



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA
PROPUESTA TECNOLÓGICA

**DISEÑO DE UN PROTOTIPO ELECTRÓNICO DE PESO LIGERO PARA
PROSPECCIÓN EÓLICA PRELIMINAR CON UN GLOBO CAUTIVO.**

Proyecto de titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingenieros en
Electromecánica.

Autores:

Vásquez Castellanos Wilson Aníbal

Otavalo Vargas Sergio Sebastián

Tutor Académico:

Laurencio Alfonso Héctor Luis

LATACUNGA-ECUADOR

2021

DECLARACIÓN DE AUDITORIA

Nosotros, Vasquez Castellanos Wilson Aníbal y Otavalo Vargas Sergio Sebastián declaramos que el presente trabajo de propuesta tecnológica: **“DISEÑO DE UN PROTOTIPO ELECTRÓNICO DE PESO LIGERO PARA PROSPECCIÓN EOLICA PRELIMINAR CON UN GLOBO CAUTIVO”**, se ha ejecutado de forma íntegra, respetando los derechos intelectuales de las personas que han extendido definiciones mediante las respectivas citas en las cuales indican la autoría, siendo el Ing. Héctor Luis Laurencio Alfonso Dr.C. Ms.C. tutor del presente proyecto y excluimos relevantemente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes de posibles reclamos legales.

En capacidad de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, alcance y legitimidad del presente trabajo de titulación.

Latacunga, agosto 2021

Wilson Aníbal Vasquez Castellanos

C.I. 050329684-0

Sergio Sebastián Otavalo Vargas

C.I. 180442158-2

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“DISEÑO DE UN PROTOTIPO ELECTRÓNICO DE PESO LIGERO PARA PROSPECCIÓN EOLICA PRELIMINAR CON UN GLOBO CAUTIVO” de los ponentes : Vasquez Castellanos Wilson Aníbal, Otavalo Vargas Sergio Sebastián, de la carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y apuntes científicos-técnicos suficientes para ser sometido a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, agosto 2021

Ing. Héctor Luis Laurencio Alfonso; Dr.C. Ms.C.

C.C: 175836725-2

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD de Ciencias de la Ingeniería y Aplicada; por cuanto, el o los postulantes: **Wilson Aníbal Vasquez Castellanos** y **Sergio Sebastián Otavalo Vargas** con el título de proyecto: **“DISEÑO DE UN PROTOTIPO ELECTRÓNICO DE PESO LIGERO PARA PROSPECCIÓN EOLICA PRELIMINAR CON UN GLOBO CAUTIVO”**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, agosto 2021

Para constancia firman:

Lector 1 (presidente)

Ing. Héctor Raúl Reinoso Peñaherrera; Ms. C. MBA

CC: 050215089-9

Lector 2

Ing. Luis Miguel Navarrete López; Ms. C.;

CC: 180374728-4

Lector 3

Ing. Segundo Ángel Cevallos Betún; Ms. C.

CC: 050178243-7

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la perseverancia para cumplir mis objetivos, metas y sueños, a mi familia por siempre estar presente en todo momento, al Ing. Héctor Luis Laurencio Alfonso; Dr. C. Ms. C. por ayudarme en este proceso importante aportando con su conocimiento y experiencia, a mis compañeros que con sus palabras de aliento impulsaron a que este objetivo se cumpla de la mejor manera, a mi querida Universidad Técnica de Cotopaxi que permitió formarme académicamente y a la vez culminar con mis estudios superiores, pero sobre todo la adquisición de valores a través de cada ciclo para convertirme en una mejor persona.

Wilson Vasquez

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la perseverancia para cumplir mis objetivos, metas y sueños, a mi familia por siempre estar presente en todo momento, al Ing. Héctor Luis Laurencio Alfonso; Dr. C. Ms. C. por ayudarme en este proceso importante aportando con su conocimiento y experiencia, a mis compañeros que con sus palabras de aliento impulsaron a que este objetivo se cumpla de la mejor manera, a mi querida Universidad Técnica de Cotopaxi que permitió formarme académicamente y a la vez culminar con mis estudios superiores, pero sobre todo la adquisición de valores a través de cada ciclo para convertirme en una mejor persona.

Sergio Otavalo

DEDICATORIA

El trabajo de titulación lo dedico a Dios, por estar presente siempre que lo necesite le doy gracias por otorgarme fuerzas, salud, constancia para poder realizar mi sueño y no desistir.

A mis padres Carmita y Wilson por brindarme su trabajo esfuerzo y sacrificio, además de un apoyo incondicional para poder culminar mis estudios, a mi novia Karlita que me brindo esperanza y ánimos para seguir adelante en este proceso exitosamente y a mi abuelita Olga quien con su cariño siempre me cuida junto a sus consejos y buenos deseos.

Wilson Vasquez

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios por brindarme salud, vida y muchas bendiciones para cumplir este logro, con profundo amor a mis padres Sergio - Elena que son el pilar fundamental que con su cariño, apoyo constante que me han brindado durante toda la carrera estudiantil nunca me dejaron rendir mediante sus consejos que han sabido guiarme para ser valiente y así conseguir mis objetivos, a mi hermano Josué y a toda mi familia que con su apoyo me han sabido darme fuerzas para salir adelante.

Sergio Otavalo

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUDITORIA	ii
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vii
RESUMEN	xvii
1 INFORMACIÓN GENERAL	xx
2 INTRODUCCIÓN	1
2.1 EL PROBLEMA:.....	1
2.1.1 Situación Problémica:.....	2
2.1.2 Formulación del problema.....	2
2.2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y DOCUMENTAL	3
2.3 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN	4
2.3.1 Objeto de estudio	4
2.3.2 Campo de Acción	4
2.4 BENEFICIARIOS	4
2.5 JUSTIFICACIÓN	4
2.6 HIPÓTESIS	5
2.7 OBJETIVOS	5
2.7.1 General.....	5
2.7.2 Específicos.....	6
2.8 SISTEMA DE TAREAS	6
3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	7
3.1 ANTECEDENTES	7
3.2 DEFINICIÓN VIENTO.....	9
3.2.1 Clasificación de vientos en la atmósfera	9
3.2.1.1 Viento geostrófico	9
3.2.1.2 Viento de gradiente.....	9
3.2.1.3 Viento cicloestrófico.....	10
3.2.2.1 Gradiente de presión.....	10
3.2.2.2 Efecto de Coriolis	11
3.2.2.3 Fuerza de rozamiento y espiral de Ekman del aire	11
3.2.2.4 Convergencia y divergencia del aire	12

3.3	RECURSOS EÓLICOS EN EL ECUADOR	12
3.3.1	Escala Beaufort.....	13
3.3.2	Estimación del potencial eólico.....	13
3.3.3	Energía eólica en el Ecuador	14
3.4	Centrales Eólicas del Ecuador	15
3.4.1	Parque eólico San Cristóbal.....	15
3.4.2	Parque eólico Villonaco.....	16
3.4.3	Parque eólico Baltra.....	16
3.4.4.1	Aerogenerador Garupamba.....	17
3.4.4.2	Aerogenerador del Instituto Superior Aeronáutico	18
3.4.4.3	Sistema Híbrido del Pululahua	18
3.5	Prospección Eólica.....	19
3.5.1	Distribución de la velocidad Ley de Weibull	19
3.5.2	Distribución de la velocidad Ley de Rayleigh	20
3.6	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DEL VIENTO.....	21
3.6.1	Anemómetro	21
3.6.1.1	Anemómetro tipo cazoleta.....	21
3.6.1.2	Anemómetro tipo hélice	22
3.6.2	Medición de la dirección del viento	22
3.7	ESTACIONES METEOROLÓGICAS	23
3.7.1	Instrumentos y variables medidas de una estación meteorológica.....	23
3.8	EL GLOBO CAUTIVO	24
3.8.1	Usos de globo cautivo	24
3.8.2	Materiales y construcción de un globo cautivo	24
3.9	MICROCONTROLADORES	25
3.9.1	Arduino.....	25
3.9.2	Lenguaje de programación de Arduino	25
3.10	DISPOSITIVOS DE TRANSMISIÓN DE DATOS INALÁMBRICOS	26
3.10.1	Módulo de Arduino Xbee	26
3.10.2	Dispositivo GPS	26
3.10.3	Conexión inalámbrica GSM	27
4	MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
4.1	DESCRIPCIÓN DE DISPOSITIVOS	30
4.1.1	Arduino ATmega2560.....	30

4.1.2	Módulo de reloj RTC DS1307	30
4.1.3	Sensor encoder ranurado FC-03	31
4.1.4	Módulo de temperatura y humedad relativa DHT11	32
4.1.5	Sensor de presión barométrica y altura sobre el nivel del mar BMP180	32
4.1.6	Módulo de magnetómetro MPU9250	33
4.1.7	Módulo lector de memoria micro SD	34
4.1.8	Pantalla OLED de alta resolución 128x64	34
4.1.9	Módulo de Tarjeta SIM800L	35
4.2	DISEÑO ELECTRÓNICO	35
4.2.1	Red de comunicación Maestro/Esclavo	35
4.2.2	Protocolos de comunicación	36
4.2.2.1	Protocolo de comunicación I2C	37
4.2.2.2	Protocolo de comunicación RS232	38
4.2.2.3	Protocolo de comunicación Bus SPI	39
4.2.3	Variables del circuito electrónico del PPEGC001	39
4.2.3.1	Fuente de energía	39
4.2.3.2	Selección de la batería del PPEGC001	40
4.2.3.3	Autonomía de la batería del PPEGC001	40
4.2.4	Diseño de PCB del PPEGC001	41
4.3	PROGRAMACIÓN SOFTWARE IDE ARDUINO	42
4.3.1	Instrucciones de programación	43
4.3.2	Programación del medidor	45
4.3.3	Diagrama de flujo	46
4.4	DISEÑO MECÁNICO	46
4.4.1	Selección de materia prima para el armazón	46
4.4.2	Área del armazón	47
4.4.3	bandeja para dispositivos	48
4.4.4	Diseño de anemómetro	49
4.5	LANZAMIENTO DEL GLOBO METEOROLÓGICO	51
4.5.1	Características del globo meteorológico	51
4.5.2	Volumen para elevación del PPEGC001	52
4.6	DESCRIPCIÓN DE LAS VARIACIONES DEL VIENTO	53
4.6.1	Interpretación de los datos respecto a la velocidad del viento	53
4.6.2	Distribución de Weibull	54

4.6.3	Distribución de Rayleigh	55
4.6.4	Establecer el potencial eólico	55
4.6.5	Establecer la intensidad de la turbulencia del viento.....	56
4.6.6	Software libre para interpretación de datos	56
4.6.7	Base de anclaje a la superficie terrestre.....	57
5	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	58
5.1	PLACA ELECTRÓNICA DEL PROTOTIPO.....	58
5.2	DISEÑO Y FABRICACIÓN DEL ANEMÓMETRO	59
5.3	CÁLCULO DE FUERZA MÁXIMA DEL HILO NYLON	62
5.4	Cálculo de fuerza máxima de globo meteorológico	63
5.5	CÁLCULO DE LA FUERZA EJERCIDA POR EL PROTOTIPO.....	63
5.6	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	64
5.6.1	Análisis de prospección de la información recopilada.....	66
5.6.2	Simulación de tensión del hilo nylon	72
5.7	PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTO	74
5.7.1	Presupuesto.....	74
5.7.2	Análisis del VAN, TIR Y PRI.....	77
5.7.3	Análisis de impactos.....	78
5.7.3.1	Impacto económico.....	78
5.7.3.2	Impacto tecnológico	79
5.7.3.3	Impacto Ambiental	79
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	80
6.1	CONCLUSIONES	80
6.2	RECOMENDACIONES.....	81
7	BIBLIOGRAFÍA	82
8	ANEXOS	87

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Equivalencias de la escala de Beaufort	13
Tabla 3.2. Potencial eólico eléctrico estimado (Ecuador).	14
Tabla 4.1. Comparación entre dispositivos del mercado.....	29
Tabla 4.2. Comparación entre los dispositivos Arduino más utilizados del mercado[38].	30
Tabla 4.3. Comparación de módulos RTC del mercado.....	31
Tabla 4.4. Características encoder FC-03.....	31
Tabla 4.5. Comparación de módulos DHT disponibles en el mercado.	32
Tabla 4.6. Comparación de módulos BMP disponibles en el mercado.....	33
Tabla 4.7. Comparación de módulos para medir el campo magnético.....	33
Tabla 4.8. Características tarjeta micro SD.	34
Tabla 4.9 Características de pantalla OLED.	34
Tabla 4.10. Características módulo SIM800L.....	35
Tabla 4.11. Tipos de comunicación SPI.	39
Tabla 4.12. Variables del circuito electrónico del PPEGC001.....	39
Tabla 4.13. Consumo estimado del PPEGC001.	40
Tabla 4.14. Selección de la batería del PPEGC001.....	40
Tabla 4.15. Selección de la batería del PPEGC001.....	47
Tabla 4. 16 Velocidad del viento para instar un aerogenerador.	50
Tabla 4.17. Características del globo meteorológico del PPEGC001.	51
Tabla 4.18. Prestaciones máximas del globo meteorológico del PPEGC001.	51
Tabla 5.1. Datos obtenidos durante 3 días de medición del PPEGC001.....	61
Tabla 5.2. Porcentaje de error de anemómetro.....	62
Tabla 5.3. Porcentaje de error módulo de humedad relativa.....	65
Tabla 5.4. Porcentaje de error módulo de Presión Atmosférica.....	65
Tabla 5.5. Porcentaje de error módulo de Temperatura	66
Tabla 5.6. Porcentaje de error módulo de dirección del viento.....	66
Tabla 5.7. Datos obtenidos durante 3 días de medición del PPEGC001.....	67
Tabla 5.8. Materiales primarios directos.	75
Tabla 5.9. Mano de obra.....	75
Tabla 5.10. Cantidad total de costos directos	76
Tabla 5.11. Cantidad total de costos directos	76
Tabla 5.12. Otros costos directos de fabricación (CIF).....	76

Tabla 5.13. Tabla de costos indirectos.	76
Tabla 5.14. Costos de producción.	76
Tabla 5.15. Costos de producción.	77
Tabla 5.16. Depreciación de maquinaria.	77
Tabla 5.17. Flujo neto del efectivo.	77
Tabla 5.18. Cálculo VAN.	78
Tabla 5.19. Cálculo TIR.	78
Tabla 5.20. Periodo de recuperación de la inversión.	78

ÍNDICE FIGURAS

Figura 2.1. Problema esquemático	2
Figura 3.1. Representación del viento Geostrófico	9
Figura 3.2. Representación del viento gradiente	10
Figura 3.3. Representación del viento ciclostrófico	10
Figura 3.4. Presión media al nivel del mar	11
Figura 3.5. Efecto de Coriolis.....	11
Figura 3.6. Espiral de Ekman	12
Figura 3.7. Convergencia y divergencia del viento.....	12
Figura 3.8. Producción de energía e importación en GWh	14
Figura 3.9. Capacidad efectiva de energía eléctrica	15
Figura 3.10. Generador eólico Parque San Cristóbal	16
Figura 3.11. Representación Parque eólico Villonaco	16
Figura 3.12. Representación Parque eólico Baltra	17
Figura 3.13. Instalación del aerogenerador (Garupamba)	18
Figura 3.14. Instalación aerogenerador (ITSA).....	18
Figura 3.15. Instalación del aerogenerador (Pululahua).....	19
Figura 3.16. Distribución de viento (Weibull)	20
Figura 3.17. Distribución de viento (Rayleigh).....	21
Figura 3.18. Cazoletas semiesféricas.....	22
Figura 3.19. Conjunto de anemómetro de hélice y veleta.	22
Figura 3.20. Conjunto de anemómetro de hélice y veleta	23
Figura 3.21. Estación meteorológica fija.....	23
Figura 3.22. Representación globo cautivo en erupción volcánica.	24
Figura 3.23. Descripción de componentes de la placa Arduino	25
Figura 3.24. Gráfico Arduino + Processing	26
Figura 3.25. Módulo Xbee conexión	26
Figura 3.26. Antena GPS.....	27
Figura 3.27. Transmisión de datos GSM.....	28
Figura 4.1. Prueba de funcionamiento PPEGC01.	35
Figura 4.2. Representación Maestro/Esclavo PPEGC001.....	36
Figura 4.3. Representación del diagrama de elementos electrónicos PPEGC001.	37

Figura 4.4. Módulos del PPEGC001 con protocolo I2C.	37
Figura 4.5. Módulo SIM800L del PPEGC001 con protocolo RS232.	38
Figura 4.6. Módulo SIM800L del PPEGC001 con protocolo RS232.	38
Figura 4.7. Representación de placa electrónica del PPEGC001.	41
Figura 4.8. Representación de placa electrónica en 3D del PPEGC001.	42
Figura 4.9. Representación de placa impresa en CNC del PPEGC001.	42
Figura 4.10. Pantalla principal del Arduino IDE.	43
Figura 4.11. Diagrama de flujo del funcionamiento del medidor.	46
Figura 4.12. Diseño 3D del armazón del PPEGC001.	47
Figura 4.13. Diseño 3D de protector para dispositivos electrónicos del PPEGC001.	49
Figura 4.14. Representación de placa impresa en CNC del PPEGC001.	50
Figura 4.15. Ubicación geográfica destinada para el estudio.	54
Figura 4.16. Coeficiente de rugosidad Cotopaxi-Ecuador.	54
Figura 4.17. Representación gráfica de la distribución Rayleigh.	55
Figura 4.18. Pantalla de inicio del software WRPLOT view.	57
Figura 4.19. Hilo Nylon para carrete.	57
Figura 5.1. Diseño de placa final.	59
Figura 5.2. Anemómetro motor DC.	60
Figura 5.3. Anemómetro motor DC.	61
Figura 5.4. Hilo Nylon para carrete.	62
Figura 5.5. Velocidad del viento en software.	64
Figura 5.6. Análisis de las variables de prospección eólica.	68
Figura 5.7. Rosa de los vientos.	69
Figura 5.8. Histograma de la velocidad del viento.	69
Figura 5.9. Variación de la humedad relativa.	70
Figura 5.10. Variación de la temperatura en °C.	70
Figura 5.11. Variación de la presión barométrica en mmHg.	71
Figura 5.12. Dirección dominante del viento en Google Maps.	71

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

**TÍTULO: “DISEÑO DE UN PROTOTIPO ELECTRÓNICO DE PESO LIGERO
PARA PROSPECCIÓN EOLICA PRELIMINAR CON UN GLOBO CAUTIVO”**

Autores:

Vásquez Castellanos Wilson Aníbal

Otavalo Vargas Sergio Sebastián

RESUMEN

El presente proyecto de titulación tiene como objetivo, el diseño de un prototipo electrónico de peso ligero para prospección eólica preliminar con un globo cautivo, para lograr un aprovechamiento del recurso eólico. Como inicio para el diseño del prototipo se consideró las características del viento, la selección de los sensores para la velocidad, dirección, temperatura, humedad relativa, altura sobre el nivel del mar y presión atmosférica. Una de las características que presenta este proyecto es el almacenamiento de datos en un dispositivo extraíble, el mismo que genera diversos archivos txt. Su construcción en material PLA (ácido poliláctico), fundido a 190 °C en una impresora 3D, para el diseño de un armazón que transporte la placa electrónica, al elevar el dispositivo desde la superficie terrestre con un globo meteorológico lleno de 3m³ de gas helio que levanta una fuerza máxima de 49 [N]. Adicionalmente una transmisión inalámbrica para la verificación de variables del potencial eólico y una comunicación I2C para la disminución de puertos requeridos en el microcontrolador, adicionalmente una conexión RS232 para medir la velocidad mediante un motor de 5 VDC, sus herramientas computacionales de diseño mecánico y electrónico donde se simuló mediante software el comportamiento de cada uno de los dispositivos, por medio de una red Maestro-Esclavo y posterior análisis con software para la interpretación de prospección eólica con tablas, gráficos estadísticos representados con una rosa de los vientos que indica la velocidad y dirección predominante del viento del sur hacia el este, con una frecuencia de 0,5-2,10 m/s y un porcentaje de error total en la medición del dispositivo de 10,30 %, por la diferencia de alturas entre el dispositivo frente a la estación meteorológica.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TÍTULO: “DISEÑO DE UN PROTOTIPO ELECTRÓNICO DE PESO LIGERO PARA PROSPECCIÓN EOLICA PRELIMINAR CON UN GLOBO CAUTIVO”

Authors:

Vasquez Castellanos Wilson Aníbal

Otavalo Vargas Sergio Sebastian

ABSTRACT

This research aims to design a lightweight electronic prototype for a preliminary wind survey with a captive balloon, which allows the interpretation of speed profiles. For the design of the prototype, the characteristics of the wind, the selection of sensors for speed, direction, temperature, relative humidity, height above sea level, and atmospheric pressure were considered. One feature that this project presents is data storage on a removable device. Its construction in PLA (polylactic acid) material, melted at 190 ° C in a 3D printer, for the design of a frame that carries the electronic board, by lifting the device from the earth's surface with a meteorological balloon filled with 3m³ of helium gas which lifts a maximum force of 49 [N]. A wireless transmission will be used to verify the variables of the wind potential and an I2C communication to decrease the required ports in the microcontroller, an RS232 connection to measure the wind speed utilizing a direct current motor. The computational mechanical and electronic design tools allow simulation using software to analyze the behavior of each of the devices, through a master-slave network that enables the interpretation of wind survey with statistical tables to be interpreted with software, which will be represented with a compass rose that indicates the predominant wind speed and direction from the south to the east, with a recorded frequency of 0.5 to 2.10 m / s and a total measurement error percentage of 10.30% in the results obtained due to the height difference between the prototype and the meteorological station.

Keywords: wind, device, electronics, mechanics.



AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa:

“DISEÑO DE UN PROTOTIPO ELECTRÓNICO DE PESO LIGERO PARA PROSPECCIÓN EÓLICA PRELIMINAR CON UN GLOBO CAUTIVO” presentado por: Vásquez Castellanos Wilson Anibal, egresado de la Carrera de: Electromecánica, perteneciente a la Facultad de Ciencia de Ingeniería y Aplicadas, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, agosto del 2021

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'C. Wilmer Patricio Collaguazo Vega'.

Mg. C. Wilmer Patricio Collaguazo Vega
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC
CI: 172241757-1



1 INFORMACIÓN GENERAL

Título:

Diseño de un prototipo electrónico de peso ligero para prospección eólica preliminar con un globo cautivo.

Fecha de Inicio:

28/02/2021

Fecha de Finalización:

02/08/2021

Facultad que auspicia:

Ciencia de la Ingeniería y Aplicadas (CIYA).

