dentro de uno de sus *widgets* prediseñados y fáciles de usar, mismos que se mostrarán en un tablero, como se observa en la Figura 1.1. Este a su vez se puede exportar hacia otra página web para su visualización.

Se reutilizó la primera versión en la nube con el nombre de *Ubidots STEM*, para brindarla de manera gratuita principalmente a los investigadores, maestros y estudiantes apoyando de esta manera su lema de educación en cuanto a innovación [5].




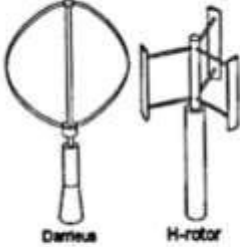



**Figura 1.1** Tablero de *Ubidots* [5]

## Energía eólica

La energía eólica es la energía que se obtiene de la fuerza del viento; esta a su vez se convierte en energía eléctrica mediante aerogeneradores, los cuales se encargan de transformar en energía mecánica la energía cinética del viento. Es una de las energías alternativas más utilizada en el mundo debido a la inagotabilidad del viento, constante crecimiento a nivel mundial, disminución de costos anualmente, además de ayudar a sustituir la energía producida mediante combustibles fósiles [6].

Los aerogeneradores usualmente se clasifican por la posición del eje principal, los diferentes tipos se muestran en la Figura 1.2.

|                    | Eje Horizontal   | Eje Vertical Sustentación   | Eje Vertical Arrastre  |
|--------------------|--|---|--|
|                    |                           | <br>Darrieus      H-rotor                  | <br>Savonius  |
| <b>Ventajas</b>    | Eficiente<br>Ampliamente probado<br>Muy utilizado<br>Más económico<br>Muchos modelos                       | Eficiencia aceptable<br>Indiferente a la dirección del viento<br>Menos sensibilidad a turbulencia<br>Crea pocas vibraciones | Producto probado<br>Silencioso<br>Robusto y fiable<br>Indiferente a la dirección del viento<br>Puede aprovechar flujos turbulentos<br>Crea pocas vibraciones |
| <b>Desventajas</b> | No soporta adecuadamente cambios frecuentes en la dirección del viento<br>No tolera bien vientos racheados | No muy probado<br>Más sensible a la turbulencia que el Savonius   | Baja eficiencia<br>Económicamente costoso  |

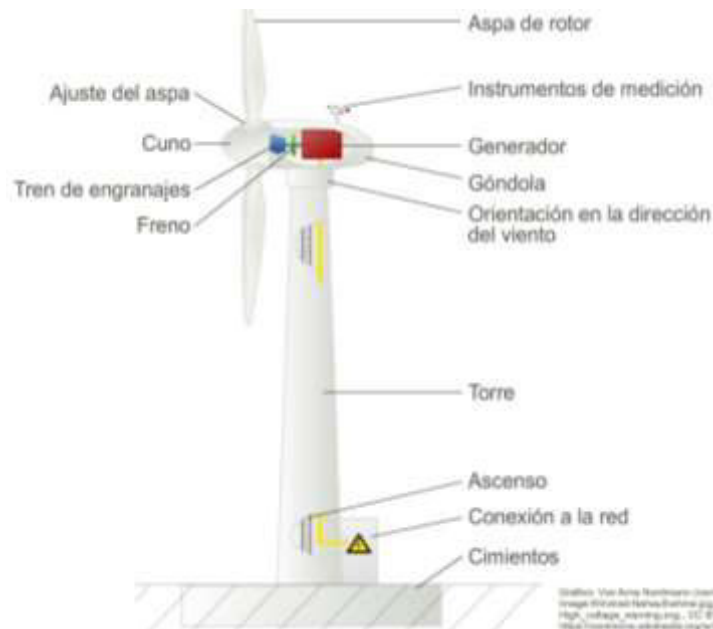
**Figura 1.2** Clasificación de los aerogeneradores [7]

Los aerogeneradores más utilizados son los de eje horizontal y existen tres diferentes tipos; mismos que se diferencian uno de otro por el número de aspas, tal cual se observa en la Figura 1.3.



**Figura 1.3** Tipos de aerogeneradores de eje horizontal [8]

El más utilizado de estos es el tripala, el cual se tomó como referencia para el presente proyecto. En la Figura 1.4 se detallan sus partes principales.



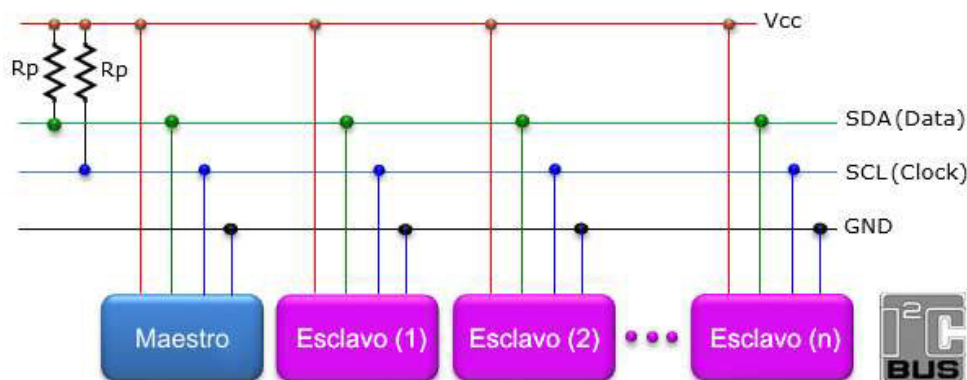
**Figura 1.4** Esquema de una turbina eólica [9]

### Comunicación I2C

I2C, TWI o interfaz a dos hilos es un protocolo de comunicación serial creado para comunicar diversos chips al mismo tiempo mediante una arquitectura maestro-esclavo; el maestro es el encargado de coordinar e iniciar la comunicación mientras que el esclavo espera la comunicación de comando desde un maestro [10].

En este protocolo de comunicación serial solo se necesitan tres pines comunes (ver Figura 1.5), los cuales son:

- GND: Referencia de tierra
- SCL: Señal de reloj
- SDA: Intercambio de datos.



**Figura 1.5** Arquitectura I2C [11]

## **2 METODOLOGÍA**

### **2.1 Descripción de la metodología usada**

El proyecto corresponde a la implementación de un sistema de comunicación para módulos didácticos de generación eólica para el LTI-ESFOT. Para lo cual se procedió a cumplir las siguientes actividades:

Buscar en diferentes medios (bibliográficos, electrónicos) los módulos Arduino más eficientes para la recolección de datos de los 4 módulos de energía eólica. Además de una plataforma de fácil y libre acceso para presentar los datos recolectados por los módulos, mismos que se transmiten mediante Wifi. Para lo cual se aplicaron principios básicos de telemetría permitiendo de esta manera acceder a los datos de los módulos de forma remota para su respectivo análisis.

Durante la ejecución del proyecto se realizó una visita al LTI-ESFOT para determinar las medidas de los módulos de trabajo para así establecer la manera más adecuada y eficiente de ubicar los componentes necesarios para la implementación del sistema. Teniendo en cuenta las dimensiones y componentes del sistema, se levantaron los diagramas eléctricos y electrónicos de los respectivos módulos, mismos que están diseñados para una libre movilidad.

Cumpliendo con los requerimientos necesarios, se realizó la construcción de dos módulos de energía eólica los cuales constan con: aspas, un anemómetro para medir la velocidad del viento producido por un ventilador externo y un motor-generator conectado a las aspas, el cual produce energía eléctrica en función del viento.

Construidos los módulos, se diseñó un algoritmo (código de programación) eficiente que permite la recepción de datos de revoluciones por minuto (RPM), voltaje y velocidad de los módulos de energía eólica. Para la comunicación entre módulos se utilizó el protocolo I2C, el cual permite establecer una comunicación maestro-esclavo con solo tres conexiones entre cada uno de los esclavos con el maestro.

Al disponer de cuatro módulos de energía eólica, se estableció cada módulo con su respectivo Arduino Uno los cuales representan a los esclavos, obteniendo de esta manera las variables a monitorear más relevantes como nivel de voltaje y velocidad de viento.

Además, se configuró un módulo Wifi NodeMCU ESP8266 ESP-12 v1.0 adicional como maestro que se encarga de recibir los datos de los Arduino Uno de los cuatro módulos

eólicos y enviarlos de forma inalámbrica al entorno de recolección *Ubidots* para luego ser presentados dentro de una página web para su respectivo análisis.

Para diseñar el entorno gráfico de una página web se utilizó el gestor de contenido gratuito *Joomla*. El cual posee una licencia libre lo cual lo convierte en uno de los más utilizados; además, este se encuentra a la vanguardia ya que existen desarrolladores alrededor del mundo que trabajan para mejorar sus funcionalidades [12]; lo que lo convirtió en la mejor opción. Permitiendo de esta manera que la página web tenga una interfaz amigable con el usuario y que sea capaz de presentar los datos recolectados por el módulo de comunicación maestro.

Acto siguiente se utilizaron los dos módulos a ser construidos como objetos de prueba de manera preliminar para comprobar su correcto funcionamiento y una correcta obtención de datos en cada uno de los Arduino (esclavos). Se realizaron pruebas de la comunicación maestro-esclavo con los módulos, luego pruebas para la comprobación del correcto funcionamiento de la toma de datos y la transmisión de información mediante la red Wifi. Y finalmente se realizaron las respectivas pruebas de comunicación de la plataforma Arduino con la página web.

### **3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Se construyeron dos módulos eólicos los cuales permiten la conversión de la energía cinética del viento en energía eléctrica, dos módulos generadores de viento los cuales proveerán el viento necesario, un módulo de comunicación que comunica y recoge datos de los módulos construidos entre sí y se diseñó una página web para poder leer los datos recolectados de manera remota.

#### **3.1 Requerimientos**

Para determinar los requerimientos que debe cumplir el sistema de transmisión de datos se revisaron las principales características de los dos módulos eólicos que se encuentran disponibles en el LTI-ESFOT. Luego se revisaron datos en cuanto a velocidad de funcionamiento y voltaje de salida, además se tomó en cuenta la compatibilidad de los dispositivos que integran los módulos ya existentes con el protocolo de comunicación serial I2C.

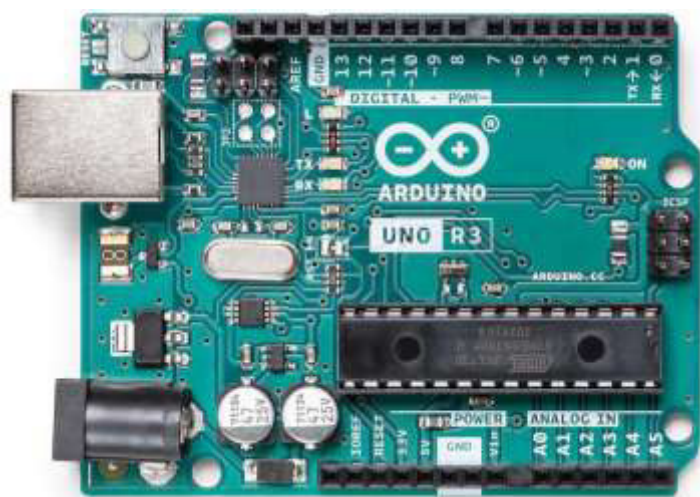
Mediante una previa investigación donde se pudo comparar las características de las diferentes tarjetas como se detalla en la Tabla 3.1, donde se pudo determinar que la mayoría de las tarjetas Arduino satisfacen las necesidades requeridas para la recolección de datos de cada uno de los módulos y envío de datos hacia el maestro. Sin embargo, se optó por el uso de módulos Arduino Uno (Figura 3.1) ya que el uso de otra de las tarjetas sería ineficiente pues se desaprovecharían sus funciones, además de representar un aumento no justificado en el costo.

Los módulos Arduino Uno a su vez son los mismos con los que cuentan los dos módulos eólicos ya existentes facilitando de esta manera la integración de los mismos dentro del sistema. Cada módulo eólico cuenta con su propio módulo Arduino Uno y estos a su vez están interconectados entre sí hacia el módulo Wifi NodeMCU ESP8266 ESP-12E v1.0 (Figura 3.2) los módulos seleccionados a su vez son compatibles con el protocolo de comunicación serial I2C fundamental para el desarrollo de este proyecto de titulación; los datos técnicos de estos módulos se encuentran en el Anexo 3.

La elección del módulo Wifi NodeMCU a su vez se debió al uso de la tecnología wifi ya que esta nos permite una conexión a internet necesaria sin más cableado para el envío de datos hacia la plataforma IoT *Ubidots* donde se albergan los datos de los módulos eólicos.

**Tabla 3.1** Conexiones realizadas

| Tarjeta   | Voltaje de Operación | Voltaje de entrada | Entradas analógicas | Entradas Digitales | Salidas Digitales | Uart | Precio   |
|-----------|----------------------|--------------------|---------------------|--------------------|-------------------|------|----------|
| Uno       | 5 (V)                | 7-12 (V)           | 6                   | 14                 | 6                 | 1    | \$ 10,00 |
| Leonardo  | 5 (V)                | 7-12 (V)           | 12                  | 20                 | 7                 | 1    | \$ 18,00 |
| 101       | 3,3 (V)              | 7-12 (V)           | 6                   | 14                 | 4                 | -    | \$ 60,00 |
| Esplora   | 5 (V)                | 7-12 (V)           | -                   | -                  | -                 | -    | \$ 75,00 |
| Zero      | 3,3 (V)              | 7-12 (V)           | 6                   | 14                 | 10                | 2    | \$ 30,00 |
| Mega 2560 | 5 (V)                | 7-12 (V)           | 16                  | 54                 | 15                | 4    | \$ 59,00 |



**Figura 3.1** Módulo Arduino Uno [13]



**Figura 3.2** NodeMCU ESP8266 ESP-12E [14]

El módulo Wifi cumple el rol maestro recolectando los datos de los esclavos (módulos Arduino Uno) para transmitirlos mediante Wifi hacia la plataforma de IoT *Ubidots* donde se almacenan, controlan y se crean las tablas y gráficos de todos los datos para posteriormente visualizarlos en la página web.

La página web fue creada dentro del alojamiento web gratuito *InfinityFree* debido a su: espacio en disco ilimitado, alto tiempo de actividad, panel de control completo y fácil de manejar, nombres de subdominios gratuitos; además de que no muestra anuncios dentro de la página web como otros sitios de alojamiento web [15].

### **3.2 Planos esquemáticos, eléctricos y electrónicos**

A partir de los módulos eólicos disponibles en el LTI, se diseñaron planos esquemáticos para la repotenciación de estos y la construcción de dos módulos adicionales.

#### **Módulo Eólico**

##### **Góndola**

Para la góndola se usó el motor, de una bomba de drenaje de lavadora Samsung el cual se modificó retirando su impulsor para adjuntarle un eje, el motor que se aprecia en la Figura 3.3 es utilizado como generador de voltaje.

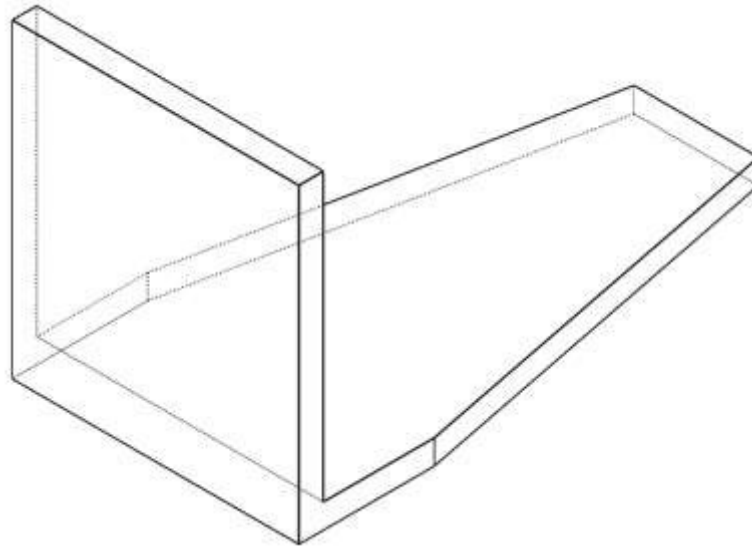


**Figura 3.3** Bomba de drenaje de lavadora Samsung

Seleccionado el motor se procedió a diseñar la base de la góndola, a ser realizada en madera trípex de 9 (mm), de 120 (mm) de alto por 106 (mm) de ancho y 200 (mm) de

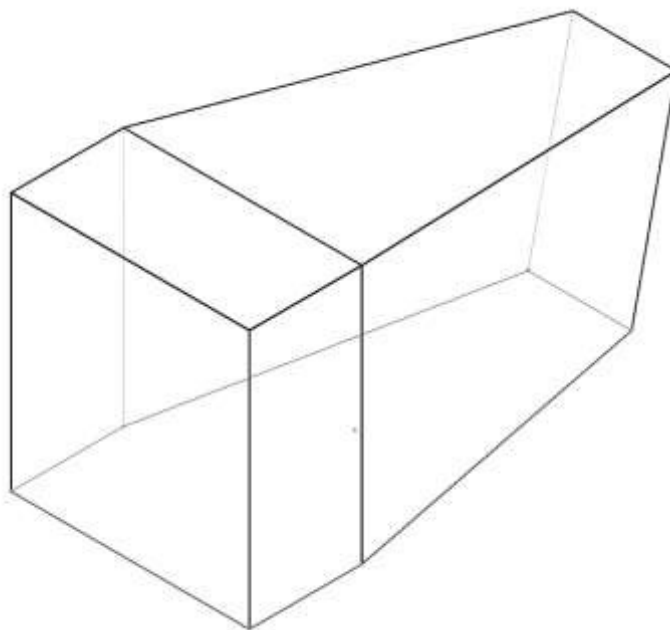


profundidad. En la Figura 3.4 se muestra la vista isométrica de la base de la góndola, las dimensiones detalladas de la misma se encuentran en el Anexo 2 lámina 1.



**Figura 3.4** Esquema de la base de la góndola

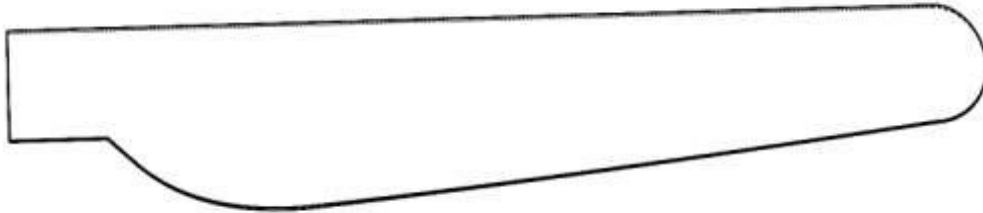
La cubierta se diseñó en cartón cubierto de fibra de vidrio, para lograr así una cubierta resistente y aerodinámica. En la Figura 3.5 se observa la góndola del módulo eólico y las dimensiones de esta se encuentran detalladas en el Anexo 2 lámina 2.



**Figura 3.5** Esquema de la góndola del módulo eólico

### **Aspas**

Las aspas que se aprecian en la Figura 3.6 fueron hechas de PVC con una longitud de 300 (m) lo suficiente para obtener una buena eficiencia en la producción de energía eléctrica. En el Anexo 2 lámina 3 se detallan las medidas de las piezas.



**Figura 3.6** Esquema del aspa

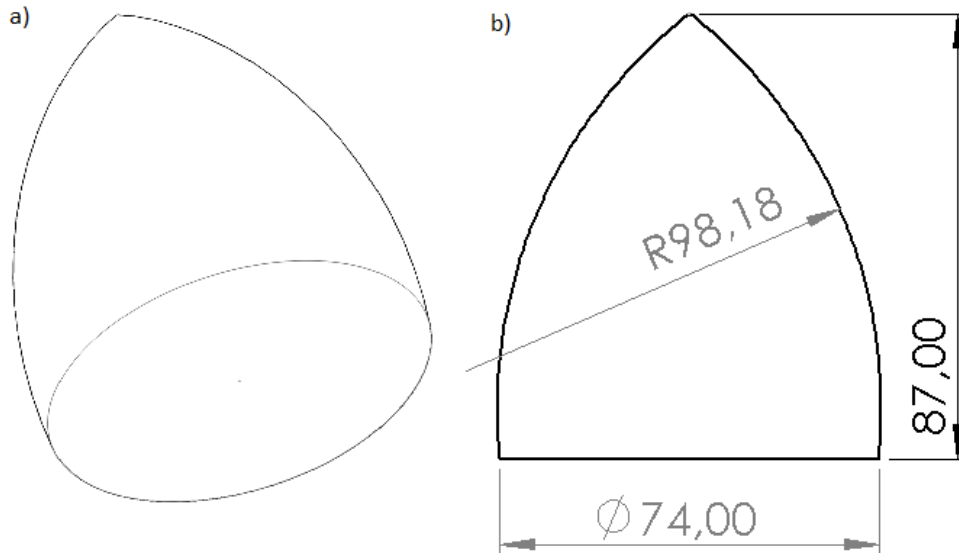
Para unir las aspas a los ejes se construyó una base circular para ser acoplada en el eje del módulo con canales para colocar las aspas. En la Figura 3.7 se aprecia la vista isométrica de la base de las aspas cuyas dimensiones se encuentran especificadas en el Anexo 2 lámina 4.



**Figura 3.7** Esquema de la base de las aspas

### Nariz

A modo de protección y para establecer un diseño aerodinámico se realizó una nariz para el módulo eólico. En la Figura 3.8 literal a) se observa una vista isométrica de la nariz y en el literal b) se muestran las dimensiones de esta.



**Figura 3.8** Esquema de la Nariz

### Torre

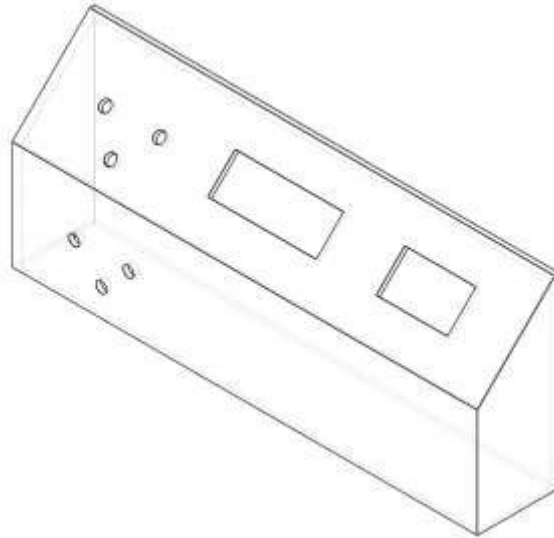
La torre se diseñó a partir de un tubo PVC, con forma de cono truncado de 450 (mm) de altura, con diámetro inferior de 74 (mm) y superior de 60 (mm). En la Figura 3.9 se visualiza la forma de la torre y en el Anexo 2 lámina 5 se muestran sus dimensiones.



**Figura 3.9** Esquema de la torre

### **Tablero**

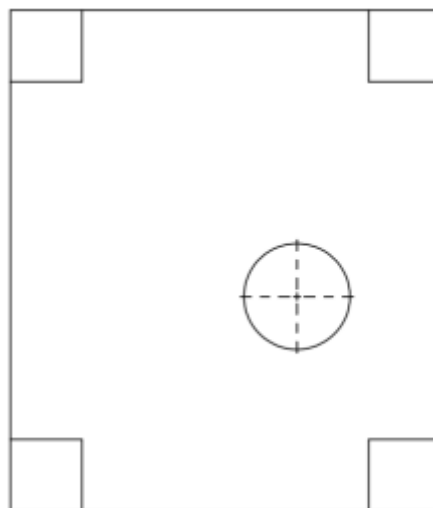
Se diseñó un tablero similar al de los módulos existentes en el LTI, a estos tableros se agregaron tres orificios para las conexiones de: tierra, SDA, SCL; necesarias para la comunicación I2C del maestro – esclavo. En la Figura 3.10 se observa el esquema del tablero ya modificado, los detalles de sus dimensiones se encuentran en el Anexo 2 lámina 6.



**Figura 3.10** Esquema del tablero

### **Base**

Como base del aerogenerador y del generador del viento se diseñó una base de 300 (mm) por 350 (mm) con soportes cuadrados de 50 (mm). En la Figura 3.11 se aprecian las dimensiones y el esquema de la base para los aerogeneradores.



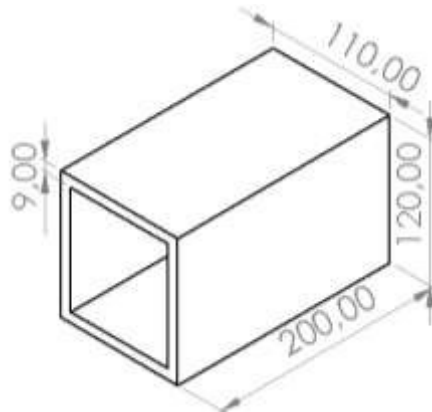
**Figura 3.11** Esquema de la base

### Módulo generador de viento

Para proveer viento se diseñó una fuente generadora similar al módulo eólico, capaz de suministrar viento de forma continua. Este módulo es más robusto ya que cuenta con un motor más pesado. Para abastecer las características enlistadas anteriormente se diseñó la fuente generadora de viento con las siguientes partes: góndola, torre, base.

#### Góndola

En la Figura 3.12 se muestra el esquema y las dimensiones para la góndola donde se albergó el motor.



**Figura 3.12** Esquema y dimensiones de la góndola

#### Torre

En la torre se cambió la forma de cono truncado por un cilindro de longitud de 450 (mm) con diámetro de 74 (mm) como se observa en la Figura 3.13

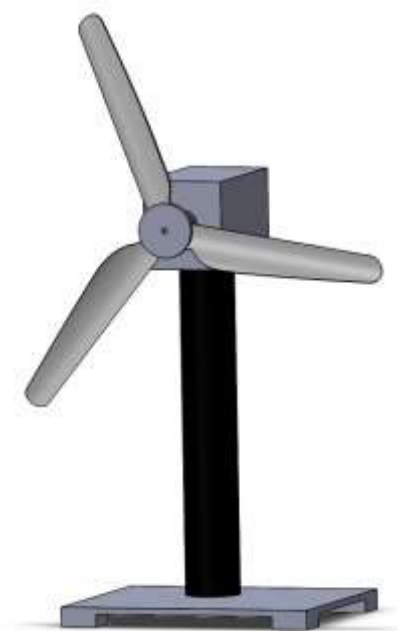


**Figura 3.13** Esquema y dimensiones de la torre

En la Figura 3.14 y Figura 3.15 se aprecian los ensambles del módulo eólico y la fuente generadora de viento respectivamente. En el Anexo 2 lámina 7 se observa a detalle el ensamble del módulo eólico, mientras que en el Anexo 2 lámina 8 se detalla el ensamble del generador de viento y finalmente en el Anexo 2 lámina 9 el ensamble entre ambos con la distancia sugerida entre ellos.



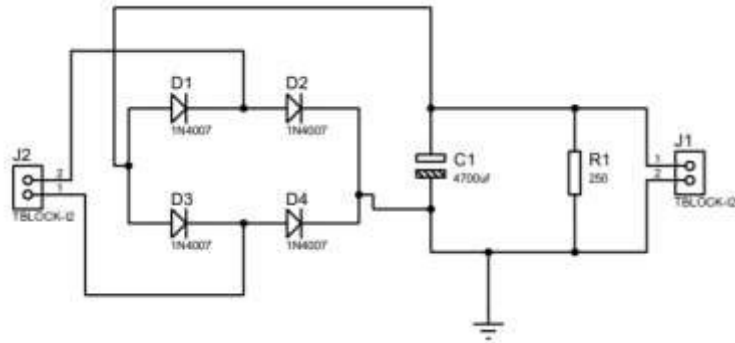
**Figura 3.14** Diseño 3D del módulo eólico



**Figura 3.15** Diseño 3D del generador de viento

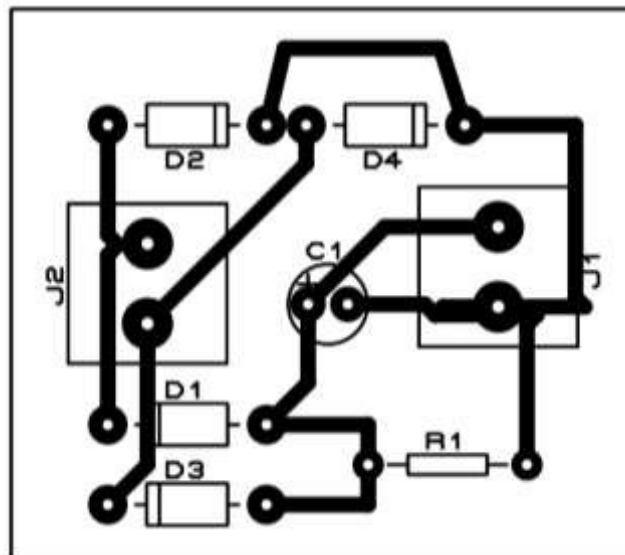
### Esquema electrónico

Se diseñó un circuito rectificador capaz de recoger el voltaje alterno del generador y transformarlo en voltaje directo, a través de un puente de diodos, un capacitor y una resistencia de carga, para así rectificar la señal y que pueda ser leída por el Arduino y el voltímetro de 3 hilos. En la Figura 3.16 se aprecia el circuito eléctrico diseñado, este fue realizado en el programa Proteus versión 8.9 SPO (*Build 27865*).



**Figura 3.16** Esquema del circuito rectificador

En la Figura 3.17 se aprecia el esquema del rectificador para poder ser impreso y realizar la PCB.

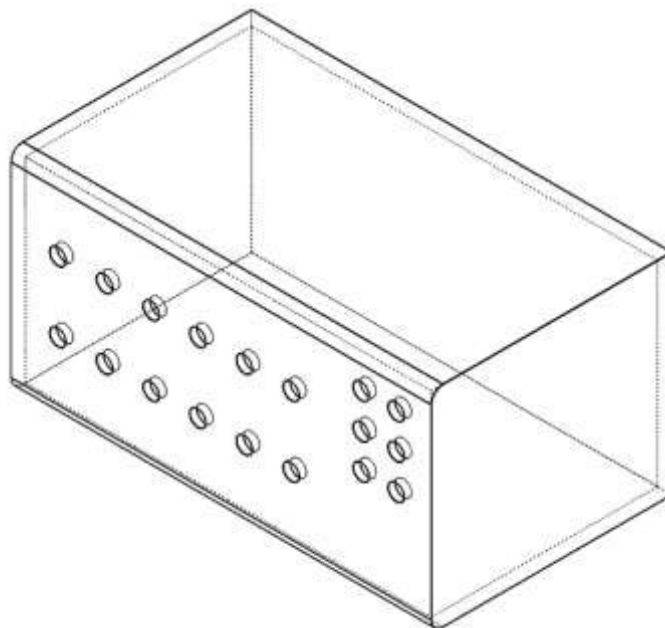


**Figura 3.17** Diseño de PCB

### Módulo de comunicación

Se diseñó un módulo extra aparte del módulo eólico y del generador de viento, nombrado módulo de comunicación en el cual se ubica el maestro (NodeMCU ESP8266

ESP-12E), este módulo cuenta con 18 tomas bananas, 6 para las conexiones SDA, 6 para las conexiones SCL y 6 para tierra. En la Figura 3.18 se aprecia el esquema del módulo de comunicación, y las dimensiones se encuentran en Anexo 2 lámina 10.



**Figura 3.18** Esquema del módulo de comunicación

### **Esquema eléctrico**

En el Anexo 2 lámina 11 se detallan las conexiones eléctricas entre el generador, el rectificador, voltímetro, Arduino, codificador y LCD dentro de cada módulo eólico mientras que en el Anexo 2 lámina 12 se observan las conexiones maestro-esclavo entre el NodeMCU ESP8266 y los Arduino Uno,

## **3.3 Construcción de los dos módulos didácticos de energía eólica**

### **Estructura**

Para la construcción de los módulos de energía eólica se consideraron varios materiales entre las distintas piezas, así como combinaciones de estos, sin embargo, se optó por realizar las piezas de madera en triplex de 9 (mm) a excepción de: las bases de las aspas, la góndola que se realizó en fibra de vidrio, las aspas y torres realizadas en PVC y el módulo de comunicación para el cual se utilizó un tablero de acrílico.



Las piezas de madera fueron cortadas a precisión en una carpintería, las góndolas fueron unidas con cola blanca y clavos de madera. En la Figura 3.19 se visualiza el resultado de la góndola.