Carrera que auspicia:

Ingeniería Electromecánica.

Proyecto de investigación vinculado: Proyecto formativo: Diseño y gestión de una micro-red eléctrica (on grid) con integración de energías renovables para reducir el consumo de energía y las emisiones de gei.

Equipo de Trabajo:

Ponente 1:

Sr. Vásquez Castellanos Wilson Aníbal,

Ponente 2:

Sr. Otavalo Vargas Sergio Sebastián,

Tutor:

Ing. Laurencio Alfonso Héctor Luis; Dr. C.

Área de Conocimiento: De acuerdo con la normativa vigente UNESCO sobre las áreas y subáreas de conocimiento, la siguiente propuesta tecnológica se encuentra en el área, 07 Ingeniería, Industria y Construcción, con la subárea, 071 Ingeniería y Profesiones Afines que aborda, 0713 Electricidad y Energía [1].

Línea de investigación: De la Universidad Técnica de Cotopaxi, Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental [2].

Sublínea de investigación de la Carrera:

De Ingeniería en electromecánica la primera sublínea, Diseño, construcción y mantenimiento de elementos, prototipos y sistemas electromecánicos.

2 INTRODUCCIÓN

Desde el desarrollo de maquinaria en la segunda mitad del siglo XVIII el dominio del viento se consideraba como fuente de energía mecánica, además de la hidráulica, la crisis energética ha demostrado la importancia de invertir en fuentes de energía renovables, es así como la energía del viento tiene un alto costo de producción y comercialización en América Latina, debido a que aún es una tecnología no investigada en su totalidad, la idea de utilizarla está ligada al uso de molinos para el uso de bombeo de agua los cuales aprovechan el viento a bajas velocidades debido a la variabilidad del mismo esto produce que la generación eléctrica no sea estable debido a la existencia de perturbaciones en la red, siendo necesario la utilización de sistemas híbridos con la necesidad de realizar conexiones a sistemas eléctricos de más potencia [3].

En la utilización de energías renovables la energía eólica contribuye en el control de turbinas y optimización, para producción de energía eléctrica de calidad, aunque los sistemas eólicos han evolucionado no se ha podido obtener un sistema ideal debido al comportamiento no lineal del potencial eólico, que varía por efecto del cambio climático, ubicación geográfica, desarrollando estrategias para control de la potencia permitiendo aprovechar el máximo potencial energético con base al potencial del viento para la instalación de aerogeneradores, mediante equipos que obtengan la medición e interpretación de las características del recurso eólico [4].

2.1 EL PROBLEMA:

La utilización del viento como fuente de energía renovable y su futura aplicación en beneficio a sectores apartados de la red de distribución eléctrica, se convierte en un inicio para la realización de un estudio del potencial eólico, sin embargo, la producción de energía no renovable sigue siendo en su mayoría de fuentes que destruyen el ecosistema y aumentan el calentamiento global debido al efecto de las emisiones de gas invernadero destruyendo el medio ambiente, el aprovechar el viento como energía limpia renovable permite corregir el cambio atmosférico para crear condiciones ideales para la vida, reduciendo la emisión de dióxido de carbono mediante el uso de energías no contaminantes, que reducen el efecto del gas invernadero frenando el calentamiento global, además reducen los costos de producción energética y dependencia de países con mayor producción de energía eléctrica .

2.1.1 Situación Problemática:

La presente propuesta tecnológica busca solucionar la factibilidad de la instalación de proyectos de generación eléctrica para el análisis del potencial eólico, en el Ecuador se han realizado registros de potencial del viento con estaciones meteorológicas instaladas en aeropuertos, pero estas mediciones se obtienen a dos metros sobre el suelo, por lo tanto, los datos obtenidos no son de gran utilidad.

Un estudio de prospección eólica requiere de una torre de mínimo 10 metros de altura sobre el nivel del suelo, un tiempo mínimo de 2 años, una vez pasado el periodo de obtención de parámetros se debe analizar la factibilidad de instalación, es decir, puede acarrear una pérdida de tiempo e inversión de recursos económicos en la instalación de los equipos en un sector geográfico creando un análisis de datos de prospección eólica imprecisos para la posterior instalación de aerogeneradores.

Figura 2.1. Problema esquemático



2.1.2 Formulación del problema

Los sistemas de prospección eólica requieren equipos de elevado costo de instalación, existiendo pérdidas de recursos, al no realizar un estudio preliminar.

2.2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y DOCUMENTAL

El uso de energías renovables está en continuo avance a nivel mundial, el Ecuador no es la excepción, actualmente la mayor cantidad de energía generada en el país proviene de fuentes hídricas y solamente existen tres centros eólicos según el ministerio de electricidad y energía renovable. La energía eólica es una de energía renovable porque aprovecha de mejor manera la fuerza del viento para generación de energía eléctrica. Se ha desarrollado un sistema de previsión de generación eólica enfocado en la predicción del comportamiento del viento. Este proyecto de tesis tiene la finalidad de analizar cualitativa y cuantitativamente los datos obtenidos para ajustar la predicción eólica y comparar el resultado de la predicción con los datos reales de años pasados. Por último, queda verificado que tanto la potencia eólica pronosticada y la real tienen tendencias similares en su comportamiento y el lugar analizado cumple con los parámetros para generar energía eléctrica [5].

Se ha implementado una estación meteorológica basada en la utilización del sistema embebidos como Raspberry Pi y Arduino Yun. Estos equipos están internamente conectados bajo el protocolo de comunicación MQTT y MODBUS para monitorear en tiempo real las variables climáticas como: humedad, temperatura, velocidad del viento, dirección del viento, pluviómetro e irradiación solar, adicionalmente este proyecto ha implementado una página WEB en donde se puede observar todos los datos obtenidos y mediante un SCADA se pueden observar los datos históricos [6].

En la Universidad Distrital Francisco José de Caldas se ha implementado una red eléctrica inteligente y se ha complementado este proyecto con el diseño e implementación de una estación meteorológica automática (EMA) considerando los estándares de la Organización Mundial de Meteorología (OMM). El objetivo principal de este proyecto es realizar una medición de las variables ambientales para determinar el potencial de los recursos energéticos y de esta manera analizar la factibilidad de generar energía eléctrica. El sistema de medición cuenta con comunicación WiFi para transmitir los datos hasta un servidor, así como también dispone de un almacenamiento local a través de una memoria SD. Las variables de medición son: temperatura ambiente, humedad relativa, radiación solar, presión atmosférica, precipitación y las variables de velocidad y dirección del viento [7].

La provincia de Loja dispone de varios equipos instalados para monitorear, evaluar los recursos eólicos en distintas ubicaciones, este informe ha recopilado la mayor cantidad de información de estos equipos, siendo uno de los parámetros de medición el viento. Como

resultado de esta investigación, se han identificado varios emplazamientos para la posible construcción de un parque eólico. Adicionalmente se ha realizado un análisis del comportamiento del parque eólico de Villonaco bajo condiciones extremas con la simulación de los datos obtenidos. La creación de un grupo humano que tenga conocimiento, experiencia en el manejo de hardware y software para estudios de diseño en parques eólicos del Ecuador [8].

2.3 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.3.1 Objeto de estudio

Equipo para medición preliminar del potencial eólico.

2.3.2 Campo de Acción

La presente propuesta tecnológica está sujeta principalmente ha “Ciencias Tecnológicas” y su apartada subdisciplina “Electrónica” y Circuitos , establecida por la UNESCO para definir los campos de la Ciencia y Tecnología, la investigación se enfoca en acortar el tiempo de medición de potencial eólico, obtención de datos y disminuir el desperdicio de dinero, recursos humanos, tiempo, por medio de un prototipo programado (Tipo estación de potencial eólico) lo cual permite estar en la disciplina “Tecnología de los ordenadores” con su subdisciplina “Dispositivos de transmisión de datos” [1].

2.4 BENEFICIARIOS

Los beneficiarios directos de este proyecto serán la Universidad Técnica de Cotopaxi en la carrera de ingeniería electromecánica, específicamente el departamento de investigación en energías alternativas porque dispondrán de un equipo móvil capaz de medir potencial del viento antes de una prospección eólica de forma preliminar y de esta manera podrán generar proyectos de energías renovables con estaciones meteorológicas en los lugares previamente analizados con el equipo desarrollado.

Los estudiantes de la universidad serán los beneficiarios indirectos porque serán las personas designadas a manipular este equipo, ponerlo a prueba en diferentes sitios geográficos del país para obtener datos del potencial eólico preliminar.

2.5 JUSTIFICACIÓN

A nivel mundial la demanda de energía eléctrica está en crecimiento, debido a que es indispensable para el desarrollo industrial y social de cada persona. La energía eléctrica

puede ser generada de varias formas priorizando siempre la utilización de recursos naturales renovables que no generan contaminación ambiental. Entonces por este motivo es importante el desarrollo de proyectos que faciliten la implementación de centrales para generación eólica.

Es así que este proyecto tiene como propósito diseñar un dispositivo de medición preliminar del potencial eólico, específicamente se medirá las variables de velocidad y dirección del viento a una altura máxima de 10 metros sobre el suelo, cumpliendo de esta manera con las respectivas normas para realizar prospección eólica preliminar. El equipo de medición será de peso ligero para facilitar su instalación y posterior el despliegue de un globo cautivo. El globo cautivo permite llegar a grandes alturas, es silencioso, no produce contaminación y por su tiempo de permanencia en el aire permite que no existan turbulencias por lo que facilita la recolección de datos sobre el potencial del viento, será anclado a través de hilo nylon hacia el suelo mediante una estructura de anclaje, para mantener una distancia fija o variable y mantener la estabilidad del prototipo en la troposfera. Adicionalmente este proyecto permitirá recolectar información de los sensores a través de una red de radiofrecuencia entre un maestro y esclavo para su posterior análisis preliminar en los lugares que tengan un alto potencial eólico de esta manera recomendar o no la implementación de un sistema de prospección eólica con equipos meteorológicos de alta gama.

2.6 HIPÓTESIS

El diseño de un prototipo electrónico de peso ligero permitirá la obtención de información del potencial eólico como es la velocidad, altura sobre el nivel del mar, temperatura, humedad relativa, presión atmosférica, dirección del viento y zona horaria para corregir el perfil de velocidad, mediante las variables del viento para prospección eólica preliminar junto a la rugosidad del terreno.

2.7 OBJETIVOS

2.7.1 General

Diseñar un prototipo electrónico de peso ligero para prospección eólica preliminar con un globo cautivo.

2.7.2 Específicos

- Investigar las características y materiales utilizados en la implementación de un globo cautivo para prospección eólica.
- Diseñar un sistema electrónico para medir las variables del potencial eólico por medio de un globo cautivo.
- Realizar pruebas de funcionamiento del sistema e interpretación de los resultados obtenidos en periodos cortos de tiempo.

2.8 SISTEMA DE TAREAS

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Investigar las características y materiales utilizados en la implementación de un globo cautivo.	- Investigación de las características de un globo cautivo incluyendo materiales, métodos, y distancia máxima de despliegue. - Disponibilidad y uso de globos cautivos en el Ecuador.	- Costo estimado para la adquisición de un globo cautivo. - Informe sobre las características de los globos cautivos.	- Páginas web, tesis y papers referentes al tema.
Diseñar un sistema electrónico para medir la velocidad y dirección del viento mediante un globo cautivo.	- Simulación del funcionamiento para el sistema electrónico de medición de la velocidad y dirección del viento. - Construcción del circuito electrónico y	- Diseño de los circuitos impresos PCB. - Valores de consumo de corriente y voltaje de todo el sistema. - Selección de la fuente de	- Construcción de las PCB's mediante ruteadora CNC. - Software Proteus y Ares - Software Arduino IDE

	<p>el sistema de medición.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Programación del sistema de medición para realizar un muestreo en periodos de tiempo. -Comunicación para transmisión de datos inalámbricos y almacenamiento en una memoria SD. 	<p>alimentación ideal para el proyecto.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Programación requerida para el funcionamiento del sistema en Arduino IDE. 	
<p>Realizar pruebas de funcionamiento de todo el sistema e interpretar los resultados obtenidos en periodos cortos de tiempo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Implementación del sistema de medición mediante globo cautivo. - Despliegue del globo cautivo en una ubicación geográfica para analizar su potencial eólico. - Recopilación y análisis de los datos obtenidos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Implementación del equipo de prospección eólica. - Planos electrónicos y mecánicos. - Tabla de los datos de los sensores. 	<ul style="list-style-type: none"> - Método prueba y error para la medición de parámetros. - Software Excel

3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1 ANTECEDENTES

La energía eólica está ligada al desarrollo de la tecnología en el mundo desde la invención de molinos de viento con un eje rotatorio para moler granos secos, bombear agua, hasta la actualidad que prácticamente se necesita aprovechar el viento para generar energía eléctrica. Debido al crecimiento industrial a nivel mundial la contaminación ambiental se ha

convertido en un grave problema, dando paso a la probabilidad de la utilización de fuentes de energía renovable, inagotables e indefinidas, que representen bajos impactos de contaminación para reducir la afectación sobre los ecosistemas. La mayor fuente de generación eléctrica aún está enfocada en fuentes de energías no renovables como los combustibles fósiles que tienen un impacto negativo en el planeta, se sabe que a nivel mundial los estudios del potencial del viento pueden generar herramientas necesarias para la construcción de máquinas eólicas con alto rendimiento y permitir que pequeños pueblos tengan acceso a la instalación de redes eléctricas [5].

Las investigaciones en el campo del potencial eólico en diferentes países están limitadas por varios factores, dentro de los cuales tenemos la tecnología disponible y accesible, personal capacitado y leyes gubernamentales que regulen la implementación de estas fuentes de energía. Un artículo de investigación internacional realizado en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas en Colombia realizado por F. Eraso C, E. Escobar R, D. Paz y C. Morales, con el tema “Metodología para la determinación de las características del Viento y Evaluación del potencial de Energía Eólica en Túquerres Nariño”, manifiesta que el viento es una energía renovable que puede entregar una sostenibilidad a un sistema interconectado mediante estudios de potencial eólico dependiendo de las condiciones del viento y ubicación geográfica [9].

En la Universidad Tecnológica de la Ciudad de Juárez en México el autor R. Vidal H, desarrolla un proyecto llamado “Evaluación del Recurso Eólico”, donde se muestra el estudio de las variaciones del viento como ráfagas, direcciones dominantes, eventuales obstáculos, turbulencias y velocidades, teniendo en cuenta las diferentes variaciones altas que no pueden ser controladas de manera exacta. Este proyecto suministra información muy importante sobre las características de las fuentes del viento especialmente sobre las que son críticas para una adecuada explotación de energía eólica [10].

El Ecuador es un país que posee un 51.78% de energía renovable en donde la energía eólica representa el 0.83%, es decir, al poseer la cordillera de los andes los terrenos presentan varias irregularidades que pueden aumentar o disminuir la posibilidad de generación eólica. Mediante un estudio de prospección eólica se puede determinar la factibilidad de la instalación de aerogeneradores en un determinado lugar, pero se debe considerar que estos equipos tienen un costo elevado por lo cual resulta muy interesante el diseño de prototipos para análisis del potencial eólico. En virtud de lo mencionado se puede nombrar la investigación: “Determinación del Potencial Eólico Disponible en el Sector de Rio Blanco

Perteneciente al Cantón Ambato Provincia de Tungurahua” realizado por J. Naranjo T, en la Universidad Técnica de Ambato la cual determina los elementos necesarios para realizar una prospección eólica preliminar para la instalación de aerogeneradores de baja potencia con cálculos estadísticos que dan paso a la determinación de las variables del potencial eólico a diversas alturas [11].

3.2 DEFINICIÓN VIENTO

Es el flujo del aire que está situado alrededor de la atmósfera de un planeta que se genera por causas naturales, siendo un fenómeno meteorológico originado por el movimiento de las masas de aire un planeta, dependiendo de las zonas de alta o baja presión atmosférica dada por efecto de la radiación de la energía solar mediante los cambios de temperatura [9].

3.2.1 Clasificación de vientos en la atmósfera

3.2.1.1 Viento geostrófico

Son generados principalmente por la diferencia de temperaturas, así como las de presión y son influenciados por la superficie de la tierra, se encuentran a una altura de 1,000 metros a partir del nivel del suelo, pueden ser medidos utilizando globos sonda [12].

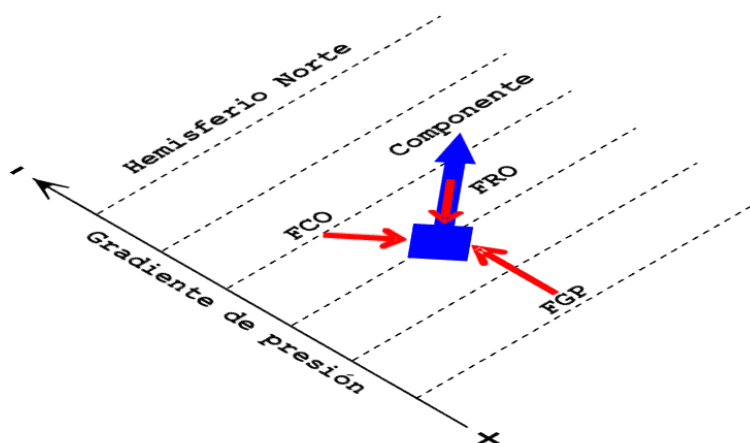


Figura 3.1. Representación del viento Geostrófico [13].

3.2.1.2 Viento de gradiente

Es producto del balance de la fuerza centrífuga (se manifiesta como una acción de empuje desde el centro del círculo), el flujo que ha sido determinado por las fuerzas de gradiente de presión y Coriolis [12].

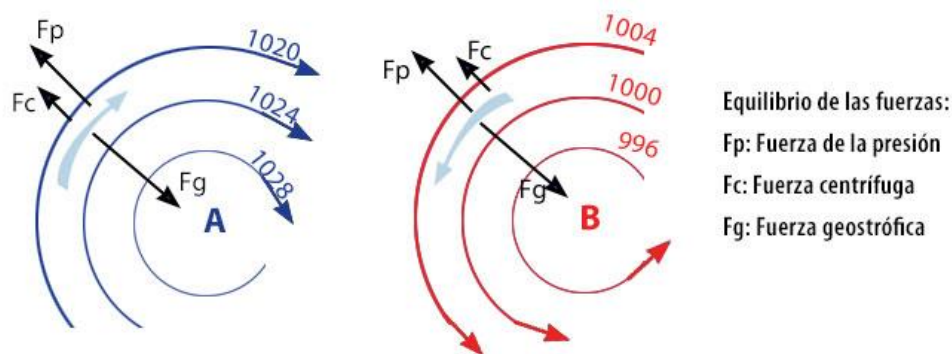


Figura 3.2. Representación del viento gradiente [14].

3.2.1.3 Viento cicloestrófico

En los sistemas atmosféricos de menor escala, como el caso de tornados (decenas o centenas de metros), el radio de la curvatura es tan pequeño que el efecto de Coriolis es despreciable. En estas condiciones, se presenta un equilibrio entre la fuerza del gradiente de presión y la fuerza centrífuga que se conoce como balance ciclostrófico [15].



Figura 3.3. Representación del viento ciclostrófico [15].

3.2.2 Dinámica de las masas de aire

3.2.2.1 Gradiente de presión

El movimiento del aire de forma horizontal debe tener variaciones debido a la presión atmosférica en base a la superficie del suelo, la dirección de las flechas indica las regiones altas y bajas del gradiente de presión el cual se define mediante la presión por unidad de superficie. En un plano horizontal las diferentes presiones producen cambios en la aceleración de las masas del air. La aceleración se expresa como la fuerza por unidad de masa perpendicular a las isobaras conocidas como gradiente de presión (FGP) [13].

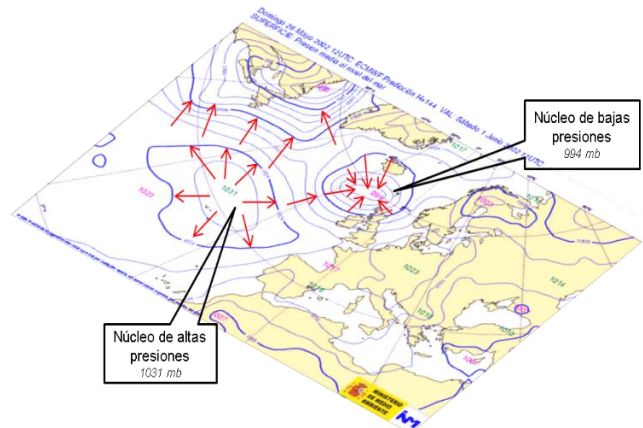


Figura 3.4. Presión media al nivel del mar [13].

3.2.2.2 Efecto de Coriolis

En referencia a un objeto gira con una rapidez angular constante (ω) con un marco inercial relativo actúa sobre un cuerpo que se encuentra en rotación solo si este se mueve en relación al marco de referencia y actúa para desviar el cuerpo hacia los lados convirtiéndose en una fuerza inercial, produciendo que un objeto se mueva sobre un radio de rotación en forma circular tienda a acelerarse con respecto al cuerpo según su movimiento es hacia el eje de giro o alejándose de él [16].

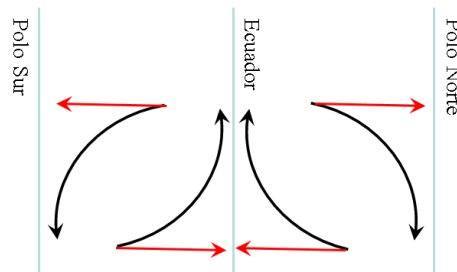


Figura 3.5. Efecto de Coriolis [13].

3.2.2.3 Fuerza de rozamiento y espiral de Ekman del aire

El rozamiento del aire sobre la superficie de la tierra provoca efecto en el movimiento del planeta, produce la disminución de velocidad del viento por debajo del valor geostrófico que atraviesa de manera oblicua las isobaras en dirección al gradiente de presión, actuando en sentido opuesto hacia el movimiento de la masa del aire hasta una altura de 50 a 100 metros donde deja de actuar la fuerza y los vientos geostróficos, creando una fuerza de rozamiento del viento con una trayectoria conocida como la espiral de Ekman [17].

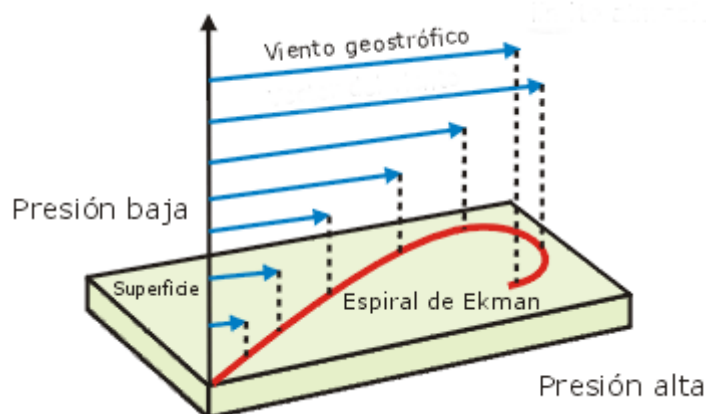


Figura 3.6. Espiral de Ekman [17].

3.2.2.4 Convergencia y divergencia del aire

Se considera convergencia del aire sobre la superficie de la tierra cuando se tiene una sola dirección hacia arriba produciendo un ascenso de masas del aire, por consiguiente, la divergencia se manifiesta como el descenso de las masas de aire sobre un lugar determinado siendo lo contrario a la convergencia [18].

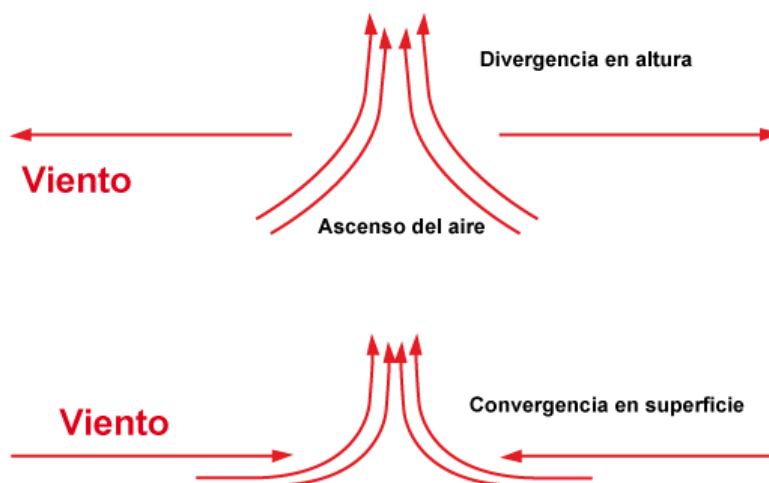


Figura 3.7. Convergencia y divergencia del viento [18].

3.3 RECURSOS EÓLICOS EN EL ECUADOR

La modernización del recurso eólico con resolución de 200m sobre el territorio permite identificar la distribución del recurso sobre el territorio, siendo así que los vientos dominantes del país son alisios, provenientes del Este por lo tanto alcanzan al país atravesando todo el continente, la orografía del Ecuador divide el territorio en cuatro zonas definidas como las regiones Amazónica, Sierra, Costa, Islas Galápagos, entre ellas la zona Sierra que por medio de la Cordillera de los Andes comprime vientos resultando una

aceleración produciendo una clara representación de lo que se conoce como efecto Venturi [19].

3.3.1 Escala Beaufort

El viento puede expresar un módulo y ángulo, las unidades del módulo son para expresar la velocidad, constan de una dimensión espacial dividida entre una temporal, en el sistema internacional puede medirse en metros y segundos siendo (m/s) siendo las más utilizadas para estudio de recursos eólicos, la otra escala que se utiliza también es la de Beaufort, que es puramente fenomenológica y que estima la velocidad del viento en función del aspecto de la superficie del mar [19].





Tabla 3.1. Equivalencias de la escala de Beaufort [19].

Fuerza	m/s	Kt (nudos)	Km/h	Denominación
0	0 - 0.2	< 1	0 - 2	calma
1	0.3 - 1.5	1 - 3	2 - 6	ventolina
2	1.6 - 3.3	4 - 6	7 - 11	brisa muy débil
3	3.4 - 5.4	7 - 10	12 - 19	brisa débil, flojo
4	5.5 - 7.9	11 - 16	20 - 29	bonacible, brisa moderada
5	8.0 - 10.7	17 - 21	30 - 39	brisa fresca, fresquito
6	10.8 - 13.8	22 - 27	40 - 50	brisa fuerte, moderado
7	13.9 - 17.1	28 - 33	51 - 61	frescachón, viento fuerte
8	17.2 - 20.7	34 - 40	62 - 74	temporal
9	20.8 - 24.4	41 - 47	75 - 87	temporal fuerte
10	24.5 - 28.4	48 - 55	88 - 101	temporal duro
11	28.5 - 32.6	56 - 63	102 - 117	temporal muy duro
12	> 32.7	> 64	> 118	temporal huracanado

3.3.2 Estimación del potencial eólico

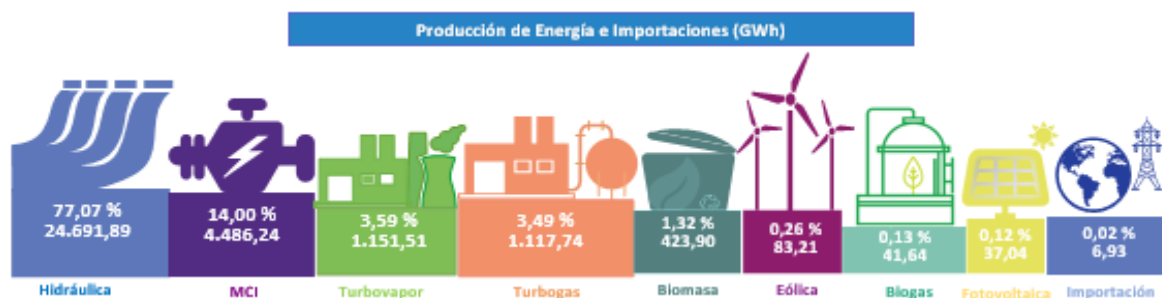
El Atlas eólico del Ecuador tiene datos anuales del viento para todo el territorio ecuatoriano con una resolución de 200x200m, mediante la integración de mapas digitales, utilizando geoprocésamiento, cálculo de desempeño y producción de energía eléctrica en base a curvas de potencia de turbinas eólicas existentes en el mercado utilizando velocidades mayores a 7m/s con una altura de 80m [19].

Tabla 3.2. Potencial eólico eléctrico estimado (Ecuador) [19].

POTENCIAL BRUTO									
PROVINCIA	POTENCIAL INSTALABLE					INTEGRACIÓN ACUMULADA			
	RANGO VELOCIDAD [m/s]	ÁREA [km ²]	POTENCIA INSTALABLE [MW]	FACTOR DE CAPACIDAD	ENERGÍA ANUAL [GWh/año]	VIENTO [m/s]	ÁREA [km ²]	POTENCIA INSTALABLE [MW]	ENERGÍA ANUAL [GWh/año]
 Carchi	7,0 - 7,5	1,24	3,72	0,20	6,39	> 7	4,00	13,00	23,69
	7,5 - 8,0	1,56	4,68	0,25	10,04	> 7,5	3,36	10,08	21,63
	8,0 - 8,5	0,96	2,88	0,30	7,42	> 8	1,80	5,40	13,91
	> 8,5	0,84	2,52	0,35	7,57	> 8,5	0,84	2,52	7,57
 Imbabura	7,0 - 7,5	2,46	7,39	0,20	12,68	> 7	6,32	18,95	32,54
	7,5 - 8,0	1,75	5,24	0,25	11,26	> 7,5	3,86	11,57	24,83
	8,0 - 8,5	1,47	4,40	0,30	11,34	> 8	2,11	6,32	16,28
	> 8,5	0,64	1,92	0,35	5,77	> 8,5	0,64	1,92	5,77
 Pichincha	6,5 - 7,0	0,39	1,16	0,20	1,99	> 6,5	41,19	123,58	212,18
	7,0 - 7,5	21,25	63,76	0,20	109,48	> 7	40,61	122,42	210,18
	7,5 - 8,0	12,01	36,02	0,25	77,31	> 7,5	19,55	58,65	125,88
	8,0 - 8,5	5,08	15,23	0,30	39,23	> 8	7,54	22,63	58,29
 Cotopaxi	> 8,5	2,47	7,40	0,35	22,23	> 8,5	2,47	7,40	22,23
	7,0 - 7,5	2,51	7,54	0,20	12,95	> 7	5,99	17,98	30,87
	7,5 - 8,0	1,84	5,52	0,25	11,85	> 7,5	3,48	10,44	22,41
	8,0 - 8,5	0,80	2,40	0,30	6,18	> 8	1,64	4,92	12,67
	> 8,5	0,84	2,52	0,35	7,57	> 8,5	0,84	2,52	7,57

3.3.3 Energía eólica en el Ecuador

Las fuentes de energía eléctrica del Ecuador están distribuidas en Hidráulica (77,07%), Motores de combustión interna (14%), Turbo vapor (3.59%), Turbo gas (3.49%), Eólica (0.26%), Biomasa (1.32%), Biogás (0.13%), Fotovoltaica (0.12%) e Importación (0.02%) [20].


Figura 3.8. Producción de energía e importación en GWh [20].

Las fuentes de energía eléctrica del Ecuador provienen en un (62.51%) Hidráulica, Eólica 0.26%, Fotovoltaica (0,33%), Biomasa (1.69%), Biogás (0.08%), Motores de combustión interna (20.30%), Térmica Turbo gas (9.21%), Térmica Turbo vapor (5.62%), entre ellas obteniendo una potencia nominal de 8,685.76 MW en total en donde 5,276.74 MW se produce con energía renovable y 3,409.01 MW de energía no renovable [20].

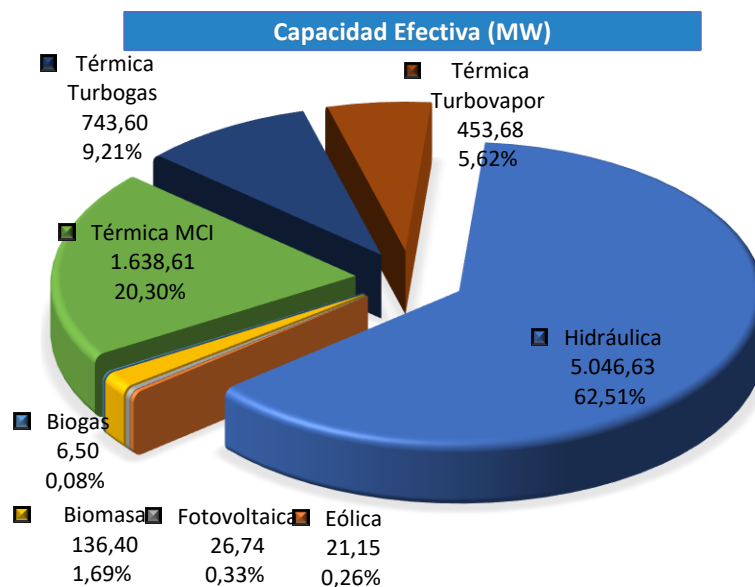


Figura 3.9. Capacidad efectiva de energía eléctrica [20].

3.4 Centrales Eólicas del Ecuador

La energía eólica se produce mediante la fuerza cinética del viento, utilizada para generar energía eléctrica en Ecuador se está aprovechando el potencial del viento en la Isla San Cristóbal con una capacidad de 2.4 MW y en la provincia de Loja ubicado en el cerro Villonaco con una potencia instalada de 16.5 MW, además está en construcción el proyecto en la Isla de Baltra con una capacidad de 2.25 MW, estos proyectos tienen como estimación abastecer de energía eléctrica a los hogares de 150,000 ecuatorianos [21].

3.4.1 Parque eólico San Cristóbal

El proyecto de energía eólica San Cristóbal S.A, se encuentra en operación desde el 1 de octubre del 2007 a cargo de la empresa EOLICSA, siendo el primer proyecto eólico a gran escala en el Ecuador, compuesto de tres aerogeneradores de 800 kW para una potencia total de 2,400kW (la longitud del aerogenerador es de 51.5 metros con un diámetro en su turbina de 59 metros), es un sistema híbrido eólico-diésel que suministra el 30% de la demanda eléctrica de la Isla con el cual se ha reducido un consumo de diésel en 2.3 millones de galones favoreciendo al medio ambiente evitando emisiones de 21,000 toneladas de CO₂ [22].



Figura 3.10. Generador eólico Parque San Cristóbal [22].

3.4.2 Parque eólico Villonaco

La Central Eólica Villonaco produce 16.5 MW administrado por la empresa CELEC, posee 11 generadores GW7700/1500 instalados a 2,720 msnm sobre la montaña homónimo, siendo uno de los parques eólicos ubicado a mayor altitud, los 453.42 GWh representa una disminución de 293.065,11 toneladas de CO₂, tiene una capacidad de 25 MVA y representa una barra principal de transferencia, aportando al sistema nacional de interconexión una energía de 237.17GWh [23].



Figura 3.11. Representación Parque eólico Villonaco [22].

3.4.3 Parque eólico Baltra

El parque eólico de Baltra produce 2.25 MW con una aportación de 6.0 GWh/año de energía reduciendo la utilización de diésel en las Islas Santa Cruz y Baltra de 34.5kV y 50 km de longitud compuesto por tres aerogeneradores esto permite un ahorro de al menos 550,000.00

gal/año que equivalen a una disminución en la emisión de 3,600 toneladas de CO₂ por año [24].



Figura 3.12. Representación Parque eólico Baltra [24].

3.4.4 Micro generación eólica

Son redes creadas con potencia instalada de 50 W hasta 30 kW aproximadamente, siendo su uso para instalaciones residenciales, normalmente llamada micro eólica, donde se puede considerar a causa de factores de escala un rendimiento global de 0.3 y 0.6 siendo inferior a las dimensiones utilizadas de forma industrial.[25]

3.4.4.1 Aerogenerador Garupamba

Situado en medio de un bosque andino ubicado a 75 Km al sur de Cuenca no existe accesibilidad a una red eléctrica por lo tanto se procede a la instalación de un aerogenerador EXMORK 500W/12VDC con las siguientes características.

- Un controlador de Carga eólico/solar que recarga una banca de batería 2x CAPSA 100Ah.
- Un inversor EXMORK 1,000VA que suministra energía eléctrica 100VAC/60Hz.
- Dos paneles solares Exmork 100 y ubicada a 6 m de altura.

Es un sistema que no es suficiente para tener energía eléctrica confiable, pero si se puede administrar de manera adecuada la energía eléctrica acumulada [26].



Figura 3.13. Instalación del aerogenerador (Garupamba) [26].

3.4.4.2 Aerogenerador del Instituto Superior Aeronáutico

Constituido por un aeromotor de 300 W de tres palas con un diámetro de 2.2m realizadas en fibra de vidrio, con un sistema de regulación electrónico que confiere al rotor de velocidad una rotación estable a partir de cierta velocidad del viento, situado en Latacunga donde la velocidad máxima del viento es de 17.5 m/s se puede emplear un soporte hasta de 15m [27].



Figura 3.14. Instalación aerogenerador (ITSA) [27].

3.4.4.3 Sistema Híbrido del Pululahua

En su primera fase se instaló un aerogenerador de 1,000 W en una altura de 12m, la dimensión de sus aspas es de 3.2 m, con la disponibilidad de vientos que no aumentan de manera constante plantean utilizar una torre de 18 m, además posee unos paneles fotovoltaicos que suman 520 Wp conectados a la misma batería a través de un controlador de Morningstar TS-45, la energía generada se convierte en 110VAC/60Hz a través de un

Inversor Exmork 2,000VA que provee de energía para arrancar del refrigeradoras grandes del hostel [28].



Figura 3.15. Instalación del aerogenerador (Pululahua) [28].

3.5 Prospección Eólica

Ante la necesidad de conocer si un punto geográfico es apropiado para un posible estudio de potencial eólico, caracterizando el sitio en función de la factibilidad de uso del viento para fines energéticos, las condiciones para poder instalar sistemas conversores de energía eólica enfocados al desarrollo de la globalización en base a sistemas alternos de energía que no pueden ser abastecidos por la red eléctrica entre ellos están [29].

3.5.1 Distribución de la velocidad Ley de Weibull

El conocimiento de esta ley de la velocidad del viento ayuda a calcular el potencial energético de la energía de forma anual que puede producir un aerogenerador, se aplica en una ley y altura sobre el nivel del suelo, expresando el comportamiento de velocidades en un año [29].

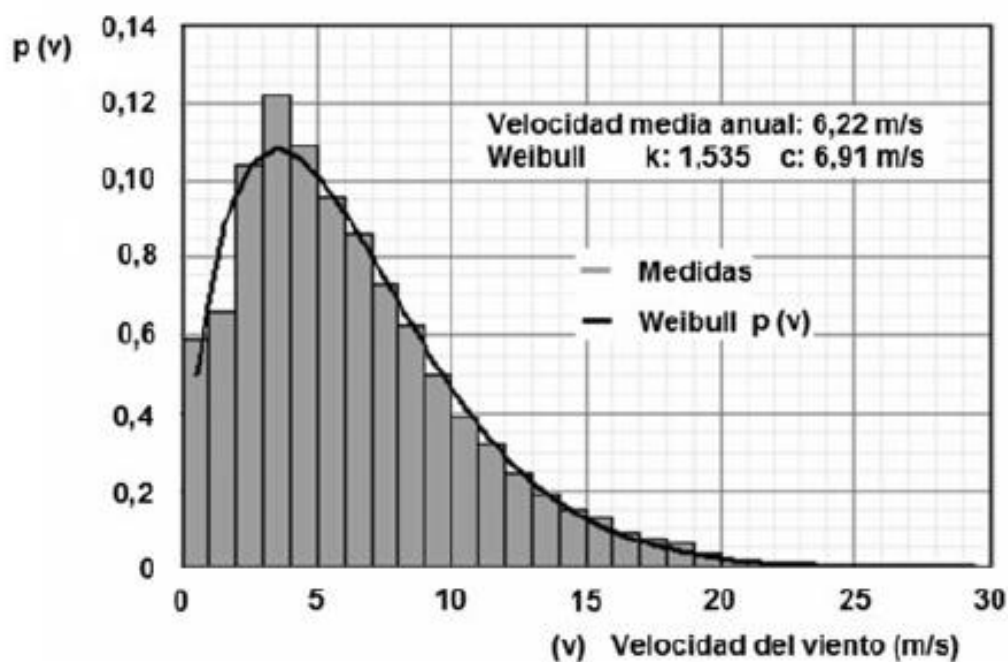


Figura 3.16. Distribución de viento (Weibull) [29].

3.5.2 Distribución de la velocidad Ley de Rayleigh

Se da en un caso particular de la ley de Weibull cuando los lugares presentan condiciones ideales eólicas para su explotación describe detalladamente la velocidad del viento por lo que es más utilizada en la producción de generación de energía en aerogeneradores pero tiene una condición que la velocidad no tiene que superar los 4.5 m/s es decir se utiliza solo en casos donde el viento se presente en forma de brisa lo cual no es recomendable su utilización debido a la existencia de vientos en forma de umbral es decir vientos que se desprecian al momento de la instalación para aerogeneradores [29].

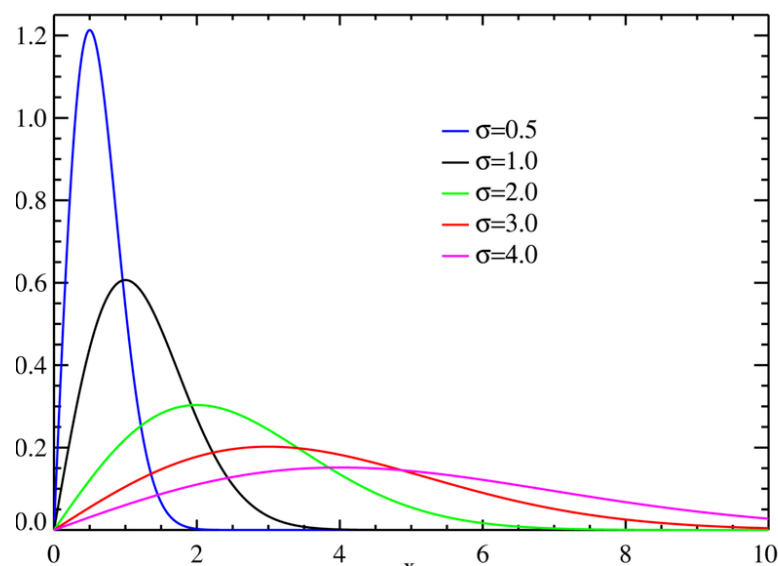


Figura 3.17. Distribución de viento (Rayleigh) [29].

3.6 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DEL VIENTO

Para medir las variables del viento y velocidad relativa se utiliza un proceso físico, cuando la magnitud varía según la velocidad en la que esté sometida una hélice respecto al viento teniendo en cuenta a fuerza que actúa el viento sobre una superficie con la diferencia de temperatura producida tomando en cuenta la presión aerodinámica y su dirección [30].

3.6.1 Anemómetro

Mide la velocidad del viento casi siempre con la condición de 10 metros para evitar la influencia del suelo, los más utilizados son los de rotación, cazoleta o tipo hélice, que convierte la velocidad de giro del sensor en una señal mecánica o eléctrica [29].

3.6.1.1 Anemómetro tipo cazoleta

Este tipo de anemómetro tiene forma cónica distribuida simétricamente en un eje vertical, giran produciendo fuerza mayor en su zona cóncava y menor en la zona convexa, siendo el más utilizado en estaciones y torres meteorológicas, generalmente miden en el componente horizontal del viento [29]



Figura 3.18. Cazoletas semiesféricas [29].

3.6.1.2 Anemómetro tipo hélice

Se utiliza para determinar la velocidad del viento en una dirección, por lo cual para obtener su componente horizontal deben usarse dos anemómetros de hélice en dirección ortogonal y proceder a la composición vectorial de la velocidad [29].



Figura 3.19. Conjunto de anemómetro de hélice y veleta [29].

3.6.2 Medición de la dirección del viento

Se mide mediante una veleta instalada en conjunto con el anemómetro siendo un dispositivo montado en un eje vertical y gira libre por acción del viento cambiando según su dirección sufriendo fluctuaciones [29].



Figura 3.20. Conjunto de anemómetro de hélice y veleta [29].

3.7 ESTACIONES METEOROLÓGICAS

Es un dispositivo que recopila información sobre las variables atmosféricas, además de registrar datos meteorológicos, mediante la generación de información para conocer exactamente las condiciones meteorológicas de una zona geográfica, analizando el clima para predicción de fenómenos naturales con situaciones de riesgo siendo sus principales variables la temperatura del aire, humedad, velocidad del viento y presión barométrica [31].



Figura 3.21. Estación meteorológica fija [31].