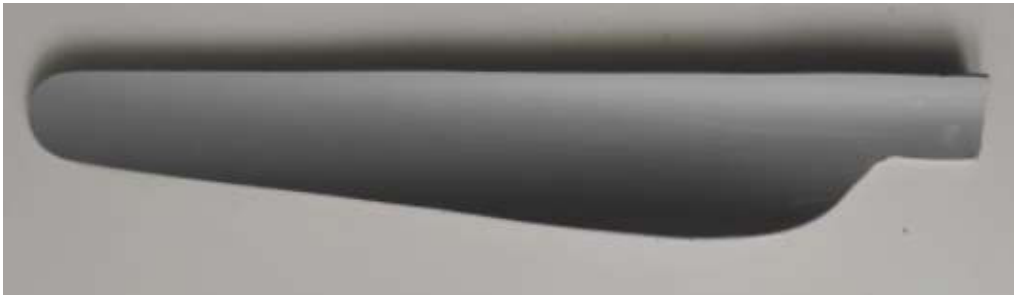
**Figura 3.19** Góndola

Las aspas fueron cortadas a partir de un molde sacado de la vista frontal de las mismas. En la Figura 3.18 se observa la vista frontal de las aspas, la cual sirvió como molde plasmado en el PVC.



**Figura 3.20** Vista frontal del aspa

En la Figura 3.21 se muestra el resultado final del aspa realizada a partir del molde.



**Figura 3.21** Aspa cortada y lijada

Para la construcción de la torre del módulo eólico se realizó el trazo de un arco de longitud 60 (mm), además en el punto medio del arco se trazó una perpendicular hacia la otra base del tubo PVC y se realizó un corte triangular desde los extremos del arco hasta el punto medio marcado en la base opuesta. Cabe mencionar que para que las torres de 450 (mm) tengan la medida exacta fue necesario agregar 29 (mm) para compensar la pérdida de material, ya que durante la construcción se realizaron cortes de 1 (cm) y aplicando calor fue posible realizar dobleces en el PVC de tal manera que tuviera una mayor superficie de contacto para adherirse a la madera, tal como se observa en la Figura 3.22.



**Figura 3.22** Torre adherida a la base

Una vez adherida la torre a su respectiva base, se sujetaron sobre esta las respectivas góndolas. En la Figura 3.23 y Figura 3.24 se aprecian las góndolas con sus respectivas torres.



**Figura 3.23** Módulo eólico



**Figura 3.24** Módulo generador de viento

Las aspas fueron sujetadas a su base con tornillos de madera y se reforzó con pegamento epoxi de doble compuesto tal como se observa en la Figura 3.25.



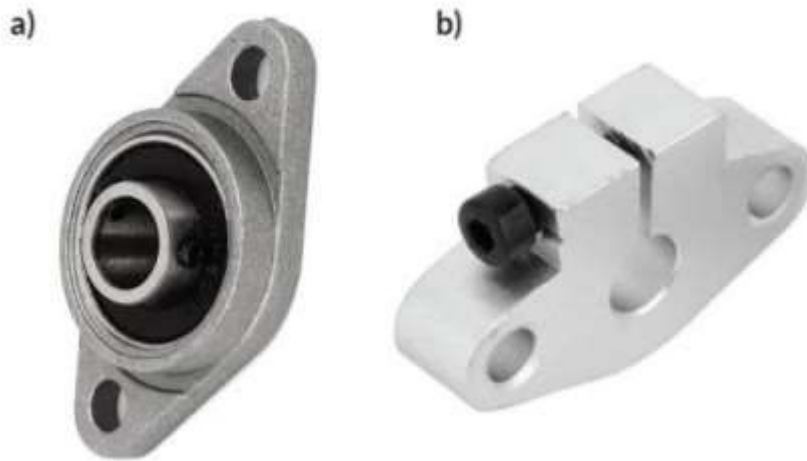
**Figura 3.25** Base con aspas

Para las góndolas se usó como eje entre motor y aspas un eje de acero de 8 (mm), un acople flexible de 8 (mm) a 3 (mm) como se muestra en la Figura 3.26.



**Figura 3.26** Acople flexible

Para la sujeción y el correcto giro entre motor, generador y aspas respectivamente se adjuntó a la base de las aspas una junta fija de 8 (mm) y en la góndola se utilizó una chumacera de 8 (mm), detalladas en las Figura 3.27.

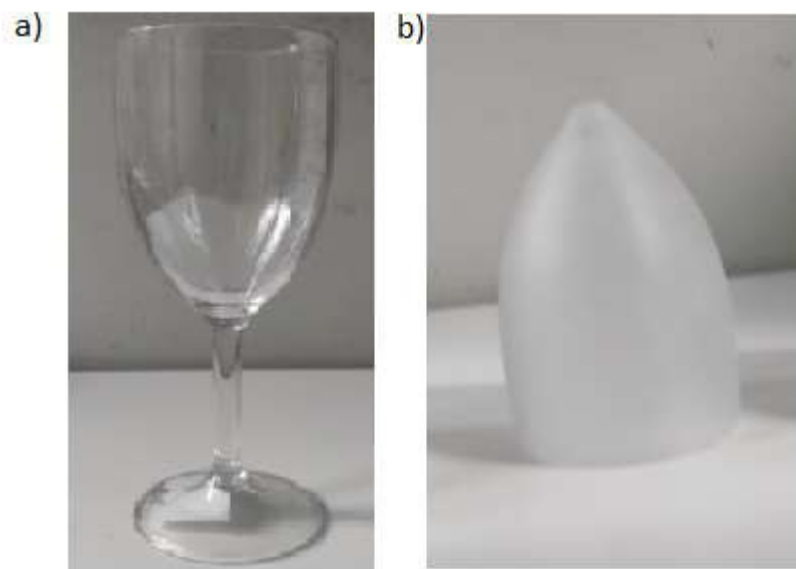


**Figura 3.27** a) Chumacera de 8 (mm), b) Junta fija de 8 (mm)

Para la construcción de los tableros y módulo de comunicación se utilizó acrílico para lo cual se acudió a un centro especializado en el manejo de este material.

Las tapas del tablero y del módulo de comunicación fueron aseguradas mediante cuatro imanes de neodimio en cada una para que puedan abrirse con facilidad en caso de ser necesario.

La nariz del módulo generador se armó a partir de una copa plástica de vino blanco, a la cual se le cortó parte de su base, dejando solo el cáliz a disposición, siendo este recortado posteriormente según las dimensiones necesarias. En la Figura 3.28 se muestra la copa completa y su reducción a nariz del módulo generador.

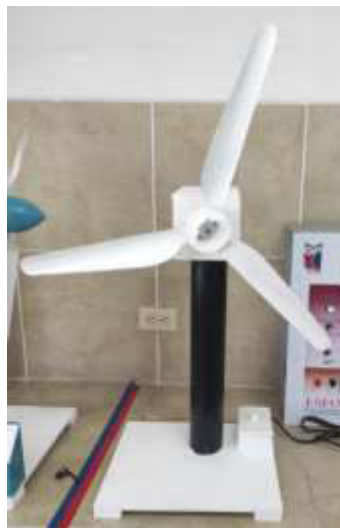


**Figura 3.28** a) Copa de vino blanco plástica, b) nariz del módulo generador

Una vez obtenidas todas las piezas, se procedió a ensamblar los módulos en base a los esquemas y dimensiones detalladas en el Anexo 2 lámina 7 y lámina 8. En la Figura 3.29 se observa el ensamble del módulo generador, además en la Figura 3.30 se aprecia el ensamble del módulo generador de viento.



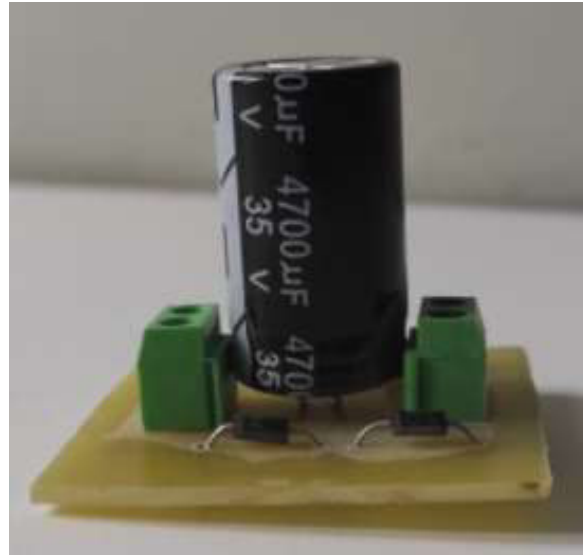
**Figura 3.29** Ensamble del módulo generador



**Figura 3.30** Ensamble del módulo generador de viento

### **Conexiones eléctricas**

Para el circuito rectificador, se fabricó una PCB mediante el método del planchado en baquelita y el uso de ácido férrico, después se soldaron los componentes en base a la Figura 3.17 llegando al resultado observado en la Figura 3.31.



**Figura 3.31** Circuito rectificador

Las conexiones eléctricas se realizaron en base al Anexo 2 lámina 11 donde se observan las conexiones realizadas. La conexión entre pines del Arduino y del LCD 16x2 se encuentran detalladas en la Tabla 3.2.

**Tabla 3.1** Conexiones realizadas

| Arduino UNO | LCD 16x2 |
|-------------|----------|
| GND         | K        |
| 5 (V)       | A        |
| D3          | D7       |
| D4          | D6       |
| D5          | D5       |
| D6          | D4       |
| N/A         | D3       |
| N/A         | D2       |
| N/A         | D1       |
| N/A         | D0       |
| D7          | E        |
| GND         | RW       |
| D8          | RS       |
| N/A         | V0       |
| 5 (V)       | VDD      |
| GND         | VSS      |

Para el módulo generador de viento como motor se utilizó un taladro de impacto marca Jumbo de 500 (W), que cuenta con una velocidad de 0 – 3000 RPM. En la Figura 3.32 se observa dicho taladro.



**Figura 3.32** Taladro de impacto

Al taladro se le retiró el mango y se realizó un puente entre los devanados auxiliar y principal de tal manera que gire siempre a la derecha, la parte del mandril queda hacia afuera de la góndola para poder ajustar el eje de las aspas. Para el control de la velocidad se usó un regulador de intensidad de 50 (W), conectado en la fase del motor.

### **3.4 Comunicación maestro-esclavo.**

Para el sistema de recepción de datos se creó un algoritmo en la plataforma de Arduino para la visualización, recolección y envío de datos de los módulos hacia una página web; al tratarse de cuatro módulos eólicos se optó por la utilización del protocolo de comunicación serial I2C el cual posee una arquitectura maestro-esclavo por lo cual se desarrollaron dos diferentes algoritmos mostrados en el Anexo 4.

Se utilizó la librería *Wire* de Arduino IDE la cual permite la comunicación entre los esclavos y el maestro de manera simple; en el programa del maestro a su vez se incluyó la librería de *Ubidots* para enviar los datos de velocidad (RPM) y voltajes solicitados a los módulos esclavos hacia la plataforma IoT mediante el módulo Wifi.

Dentro del programa de los esclavos se utilizó una interrupción externa para la lectura de los pulsos generados por el sensor de velocidad permitiendo de esta manera conocer las interrupciones que se producen cada segundo, y con esto convertirlas en revoluciones por minuto (RPM) mediante la Ecuación 3.1 y metros sobre segundo ( $m/s$ )



mediante la Ecuación 3.2, datos que se presentan en una pantalla LCD 16x2 gracias a la librería *LiquidCrystal.h*.

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

**Ecuación 3.1** Cálculo de revoluciones por minuto

Donde:

- $n$  : Interrupciones del pin
- $m$  : Número de muestras del encoder.

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

**Ecuación 3.2** Calculo de velocidad en ( $m/s$ )

Donde:

- $V$  : Velocidad.
- $RPM$  : Revoluciones por minuto.
- $d$  : Diámetro de la circunferencia del encoder (mm).

Los módulos esclavos esperan la solicitud del maestro para empezar la transmisión de los datos de RPM y voltaje recopiladas sin decimales debido a que I2C transmite la información mediante bytes por lo cual se descompuso los valores a transmitir. El dato de RPM se obtiene de la Ecuación 3.2 mientras que el del voltaje se lo obtiene de la Ecuación 3.3, donde se transforman las unidades digitales que ingresan al pin analógico A0 en voltaje de 0 (V) a 5 (V) que entregan los módulos aprovechando de esta manera los 10bits de resolución del Arduino Uno.