3.7.1 Instrumentos y variables medidas de una estación meteorológica

Los instrumentos comunes y variables que se miden en una estación meteorológica incluyen instrumentos de medida como termómetros, termógrafos, barómetro, pluviómetro, heliógrafo los cuales están instalados en estaciones meteorológicas automatizadas(E.M.A) requiriendo un mantenimiento ocasional, además existen estaciones meteorológicas con radar meteorológico el cual permite medir la turbulencia atmosférica [31].

3.8 EL GLOBO CAUTIVO

Un globo cautivo tiene la característica especial de ser aerodinámico principalmente lleno de helio y sujeto mediante un cable en la superficie terrestre por medio de un mecanismo que puede elevar o recoger un cable para situarlo a diferentes alturas en un periodo de tiempo determinado, se lo utiliza para generalmente para almacenar datos y comportamientos del potencial eólico mediante dispositivos acoplados, además de fácil transporte frente a una torre meteorológica con la desventaja que se puede aplicar hasta la velocidad límite del viento a 9 m/s [32].

3.8.1 Usos de globo cautivo

Tiene diferentes aplicaciones como el estudio de la atmósfera para realizar evaluaciones de la calidad del aire, además se los utiliza para aviación civil elevando equipos a donde las aeronaves no tienen accesibilidad tales como sitios de alta montaña y volcanes activos debido a que tienen probabilidades bajas de ser dañados por material desprendido de un volcán teniendo en cuenta condiciones atmosféricas y el tipo de carga útil a transportar junto con el volumen del globo [33].

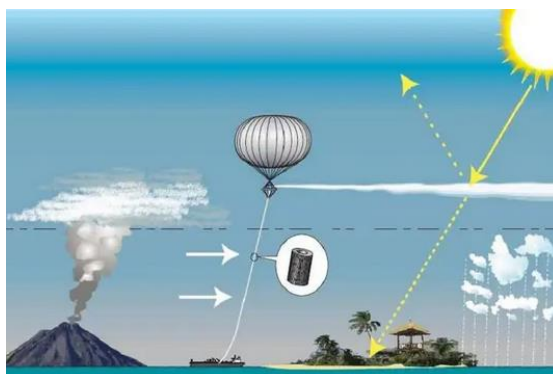


Figura 3.22. Representación globo cautivo en erupción volcánica [33].

3.8.2 Materiales y construcción de un globo cautivo

Está compuesto de materiales plásticos entre ellos el polietileno esto hace que sean livianos y resistentes a condiciones meteorológicas, en su parte inferior lleva un anillo de aluminio que cierra para enganchar un tren de vuelo en donde sus films cuyo grosor es de apenas pocos micrones tienen una composición multicapa con diversos compuestos derivados del polietileno [33].

3.9 MICROCONTROLADORES

Un microcontrolador son todos los dispositivos que mediante programación de lenguaje e interpretación del usuario cumplen procesos lógicos a través de un software, por eso es necesario poder controlar el funcionamiento para los procesos mediante microcontroladores, en el mercado actual existe varias opciones entre los más utilizados están:

a. Tipos de microcontroladores

- PIC
- Arduino
- Raspeberry, entre otros [34].

3.9.1 Arduino

Es una plataforma de código abierto utilizada para el diseño de prototipos electrónicos con hardware y software de fácil programación mediante un microcontrolador reprogramable con varios pines hembra para conexión de sensores y actuadores, los proyectos realizados tienen la ventaja de poder ser autónomos o controlados a través de un software ejecutable de ordenador [35].



Figura 3.23. Descripción de componentes de la placa Arduino [35].

3.9.2 Lenguaje de programación de Arduino

Posee un lenguaje de programación en código abierto, derivado del lenguaje de programación C++, siendo de fácil aprendizaje y multiplataforma lo que permite su ejecución en diferente sistema operativo permitiendo al usuario utilizar otros lenguajes de programación cargando su información mediante (processing) el cual es utilizado para comunicar la placa Arduino con el ordenador y así guardar datos se puede utilizar lenguajes como Python entre otros [35].



Figura 3.24. Gráfico Arduino + Processing [35].

3.10 DISPOSITIVOS DE TRANSMISIÓN DE DATOS INALÁMBRICOS

Las redes inalámbricas designan la conexión por nodos de ondas electromagnéticas sin necesidad de una conectividad física o alámbrica, principalmente definida como la recepción y transmisión de información a través de puertos [36].

3.10.1 Módulo de Arduino Xbee

Son pequeñas radios de comunicación inalámbrica que pueden enlazarse entre ellas, pueden realizar actividades como el reemplazo de cables en una comunicación en serie, cuentan con entradas y salidas analógicas-digitales, en donde se puede instalar sensores para la lectura de sus datos de forma remota[37] .

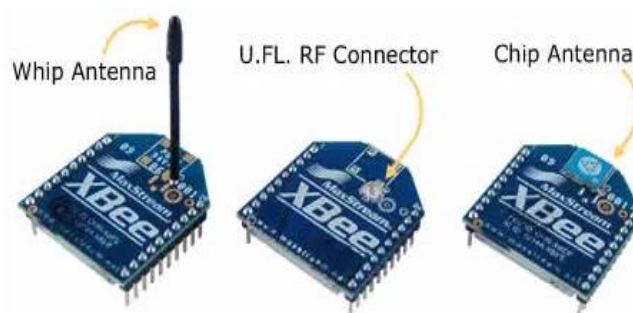


Figura 3.25. Módulo Xbee conexión [37].

3.10.2 Dispositivo GPS

El módulo GPS (*Global Positioning System*) permite conocer en todo momento la posición con un pequeño margen de error sobre la tierra, fue desarrollado inicialmente para uso militar, tiene proyectos de elementos predecesores como *transit*, *Timation* y *System 621b*, compuesto por una red de satélites y estaciones de control, teniendo en cuenta su altura máxima y características de velocidad según las restricciones de sus fabricantes.

a. Información que puede obtener un dispositivo GPS

- Velocidad
- Rango de Movimiento
- Camino
- Distancia del viaje
- Distancia hacia un destino[38] .



Figura 3.26. Antena GPS [38].

3.10.3 Conexión inalámbrica GSM

Es un sistema de comunicación global para dispositivos móviles que utiliza una red para la transmisión de datos, navegar por internet y acceder con seguridad a una red informática para utilizar funciones digitales de información, siendo por su velocidad de transmisión la más utilizada para una ubicación geográfica inaccesible de redes de mayor velocidad con una desventaja que depende de la velocidad de conexión para poder enviar o recibir datos en tiempo real, además de estar sujeta a que exista cobertura de redes móviles para obtener información [39] .

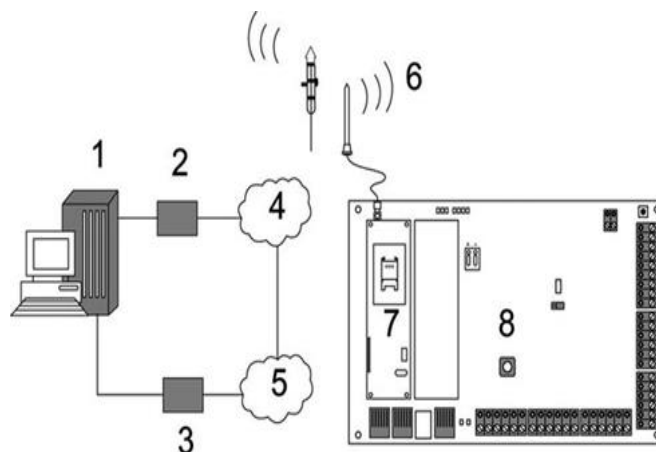


Figura 3.27. Transmisión de datos GSM [39].

4 MATERIALES Y MÉTODOS

En esta sección se detalla el desarrollo de los pasos a realizar para llevar a cabo el proceso para de medición de variables del viento mediante el prototipo de prospección eólica preliminar, adecuando a las necesidades requeridas para obtención de datos de los perfiles del viento considerando la altura, temperatura, presión atmosférica, humedad relativa, almacenamiento de datos, dirección y velocidad del viento.

A través de una investigación bibliográfica, se analizó la información requerida, de diversas fuentes para poder determinar las variables necesarias para poner en marcha el diseño del prototipo, además de una investigación de campo programada para obtener un punto georreferenciado del lugar donde se llevará a cabo la instigación.

Con el método científico permitió conocer diferentes prototipos los cuales ayudaran a un mejor desarrollo del prototipo de peso ligero para prospección eólica preliminar para medición del potencial eólico, debido a estos factores incluyendo a el método inductivo se pudo controlar los recursos para optimizar el tiempo de obtención de datos.

Para los materiales y métodos de nuestro diseño tomamos como referencia en la Tabla 4.1 que detalla los diversos prototipos existentes en el mercado para llevar a cabo el proceso requerido para llevar a cabo la construcción del prototipo mediante una comparación técnica sobre cual deberían ser los sensores a instalar en el prototipo.

Tabla 4.1. Comparación entre dispositivos del mercado[38].

Comparación entre dispositivos del mercado													
Equipo	Conexión inalámbrica	Monitorio por internet	Pantalla	Velocidad del viento	Dirección del viento	Sensor de humedad	Temperatura	Radiación solar	Lluvia	Presión atmosférica	Almacenamiento de datos	Altura	Puntuación
Ambient Weather WS-2902 7-en-1 estación meteorológica profesional	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	3
Prototipo de peso ligero para prospección eólica preliminar	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x	2,5
AcuRite 06004RM, 5 en 1 + sensor meteorológico	x				x	x	x		x		x		1,25

Entre los diferentes dispositivos analizados en el mercado se seleccionó de alta y baja gama para una respectiva comparación entre dispositivos que analizan el potencial eólico definiendo a nuestro prototipo de prospección eólica preliminar mediante globo cautivo como (PPEPGC01).

Ventajas del dispositivo PPEPGC01

- a. Dispositivo fácil de manipular con una recolección de datos a diferentes alturas y mantenimiento accesible.
- b. Conexión GSM mediante chip móvil para verificar funcionamiento del dispositivo en línea.
- c. Obtención de una matriz de datos mediante una memoria micro SD extraíble para poder interpretar en un servidor IOT.
- d. Batería lipo recargable no descartable para disminuir contaminación con 7.4V a 1500 mAh.
- e. Resistencia a impactos debido a estrellamiento sin afectar al equipo o al circuito.

4.1 DESCRIPCIÓN DE DISPOSITIVOS

El control del prototipo involucra varios sistemas, sensores y módulos para la medición de variables del viento para la obtención e interpretación del almacenamiento de datos para realizar estudio fiable.

4.1.1 Arduino ATmega2560

Arduino mega es alimentado por el puerto USB de un ordenador o con una fuente externa de poder, cuando se utiliza una fuente de energía externa se debe transformar la energía eléctrica de AC/DC, su factibilidad de utilizar sensores y módulos con programación básica, su eficiencia en interconexión inalámbrica mediante (IoT) acoplándose a plataformas web para obtención de datos.

Tabla 4.2. Comparación entre los dispositivos Arduino más utilizados del mercado[38].




Comparación de dispositivos arduino mas utilizados							
Tipo	Memory Flash	EEPROM	SRAM	Digital I/O	PWM	Analog Pins	Puntuación
Arduino nano	32KB	1KB	2.5KB	20	7	12	1
Arduino uno	32 KB	1 KB	2KB	14	6	6	2
Arduino mega	256 KB	4 KB	8KB	54	15	16	3

Las diferentes características de los dispositivos del mercado son un referencial para definir en base a las exigencias de nuestro prototipo, considerando la velocidad de transmisión de datos optamos por la utilización de un Arduino mega el cual tiene un mayor número de entradas y salidas digitales o analógicas que servirán para la conexión de los elementos a utilizar.

4.1.2 Módulo de reloj RTC DS1307

Las lecturas de datos obtenidas por todos los sensores instalados deben estar acompañados de la hora y la fecha que se generaron, existiendo la necesidad de la implementación de un módulo RTC el cual se compone de un circuito integrado DS1302, dentro de sus principales atributos tenemos una interfaz de comunicación digitales de sus tres terminales (SCLK, I/O, CE) junto a una memoria que permite el ajuste de la hora y fecha requerida.

Tabla 4.3. Comparación de módulos RTC del mercado.




Módulos RTC			
Modelo	DS 1302	DS 3231	DS 1307
Representación			
Voltaje (V)	3.3-5.5	3.3-5.5	3.3-5.5
Comunicación I2C	No	Si	Si
RAM(bytes)	31	127	56

Todos los módulos RTC utilizan la misma alimentación claro está que según su modelo pueden tener una mayor precisión al obtener la zona horaria requerida, la duración de tiempo de batería es de 10 años, pero también se diferencian por la RAM requerida es así que optamos por la utilización del módulo DS1307 debido a que es un dispositivo de gama media y no utiliza mayor recurso energético como el DS3231, además la implementación del reloj DS1302 no es posible debido a que no posee comunicación I2C.

4.1.3 Sensor encoder ranurado FC-03

Debido a que se necesita la velocidad del viento utilizamos un interruptor infrarrojo el cual cuenta con un emisor IR y un receptor equidistante en donde un objeto con ranuras bloqueara el paso de luz.

Tabla 4.4. Características encoder FC-03.



Tipos de Encoder			
Modelo	FC-03	KY-040	Incremental
Representación			
Voltaje (V)	3.3-5	5	3.3-5
Salida	Análogica-Digital	Análogica-Digital	Análogica-Digital
Ranura(mm)	5	no	no
Tipo de emisor	Fotodiodo IR	Luz	Luz
Peso(g)	8	10	80

Debido al peso del dispositivo a seleccionar se selecciona el encoder FC-03 siendo el más liviano de su categoría, además de tener un rubro económico accesible además de sus dimensiones compactas para encajar en la estructura del dispositivo.

4.1.4 Módulo de temperatura y humedad relativa DHT11

Mediante un sensor capacitivo de humedad y un termistor mide el aire circundante se puede obtener datos por medio de una señal digital ya que no dispone de salidas analógicas es utilizado para relaciones de control automático de temperatura y monitoreo ambiental.

Tabla 4.5. Comparación de módulos DHT disponibles en el mercado.



Módulos DHT		
Modelo	DHT 11	DHT22
Representación		
Voltaje (V)	3-5	3-6
Humedad relativa	5%	5%
Temperatura	0°C a 50 °C	-40°C a 80 °C
Número de pines	4	4
Tiempo de medición (S)	1	2

Es un sensor que tiene bajo costo y prestaciones de media gama con cierta imprecisión en la obtención de resultados de humedad relativa entre $\pm 5\%$ en una humedad relativa de 20-90% y con un rango de medición entre $\pm 2\%$ en 50 grados centígrados DHT11 es ideal para medir temperatura entre 0 y 50 °C debido a que el prototipo no estará sometido a temperaturas bajo cero o congelamiento no se recomienda utilizar el sensor DHT22 debido a que en Cotopaxi son raras las temperaturas bajas.

4.1.5 Sensor de presión barométrica y altura sobre el nivel del mar BMP180

Su principal función es medir la presión atmosférica en cualquier ubicación geográfica, la cual está enfocada a el peso del aire sobre la superficie terrestre es así que mayor altura la cantidad de aire es menor y la presión disminuye y a menor altura aumenta. Debido a que varios módulos se encuentran conectados a nuestra placa Arduino, por necesidad de reducción de consumo podemos utilizar el módulo BMP180 el cual consume en standby $3\mu\text{A}$, con estándares de alta calidad y alto rendimiento con una alimentación de 3.3 V la presión relativa de $\pm 2\%$ desde los 100 hPa.



Tabla 4.6. Comparación de módulos BMP disponibles en el mercado.

Sensor presión barométrica y altitud		
Modelo	BMP 180	BME280
Representación		
Voltaje (V)	1.8-3.6	1.8-3.6
I2C	Si	Si
Presión atmosférica (hPa)	300-1110	300-1110
Consumo	3μA	12 μA

4.1.6 Módulo de magnetómetro MPU9250

La función principal de este módulo es cuantificar la fuerza obtenida de la señal magnética de la tierra en distinta ubicación geográfica la cual puede cambiar según el viento y la interacción entre partículas que influyan en la magnetosfera.

Tabla 4.7. Comparación de módulos para medir el campo magnético.


Módulo señal magnetica		
Modelo	MPU9250	MPU6050
Representación		
Voltaje (V)	3.3-5	3.3-5
Magnetometro	±4800μT	No
Giroscopio Grad/Seg	±250, ±500, ±1000, ±2000	250, 500 1000, 2000
I2C	Si	Si

Este módulo MPU9250 tiene diversas funciones como acelerómetro, giroscopio, magnetómetro, de los cuales utilizaremos la medición de campo magnético vectorial para obtener el componente campo en una dirección particular, el magnetómetro es de efecto Hall de silicio de 3 ejes con concentrador magnético funcionando a una corriente de 280 μA con un rango de escala completa de ± 4800 y una tolerancia de calibración de ± 500 permitiendo su funcionamiento desde -40 a 85° C puede tener registros de interrupción de ±10% cuando baja su tensión a 2V con una programación de frecuencia de 8.000 muestras en 3,9 segundos .

4.1.7 Módulo lector de memoria micro SD

Módulo SD tiene una interfaz para acceder a memorias tipo micro SD en modo SPI, siendo así que estas señales de control, sirven para el almacenamiento de datos en este caso un documento de formato tipo .txt del bloc de notas de la plataforma Windows, compatible con Arduino y algunos otros tipos de microcontroladores.

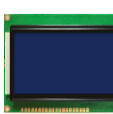
Tabla 4.8. Características tarjeta micro SD.

Memoria micro SD	
Modelo	CARD
Representación	
Voltaje (V)	3.3-5
Interfaz	SPI
Tarjeta SD	MOSI, MISO,SCK,CS
Plataformas	Arduino, PIC

4.1.8 Pantalla OLED de alta resolución 128x64

Se utilizará este tipo de pantalla debido a su tamaño para cuando el dispositivo tenga un posible impacto sobre la superficie terrestre no se rompa o quede en inutilizable es por eso que apropiada debido a que su visualización es más clara pero limitada por el tamaño de la pantalla por las 0.96 pulgadas disponibles para lectura de datos.

Tabla 4.9 Características de pantalla OLED.


Pantallas			
Modelo	OLED	LCD	TFT
Representación			
Resolución	128x64	16x2	320x240
Angulo de visión	max 160 °	max 160 °	max 160 °
Chips de control	Arduino, PIC, MSP430, STM32	Arduino, PIC, MSP430, STM32	Arduino, PIC, MSP430, STM32
Consumo (W)	0,08	0,125	20
Voltaje (V)	3-5 DC	4.5-5	5
Temperatura de trabajo	30 a 70	15 a 50	-30 a 80
Tamaño (mm)	35.4-33.5	6.5x1.5	71x52

Además, una pantalla incorporada en el PPEPGC00, permitirá la visualización de las variables de prospección eólica preliminar al encender el dispositivo, garantizando una alta resolución ante la calidad de imagen, teniendo una mayor duración de más de 5 años.

4.1.9 Módulo de Tarjeta SIM800L

Este módulo se utilizará para poder verificar la transmisión de datos en línea mediante la página web Thinger.io para poder saber inalámbricamente el estado de nuestro dispositivo o prototipo, con un solo requerimiento debe haber cobertura de red móvil la ubicación geográfica definida.

Tabla 4.10. Características módulo SIM800L.

Módulo SIM800L	
Modelo	GSM
Representación	
Voltaje (V)	3.3-4.4
Consumo máximo	500mA
Interfaz	Serial UART
Soporta (RTC)	Si
Quad-band (MHz)	850/900/1800/1900

4.2 DISEÑO ELECTRÓNICO

Para diseño electrónico del dispositivo utilizamos una placa de prueba, diseñando un circuito sin la necesidad de unir módulos a una placa diseñada, por medio de un instrumento que permite comprobar funcionamiento del PPEPGC001 sin necesidad de soldar componentes.

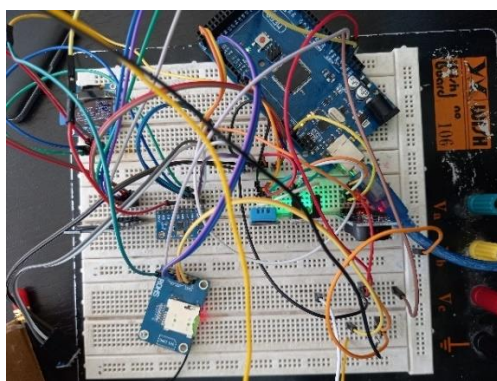


Figura 4.1. Prueba de funcionamiento PPEPGC001.

4.2.1 Red de comunicación Maestro/Esclavo

Se requiere de reglas para especificar el intercambio de datos y órdenes, definidas por protocolos de comunicación en red para poder controlar varios dispositivos al mismo tiempo definiendo al Arduino ATmega como maestro y los módulos como esclavo, obteniendo las siguientes características.

a. Funciones de comunicación Maestro

- Define el tiempo de la comunicación (temporizado).
- Control total de la comunicación.
- Arranque de comunicación y traspaso de datos.

b. Funciones de comunicación Esclavo

- No puede dar inicio a la comunicación por sí solo, necesita de un dispositivo maestro.
- No puede comunicarse con otros dispositivos esclavo.

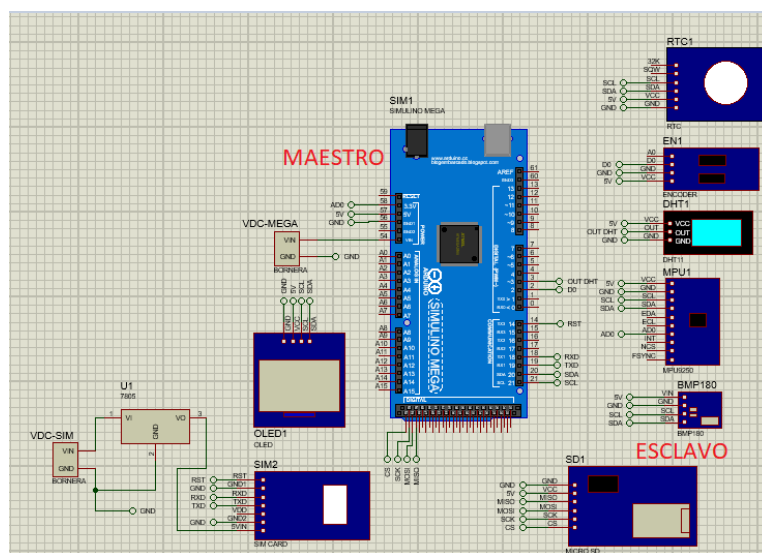


Figura 4.2. Representación Maestro/Esclavo PPEGC001.

4.2.2 Protocolos de comunicación

Trata de un sistema de reglas el cual permite que varios dispositivos de un sistema de comunicación interactúen entre ellos transmitiendo información por medio de variaciones de magnitud físicas y sincronización de comunicación, pueden ser implementados mediante hardware, software o por su combinación.

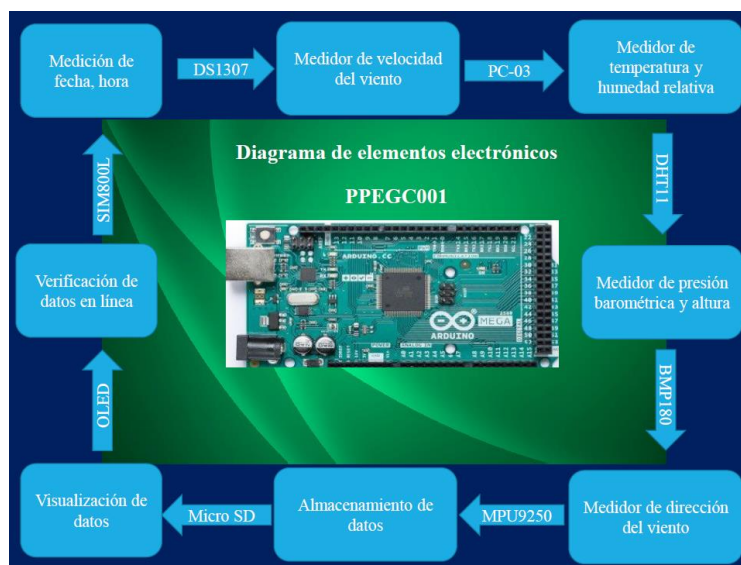


Figura 4.3. Representación del diagrama de elementos electrónicos PPEGC001.

4.2.2.1 Protocolo de comunicación I2C

Posee un protocolo y puerto de comunicación serial que permitirá que el dispositivo PPEGC001, defina una trama de datos mediante conexiones físicas permitiendo transferir bits entre dos dispositivos digitales con la reducción de cables de comunicación SDA y SCL, creando la oportunidad de conectar hasta 127 dispositivos conocido como *Two Wire Interface* siendo el más utilizado para la comunicación de sensores digitales, es así que los dispositivos configurados con el protocolo I2C en el PPEGC001 permiten medir las variables de la hora, fecha, presión barométrica, altitud (m s. n. m.).

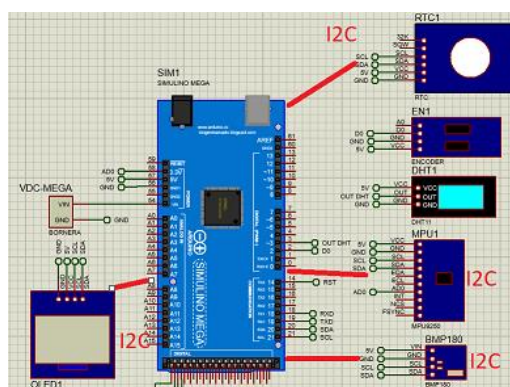


Figura 4.4. Módulos del PPEGC001 con protocolo I2C.

4.2.2.2 Protocolo de comunicación RS232

Este protocolo está desarrollado para comunicar dispositivos de manera serial, lo utilizamos debido a su fácil comunicación en serie en módulos inalámbricos que se comunican mediante el Arduino ATmega (maestro), en este caso permite la visualización de datos en el módulo SIM800L el cual transmite información inalámbrica mediante GSM, utilizando los pines 18 (TX) y 19 (RX), los cuales permiten conectar diversos dispositivos inalámbricos como bluetooth y módulos que posean de transmisión de datos inalámbricos.

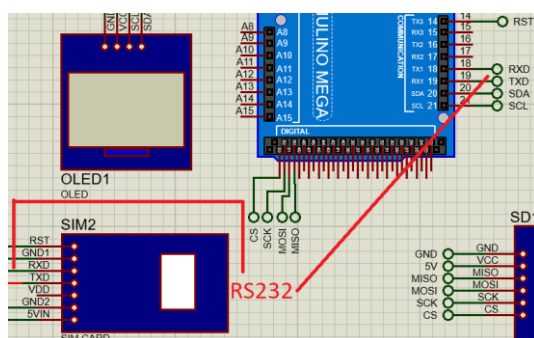


Figura 4.5. Módulo SIM800L del PPEGC001 con protocolo RS232.

Después de establecer un protocolo RS2323 procedemos a la activación de la tarjeta SIM de una operadora móvil (Movistar), la cual tiene una mayor intensidad de señal para el uso de datos móviles en el sitio de estudio, estableciendo una conexión mediante la transmisión de datos inalámbricos por GSM a la página web thinger.io, la cual es una plataforma (IOT), donde podemos asegurar que nuestro dispositivo PPEGC001 obtenga información del potencial eólico cuando se encuentre en la troposfera.

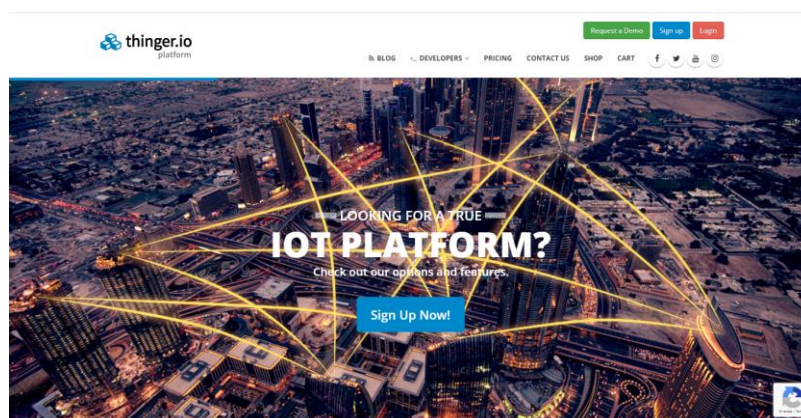


Figura 4.6. Módulo SIM800L del PPEGC001 con protocolo RS232.

4.2.2.3 Protocolo de comunicación Bus SPI

La interfaz SPI (*Serial Peripheral Interface*) permite comunicar varios dispositivos de nuestro prototipo PPEGC001 para transmitir y recibir datos en altas velocidades los pines utilizados son digitales (50,51,52,53) los cuales respectivamente son CS, SCK nos permite obtener señales de reloj enviadas por el dispositivo maestro , MOSI, MISO utilizados para conectar el módulo Micro sd permitiendo el almacenamiento de datos en un dispositivo extraíble y compatible con diversos sistemas operativos creando un archivo con la extensión .txt el cual ejecuta el software bloc de notas de nuestro ordenador.

Tabla 4.11. Tipos de comunicación SPI.

Protocolo de comunicación Bus SPI	
CS	Administra los datos de salida del maestro para seleccionar un dispositivo esclavo.
SCK	Obtine señales de reloj enviadas por el dispositivo maestro
MOSI	Transmisión de datos hacia otro integrado
MISO	Administración de información maestro-esclavo

4.2.3 Variables del circuito electrónico del PPEGC001

En este apartado describiremos las herramientas que permiten entender cómo funciona el circuito electrónico del PPEGC001 con sus respectivas variables como voltaje, corriente y consumo energético medido con un multímetro para de esta manera seleccionar la batería en base al consumo del dispositivo con sus módulos

Tabla 4.12. Variables del circuito electrónico del PPEGC001.

Variables	
Voltaje	5 Vdc
Corriente	140 mA
Potencia	0,7 W
Consumo	140mAh

4.2.3.1 Fuente de energía

Es necesario tener en cuenta el consumo del PPEGC001 y cada uno de sus elementos los cuales componen al PPEGC001 para así poder analizar el rendimiento energético de su circuito electrónico con sus dispositivos para seleccionar una batería tipo Lipo procediendo a conocer la autonomía del prototipo al realizar una prospección eólica preliminar obteniendo las horas de autonomía de la batería.

Tabla 4.13. Consumo estimado del PPEGC001.

Dispositivo	Consumo
Arduino Atmega2560	93 mAh
Módulo RTC DS1302	1 mAh
Módulo DHT 11	2,50 mAh
Módulo BMP180	0,65mAh
Módulo MPU9250	3,5mAh
Módulo Micro SD	0,30mAh
Pantalla OLED	0,80 mAh
Módulo SIM800L	50 mAh

4.2.3.2 Selección de la batería del PPEGC001

Se utiliza una batería tipo Lipo la cual está compuesta de polímero de litio la cual es de fácil adquisición en el mercado actual tiene buenas características y es recargable.

Tabla 4.14. Selección de la batería del PPEGC001.

Requisitos del sistema			
Sistema	Eléctronico	Batería	Recargable
Consumo	140 mAh	Tipo de Batería	Polimero de litio
Polaridad	P/N	Capacidad	500mAh
Voltaje	5Vdc	Dimensiones	5x30 mm
Potencia	0,7 W	Peso	9 g

4.2.3.3 Autonomía de la batería del PPEGC001

Se obtienen los siguientes datos para definir la autonomía de la batería del PPEGC001:

- Carga = 1500mAh
- I Carga = 140 mA
- V flotante = 5 Vdc
- Voltaje mínimo = 3.3 Vdc

$$\frac{\text{Tiempo total}}{\text{Tiempo de Atonomía}} = \frac{V. \text{Flotante}}{V. \text{Flotante} - V. \text{mínimo}} \quad (4.1)$$

$$\text{Autonomía} = \frac{500\text{mAh}}{140\text{mA}} - \frac{5\text{Vdc}}{5\text{Vdc} - 3.3\text{Vdc}}$$

$$\text{Autonomía} = 8,17 \text{ horas}$$

Debido a que el dispositivo requiere obtener una base de datos grande se decide instalar una batería Lipo de 7,4 V a 1500 mAh para una duración prolongada de 8 horas con 17 minutos para controlar las variables del potencial eólico.

4.2.4 Diseño de PCB del PPEGC001

Este diseño electrónico en PCB nos permite instalar los módulos y sensores seleccionados con anterioridad, Para esto es necesario la utilización del software de simulación libre que ayudará al diseño de la placa electrónica del PPEGC001, debido a la cantidad de elementos optamos por imprimir el circuito en una máquina CNC, para exactitud en las instalaciones electrónicas y reducción de peso al utilizar una placa de baquelita más compacta la cual detalla caminos, buses o pistas del material conductor.

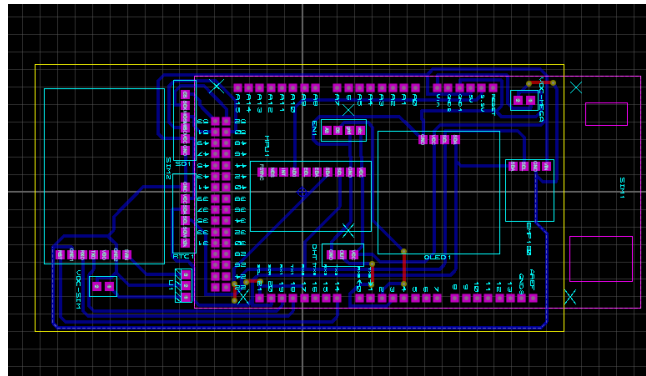


Figura 4.7. Representación de placa electrónica del PPEGC001.

El sistema simulado en 3D en software libre nos permite obtener nuestra PCB con una representación matemática de objetos o modelos tridimensionales del diseño en un ordenador, facilitando la integración mecánica y electrónica mediante la utilización de componentes electrónicos similares a los que se van a utilizar para obtener un diseño de trabajo óptimo para nuestro prototipo, además de obtener una visualización detallada de cómo se encontrarían situados los elementos electrónicos del prototipo PPEGC001 los cuales estarían montados en el microcontrolador Arduino ATmega2560.

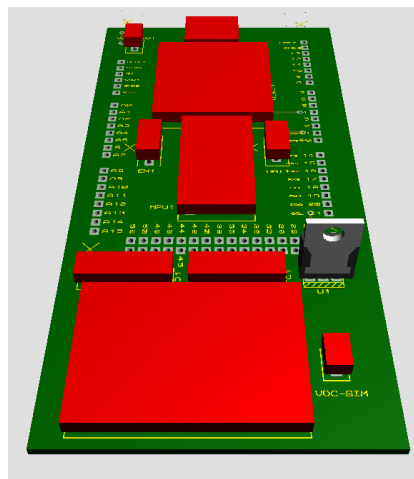


Figura 4.8. Representación de placa electrónica en 3D del PPEGC001.

Existen diferentes métodos para diseñar y construir circuitos impresos en este caso utilizamos una máquina router CNC, tomando en cuenta la complejidad del proyecto y el número de elementos electrónicos se optó por una fresa de grabado en V de 60° de 0,2mm con un vástago de 3,175mm, la cual puede corregir puntos críticos reduciendo costos o tiempo de producción, creando pistas conectadas de manera mecánica que ayudan a nuestro dispositivo PPEGC001 a conducir señales eléctricas entre los elementos electrónicos maestro/esclavo, además de una reducción de espacio en la placa electrónica al disminuir el uso de cables físicos.

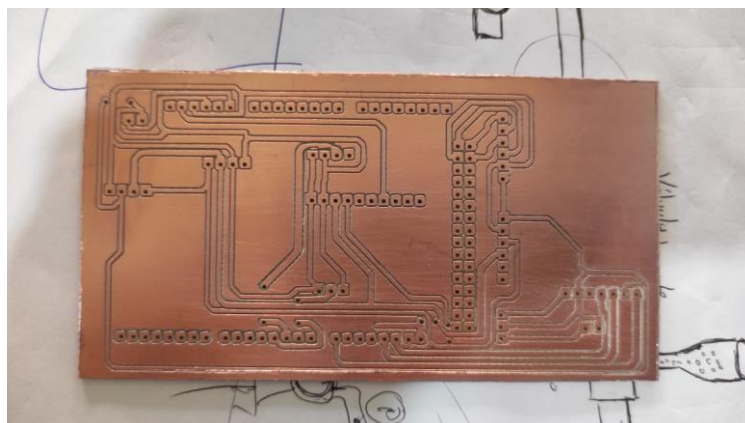


Figura 4.9. Representación de placa impresa en CNC del PPEGC001.

4.3 PROGRAMACIÓN SOFTWARE IDE ARDUINO

El desarrollo de la programación del dispositivo de medición de potencial eólico se realizó en Arduino IDE, este software es libre y compatible con varios microcontroladores. Arduino IDE dispone de una interface amigable con el usuario y de fácil interpretación. En la

siguiente imagen se muestra la pantalla principal del software utilizado para programar el microcontrolador Arduino MEGA 2560.

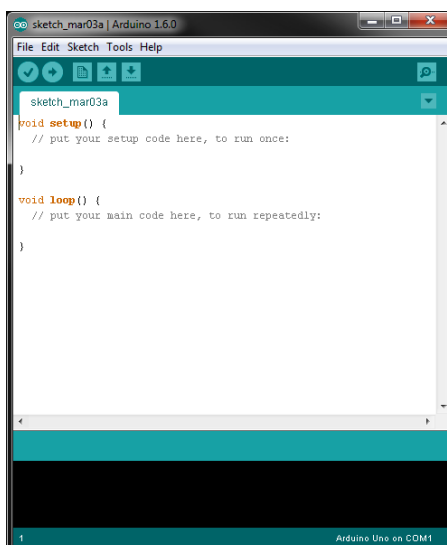


Figura 4.10. Pantalla principal del Arduino IDE.

4.3.1 Instrucciones de programación

En la siguiente tabla se muestran las instrucciones más importantes utilizadas durante la programación del microcontrolador Arduino MEGA 2660 para medir las variables físicas de temperatura, humedad, presión barométrica, altitud, orientación y velocidad del viento.

Las librerías son un conjunto de implementaciones funcionales, previamente programadas y que sirven para acortar la programación principal, pueden ser llamadas en el momento que el programador lo requiera. Para llamar a una librería se utiliza el comando:

#include <"*Nombre de la librería*">

Una señal digital puede variar únicamente entre dos valores $-V_{cc}$ y $+V_{cc}$, en arduino estos valores son 0V y 5V respectivamente o también se los puede representar como un (0,1).

Todos los pines digitales de arduino pueden ser configurados como entradas o salidas digitales y la intensidad máxima recomendada por pin es de 20mA y la suma de todas las salidas no puede superar 300mA. A continuación, se presentan las instrucciones utilizadas para configurar los pines de arduino como salidas.

pinMode (*pin*, *OUTPUT*);
digitalWrite (*pin*, *HIGH* or *LOW*);
delay (*tiempo milisegundos*);

En el mundo real los valores de tensión o voltaje son continuos y para leer estos valores se necesita de un proceso llamado discretización que representa los valores en un LOW y HIGH. Una entrada digital compara la medición de tensión con una tensión umbral, si el valor medido es mayor que el umbral devuelve un HIGH y si es menor que el umbral devuelve un LOW.

```
pinMode (pin, INPUT);
digitalRead (pin);
delay (tiempo milisegundos);
```

La función IF sirve para comprobar si una condición es cierta o falsa. Si la condición es cierta ejecuta las instrucciones que están dentro de las llaves IF y si la condición es falsa ejecuta las instrucciones dentro de las llaves ELSE.

```
if (condición) {
  Instrucciones que se ejecutan si la condición es cierta - true-
} else {
  Instrucciones que se ejecutan si la condición es falsa - false-
}
```

La función FOR sirve para repetir las instrucciones que se encuentran dentro de las llaves N veces dependiendo de la condición dada a la función, también sirve para crear contadores.

```
for (valor_inicial_contador; condicion_final; incremento) {
  //Instrucciones que se repetirán un número determinado de veces
}
```

La función WHILE repite infinitamente las instrucciones que están dentro de las llaves mientras la condición dada sea verdadera, en caso de ser falsa la instrucción finaliza las repeticiones.

```
while (condición) {
  //Instrucciones que se repetirán mientras la condición sea cierta
}
```

Una de las formas que posee el arduino para comunicarse con otros dispositivos ya sean computadoras, microcontroladores, sensores o actuadores, es a través del puerto serial. Se conoce como puerto a una interfaces, físicos o virtuales, que permiten la comunicación entre dos ordenadores o dispositivos. El puerto serie consta de un emisor (Tx) y un receptor (Rx). El Arduino MEGA 2560 dispone de varios pines de comunicación serial con otros dispositivos electrónicos dependiendo de la necesidad.

```
Serial.begin (9600);
```

Serial.print ("Imprimir texto seguido");
Serial.println ("Imprimir texto con salto de línea");
Serial.println (Imprimir una Variable);
Serial.available() Recepción de datos
Serial.read(); Leer datos recibidos

Un ADC es un dispositivo que convierte una medición analógica en una medición digital codificada con un número N de bits. El numero N de bits representa la precisión de la medición, en este caso el Arduino MEGA 2560 trabaja con ADC de 10 bits, es decir, con una precisión de +-4.88mV.

AnalogRead (pin);
map(variable, min_{In}, max_{In}, min_{Out}, max_{Out});
Salida = entrada * 5/1023;

4.3.2 Programación del medidor

El funcionamiento del medidor preliminar de potencial eólico se puede dividir en dos etapas importantes: el esclavo como los sensores de temperatura, humedad, presión, altitud, orientación y velocidad del viento; como segunda etapa se puede considerar la transmisión de datos recibidos en el arduino MEGA 2560 hacia un servidor IoT llamado thinger.io. El proceso inicia con la creación de dos variables tipo flotante para recibir los datos de temperatura y humedad del sensor DHT11 a través del pin digital 3.

Como sistema de sincronización se utilizó un módulo RTC, el mismo que proporciona una señal de rejoy con información de día, mes año, hora, minuto y segundos después de una calibración, esta información es obtenida a través de comunicación I2C con los pines SCL y SDA del Arduino Mega (21,22). El módulo MPU9250 es utilizado para determinar la orientación del dispositivo y se comunica con el microcontrolador a través de la comunicación I2C. La presión barométrica se obtiene del módulo BMP180 que también utiliza comunicación I2C para enviar los datos hacia el Arduino.

Como elemento de visualización tenemos una pantalla OLED que actualiza sus datos cada 100 milisegundos con el objetivo de observar en tiempo real el comportamiento de todas las variables medidas. El módulo micro SD es el encargado de almacenar los datos medidos en intervalos de tiempo de 30 segundos, estos datos se almacenan en diferentes archivos del tipo bloc de notas para su posterior interpretación.

Por último, se tiene una SIM800L encargada de transmitir los datos medidos en intervalos de 1 segundo hacia el servidor IoT de la página thinger.io para un monitorear de forma remota el comportamiento del dispositivo y observar las variables medidas.

4.3.3 Diagrama de flujo

En la siguiente imagen se puede observar el diagrama de flujo de la esquematización grafica mediante símbolos de operaciones representadas en el algoritmo a seguir, sus diferentes procesos para alcanzar la solución de la programación y resolución del problema de funcionamiento del prototipo estableciendo diferentes condiciones para el correcto funcionamiento del sistema de red de los dispositivos interconectados, correspondiente a la programación utilizada en el Arduino MEGA 2560 para realizar la medición de las variables físicas y transmitir los datos hacían un servidor IoT en internet que se detalla en Anexo IV.

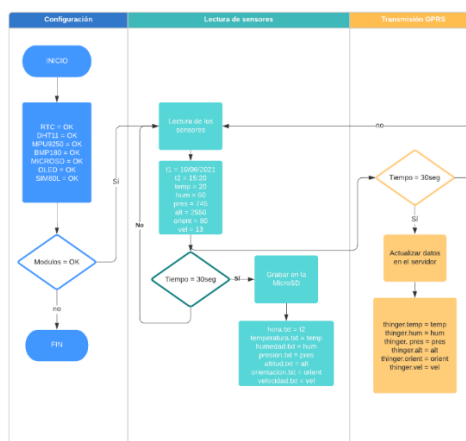


Figura 4.11. Diagrama de flujo del funcionamiento del medidor.

4.4 DISEÑO MECÁNICO

Se establecerá el proceso para realizado para dar paso a la forma, materiales, tecnología utilizada para la fabricación y funcionamiento óptimo del PPEGC001, cumpliendo tareas determinadas con base a necesidades establecidas para las que fue fabricado nuestro dispositivo.

4.4.1 Selección de materia prima para el armazón

Está compuesto por PLA (Ácido Poliláctico) que ofrece resistencia mecánica, siendo utilizado en fabricación de prototipos de implantes o prótesis debido a su alta resistividad, para el armazón con las siguientes características.