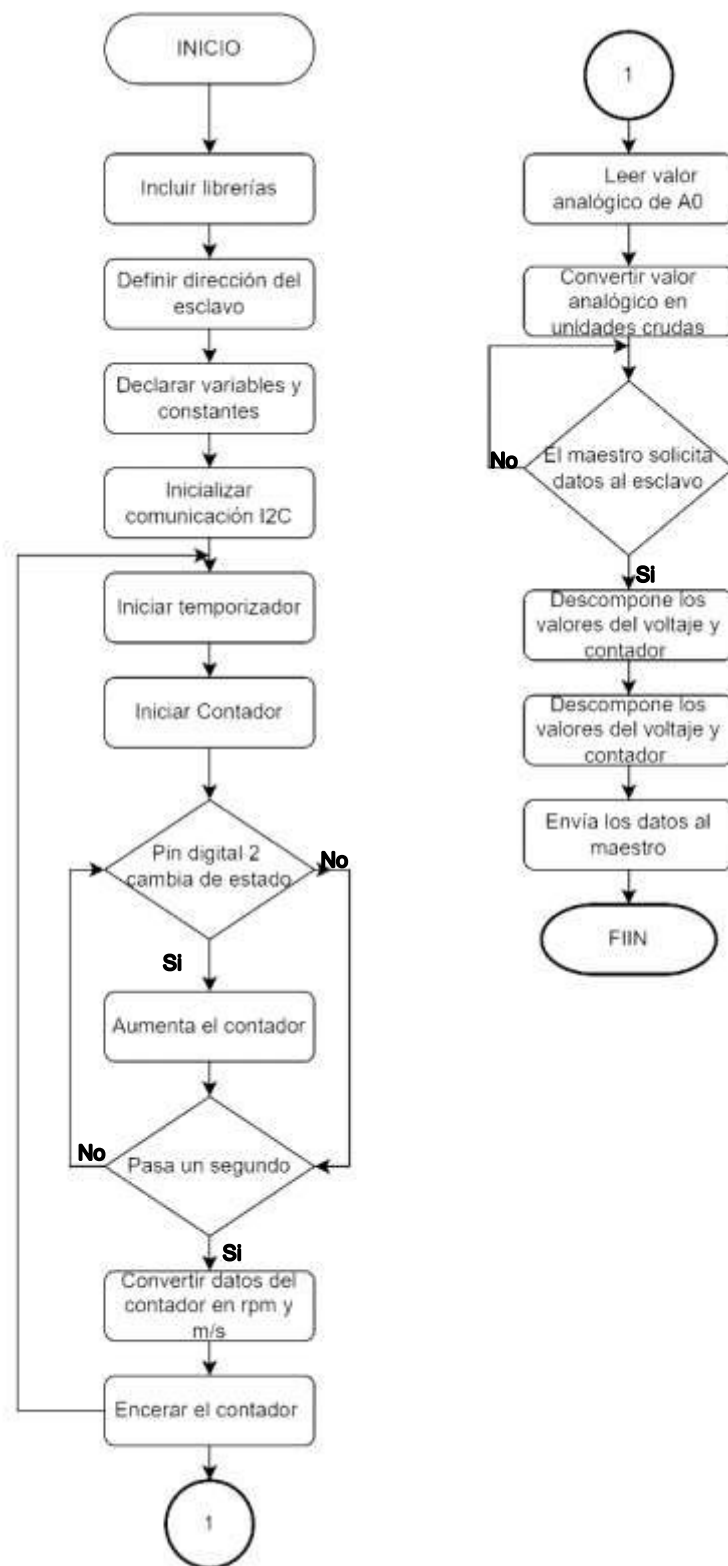
$$V = adc * \frac{5V}{1023}$$

**Ecuación 3.3** Cálculo de voltaje en (V)

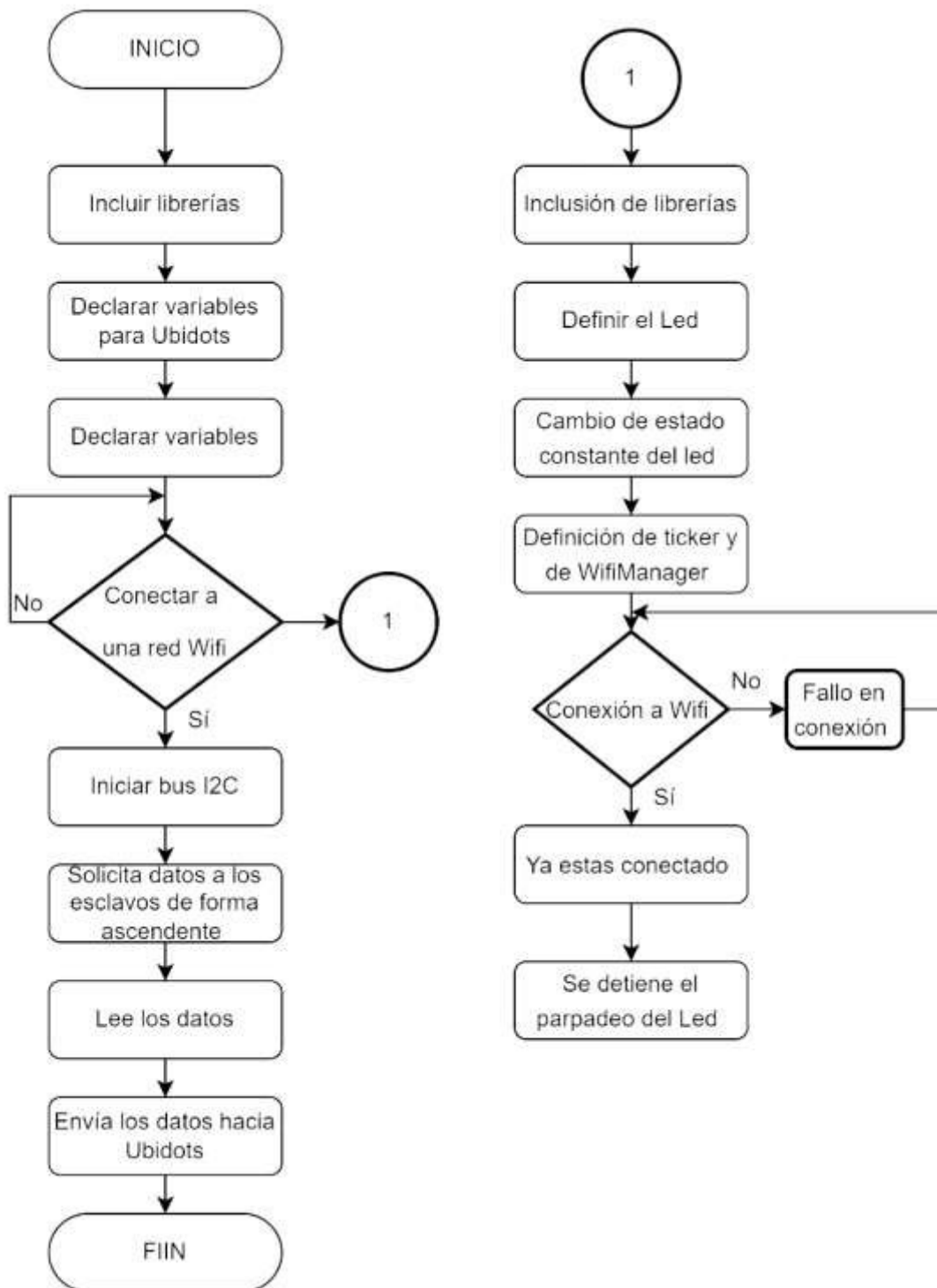
Donde:

- $V$  : Voltaje
- $adc$  : Entrada de voltaje

Los diagramas de flujo de los algoritmos desarrollados se muestran en las Figuras 3.34 y 3.35



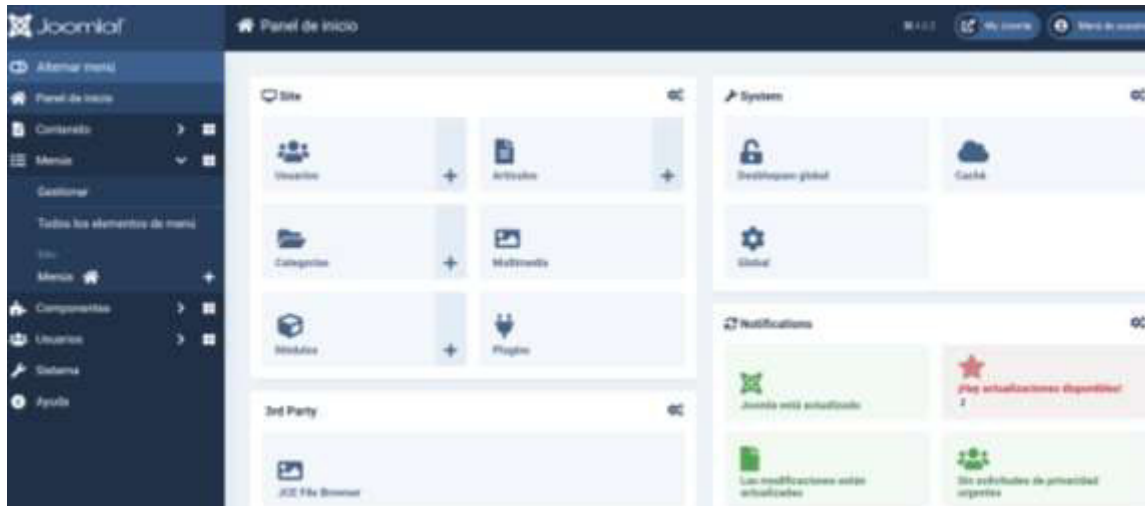
**Figura 3.33** Diagrama de flujo del programa de los esclavos



**Figura 3.34** Diagrama de flujo del programa del Maestro

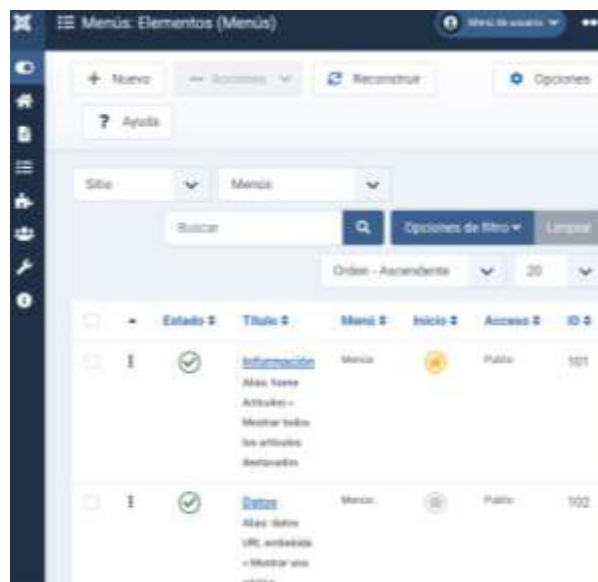
### 3.5 Entorno gráfico para presentación de datos.

El entorno gráfico de la página web se diseñó mediante el gestor de contenidos *Joomla*, el cual contiene un panel de inicio didáctico e intuitivo como se observa en la Figura 3.35, el cual permitió la creación y presentación de información dentro de la página.



**Figura 3.35** Panel de inicio de *Joomla*

Dentro de la página web se crearon dos menús tal cual se observa en la Figura 3.36 para separar y visualizar de una mejor manera la información.



**Figura 3.36** Menús de la página web

En el menú de información se presentaron datos relevantes de la energía eólica como se aprecia en la Figura 3.37, mientras que en el menú de datos se presentan las tablas de los datos recolectados en *Ubidots* tal como se visualiza en la Figura 3.38. Los datos

son presentados dentro de dos tablas, en la primera se muestran los datos de voltaje y RPM, mientras que en la segunda se muestran las RPM junto con la velocidad en metros por segundo.



Figura 3.37 Menú de información

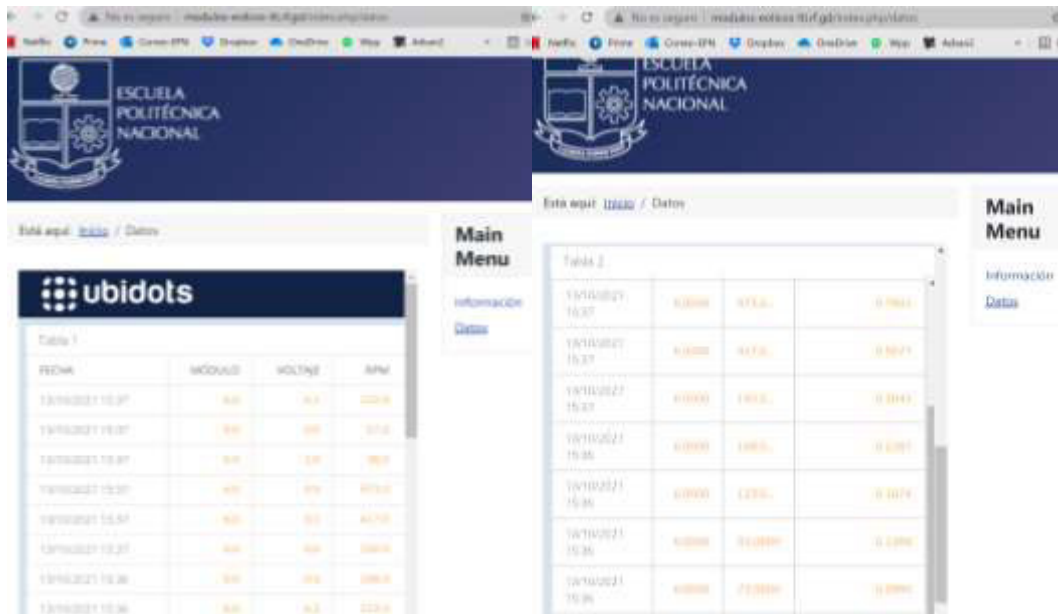


Figura 3.38 Menú de datos

### 3.6 Pruebas y análisis de resultados

Una vez ensamblados los módulos, se realizaron las siguientes pruebas de funcionamiento.

### Acondicionamiento de voltaje de salida

En esta prueba se comparó el valor medido a la salida del generador y el voltaje mostrado en el LCD, a parte se registra la velocidad en RPM y en metros sobre segundo. Se tomaron seis valores para la realización de esta prueba.

**Tabla 3.2** Prueba de acondicionamiento de voltaje

| Voltaje medido (V) | Voltaje LCD (V) | Error (%) | Velocidad |       |
|--------------------|-----------------|-----------|-----------|-------|
|                    |                 |           | (RPM)     | (m/s) |
| 1,550              | 1,540           | 0,645     | 749,000   | 1,190 |
| 2,250              | 2,270           | 0,889     | 855,000   | 2,300 |
| 2,350              | 2,390           | 1,702     | 950,000   | 2,200 |
| 4,200              | 4,190           | 0,238     | 1725,000  | 2,500 |
| 4,700              | 4,680           | 0,426     | 2220,000  | 3,080 |

En la Tabla 3.3 se aprecian los valores tomados de voltaje y velocidad, en la misma se calcula el valor del error entre voltajes observando un error menor al 5 % en todas las medidas.

### Prueba de corriente respecto al voltaje generado

En esta prueba se relaciona el valor del voltaje con el de la corriente, en donde toman valores de voltaje medidos en los módulos, se calcula la corriente en función de la Ecuación 3.4, y se obtiene el error entre la corriente medida y la calculada.

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

**Ecuación 3.4** Ecuación de la corriente en función del voltaje y la resistencia de carga.

Donde:

- $I$  : Corriente
- $V$  : Voltaje
- $R$  : Resistencia de Carga

En la Tabla 3.4 se presentan los valores de voltaje y corriente detallados para la prueba de corriente respecto al voltaje. Todos los errores son menores al 5%.

**Tabla 3.3** Relación de voltaje y corriente

| Voltaje (V) | Corriente medida (mA) | Corriente calculada (mA) | Error (%) |
|-------------|-----------------------|--------------------------|-----------|
| 0,600       | 2,360                 | 2,400                    | 1,695     |
| 0,800       | 3,170                 | 3,200                    | 0,946     |
| 1,550       | 6,280                 | 6,200                    | 1,274     |
| 2,350       | 9,500                 | 9,400                    | 1,053     |
| 4,700       | 18,770                | 18,800                   | 0,160     |
| 5,800       | 23,170                | 23,200                   | 0,129     |

### Prueba de velocidad aprovechada

En esta prueba se realizó la medición de la velocidad del viento generado por el generador de forma individual, y la velocidad en la parte posterior del aerogenerador, así mediante una diferencia de velocidad, aproximar la cantidad de viento aprovechado. Se utilizó un anemómetro.

En la Tabla 3.5 se aprecia la relación de la velocidad. Como se muestra en la Figura 3.39 a) medición a baja velocidad, b) medición a velocidad media, c) medición a alta velocidad, estas mediciones son directas al generador de viento. En la Figura 3.40 se aprecian las mediciones en la parte posterior del aerogenerador.

**Tabla 3.4** Relación de velocidad

| Intensidad | Velocidad generador de viento (m/s) | Velocidad atrás del aerogenerador (m/s) | Velocidad aprovechada (m/s) |
|------------|-------------------------------------|---|-----------------------------|
| Baja       | 2,8                                 | 2,4                                     | 0,4                         |
| Media      | 3,7                                 | 2,7                                     | 1,0                         |
| Alta       | 4,9                                 | 4,6                                     | 0,3                         |



Figura 3.39 Velocidad del viento medida



Figura 3.40 Velocidad del viento en la parte posterior del aerogenerador



### Prueba de conectividad

Una vez ensamblados y probados los módulos, se realizó la prueba de comunicación entre los módulos aerogeneradores y el módulo de comunicación y este último con la página web. Para esto se conectaron los pines, SDA, SCL y GND de los Arduinos UNO hacia los pines SDA, SCL y GND del módulo Node MCU ESP8266, se energizó los módulos, y se comprobaron los valores leídos en el módulo con los que aparecen en la página web. En la Tabla 3.6 se observan los valores de voltaje mostrados en la página y en el LCD y el módulo de los que proviene la información.

**Tabla 3.5** Datos mostrados en la página y en los módulos

| Módulo | Voltaje en la página web (mV) | Voltaje LCD (V) |
|--------|-------------------------------|-----------------|
| 3      | 2300                          | 2,3             |
| 3      | 4000                          | 4,0             |
| 2      | 3600                          | 3,6             |
| 2      | 1700                          | 1,7             |

### Prueba de funcionalidad

En esta prueba se revisó la alineación del eje, movimiento de las aspas, cableado y robustez. En la Tabla 3.7 se detallan los resultados.

**Tabla 3.6** Resultados de las pruebas de funcionalidad

| Parte                    | Funcionalidad |
|--------------------------|---------------|
| Aspas                    | CORRECTO      |
| Góndola                  | CORRECTO      |
| Torre                    | CORRECTO      |
| Base                     | CORRECTO      |
| Tablero                  | CORRECTO      |
| Regulador de intensidad  | CORRECTO      |
| Instrumentos de medición | CORRECTO      |
| Cableado                 | CORRECTO      |
| Conectividad             | CORRECTO      |

### 3.7 Manual de Uso y Mantenimiento

Para un apropiado uso y mantenimiento de los módulos eólicos y el sistema de recepción se creó un video didáctico al cual se puede acceder mediante el código QR de la Figura 3.41.



**Figura 3.41** Código QR Manual de Uso y Mantenimiento

## 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- Se seleccionaron de manera adecuada cada uno de los elementos y programas utilizados en este proyecto con el fin de cumplir los requerimientos establecidos para los módulos eólicos y el sistema de recepción de datos.
- El uso del módulo Arduino Uno facilitó la integración de los de los dos módulos eólicos ya existentes anteriormente, evitando de esta manera un cambio innecesario y aumento de costos.
- La plataforma de *Ubidots* IoT y su compatibilidad con Arduino facilitó a gran medida la visualización y almacenamiento de los datos recolectados mediante el maestro.
- Los códigos desarrollados cumplen a cabalidad con lo esperado; al utilizar el protocolo I2C se realizó un programa para el maestro el cual recepta todos los datos que se muestran en la página web y un programa para todos los esclavos que lee todos los datos que se presentan en el LCD.

- La utilización del protocolo de comunicación serial I2C permite manejar de manera sencilla la información provista por los módulos esclavos, además dispone la ventaja de trabajar hasta con 127 esclavos.
- Al momento de utilizar un gestor de contenido para diseñar la página web se simplificó el trabajo ya que este mostraba un menú similar al de Word para insertar información junto con una plantilla prediseñada para la presentación de esta, omitiendo de esta manera la programación mediante HTML.
- El uso de madera balsa en vez de trípex para la base de las aspas produjo una variación a favor del giro de las aspas debido a que esta es más liviana.
- El material PVC utilizado para la construcción de las aspas y de las torres de los módulos permitió obtener un diseño aerodinámico, lo cual influye en el correcto funcionamiento de los aerogeneradores, además es un material maleable y resistente.
- Las cajas de protección de acrílico de los circuitos permiten un almacenamiento adecuado de los dispositivos electrónicos evitando la manipulación incorrecta de los mismos, esto es muy importante ya que los módulos serán utilizados por estudiantes para la realización de prácticas de laboratorio.
- Mediante la realización de la prueba de conectividad se pudo constatar, el correcto funcionamiento de los módulos aerogeneradores, módulo de comunicación y página web, ya que los datos almacenados y registrados corresponden a los medidos.
- El error entre los parámetros medidos y los calculados es menor al 2% lo cual establece un correcto diseño de los módulos y del sistema de recepción de datos.

## 4.2 Recomendaciones

- Al momento de incluir un esclavo más al sistema se debe definir su dirección tanto en el programa del maestro como en el del esclavo para que de esta manera los datos puedan ser enviados de forma correcta, además que se debe asegurar que sea un número diferente al de los esclavos ya existentes.
- Si se busca visualizar los datos de una fecha a una hora determinada, se debe filtrar esta información desde *Ubidots*.
- Tener en cuenta los niveles de voltaje a los cuales trabaja la placa Arduino, para evitar cualquier afectación a la misma; estos datos se encuentran dentro de este documento en el Anexo 4.

- Se recomienda cortar el PVC con herramientas de corte para metal ya que es menos abrasivo que herramientas para madera.
- La fibra de vidrio al ser un material contaminante se debe usar protecciones en todo momento durante su manipulación y si se usa mucho pegante se desperdiciará material.
- Para el moldeo del PVC con temperatura es importante utilizar una fuente de calor considerable, mas no fuegos mínimos como velas, pues estos entorpecen el trabajo y maltratan el material.
- Si se necesita hacer cortes, agujeros, dobleces en acrílico se debe usar materiales para vidrio, usar agua para los agujeros de esta manera el material no se quebrará.
- Se recomienda siempre asegurarse que las aspas de los módulos estén bien sujetas antes de usarlos para evitar accidentes.
- Revisar siempre que las conexiones entre los esclavos y maestro estén bien realizadas, ya que si una de ellas está suelta o mal conectada, el maestro no realiza la petición de datos y consecuentemente no se visualizarán en la página web.
- El módulo maestro presenta dos borneras extra para cada conexión de tal forma que en un futuro se puedan anexar dos módulos esclavos adicionales, en el programa maestro ya se contempla la adición de dos módulos, con la consideración que estos deberán utilizar las direcciones 2 y 3 en el programa esclavo.
- Es recomendable ingresar a la página web al menos una vez al mes para que esta no se suspenda y tenga que ser habilitada nuevamente.

## 5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] D. G. G. y. J. P. A. P. Correa Alvarez, "Energías renovables y medio ambiente," Agosto 2016. [Online]. Available: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2218-36202016000300024](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2218-36202016000300024). [Accessed 31 08 2021].
- [2] Rana Adib, "Informe de estado global de energías renovables 2021," 06 2021. [Online]. Available: <https://www.ren21.net/gsr-2021/>. [Accessed 31 08 2021].

- [3] Á. P. Palcios, "Producción de energía eólica en Ecuador," 07 2019. [Online]. Available: <https://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/CienciaDigital/article/view/610>. [Accessed 31 08 2021].
- [4] ESFOT, "Tecnología Superior en Electromecánica," 2017. [Online]. Available: <https://esfot.epn.edu.ec/index.php/oferta-academica/tecnologia-superior-en-electromecanica>. [Accessed 31 08 2021].
- [5] *Ubidots*, "Sobre *Ubidots*," 08 2021. [Online]. Available: <https://Ubidots.com/about/>. [Accessed 31 08 2021].
- [6] Twenergy, "Energía Eólica," 11 11 2019. [Online]. Available: <https://twenergy.com/energia/energia-eolica/>. [Accessed 10 10 2021].
- [7] M. Luque, "Diseño, construcción y control de un aerogenerador de equipo de prácticas de bajo coste.," 2017. [Online]. Available: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/91288/fichero/tfg+maria+paz+luque.pdf>. [Accessed 10 10 2021].
- [8] RENOVETEC, "Energía Eólica," 30 03 2019. [Online]. Available: <http://www.mantenimientodeaerogeneradores.com/index.php/clasificacion-de-aerogeneradores>. [Accessed 10 10 2021].
- [9] V. Yepes, "Cimentaciones prefabricadas en aerogeneradores," 17 04 2015. [Online]. Available: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2015/04/27/cimentaciones-prefabricadas-en-aerogeneradores/>. [Accessed 10 10 2021].
- [10] J. Guerra, "Comunicación I2C con Arduino lo mejor de dos mundos," 25 05 2016. [Online]. Available: [https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/comunicacion-i2c-con-arduino/#Protocolo\\_I2C\\_con\\_Arduino](https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/comunicacion-i2c-con-arduino/#Protocolo_I2C_con_Arduino). [Accessed 11 10 2021].
- [11] R. Didácticos, "Descripción y funcionamiento del Bus I2C," 24 06 2019. [Online]. Available: <http://robots-argentina.com.ar/didactica/descripcion-y-funcionamiento-del-bus-i2c/>. [Accessed 11 10 2021].
- [12] Joomla, "Acerca de Joomla," 2021. [Online]. Available: <https://www.joomla.org/about-joomla.html>. [Accessed 29 08 2021].

- [13] Arduino, "Arduino Uno," 17 06 2020. [Online]. Available: <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3/?selectedStore=us>. [Accessed 31 08 2021].
- [14] Acrobotic, "ESP8266 WiFi," 31 03 2016. [Online]. Available: <https://www.makerelectronico.com/producto/esp8266-wifi-lua-nodemcu-ch340g-esp-12e-arduino/>. [Accessed 31 08 2021].
- [15] InfinityFree, "Alojamiento web gratuito e ilimitado," 2021. [Online]. Available: <https://infinityfree.net/>. [Accessed 31 08 2021].

## **ANEXOS**

## **ANEXO 1: CERTIFICADO DE FUNCIONAMIENTO**





# ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

Campus Politécnico "J. Rubén Orellana R

Quito, 17 de diciembre del 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 del sistema de recepción de datos de los módulos de energía eólica en el LTI ESFOT, el cual fue implementado por los estudiantes Danny Carrera y Katherin Puento.

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

**DIRECTOR**

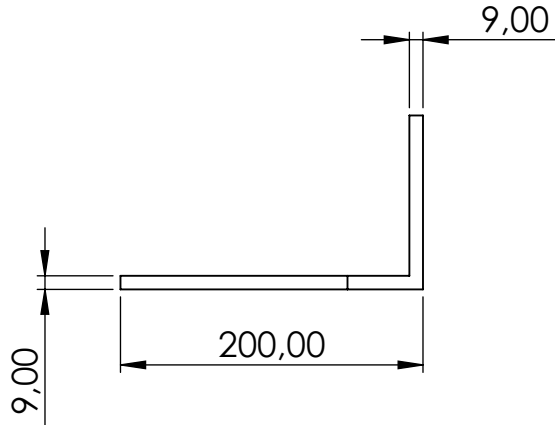
Ing. Alan Daniel Cuenca Sánchez, Msc.

---

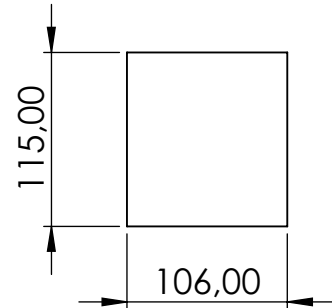
Ladrón de Guevara E11-253, Escuela de Formación de Tecnólogos, Oficina 27. EXT: 2736  
email: alan.cuenca@epn.edu.ec Quito-Ecuador

## **ANEXO 2: PLANOS Y ESQUEMA**

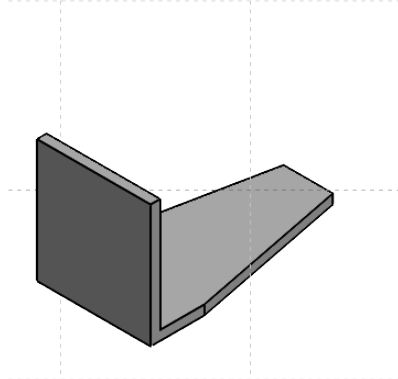
VISTA LATERAL IZQUIERDA



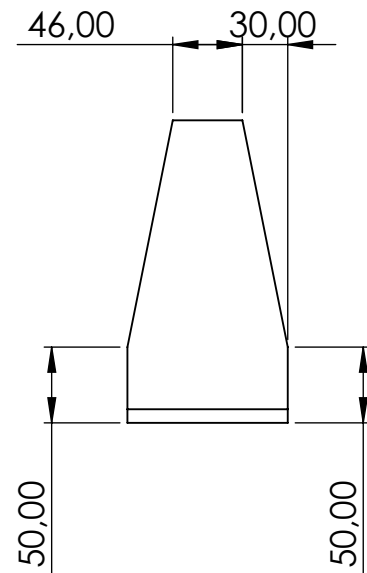
VISTA FRONTAL



VISTA ISOMÉTRICA



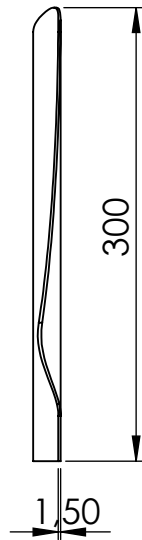
VISTA SUPERIOR



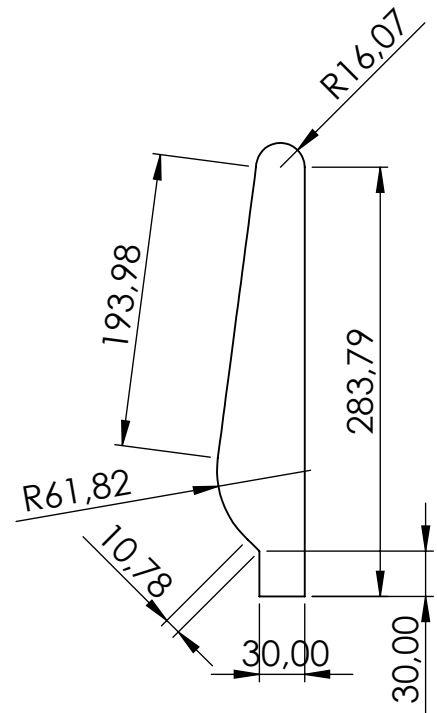
## ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT

|  |                                 |                                   |
|--|---------------------------------|-----------------------------------|
| <b>BASE DE LA GÓNDOLA</b>  | <b>TRATAMIENTO TÉRMICO:</b> N/A | <b>MATERIAL:</b><br><b>MADERA</b> |
|  | <b>ESCALA:</b> 1:5              | <b>FORMATO:</b> A4                |
| <b>DISEÑADO POR:</b><br>CARRERA INDACOCHEA DANNY DANIEL<br>PUENTE DELGADO KATHERIN VANESSA | <b>FECHA:</b> 10/12/2021        | <b>LÁMINA:</b> 1                  |

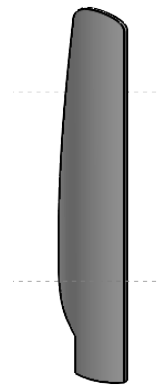
VISTA LATERAL IZQUIERDA



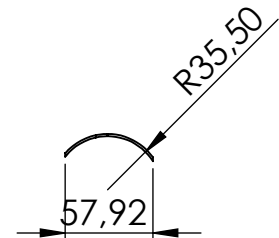
VISTA FRONTAL



VISTA ISOMÉTRICA



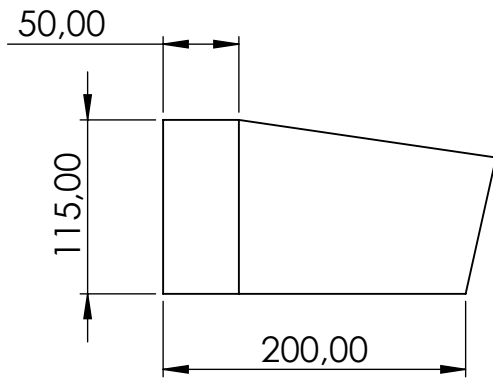
VISTA INFERIOR



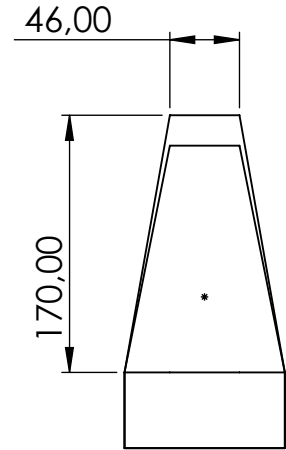
**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT**

|  |                                 |                         |
|--|---------------------------------|-------------------------|
| <b>ASPA</b>  | <b>TRATAMIENTO TÉRMICO:</b> N/A | <b>MATERIAL:</b><br>PVC |
|  | <b>ESCALA:</b> 1:5              | <b>FORMATO:</b> A4      |
| <b>DISEÑADO POR:</b><br>CARRERA INDACOCHEA DANNY DANIEL<br>PUENTE DELGADO KATHERIN VANESSA | <b>FECHA:</b> 10/12/2021        | <b>LÁMINA:</b> 3        |

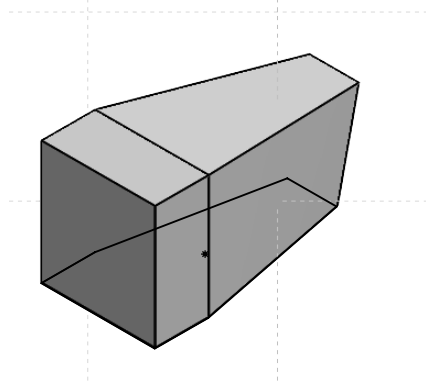
VISTA LATERAL DERECHA



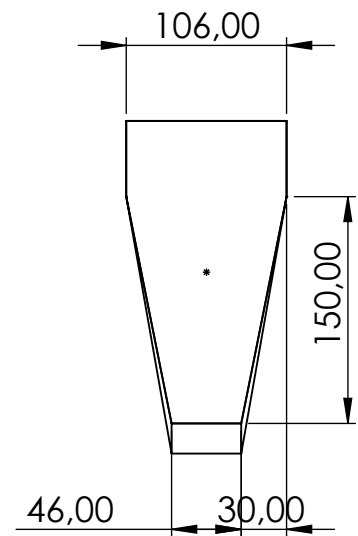
VISTA SUPERIOR



VISTA ISOMÉTRICA



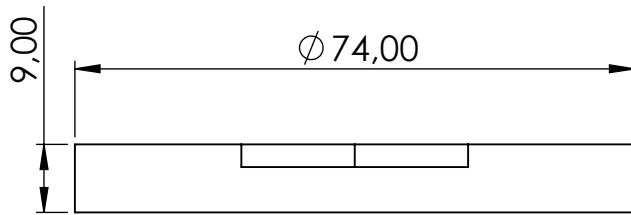
VISTA INFERIOR



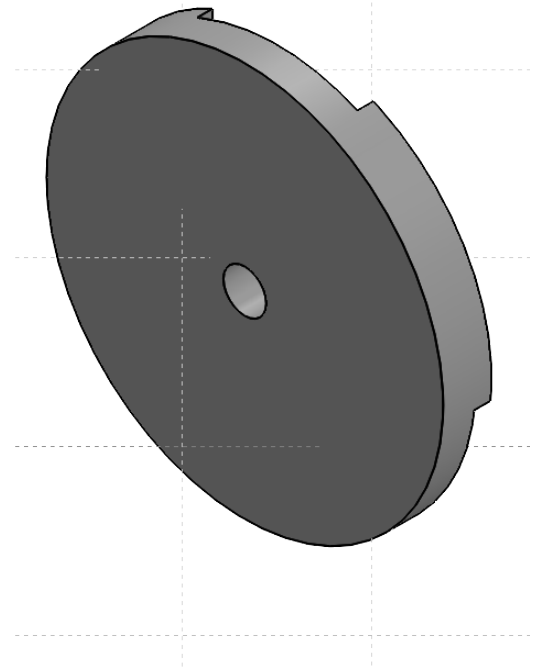
**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT**

|  |                                 |                                     |
|--|---------------------------------|-------------------------------------|
| <b>GÓNDOLA</b>   | <b>TRATAMIENTO TÉRMICO:</b> N/A | <b>MATERIAL:</b><br>FIBRA DE VIDRIO |
|  | <b>ESCALA:</b> 1:5              | <b>FORMATO:</b> A4                  |
| <b>DISEÑADO POR:</b><br>CARRERA INDACOCHEA DANNY DANIEL<br>PUENTE DELGADO KATHERIN VANESSA | <b>FECHA:</b> 10/12/2021        | <b>LÁMINA:</b> 2                    |