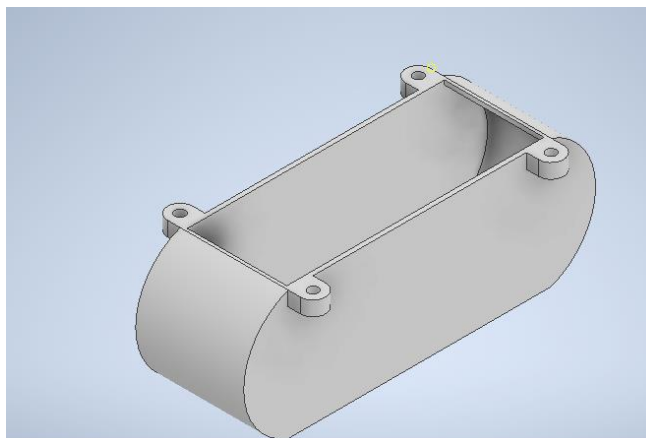
Tabla 4.15. Selección de la batería del PPEGC001.

Propiedades mecánicas y físicas del PLA	
Módulo elástico	3-4 Gpa
Alargamiento a la rotura	2-5%
Resistencia mecánica a la flexión	100MPa
Resistencia mecánica a la tracción	60-70 °C
Temperatura de fusión	170-200 °C

Entonces el PLA ofrece garantía al momento de un posible impacto del dispositivo hacia la superficie terrestre, puesto que se aplicó una temperatura de fusión de 190 °C, con un relleno del 15% a una velocidad de 50 mm/s, siendo su capa de 0.3mm, permitiendo aligerar el dispositivo para despegar hacia la troposfera.

4.4.2 Área del armazón

En base a un diseño 3D se establece la magnitud del armazón para obtener su área, aplicando fórmulas matemáticas, mediante un cuerpo aerodinámico contra al viento para disminuir la rugosidad del armazón, frente a los sensores instalados en el dispositivo, teniendo presente las dimensiones de la placa electrónica.

**Figura 4.12.** Diseño 3D del armazón del PPEGC001.

$$A_B = 2 \cdot \pi \cdot r \quad (4.2)$$

Donde:

A_{Tc} = Área total de un cilindro [m²]

r = Radio del cilindro [mm]

h = Altura del cilindro[mm]

$$A_{Tc} = 2\pi \cdot r (r + h)$$

$$A_{Tc} = 39.866,81\text{mm}^2 = 0.040\text{m}^2$$

Entonces procedemos a encontrar el área del paralelepípedo junto al área del cilindro para obtener el área total del armazón del prototipo.

$$A = 2 \cdot (a \cdot b + a \cdot c + b \cdot c) \quad (4.3)$$

Donde:

A = Área del armazón [m²]

c = Altura del armazón [mm]

b = Base armazón [mm]

a = Profundidad del armazón [mm]

$$A = 89.568 \text{ mm}^2 = 0.090\text{m}^2$$

Dándonos como área total del armazón 0.13 m², es así que se procede a encontrar el volumen.

$$V = A \cdot h \quad (4.3)$$

Donde:

A = Área del armazón [m²]

h = Altura del armazón [mm]

V = Volumen del armazón [mm³]

$$V = 0.011 \text{ m}^3$$

4.4.3 bandeja para dispositivos

El protector de la placa electrónica se encargará de proteger los dispositivos electrónicos, debido a que se encontrará dentro del armazón del PPEGC001 garantizando la integridad del circuito, mientras se encuentre en el globo cautivo protegiendo a la placa electrónica diseñada para transportar los diferentes sensores y el dispositivo maestro para la recopilación de información en la prospección eólica preliminar.

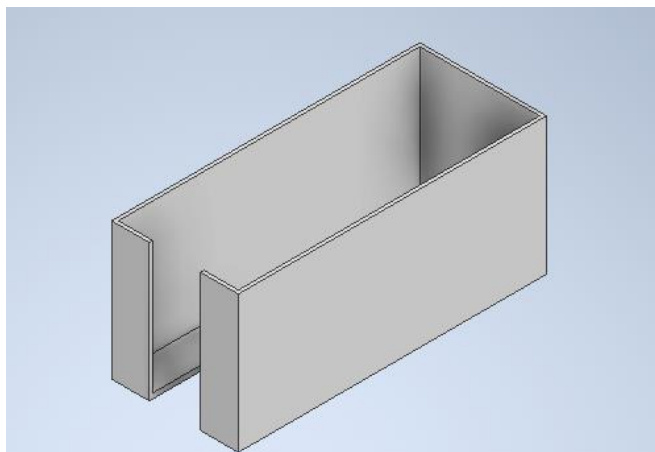


Figura 4.13. Diseño 3D de protector para dispositivos electrónicos del PPEGC001.

$$A = 2 \cdot (a \cdot b + a \cdot c + b \cdot c) \quad (4.4)$$

Donde:

A = Área del protector para dispositivos electrónicos [m^2]

c = Altura del protector para dispositivos electrónicos [mm]

b = Base del protector para dispositivos electrónicos [mm]

a = Profundidad del protector para dispositivos electrónicos [mm]

$$A = 81168 \text{ mm}^2 = 0.0811 \text{ m}^2$$

Entonces es necesario obtener el volumen que corresponde al espacio necesario para almacenar el circuito electrónico del PPEGC001.

$$V = a \cdot b \cdot c \quad (4.5)$$

Donde:

V = Volumen del del protector para dispositivos electrónicos [mm^3]

$$V = 1053760 \text{ mm}^3 = 0.0011 \text{ m}^3$$

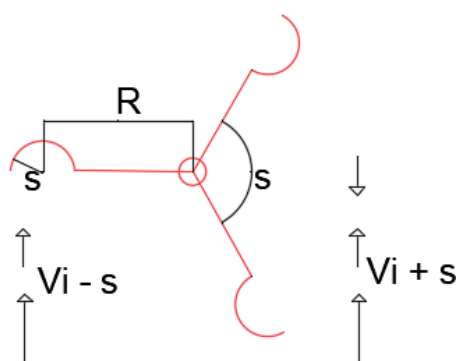
4.4.4 Diseño de anemómetro

Debido a que el viento es variable en tiempo y espacio, por esta razón el instrumento construido debe medir velocidades mínimas para generación eléctrica hasta turbulencias altas con una dinámica sencilla, teniendo una respuesta lineal en casi todo el rango de medición a excepción de vientos umbrales que oscilan por debajo de la rotación del anemómetro.

Tabla 4. 16 Velocidad del viento para instar un aerogenerador.

Velocidad de generación de energía eléctrica	
Velocidad mínima(m/s)	3 a 4
Velocidad máxima(m/s)	13 a 14

Se eligió el diseño de un anemómetro de copa, el cual responde a la fuerza diferencial de arrastre, por tener un rango de giro de 30 a 60 rpm/ ms^{-1} , es así que por lo general el efecto no lineal por debajo del umbral no se toma en cuenta para realizar correcciones de giro, es decir el anemómetro empezara su rotación con la fuerza del viento desde 3,33 m/s es decir 12 km/h la cual se mantiene en el rango de velocidades mínimas recomendadas para la instalación de aerogeneradores.

**Figura 4.14.** Representación de placa impresa en CNC del PPEGC001.

Entonces suponiendo que se utilizara un túnel de viento podríamos obtener el momento de inercia rotacional de nuestro anemómetro.

$$\sum I = m_1 \cdot (r_1)^2 + m_2 \cdot (r_2)^2 + m_3 \cdot (r_3)^2 \quad (4.6)$$

Donde:

I = Momento de inercia de anemómetro [$\text{kg} \cdot \text{mm}^2$]

m = Masa de paletas anemómetro [kg]

r = Radio de centro de base hasta la paleta del anemómetro [mm]

$$\sum I = 202.8 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2}$$

$$\sum I = 2.028 \cdot 10^{-4} \frac{Kg}{m^2}$$

4.5 LANZAMIENTO DEL GLOBO METEOROLÓGICO

El globo meteorológico permitirá la elevación del PPEGC001 hacia la troposfera para obtener información del potencial eólico, está compuesto por caucho natural (látex) de alta resistencia permitiendo liberarse bajo cualquier condición climática, para ello se debe fabricar un sistema de anclaje hacia el suelo para asegurar el dispositivo al elevar el globo cautivo.

4.5.1 Características del globo meteorológico

Para elevar nuestro globo meteorológico debemos conocer el peso del prototipo instrumentado y la altitud que puede llegar nuestro globo definiendo así el volumen de helio a utilizar para la obtención de datos limitando la disminución de presión lo cual causa que el globo se expanda hasta el punto de explosión, es por eso que se propone utilizar un globo con las siguientes características.

Tabla 4.17. Características del globo meteorológico del PPEGC001.

600g Professional Weather Balloon 100,000ft Burst Altitude	
Dimensiones (in)	72x72x72
Peso del globo (lb)	2
Fabricante	Weather Balloon Co

Es así entonces para introducir una adecuada cantidad de gas helio en el globo meteorológico debemos definir las prestaciones máximas del mismo para cuidar su estructura mientras se realice la prospección eólica preliminar con nuestro dispositivo PPEGC001.

Tabla 4.18. Prestaciones máximas del globo meteorológico del PPEGC001.

Prestaciones máximas del globo meteorológico profesional			
Altitud de explosión (ft)	100.000	Volumen de helio (ft ³)	80 a 100
Levantamiento (lb)	5	Volumen de helio (cft ³)	100
Diámetro de inflado (ft)	6	Volumen de helio (ft ³)	100
Diámetro de explosión (ft)	20	Volumen de helio (ft ³)	100

4.5.2 Volumen para elevación del PPEGC001

Para obtener el volumen que cabe en el globo meteorológico es necesario saber qué forma opta al estar lleno, entonces se deduce que tiene forma de elipse, teniendo en cuenta su largo, ancho y profundidad del mismo para ello aplicamos la siguiente fórmula matemática.

$$V_o = \frac{4\pi}{3} \cdot a \cdot b \cdot c \quad (4.7)$$

Donde:

V_o = Volumen esférico del globo meteorológico [m³]

a = Largo del globo [ft]

b = Ancho del globo meteorológico [ft]

c = Profundidad del globo meteorológico [ft]

$$V_o = 904.77\text{ft}^3 = 280,38 \text{ m}^3$$

Para estimar cuánto helio tenemos que utilizar para elevar nuestro prototipo y el volumen a utilizar, necesitamos la masa del prototipo y el peso específico relativo el cual se selecciona con frecuencia en referencia el aire.

$$\text{Vol}_{helio} = \frac{M}{\text{p. e. r}} \quad (4.8)$$

Donde:

M = Masa del cuerpo de estudio [lb]

p.e.r = peso específico relativo $\left[\frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}\right]$

Vol_{helio} = volumen de llenado de helio en el globo meteorológico [m³]

$$\text{Vol}_{helio} = 74.85\text{ft}^3 = 2,12 \text{ m}^3$$

Por lo tanto, se va a usar un cilindro de 6 metros cúbicos para poder realizar 3 recargas de helio en el globo meteorológico.

4.6 DESCRIPCIÓN DE LAS VARIACIONES DEL VIENTO

Para que el PPEGC001 almacene datos de las variaciones de velocidad del viento se necesita información guardada en la memoria micro SD para poder optimizar el estudio de factibilidad de diseño de aerogeneradores y minimizando costos de generación estimando la producción de energía eléctrica.

4.6.1 Interpretación de los datos respecto a la velocidad del viento

A una altura de un kilómetro del suelo en la troposfera, la velocidad del viento apenas ejerce influencia mínima sobre la superficie terrestre, entonces a una menor altura, la velocidad del viento se ve afectada por una fuerza de rozamiento en la superficie del planeta debido a obstáculos y ubicación geográfica, es así que entre más pronunciada sea la rugosidad del terreno disminuirá la velocidad del viento, es fundamental definir la rugosidad para futuros proyectos de generación eólica.

$$\frac{v'}{v} = \left(\frac{z'}{z}\right)^\alpha \quad (4.9)$$

Donde:

v = Es la velocidad viento

z' = La altura de medición

α = coeficiente en función de la longitud de rugosidad del terreno

Es así que el coeficiente de rugosidad depende de la ubicación geográfica del estudio, procedemos a buscar el punto más alto sobre el nivel del mar utilizando el software de Google Earth Pro, para que no exista obstaculización en la velocidad del viento de esta manera se puede proceder a realizar una prospección eólica preliminar. Es así que en base al atlas eólico del Ecuador el coeficiente de rugosidad en la Provincia de Cotopaxi según el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable es de 0,8 -1,6.

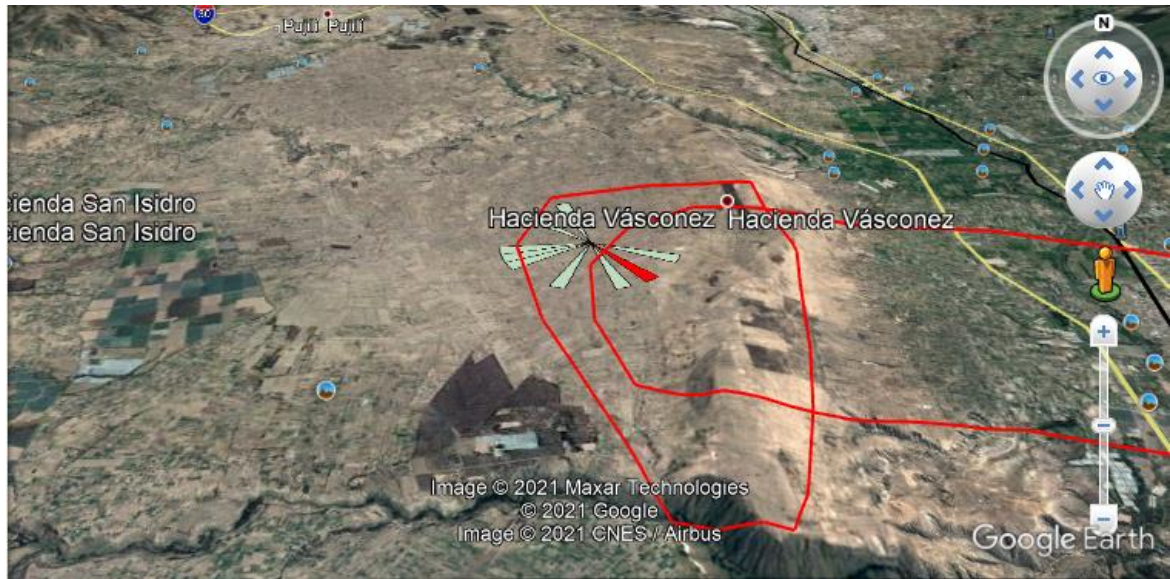


Figura 4.15. Ubicación geográfica destinada para el estudio.

De esta manera nuestro prototipo permitirá con base en la altura determinar el perfil de rugosidad de un terreno con la interpretación de la información generada por PPEGC001.

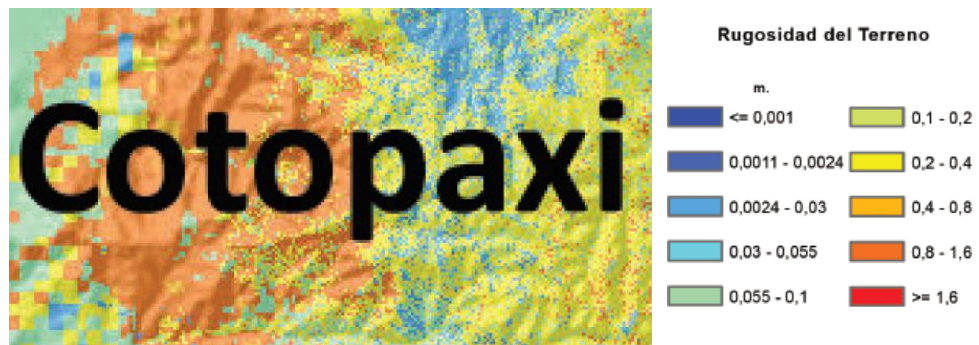


Figura 4.16. Coeficiente de rugosidad Cotopaxi-Ecuador.

4.6.2 Distribución de Weibull

La distribución de Weibull es utilizada para analizar los perfiles de rugosidad y la velocidad del viento para intervalos de tiempo que se encuentre en medición el PPEGC001 para obtener estadísticas mediante un modelo físico.

$$F(x; \lambda; k) = \left\{ \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda} \right) e^{\left(\frac{x}{\lambda} \right)^k} \right. \quad (4.10)$$

Donde:

k = El parámetro de forma de la curva

λ = El parámetro de escala

4.6.3 Distribución de Rayleigh

Está aplicada para determinar velocidades del viento convirtiéndose en una generalización de la distribución de Weibull, teniendo una variable de tipo aleatoria, y un parámetro v_m , dada por la siguiente ecuación.

$$f_r(v) = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{v}{v_m^2} \cdot e^{-\frac{\pi}{4} \left(\frac{v}{v_m}\right)^2} \quad (4.11)$$

Donde:

v = velocidad del viento [m/s]

v_m = velocidad media del viento [m/s]

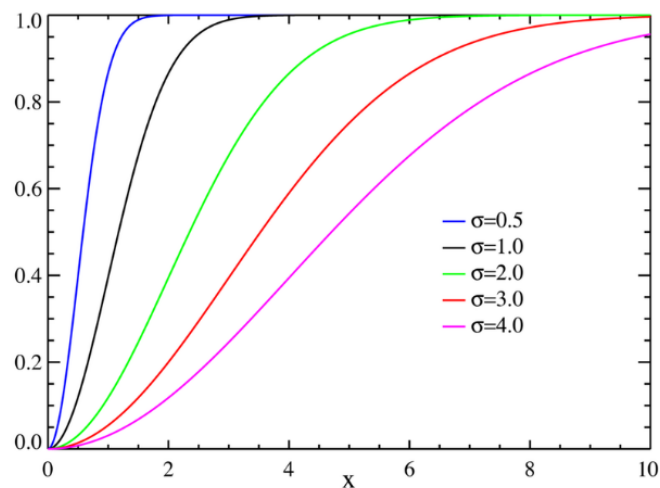


Figura 4.17. Representación gráfica de la distribución Rayleigh.

4.6.4 Establecer el potencial eólico

Se determina mediante la siguiente fórmula matemática.

$$\left(\frac{E}{A}\right) = \frac{1}{2} \delta \langle v_i^3 \rangle \cdot 8760 \quad (4.12)$$

Donde:

$\left(\frac{E}{A}\right)$ = Densidad de energía $\left[\frac{w}{m^2}\right]$

δ = Densidad del lugar $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

$\langle v_i^3 \rangle$ = Medida del cubo de las velocidades $\left[\frac{m^3}{s^3}\right]$

$$\delta = 1.225 \left[\frac{288}{t + 273} \right] e^{\frac{h}{8535}} \quad (4.13)$$

Donde:

t = La temperatura del promedio del lugar de estudio

h = Altura del lugar de estudio

Es así que el potencial eólico se determina mediante la siguiente expresión matemática:

$$Pd = \frac{1}{2} \delta A \langle v^3 \rangle \quad (4.14)$$

Donde:

Pd = Presión dinámica [kp/m²]

A = Área perpendicular a la dirección del flujo [m²]

Obteniendo la densidad del potencial eólico por unidad de área con su densidad establecida.

4.6.5 Establecer la intensidad de la turbulencia del viento

La turbulencia se produce por el movimiento del viento, el cual es un fluido en donde sus partículas se desordenan por efecto de las trayectorias influenciadas por obstáculos que se encontraran en el PPEGC001, cuando empiece administración de información obtenida del potencial eólico en el sitio geográfico de estudio.

$$It = \frac{\sigma}{\langle v \rangle} \quad (4.15)$$

Donde:

σ y $\langle v \rangle$ se encuentran en un mismo período y altura para de esta manera poder interpretar las posibles turbulencias presentes frente al prototipo.

4.6.6 Software libre para interpretación de datos

El software a utilizar para la interpretación de nuestra base de datos en el PPEGC001 es necesario para generar la rosa de los vientos, análisis de frecuencias y construcción de gráficas que validen la información obtenida de los datos meteorológicos mediante software libre conocido como WRPLOT *view* versión 8.0.2, en el cual se importará el archivo .txt para conocer la dirección del viento en la ubicación geográfica requerida.

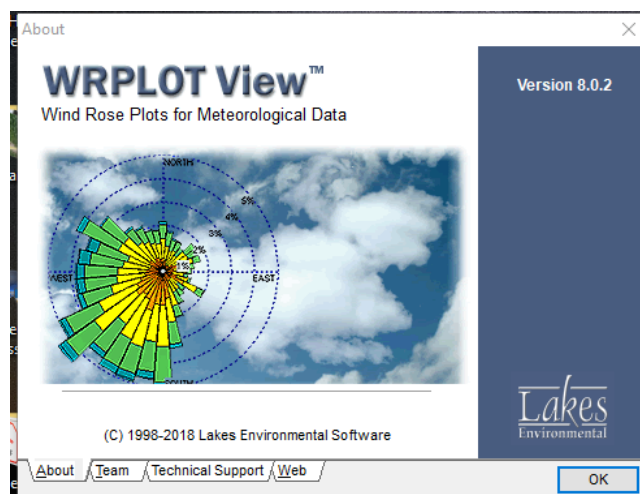


Figura 4.18. Pantalla de inicio del software WRPLOT view.

4.6.7 Base de anclaje a la superficie terrestre

Con la necesidad que el prototipo recopile información se define construir un dispositivo que pueda sostener al PPEGC001 desde la superficie terrestre hacia la troposfera.

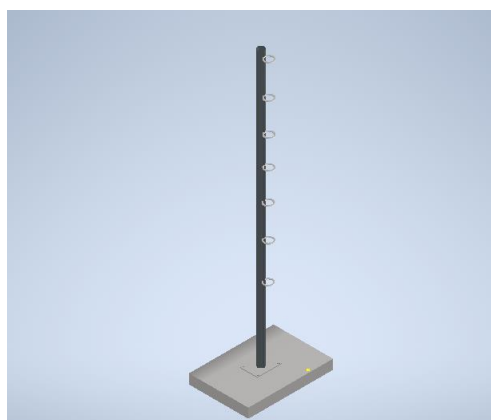
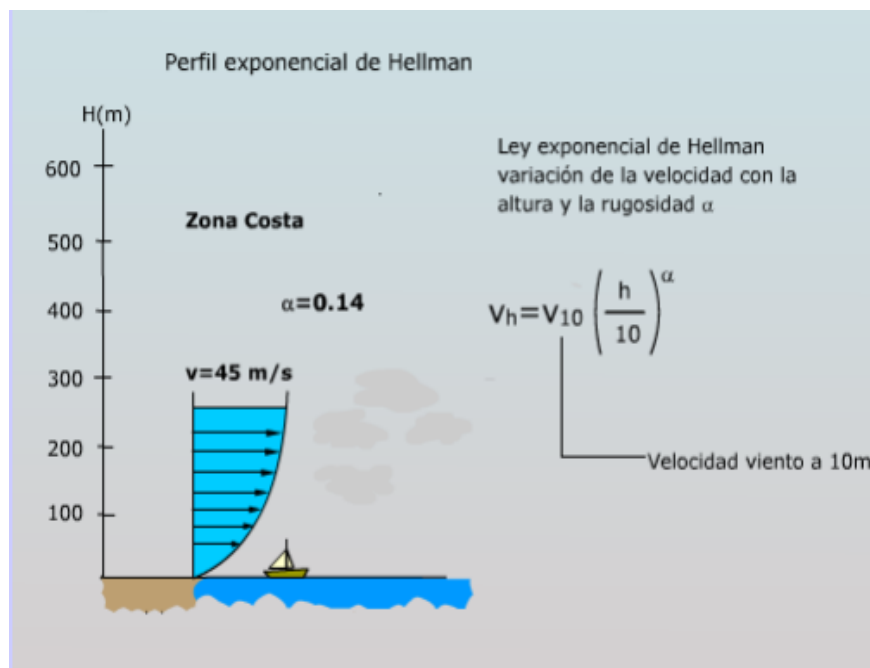


Figura 4.19. Hilo Nylon para carrete

Es así que el diseño propuse diseñarlo similar una caña de pescar con un carrete de tipo *spinning*, un tubo de ½ pulgada, una plancha de 80x80 cm, otra plancha de 14x14 cm, y cáncamos que puedan dar guía al hilo nylon, con un peso de 3 veces más de las 5 libras que puede abarcar el globo meteorológico tomando en cuenta la acción del viento.

4.6.8 Perfil exponencial de Hellman

La velocidad varía exponencialmente en función de la altura en relación a la superficie a diferentes alturas y con diferentes elementos o objetos siendo posible calcular velocidades a determinada altura



5 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En este ítem se describe los procesos realizados en el PPEGC001, los resultados obtenidos en la elaboración del prototipo para análisis de perfil del viento, rugosidad, detallando las condiciones iniciales en el diseño y control de variables, mediante la selección de decisiones electrónicas, mecánicas e interpretación de información almacenada en el dispositivo, por lo que los cálculos matemáticos obtenidos se orientan a la construcción y utilización del prototipo en el campo de estudio.

5.1 PLACA ELECTRÓNICA DEL PROTOTIPO

En este apartado se describe las pruebas realizadas para obtener una placa electrónica óptima para utilizarla en el PPEGC001. El primer proceso a utilizar para el diseño está basado en el grabado con cloruro férrico mediante planchado, lijado con un lustre fino la placa de baquelita, esto requiere de disponibilidad de materiales y papel fotográfico donde este impreso el circuito, el resultado obtenido varía dependiendo del número de dispositivos electrónicos a instalar en la PCB. Por lo tanto, debido a el número de dispositivos, la placa

electrónica no se puede utilizar, además de que conexiones electrónicas se unen entre sí, existiendo interferencia entre ellas por este motivo se optó utilizar una CNC para imprimir el circuito. Esta placa se descartó debido a un asentamiento indicando un fresado deficiente de la maquina CNC lo que produce debilidad en la placa electrónica además de haber encontrado unión entre conexiones.

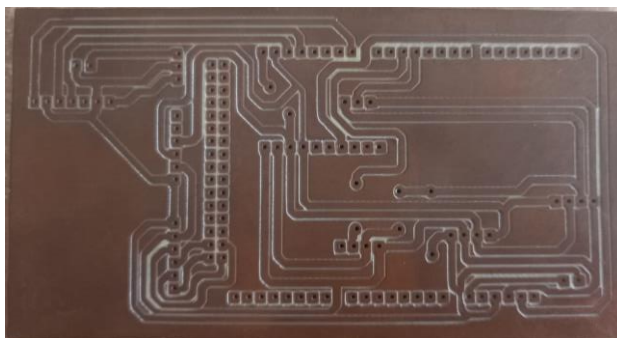


Figura 5.1. Diseño de placa final.

Debido las pruebas realizadas y verificando que las conexiones sean adecuadas se define a la prueba tres como la definitiva a utilizar en el PPEGC001.

5.2 DISEÑO Y FABRICACIÓN DEL ANEMÓMETRO

Con la necesidad de aligerar el peso de nuestro prototipo, se procede a la construcción de un anemómetro que aproveche las brisas del viento, por este motivo se realizó pruebas en campo para verificar la factibilidad de usar un anemómetro para medir la velocidad del viento. Por este motivo se optó por el diseño de un anemómetro con motor DC el cual aportara generación de electricidad para nuestro prototipo.



Figura 5.2. Anemómetro motor DC.

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \quad (5.1)$$

Donde:

$\Delta\theta$ = Desplazamiento angular [rad]

Δt = Tiempo de desplazamiento [s]

ω = Velocidad angular [rad/s]

$$\omega = 52.55 \text{ rad/s}$$

$$v = \omega \cdot r \quad (5.2)$$

Donde:

v = Rapidez [m/s]

r = Radio de la base del anemómetro hasta las copas [s]

ω = Velocidad angular [rad/s]

$$v = 3.20 \frac{m}{s}$$

Lo cual corresponderá a 11,52 km/h que según la escala de Beaufort se define como brisa débil. Entonces se realiza un proceso de validación del uso del motor en el anemómetro, el cual se puede variar la velocidad versus el voltaje teniendo el control de dos variables, siendo suficientes para realizar un método de diseño experimental, por el control del movimiento al girar las copas del anemómetro, es así que en forma estadística la confiabilidad será medida con el coeficiente de correlación entre el valor de 0 y 1 en la cual 0 describirá un diseño no confiable y 1 será la máxima confiabilidad.

$$\eta = 3^k \quad (5.3)$$

Donde:

η = Diseño factorial

k = número de variables a controlar ()

$$\eta = 3^1 = 3$$

Por este motivo se realizó pruebas diseño experimental esta realizado con una variable independiente, nueve niveles y un experimento con 2 réplicas experimentales con un total de 27 datos dependientes.

Tabla 5.1. Datos obtenidos durante 3 días de medición del PPEGC001

Número de datos	Voltaje (v)	Velocidad 1 (m/s)	Velocidad 2 (m/s)	Velocidad 3 (m/s)	Velocidad promedio (m/s)
1	0,04	2,60	2,20	2,80	2,53
2	0,07	4,20	4,50	4,10	4,27
3	0,08	4,50	4,00	4,30	4,27
4	0,13	7,20	7,30	7,80	7,43
5	0,16	11,20	11,30	11,40	11,30
6	0,19	10,80	10,30	10,60	10,57
7	0,21	12,60	12,40	12,10	12,37
8	0,34	15,50	15,30	15,60	15,47
9	0,38	16,30	16,50	16,70	16,50

Por lo tanto, en la siguiente tabla definimos que cuando el coeficiente de relación es mayor a 0.90 se considera un diseño adecuado debido a que tiene el valor del coeficiente de correlación de 0.9411.

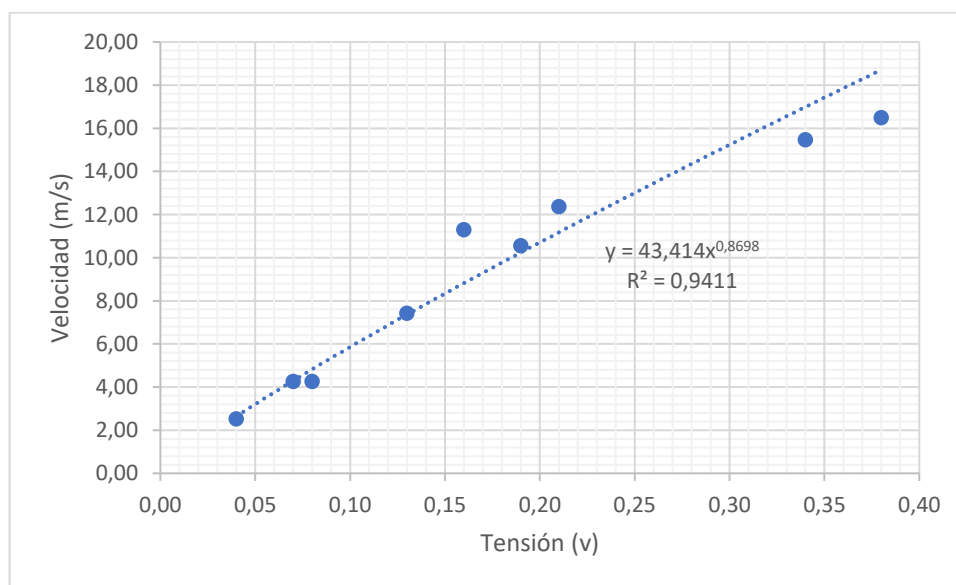


Figura 5.3. Anemómetro motor DC

De manera posterior se procede a realizar el cálculo de error del anemómetro, comparándolo con parámetros de potencial eólico de la estación meteorológica Rumipamba.

Tabla 5.2. Porcentaje de error de anemómetro.

Velocidad (m/s)			
Datos	Estación meteorológica Rumipamba	PPEGC001	% de error
1	5,10	4,80	6,25
2	6,90	6,50	6,15
3	5,60	5,20	7,69
4	6,70	6,00	11,67
5	4,20	3,80	10,53
6	3,20	2,90	10,34
7	5,00	4,50	11,11
8	3,10	2,80	10,71
9	2,00	1,80	11,11
10	1,80	1,50	20,00
Total			10,56

El porcentaje admisible es del 10% pero tenemos un margen de fallo mínimo, por lo cual el margen del error es aceptable debió a que no se pudo tener la misma altura entre los dos anemómetros.

5.3 CÁLCULO DE FUERZA MÁXIMA DEL HILO NYLON

Utilizado en la línea deportiva debido a su resistencia, flexibilidad y tracción junto a una suavidad para garantizar que el PPEGC001 no se desprenda de la base de anclaje, ni del globo meteorológico al momento de obtener información del potencial eólico.

**Figura 5.4.** Hilo Nylon para carrete.

$$F = m \cdot g \quad (5.4)$$

Donde:

F= Fuerza necesaria para un cuerpo [N]

m = Masa del cuerpo [kg]

g = Aceleración de la gravedad [m/s^2]

$$F = 307.72 \text{ N}$$

Es así que debido a la turbulencia del viento y la fuerza del globo meteorológico se procede a sobredimensionar la resistencia del hilo nylon.

5.4 Cálculo de fuerza máxima de globo meteorológico

El globo meteorológico tiene la posibilidad de llevar un peso de hasta 5 libras es así que debido a las perturbaciones del viento se sobredimensiona el hilo nylon, y el peso del dispositivo de anclaje hacia la superficie terrestre.

$$F = m \cdot g \quad (5.5)$$

Donde:

F = Fuerza necesaria para un cuerpo [N]

m = Masa del cuerpo [kg]

g = Aceleración de la gravedad [m/s^2]

$$F = 22.25 \text{ N}$$

Soporte de la batería hacer algo ya que es algo final, hablar sobre la sujeción del prototipo en el aire y sobre los pernos.

5.5 CÁLCULO DE LA FUERZA EJERCIDA POR EL PROTOTIPO

El prototipo tiene un peso el cual disminuye la fuerza del globo meteorológico en la troposfera.

$$F = m \cdot g \quad (5.6)$$

Donde:

F = Fuerza necesaria para un cuerpo [N]

m = Masa del cuerpo [kg]

g = Aceleración de la gravedad [m/s^2]

$$F = 4.9 \text{ N}$$

Se define que el globo meteorológico con sus 22.25 N tiene la fuerza necesaria para levantar el prototipo PPEGC001 debido a su fuerza de 4.9N.

5.6 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Se procedió a realizar un análisis del prototipo contra la velocidad del viento en base a un software de simulación el cual permite conocer cómo se desvía el viento contra el PPEGC001 rodeándolo para disminuir la resistencia dando dirección a la veleta ubicada en su parte posterior.

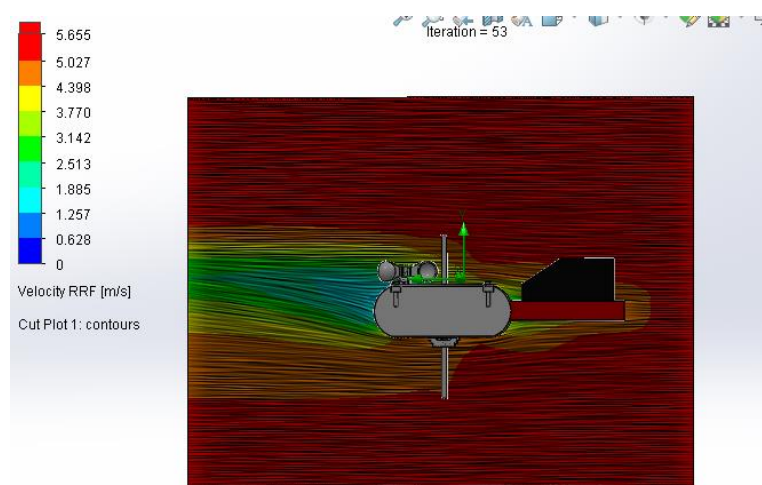


Figura 5.5. Velocidad del viento en software

Para la saber la fiabilidad de los dispositivos utilizados se realizó un análisis de datos de prospección eólica los cuales permiten, conocer en base a el porcentaje de error de los módulos instalados en el PPEGC001 comparando con la información obtenida en la estación meteorológica Rumipamba que es de 8,05%.

Tabla 5.3. Porcentaje de error módulo de humedad relativa

Humedad Relativa			
Datos	PPEGC001	Estación metereologica Rumipamba	Porcentaje de error
1	61,00	65,00	6,56
2	52,00	54,00	3,85
3	52,00	58,00	11,54
4	54,00	54,00	0,00
5	53,00	60,00	13,21
6	63,00	66,00	4,76
7	65,00	71,00	9,23
8	67,00	79,00	17,91
9	85,00	87,00	2,35
10	90,00	100,00	11,11
Total			8,05

Después se procede a realizar un análisis de datos del porcentaje de error de el sensor BMP180 contra el sensor instalado en la estación meteorológica Rumipamba para medir el porcentaje de error y analizar la factibilidad de la instalación en el PPEG1001 para realizar un análisis preliminar de la información recopilada por el dispositivo usando del módulo de Arduino en para medir la presión atmosférica y la altitud sobre el nivel del mar.

Tabla 5.4. Porcentaje de error módulo de Presión Atmosférica

Presión			
Datos	Estación metereológica Rumipamba	PPEGC001	Porcentaje de error
1	742,17	737,30	6,56
2	742,40	737,20	7,00
3	741,37	737,70	4,95
4	742,60	738,50	5,52
5	741,60	739,40	2,97
6	742,44	740,10	3,15
7	742,43	740,50	2,60
8	741,60	741,10	0,67
9	741,83	740,70	1,52
10	741,85	740,10	2,36
Total			3,73

Es así, que se definió que el porcentaje de error del mencionado módulo es del 3,73%. Entonces se procede a realizar un análisis del porcentaje de error de temperatura DHT11 instalado en el PPEGC001.

Tabla 5.5. Porcentaje de error módulo de Temperatura

Temperatura			
Datos	PPEGC001	Estación meteorológica Rumipamba	porcentaje de error
1	18,50	17,30	6,94
2	22,70	20,10	12,94
3	19,70	19,60	0,51
4	24,60	22,50	9,33
5	19,70	19,20	2,60
6	16,80	15,50	8,39
7	16,30	15,90	2,52
8	14,20	13,50	5,19
9	13,20	11,50	14,78
10	11,10	10,60	4,72
Total			6,79

Es decir, tenemos un valor de error del 6,80% en el sensor de temperatura.

Tabla 5.6. Porcentaje de error módulo de dirección del viento

Dirección del viento			
Datos	Estación meteorológica Rumipamba	PPEGC01	Porcentaje de error
1	175	170	2,75
2	159	158	0,63
3	178	173	2,81
4	165	160	3,03
5	168	140	16,52
6	204	172	15,68
7	216	155	28,24
8	167	150	9,96
9	161	158	1,86
10	179	141	21,26
Total			10,27

Debido a que la veleta de *wind* y el PPEGC001 se encuentran a diferente altura tenemos un porcentaje de error de 10,30%, lo cual define que cada uno de los instrumentos utilizados se pueden aplicar para el uso de análisis de parámetros del viento.

5.6.1 Análisis de prospección de la información recopilada

En la siguiente tabla se muestran los datos obtenidos por el dispositivo PPEGC001 durante 3 días en la zona de San Vicente de Alpalagal, en estos días se realizó mediciones en diferentes horarios. Sin embargo, se puede apreciar un correcto funcionamiento y grabación

de los datos en la memoria SD. Se realizaron pruebas de funcionamiento del dispositivo de medición durante varios días en diferentes horarios, es decir se obtuvieron 185 datos en un total de tres días debido a que después de ese periodo de tiempo el gas helio pierde sus características causando que el globo meteorológico pierda su fuerza. Estos datos fueron analizados mediante un software para obtener histogramas y una rosa de los vientos los cuales se generan según las horas del día.

Tabla 5.7. Datos obtenidos durante 3 días de medición del PPEGC001.

Fecha	Hora	Humedad Relativa	Presión Barométrica	Temperatura	Dirección del viento	Velocidad del viento
10/7/2021	7:00:00	75	739.7	17.3	165	5.3
10/7/2021	8:00:00	72	740.4	16.5	177	5.3
10/7/2021	9:00:00	74	741	15	163	7.1
10/7/2021	10:00:00	78	741.4	14.3	168	5.5
10/7/2021	11:00:00	76	741.6	15	159	4.5
10/7/2021	12:00:00	74	741.7	15.4	150	3.9
10/7/2021	13:00:00	75	741.5	15.4	148	5.4
10/7/2021	14:00:00	81	741.3	14.4	159	4.3
10/7/2021	16:00:00	90	740.7	14.6	230	1.7
10/7/2021	17:00:00	98	740.4	14.9	155	1
10/7/2021	18:00:00	98	740	14.1	135	3.4
10/7/2021	19:00:00	98	740.1	12.7	107	2.3
10/7/2021	20:00:00	100	740.1	12.5	243	1
11/7/2021	09:00:00	100	740.6	13.7	160	1.5
11/7/2021	10:00:00	100	741.2	12.4	197	1
11/7/2021	11:00:00	99	741.5	13.4	46	1.5
11/7/2021	12:00:00	99	741.8	13.8	338	1
11/7/2021	13:00:00	97	741.7	12.2	31	2.5
11/7/2021	14:00:00	98	741.3	11.2	314	1
11/7/2021	15:00:00	97	740.8	10.5	153	3.5
11/7/2021	16:00:00	97	740.2	10.5	144	5
11/7/2021	17:00:00	90	742.5	10.8	170	3.2
11/7/2021	18:00:00	67	744.7	10.9	226	1.7
11/7/2021	19:00:00	68	742.7	11.1	27	1.3
11/7/2021	20:00:00	73	741	11.7	138	1.7
12/7/2021	09:00:00	71	745.6	10.3	96	2.7
12/7/2021	10:00:00	73	746.2	11.2	131	4.6
12/7/2021	11:00:00	74	746.5	10.5	130	4.4
12/7/2021	12:00:00	65	746.7	10.2	118	1.2
12/7/2021	13:00:00	72	746.5	10.2	38	1.2
12/7/2021	14:00:00	77	726.3	10.2	268	1.6
12/7/2021	15:00:00	81	745.8	12	107	1
12/7/2021	16:00:00	86	745.3	12.5	219	1.8

12/7/2021	17:00:00	86	745.0	13	255	1
12/7/2021	18:00:00	83	744.8	11.8	218	1.6
12/7/2021	19:00:00	83	744.7	10.4	75	1.8
12/7/2021	20:00:00	83	744.9	10.7	249	1

Se aplica un análisis de todas las variables medidas para determinar si existe algún tipo de relación entre ellas, en la siguiente imagen se muestra el comportamiento de las variables medidas durante los 3 días de medición, cabe recalcar que el globo cautivo tiene una inestabilidad debido a los fuertes vientos existentes en la zona, además que el helio pierda ya sus propiedades de 3 a 5 días dentro del globo.

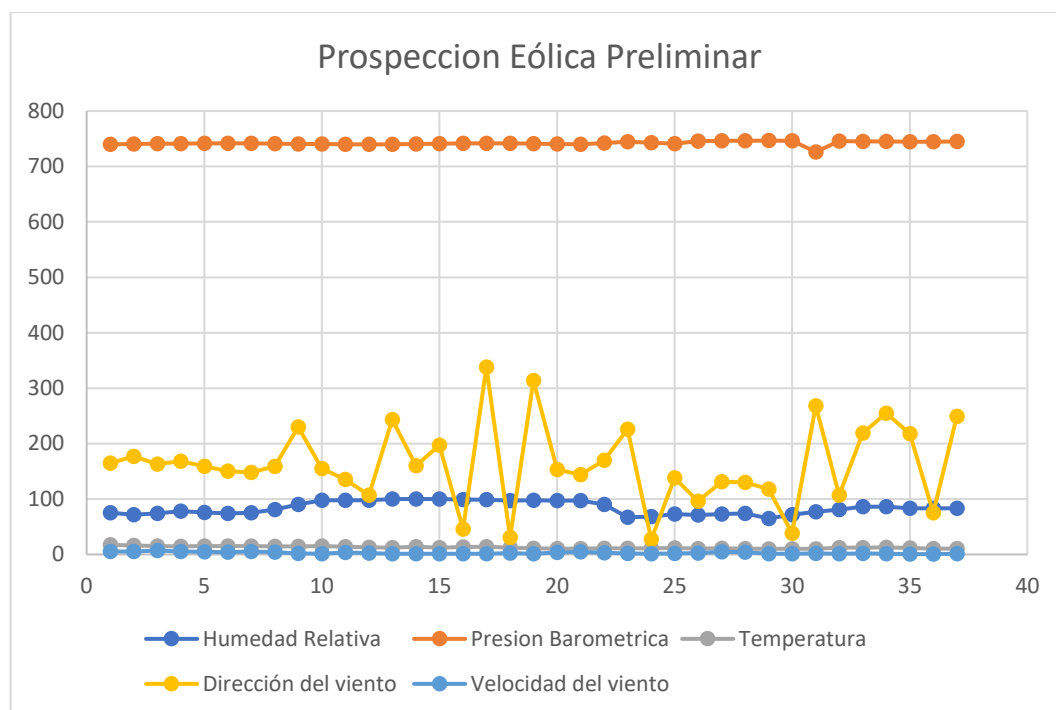


Figura 5.6. Análisis de las variables de prospección eólica.