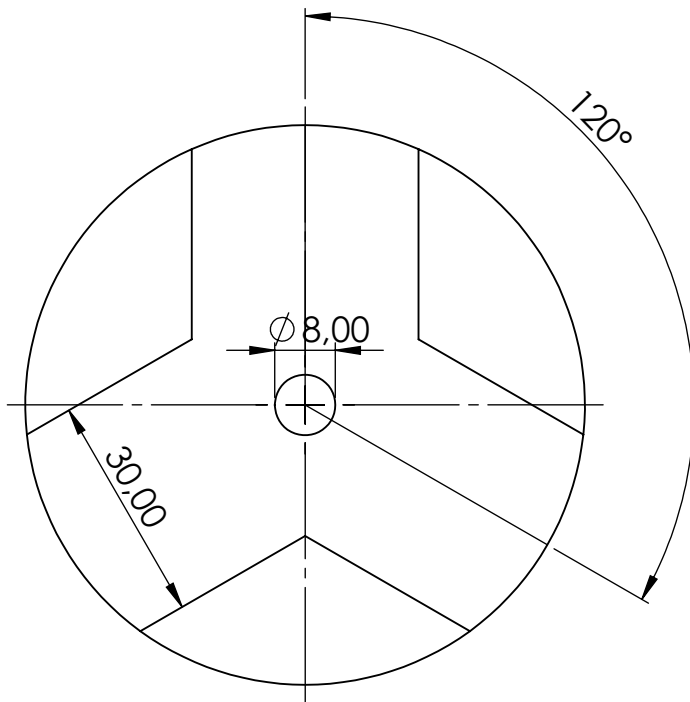
VISTA SUPERIOR



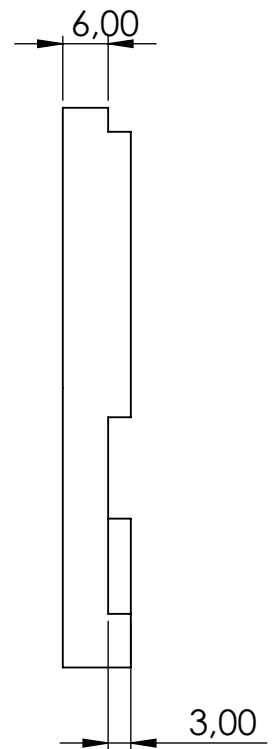
VISTA ISOMÉTRICA



VISTA TRASERA



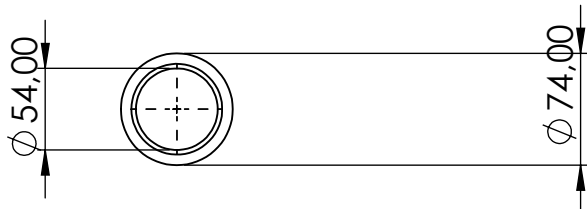
VISTA LATERAL DERECHA



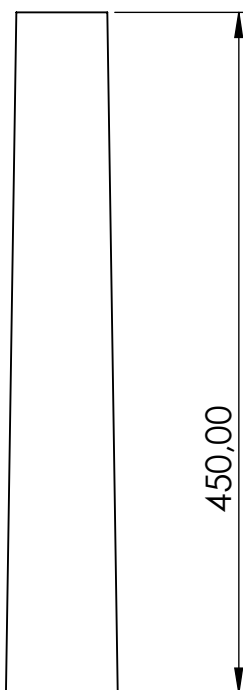
**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT**

|  |                                 |                            |
|--|---------------------------------|----------------------------|
| <b>BASE DE LAS ASPAS</b>   | <b>TRATAMIENTO TÉRMICO:</b> N/A | <b>MATERIAL:</b><br>MADERA |
|  | <b>ESCALA:</b> 1:1              | <b>FORMATO:</b> A4         |
| <b>DISEÑADO POR:</b><br>CARRERA INDACOCHEA DANNY DANIEL<br>PUENTE DELGADO KATHERIN VANESSA | <b>FECHA:</b> 10/12/2021        | <b>LÁMINA:</b> 4           |

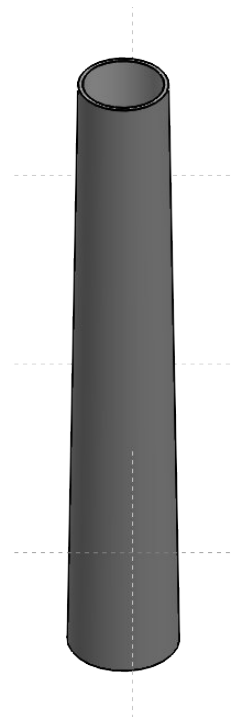
Vista Superior



Vista Frontal



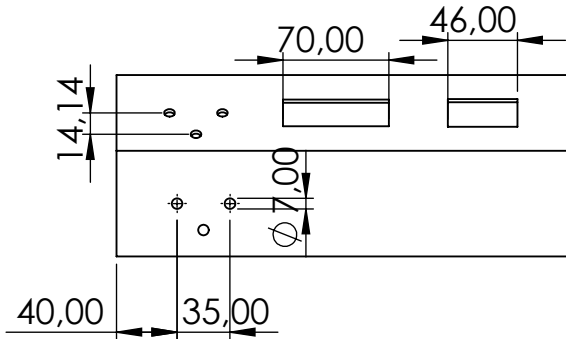
Vista Isométrica



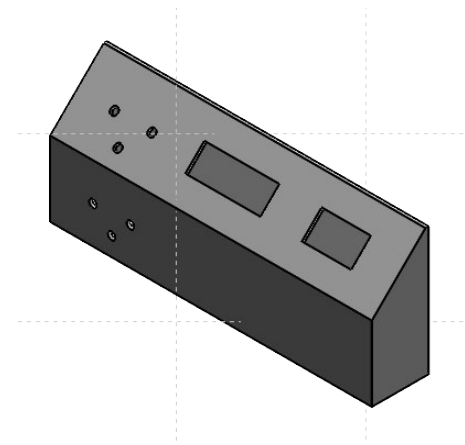
**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT**

|  |                                 |                         |
|--|---------------------------------|-------------------------|
| <b>TORRE</b>   | <b>TRATAMIENTO TÉRMICO:</b> N/A | <b>MATERIAL:</b><br>PVC |
|  | <b>ESCALA:</b> 1:5              | <b>FORMATO:</b> A4      |
| <b>DISEÑADO POR:</b><br>CARRERA INDACOCHEA DANNY DANIEL<br>PUENTE DELGADO KATHERIN VANESSA | <b>FECHA:</b> 10/12/2021        | <b>LÁMINA:</b> 5        |

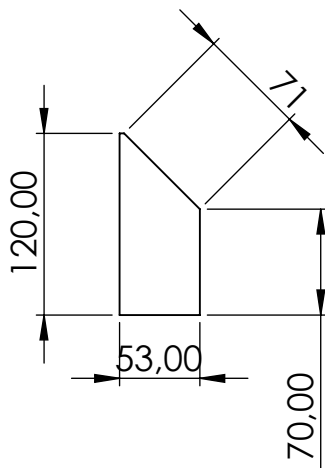
VISTA FRONTAL



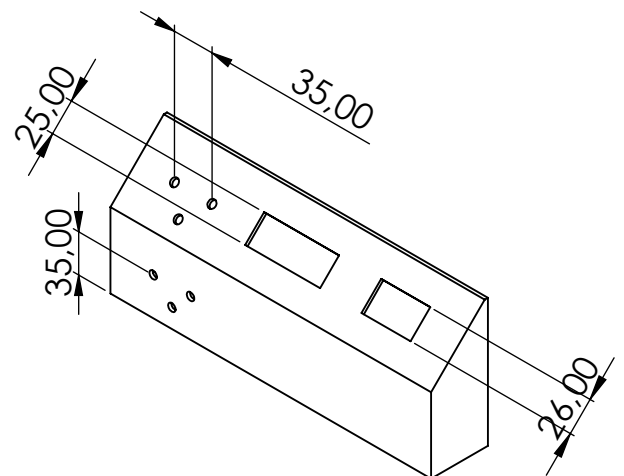
VISTA ISOMÉTRICA



VISTA LATERAL IZQUIERDA



VISTA ISOMÉTRICA IZQUIERDA

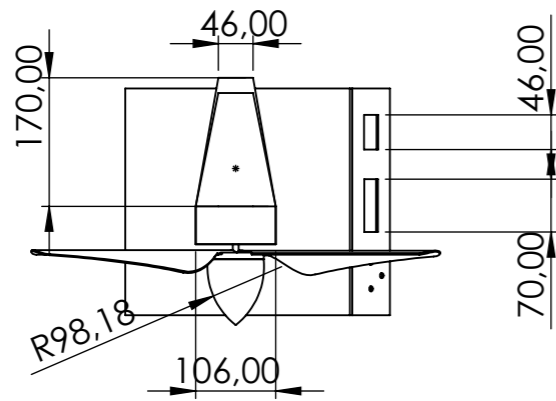


**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT**

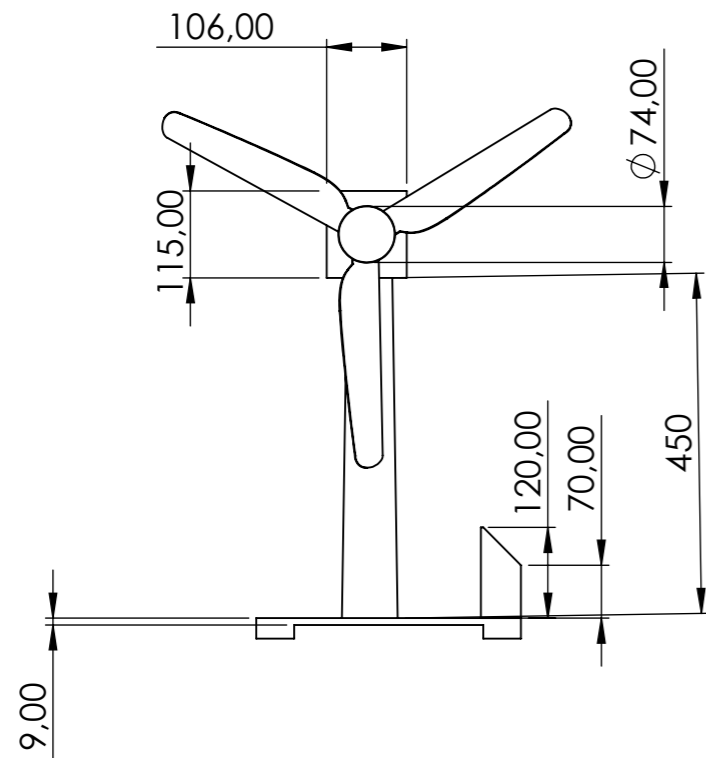
|  |                                 |                           |
|--|---------------------------------|---------------------------|
| <b>TABLERO</b>   | <b>TRATAMIENTO TÉRMICO:</b> N/A | <b>MATERIAL:</b> ACRÍLICO |
|  | <b>ESCALA:</b> 1:5              | <b>FORMATO:</b> A4        |
| <b>DISEÑADO POR:</b><br>CARRERA INDACOCHEA DANNY DANIEL<br>PUENTE DELGADO KATHERIN VANESSA | <b>FECHA:</b> 10/12/2021        | <b>LÁMINA:</b> 6          |



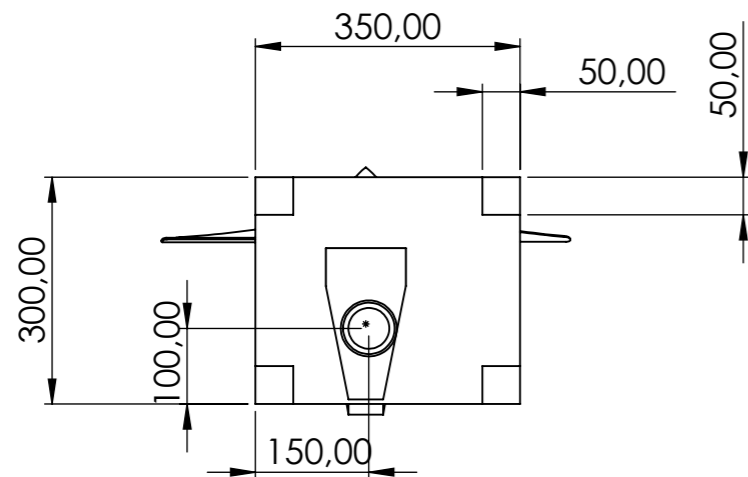
VISTA SUPERIOR



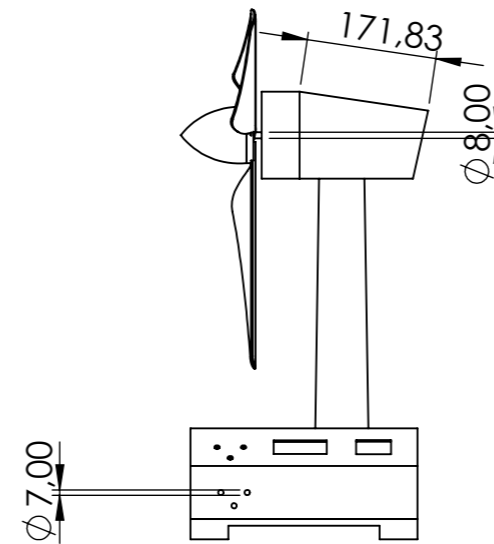
VISTA FRONTAL



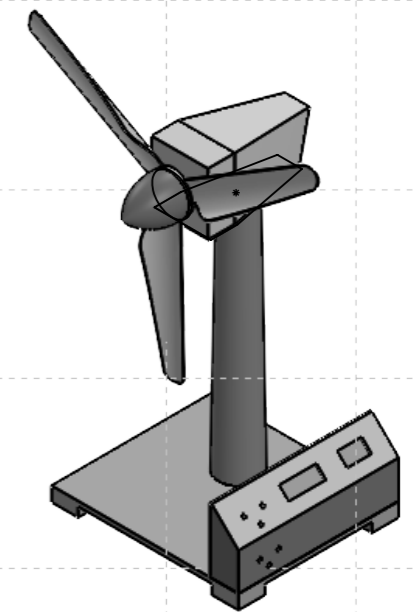
VISTA INFERIOR



VISTA LATERAL



VISTA ISOMÉTRICA



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT

MÓDULO EÓLICO

TRATAMIENTO  
TÉRMICO: N/A

MATERIAL:  
PVC - MADERA -  
ACRÍLICO

ESCALA: 1:10

FORMATO: A3

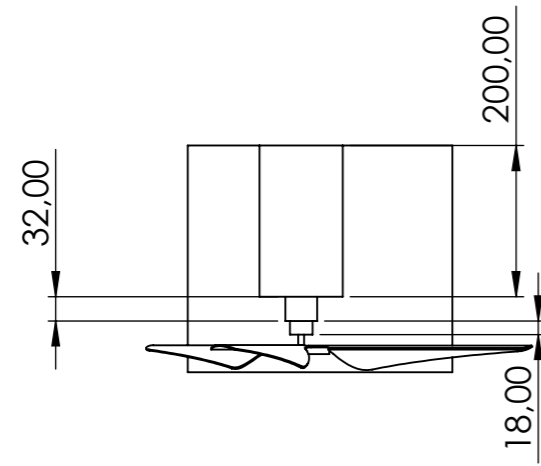
DISEÑADO POR:

CARRERA INDACOCHEA DANNY DANIEL  
PUENTE DELGADO KATHERIN VANESSA

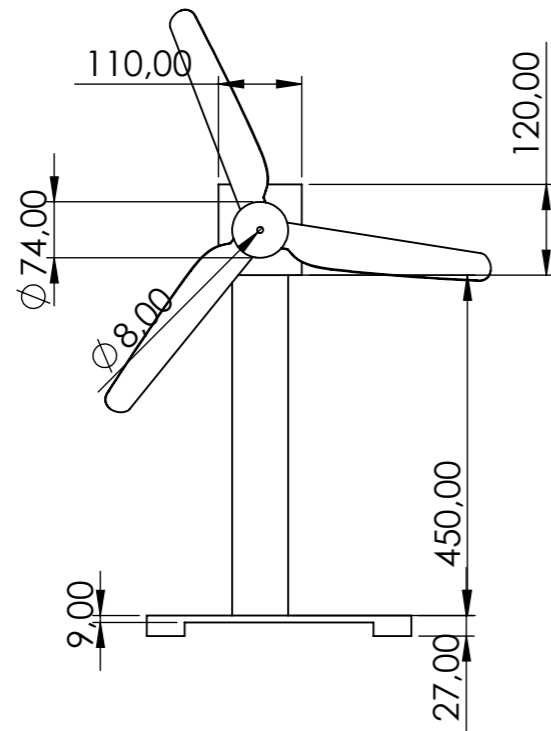
FECHA: 10/12/2021

LÁMINA: 7

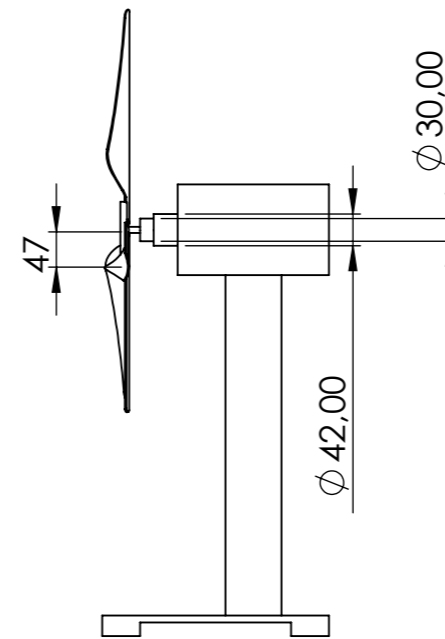
VISTA SUPERIOR



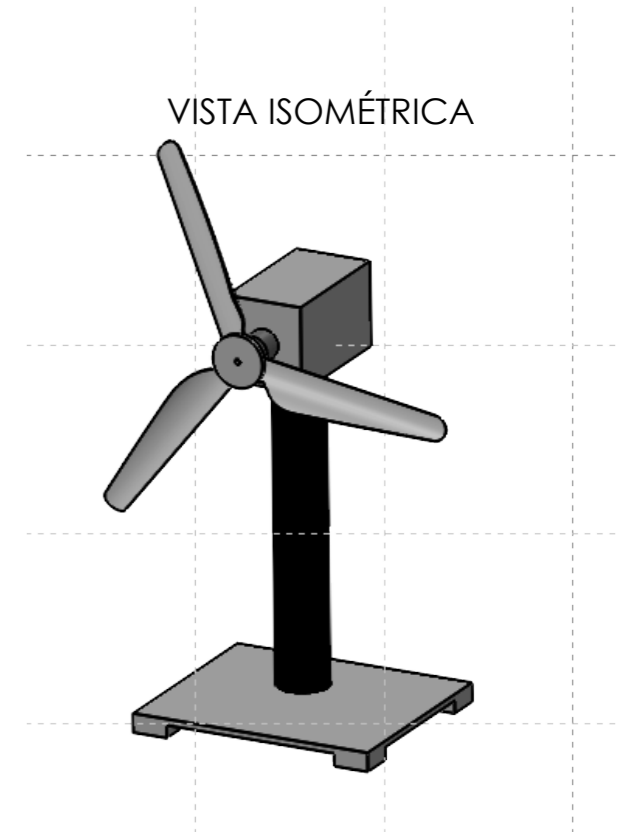
VISTA FRONTAL



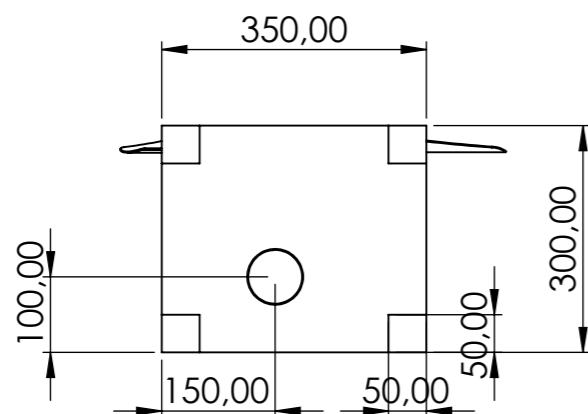
VISTA LATERAL



VISTA ISOMÉTRICA



VISTA INFERIOR



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT

MÓDULO GENERADOR DE VIENTO

TRATAMIENTO TÉRMICO: N/A

MATERIAL: PVC - MADERA

ESCALA: 1:10

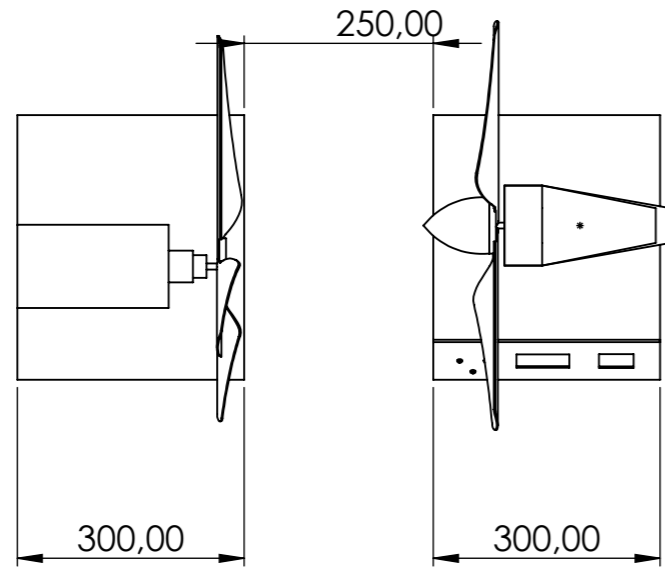
FORMATO: A3

DISEÑADO POR:  
CARRERA INDACOCHEA DANNY DANIEL  
PUENTE DELGADO KATHERIN VANESSA

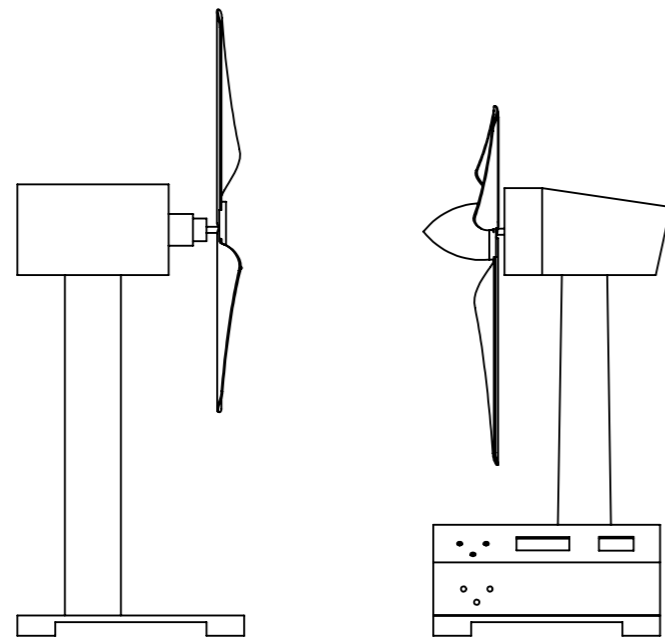
FECHA: 10/12/2021

LÁMINA: 8

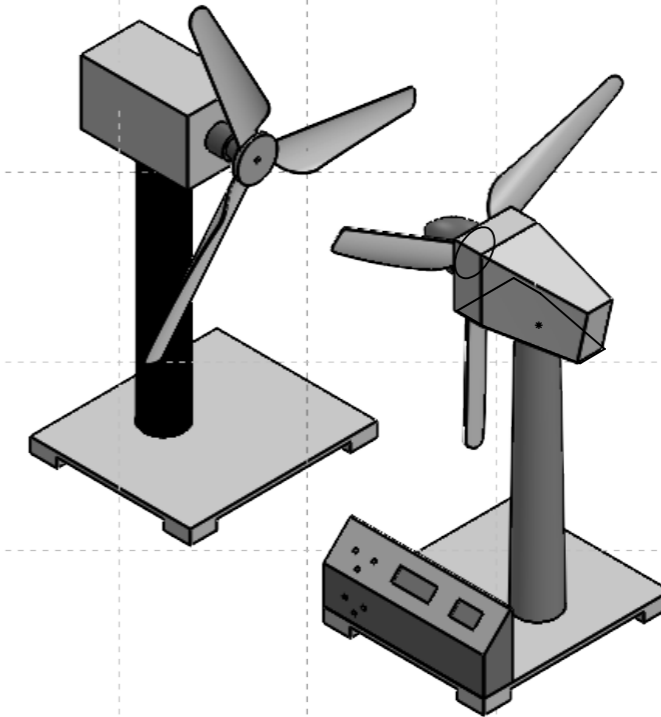
VISTA SUPERIOR



VISTA LATERAL



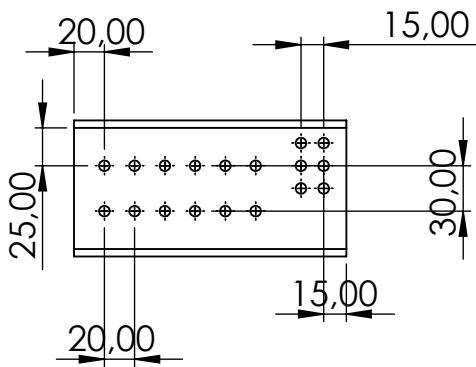
VISTA ISOMÉTRICA



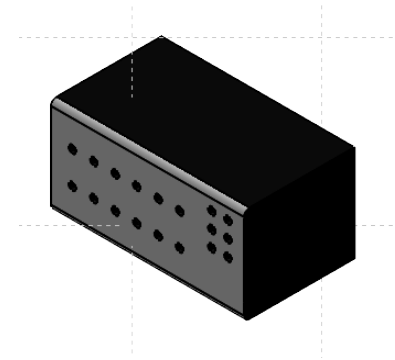
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT

|  |                                 |                                  |
|--|---------------------------------|----------------------------------|
| <b>DISPOSICION DE LOS MODULOS</b>  | <b>TRATAMIENTO TÉRMICO:</b> N/A | <b>MATERIAL:</b><br>PVC - MADERA |
|  | <b>ESCALA:</b> 1:10             | <b>FORMATO:</b> A3               |
| <b>DISEÑADO POR:</b><br>CARRERA INDACOCHEA DANNY DANIEL<br>PUENTE DELGADO KATHERIN VANESSA | <b>FECHA:</b> 10/12/2021        | <b>LÁMINA:</b> 9                 |

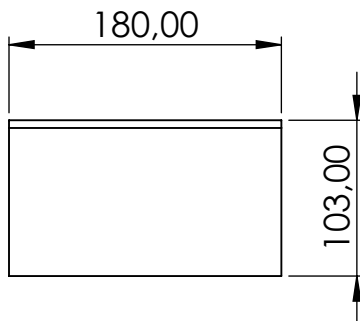
VISTA FRONTAL



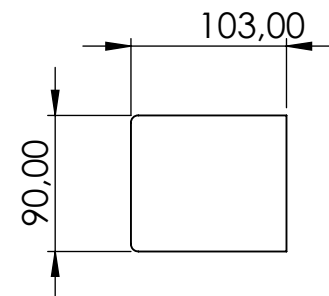
VISTA ISOMÉTRICA



VISTA SUPERIOR



VISTA LATERAL



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT**

**MÓDULO DE COMUNICACIÓN**

**TRATAMIENTO TÉRMICO:** N/A

**MATERIAL:** ACRÍLICO

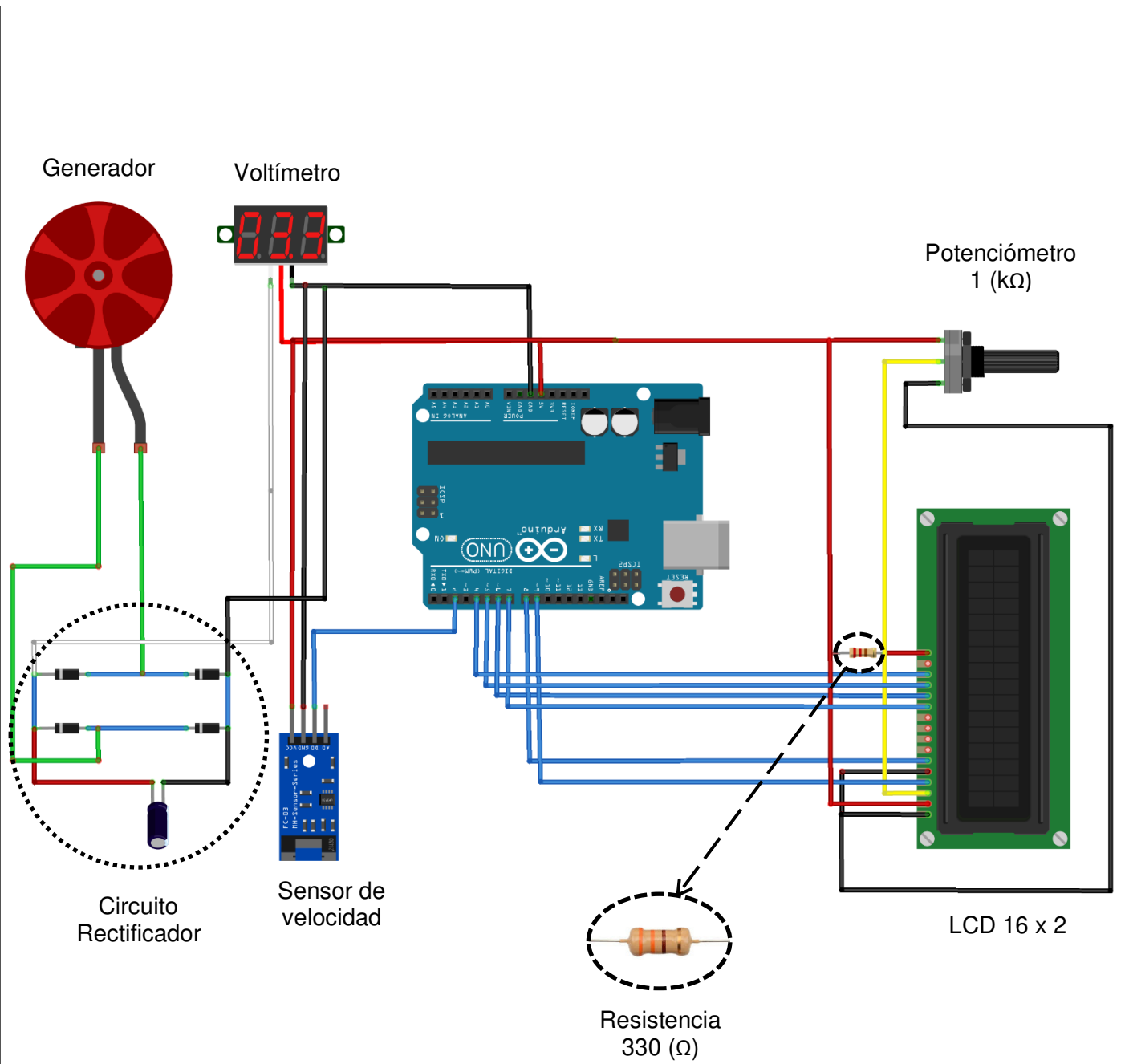
**ESCALA:** 1:5

**FORMATO:** A4

**DISEÑADO POR:**  
CARRERA INDACOCHEA DANNY DANIEL  
PUENTE DELGADO KATHERIN VANESSA

**FECHA:** 10/12/2021

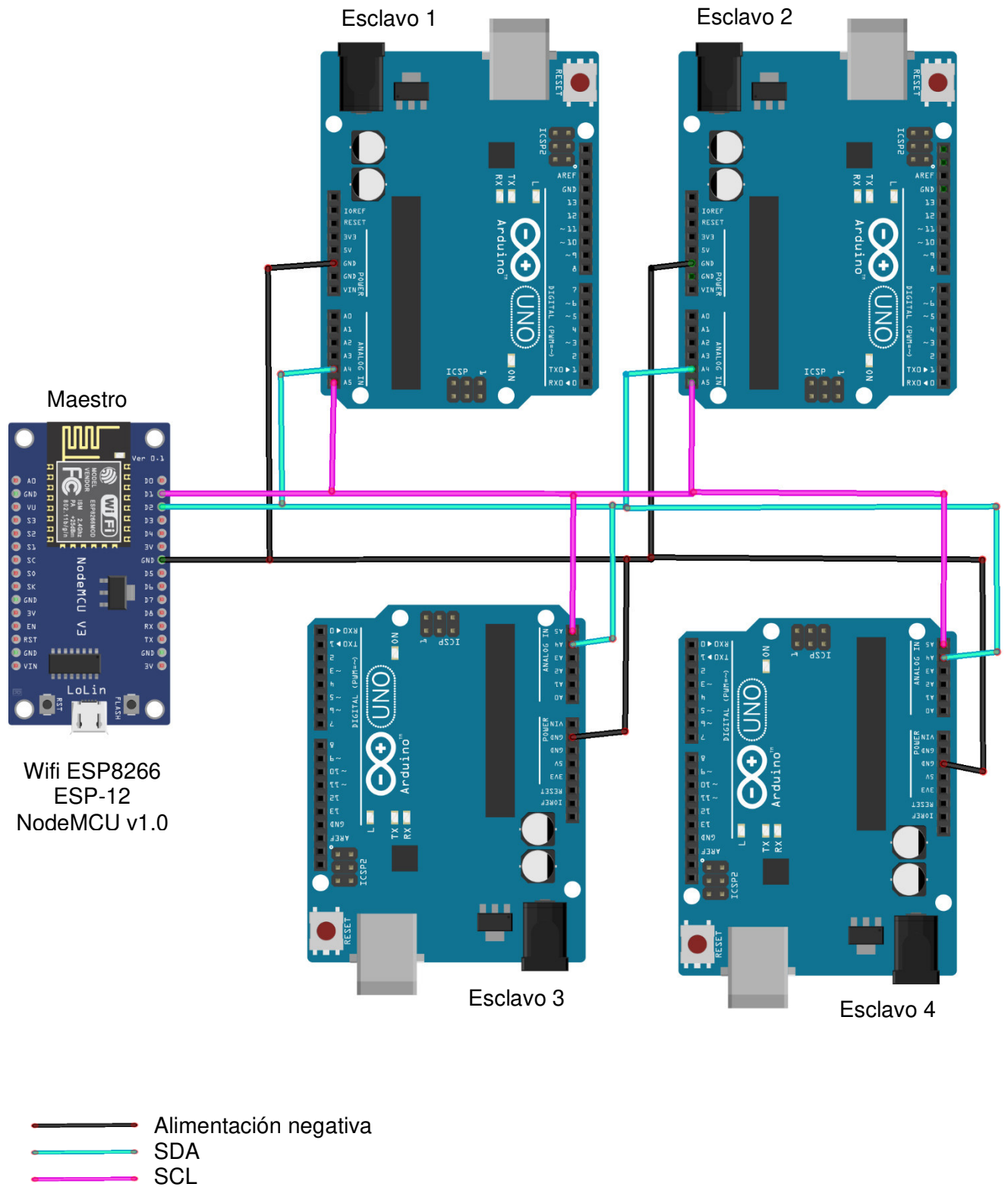
**LÁMINA:** 10



- Alimentación positiva
- Alimentación negativa
- Señal de datos
- Señal de voltaje alterno
- Señal de control de brillo LCD
- Señal de entrada voltímetro

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT**

|   |                          |               |
|---|--------------------------|---------------|
| <b>ESQUEMA ELÉCTRICO DE LOS MÓDULOS EÓLICOS</b>                                     | TRATAMIENTO TÉRMICO: N/A | MATERIAL: N/A |
|   | ESCALA: N/A              | FORMATO: A4   |
| DISEÑADO POR:<br>CARRERA INDACOCHEA DANNY DANIEL<br>PUENTE DELGADO KATHERIN VANESSA | FECHA: 10/12/2021        | LÁMINA: 11    |



## ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT

### ESQUEMA ELÉCTRICO MAESTRO-ESCLAVO

TRATAMIENTO  
TÉRMICO: N/A

MATERIAL: N/A

ESCALA: N/A

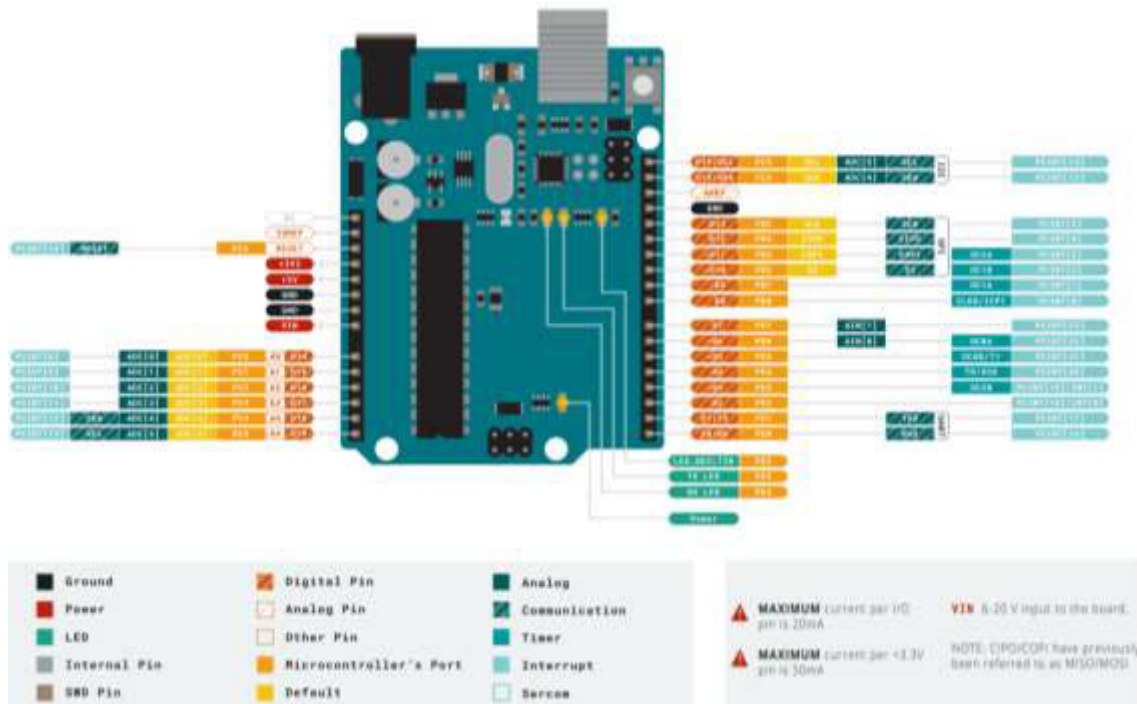
FORMATO: A4

DISEÑADO POR:  
CARRERA INDACOCHEA DANNY DANIEL  
PUENTE DELGADO KATHERIN VANESSA

FECHA: 10/12/2021

LÁMINA: 12

## **ANEXO 3: DATOS TÉCNICOS**



**Figura A1.1** Pines del Arduino Uno [13]

**Tabla A1.1** Especificaciones técnicas [13]

| Especificaciones técnicas de la placa Arduino Uno |                    |
|---|--------------------|
| Microcontrolador                                  | ATmega328P         |
| Voltaje de funcionamiento                         | 5 (V)              |
| Voltaje de entrada (recomendado)                  | 7 (V) – 12 (V)     |
| Voltaje de entrada (límite)                       | 6 (V) – 20 (V)     |
| Pines de Entrada analógica                        | 6                  |
| Corriente CC por pin de E / 5                     | 20 (mA)            |
| Corriente CC para pin de 3.3V                     | 50 (mA)            |
| Memoria flash                                     | 32 KB (ATmega328P) |
| SRAM  | 2 KB (ATmega328P)  |
| EEPROM  | 1 KB (ATmega328P)  |
| Velocidad de reloj                                | 16 (MHz)           |



# ESP-12E DEVELOPMENT BOARD PINOUT

- NOTES:
- ▲ Typ. pin current 6mA (Max. 12mA)
  - ▲ For sleep mode, connect GPIO16 and EXT\_RSTB. On wakeup, GPIO16 will output LOW for system reset.
  - ▲ On boot/reset/wakeup, keep GPIO15 LOW and GPIO2 HIGH.

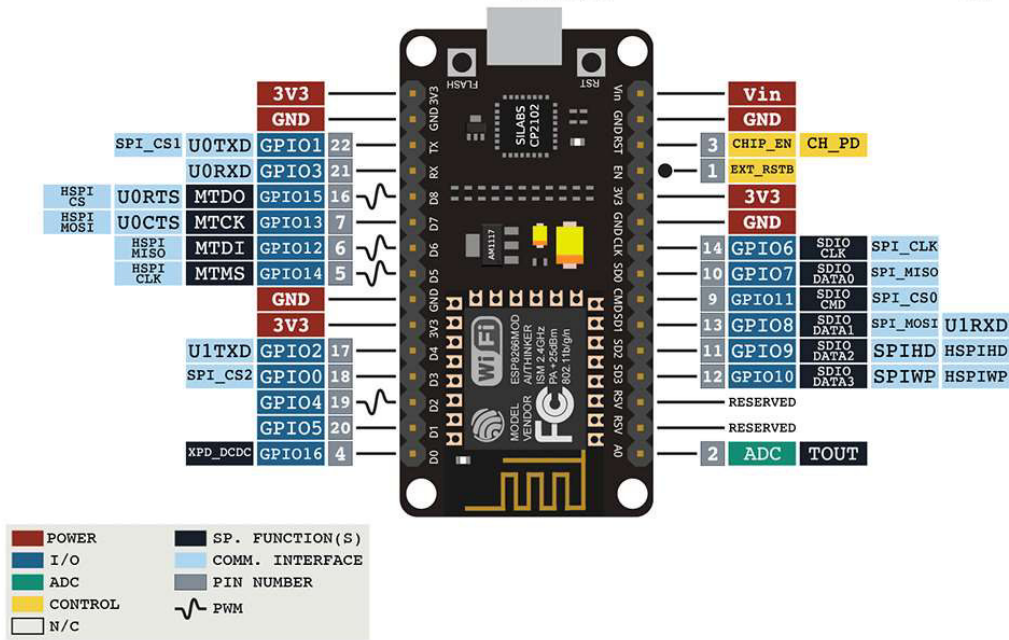


Figura A1.2 Pines del NodeMCU ESP8266 ESP-12 v1.0 [14]

Tabla A1.2 Especificaciones técnicas [14]

| Especificaciones técnicas de la placa NodeMCU |                              |
|---|------------------------------|
| Voltaje de alimentación                       | 5 (V)                        |
| Voltaje de Entradas / Salidas                 | 5 (V) / 3.3 (V)              |
| Chip conversor USB-serial                     | CP2102                       |
| CPU   | Tensilica Xtensa LX3 32 bits |
| Frecuencia de reloj                           | 80 (MHz) / 160 (MHz)         |
| Instruction RAM                               | 32 (KB)                      |
| Data RAM                                      | 96 (KB)                      |
| Memoria flash externa                         | 4 (MB)                       |
| Protocolos                                    | 802.11 b / g / n             |
| Potencia de salida                            | +19.5 dBm                    |
| Tecnologías                                   | STBC, 1 x 1 MIMO, 2 x 1 MIMO |

## **ANEXO 4: ALGORITMOS PARA LA COMUNICACIÓN MAESTRO-ESCLAVO.**

```

//PROGRAMA DEL MAESTRO
// Inclusión de librerías
#include <Wire.h>
#include <Ubidots.h>
#include "lib_ejc.h"

//Declaracion de variables para Ubidots
#define DEVICE_LABEL "10521c021d2f" // Ubidots label
#define UBIDOTS_TOKEN "BBFF-gK5SCg3lwe6JOricNwYLwbhANgx4o1" // Ubidots
TOKEN
Ubidots Ubidots(UBIDOTS_TOKEN, UBI_HTTP); // Inicialización Ubidots

// Definir las direcciones de los esclavos
int direccion[6] = {2, 3, 4, 5, 6, 7};
//Declaracion de variables
int aux_cuenta = 0;
int decena_voltaje, unidad_voltaje;
int centena_contador, decena_contador, unidad_contador;
int mili_volt, contador;

void setup() {
  conectaWifi();
  Wire.begin(); // Iniciar bus I2C
}
void loop() {
  // Solicitar mediciones a los esclavos
  for (int i = 0; i < 6; i++) {
    Leer_Esclavo(direccion[i]); // Leer esclavo
    delay(500);
  }
}
// Función: Leer esclavo
void Leer_Esclavo(int direccion) {
  Wire.requestFrom(direccion, 5); // Cantidad de bytes : 5
  delay(500);

  while (Wire.available() > 0) {
    int dato_recibido = Wire.read(); // Leer valores
    if (aux_cuenta == 0) {
      decena_voltaje = dato_recibido;
      aux_cuenta++;
    } else if (aux_cuenta == 1) {
      unidad_voltaje = dato_recibido;
      aux_cuenta++;
    }
  }
}

```

```

mili_volt=(decena_voltaje*10)+unidad_voltaje;
Serial.println(mili_volt);
} else if (aux_cuenta == 2) {
centena_contador = dato_recibido;
aux_cuenta++;
} else if (aux_cuenta == 3) {
decena_contador = dato_recibido;
aux_cuenta++;
} else if (aux_cuenta == 4) {
unidad_contador = dato_recibido;
contador=(centena_contador*100)+(decena_contador*10)+unidad_contador;
aux_cuenta=0;

//Variables para enviar Ubidots
Ubidots.add("Voltaje", mili_volt );
Ubidots.add("Tarjeta", direccion );
Ubidots.add("Cont", contador );
bool bufferSent = false;
bufferSent = Ubidots.send(); //Confirmación de envío de datos hacia Ubidots
if (bufferSent) {
Serial.println("Valores enviados");
}
Serial.print("Esclavo: "); Serial.print(direccion);
Serial.print(" V: "); Serial.print(mili_volt);
Serial.print(" Contador: "); Serial.println(contador);
}
}
}

```

```

#LIBRERIA lib_ejc.h
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <strings_en.h>
#include <DNSServer.h>
#include <ESP8266WebServer.h>
#include <WiFiManager.h>

#include <Ticker.h>

#define pinLedWifi D4
Ticker ticker;

void LedWifi(){
  byte estado = digitalRead (pinLedWifi);
  digitalWrite(pinLedWifi, !estado);
}

void conectaWifi() {
  Serial.begin(115200);

  pinMode(pinLedWifi, OUTPUT);
  ticker.attach(0.2, LedWifi);

  WiFiManager wifiManager;
  //wifiManager.resetSettings();

  if(!wifiManager.autoConnect(" ESP8266I2C")){
    Serial.println ("Fallo en conexion");
    ESP.reset();
    delay(1000);
  }

  Serial.println ("Ya estas conectado");
  ticker.detach();
  digitalWrite(pinLedWifi, HIGH);
}

```

```

//PROGRAMA DE LOS ESCLAVOS
// Inclusión de librerías
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal.h> // Librería para manejar la LCD

LiquidCrystal lcd(9, 8, 7, 6, 5, 4); // Objeto LCD(RS E D4 D5 D6 D7)
// Definición de constantes
#define direccion 4 // Dirección del esclavo
#define espacios 20 // Muecas del encoder
#define diametro 26 // Diámetro en milímetros

// Declaración de variables globales
unsigned int voltaje; // Voltaje en V
float velocidad; // Velocidad en m/s
float rpm; // Revoluciones por minuto
unsigned int contador;

void setup() {
  Wire.begin(direccion); // Unión al bus I2C con la dirección
  Wire.onRequest(requestEvent); // Evento
  Serial.begin(9600); // Inicia comunicación serial
  lcd.begin(16, 2); // Inicia pantalla LCD 16x2
  lcd.home();
  //Declaración de pin de entrada analógica
  pinMode(A0,INPUT);
  // Inicializa interrupcion externa del pin
  attachInterrupt(0,interrupcion,RISING);
}
// Rutina de interrupcion externa
void interrupcion() {
  contador++; //Aumenta contador
}
void loop() {
  delay(999);
  // Leer valor analogico
  int adc = analogRead(A0); //Leer valor analógico
  voltaje = (adc * 50.0) / 1023.0; //Conversión de unidades crudas a voltaje
  delay(100);
  rpm=contador*(60/espacios); //Calculo de RPM
  velocidad = (rpm*3.1416/60000)*diametro; // Calculo de velocidad
  lcd.setCursor(0,0); // Fijación el cursor
  lcd.print(rpm); // Impresión en LCD
  lcd.print(" RPM "); // Impresión en LCD
  lcd.setCursor(0,1); // Fijación el cursor

```

```

lcd.print("Vel. = "); // Impresión en LCD
lcd.print(velocidad,2); // Impresión con 2 decimales
lcd.print(" m/s"); // Impresión en LCD
contador = 0;
}
// Funcion de respuesta cuando lleva una consulta desde el Maestro
void requestEvent() {
// Descomposicion valores
int decena_voltaje = voltaje / 10;
int unidad_voltaje = voltaje - (decena_voltaje * 10);
int centena_contador = contador / 100;
float aux_contador = contador - (centena_contador * 100.0);
int decena_contador = aux_contador / 10;
int unidad_contador = aux_contador - (decena_contador * 10);

// Enviar valores
Wire.write(decena_voltaje);
Wire.write(unidad_voltaje);
Wire.write(centena_contador);
Wire.write(decena_contador);
Wire.write(unidad_contador);
}

```