Una vez que se tabulan los datos se procede a realizar un análisis de la rosa de los vientos de los datos meteorológicos correspondientes al sensor de orientación y velocidad, los restados se exportan mediante una tabla de Excel al software libre WRPLOT *View Freeware* 8.0.2 que analiza las frecuencias y graficas de diversos formatos de datos meteorológicos para saber en qué dirección predomina el viento para su posterior estudio en el software libre de ubicación geográfica Google Maps.

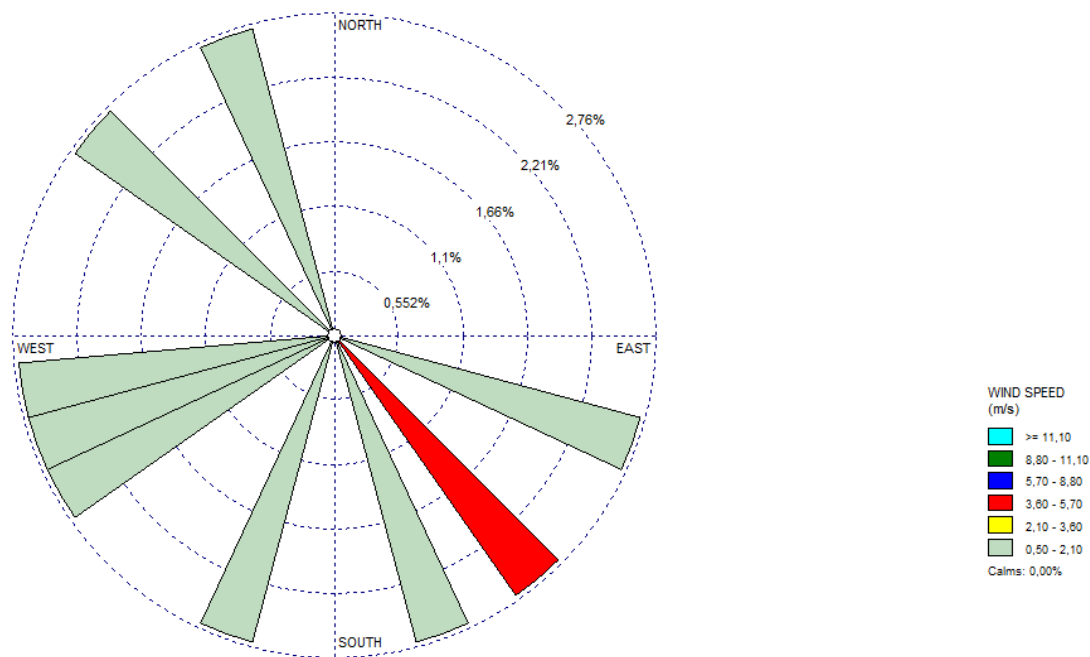


Figura 5.7. Rosa de los vientos.

El histograma generado a continuación corresponde a la velocidad de viento obtenida durante los 3 días de medición del prototipo, donde se puede observar que la variación de las velocidades durante un tiempo determinado.

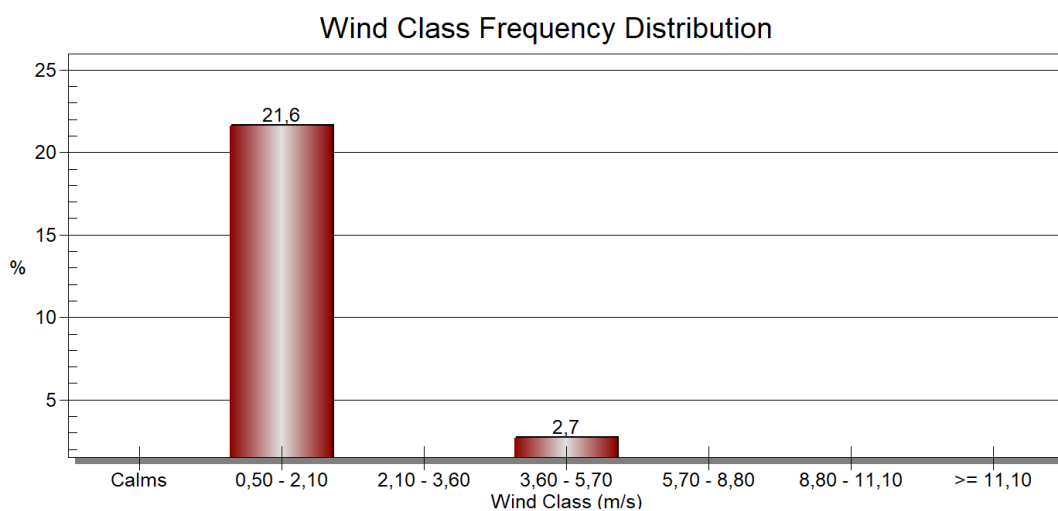


Figura 5.8. Histograma de la velocidad del viento.

Se decidió realizar un análisis individual de todos los datos obtenidos de cada una de las variables con respecto al tiempo de medición, en primera instancia se analizó la humedad relativa con los siguientes resultados. De esta imagen se puede analizar que en ciertos momentos existió una humedad del 100%.

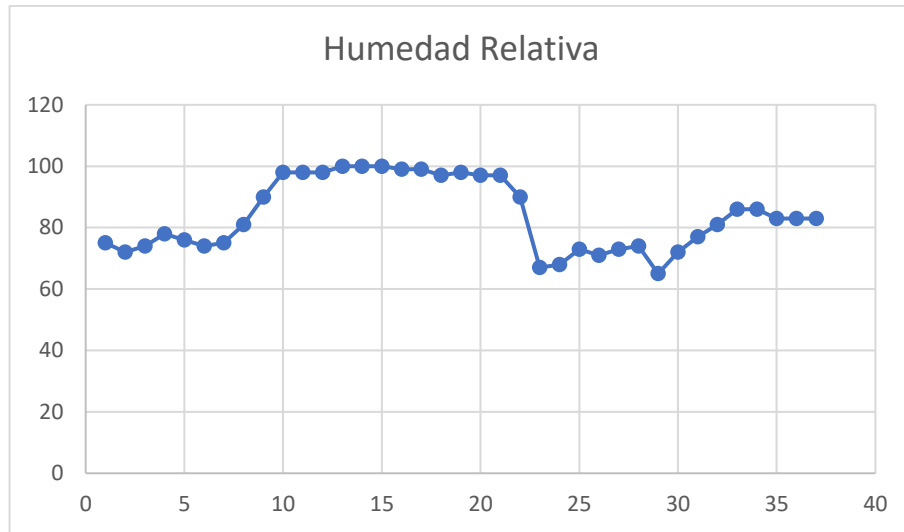


Figura 5.9. Variación de la humedad relativa.

La temperatura fue analizada de forma individual con respecto al tiempo en donde se puede observar una disminución progresiva a medida que los días de la semana avanzan.

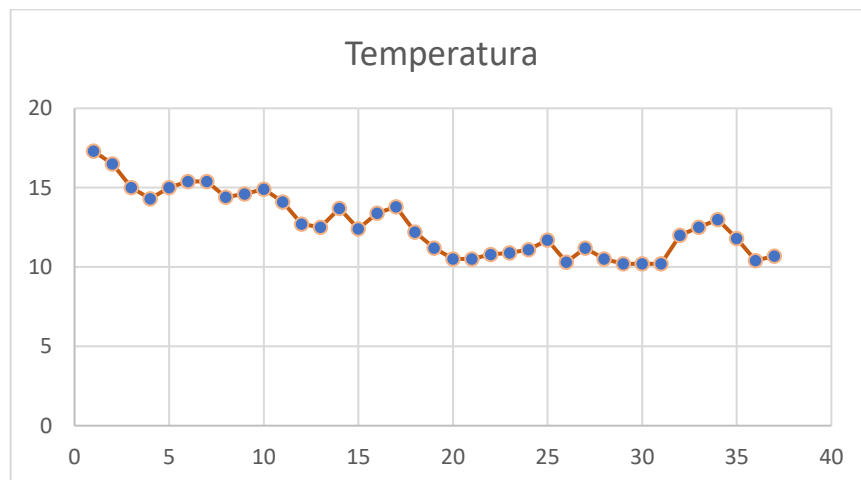


Figura 5.10. Variación de la temperatura en °C.

Por último, tenemos la variación de la presión barométrica con respecto al tiempo, en esta grafica se puede observar una caída de presión hasta los 725mmHg en el último día de medición de variables.

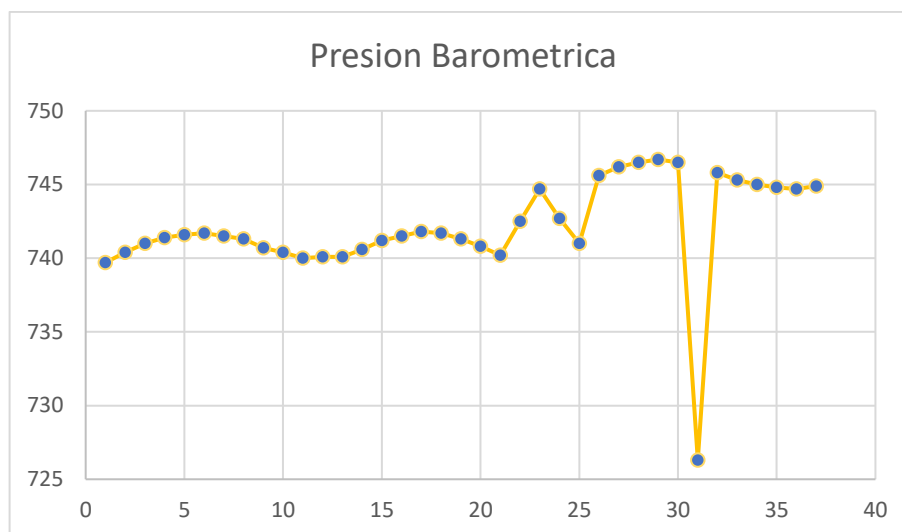


Figura 5.11. Variación de la presión barométrica en mmHg.

Por medio del software *WRPLOT View* podemos definir nuestra ubicación georreferencial definiendo nuestra altura sobre el nivel del mar y así mediante *Google Maps* definir donde predomina la dirección del viento mediante un mapa y hacia dónde se dirige, por medio de la veleta instalada con el sensor MPU9250 configurado como magnetómetro definimos que el viento predomina en $S45^{\circ}O$ en coordenadas geográficas.



Figura 5.12. Dirección dominante del viento en Google Maps.

5.6.2 Simulación de tensión del hilo nylon

Es necesaria la simulación y cálculo de la velocidad junto a la fuerza que resista nuestro dispositivo al encontrarse elevado sobre la superficie terrestre.



Figura 5.13. Simulación de tensión del hilo nylon

Por lo tanto, se procede a realizar una simulación de tensiones con el hilo nylon desde el dispositivo hacia el globo meteorológico.

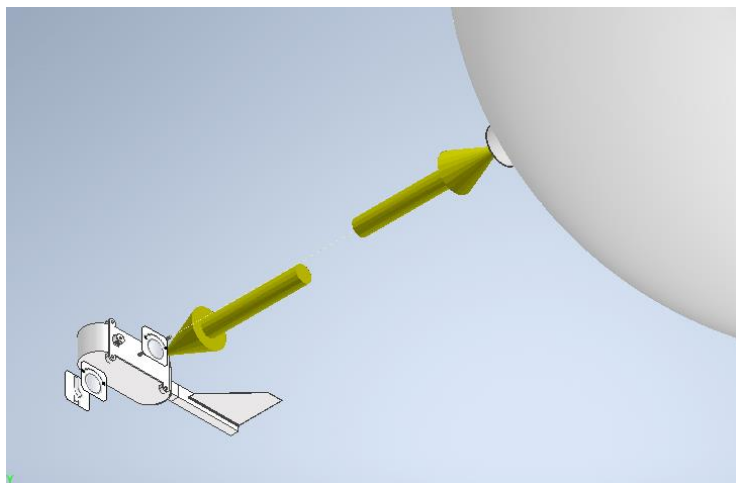


Figura 5.14. Tensión desde el prototipo hacia globo cautivo

Entonces se define el globo y el prototipo se desprenderán del hilo nylon a una fuerza de 308,09 [N], tomando en cuenta la superficie que ocupa el globo de 10.54 m², además de un coeficiente aerodinámico de 1 junto a la densidad del gas helio 0.126 kg/m³ se procede a definir que la velocidad máxima por acción del viento sobre el globo meteorológico definiéndose como 21.54 m/s contra el globo para que exista la ruptura del hilo nylon.

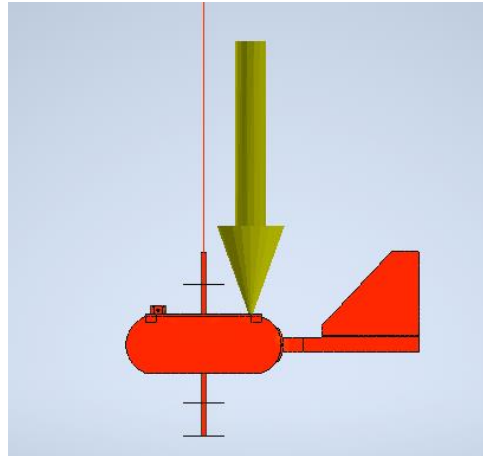


Figura 5.15. Ruptura de hilo nylon

La fuerza de arrastre del globo meteorológico contra el peso del dispositivo con una sujeción fija simulado por software causa que el globo sufra mas impacto en su estructura teniendo un factor de seguridad de 9 y un mínimo factor de seguridad de de 0.87 el cual es la unión entre el globo y el prototipo.

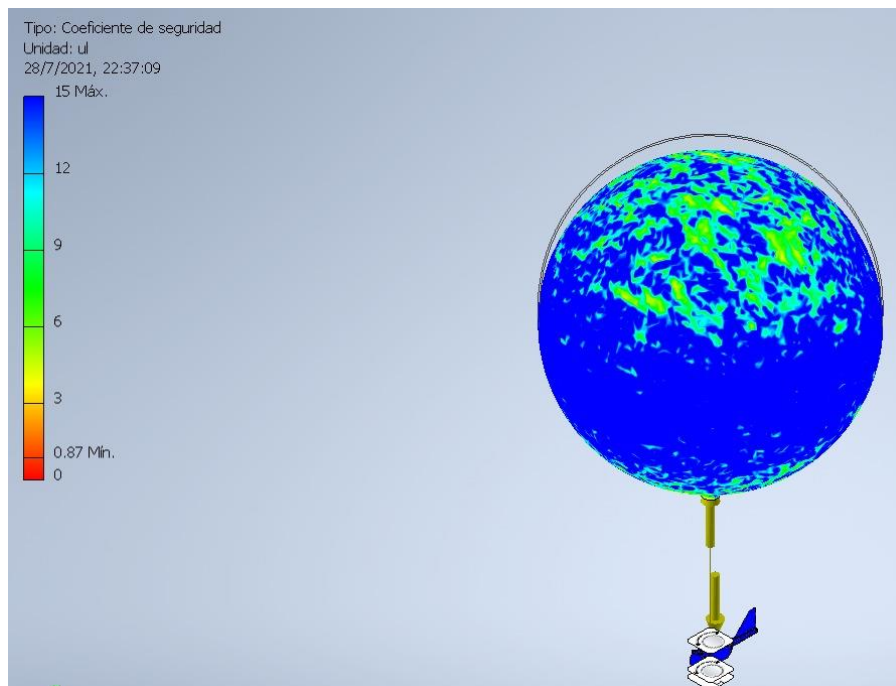
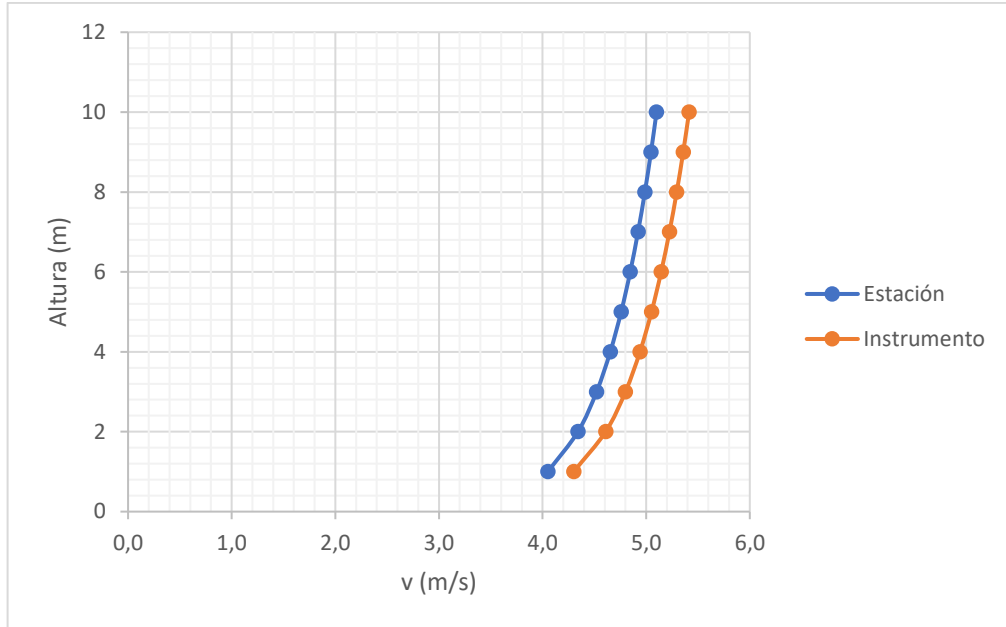


Figura 5.16. Coeficiente de seguridad

5.6.3 Análisis a diferente altura

Se procede a realizar con base a el perfil de velocidades y la altura de el sensor de 10 metros de la estación meteorológica Rumipamba contra altura del prototipo se define un análisis con el exponente de Hellman.



5.17. Perfil de velocidad a diferente altura

Tomando en cuenta la rugosidad del terreno con la ecuación del perfil exponencial de Hellman, conociendo la rugosidad del terreno que es de 0.1 se procede a realizar el cálculo con las velocidades obtenidas de 4.8m/s del prototipo y 5.1m/s de la estación meteorológica.

$$V_h = V_{10} \left(\frac{h}{10} \right)^\alpha \quad (5.7)$$

Donde:

V_h = Velocidad del viento a la altura h [m/s]

V_{10} = Velocidad del viento a 10m de altura

h = Altura [m]

α = Exponente de Hellman en variación a la rugosidad.

$$V_h = 4.3 \text{ m/s}$$

5.7 PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTO

5.7.1 Presupuesto

En esta sección se detalla todos los gastos realizados sean directos o indirectos que requiere el prototipo de prospección eólica preliminar para un análisis del potencial eólico, entre los rubros directos están presentes los materiales y suministros que conforman el sistema, estos

elementos significan un costo real en el mercado, además de los gastos en movilidad y mano de obra siendo los gastos indirectos respectivamente.

Tabla 5.8. Materiales primarios directos.

MATERIALES				
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
1	Globo Cautivo	1	\$98,00	\$98,00
2	Tanque de Helio(3m ³)	1	\$100,00	\$300,00
3	Arduino Atmega2560	1	\$16,00	\$16,00
4	Módulo Timer (RTC) DS1307	1	\$3,00	\$3,00
5	Motor 5V DC	1	\$2,00	\$2,00
6	Encoder ranurado FC-03	1	\$6,50	\$6,50
7	Cables	1	\$11,50	\$11,50
8	Bateria Lipo 3,7 V a 1500 mah	1	\$16,00	\$16,00
9	Módulo DHT11	1	\$2,50	\$2,50
10	Módulo BMP180	1	\$3,00	\$3,00
11	Carrete tipo spinning para pescar	1	\$23,00	\$23,00
12	Módulo MPU9250	1	\$8,00	\$8,00
13	Módulo micro SD	1	\$10,00	\$10,00
14	Pantalla OLED 128X64	1	\$20,00	\$20,00
15	Módulo tarjeta SIM800L	1	\$18,00	\$18,00
16	Construcción de placa (prototipo)	1	\$35,00	\$35,00
17	Hilo nylon 0,8mm (100m)	1	\$4,50	\$4,50
18	Estructura para despegue de globo cautivo	1	\$60,00	\$60,00
19	Impresión 3D	1	\$60,00	\$60,00
TOTAL				\$697

Tabla 5.9. Mano de obra.

MANO DE OBRA			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
Asesoramiento	1	\$150	\$150
Técnico	1	\$150	\$150
TOTAL		\$300	

La siguiente tabla detalla los gastos directos principales para la fabricación del prototipo de prospección eólica preliminar en el cual está incluido el valor de elementos y módulos eléctricos.

Tabla 5.10. Cantidad total de costos directos

GASTOS DIRECTOS			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
Materiales	1	\$697,00	\$697,00
Mano de obra	1	\$300,00	\$300,00
TOTAL		\$997,00	

Los costos indirectos representados para la elaboración de un prototipo de prospección eólica preliminar detallamos en las siguientes tablas.

Tabla 5.11. Cantidad total de costos directos

INSUMOS	
DESCRIPCIÓN	V. TOTAL
Mano de obra (indirecta)	\$200,00
TOTAL	\$200,00

Tabla 5.12. Otros costos directos de fabricación (CIF).

DESCRIPCIÓN	VALOR
Servicios Básicos	\$50,00
Material de oficina	\$60,00
Otros Costos	\$25,00
Transporte - Salida a campo	\$150,00
Arriendos	\$0,00
TOTAL	\$285,00

Tabla 5.13. Tabla de costos indirectos.

INSUMOS	
DESCRIPCIÓN	V. TOTAL
Mano de obra indirecta	\$200,00
CIF	\$285,00
TOTAL	\$485,00

Tabla 5.14. Costos de producción.

COSTOS DE PRODUCCIÓN	
DESCRIPCIÓN	TOTAL
Directos	\$997,00
Indirectos	\$485,00
TOTAL (USD)	\$1482,00

Tabla 5.15. Costos de producción.

UTILIDAD	
DESCRIPCIÓN	TOTAL
Costos de producción	\$1482,00
Utilidad (25%)	\$460,50
TOTAL (USD)	\$1.942,50

5.7.2 Análisis del VAN, TIR Y PRI

Tabla 5.16. Depreciación de maquinaria.

Fecha de compra	Activo	Código	Valor de compra	Porcentaje de depreciación	Valor de depreciación anual	Valor diario	Días a depreciar	Valor a depreciar
21/07/2021	PROSPECCION EÓLICA PRELIMINAR MEDIANTE UN GLOBO CAUTIVO	PPEGC001	\$ 1942,50	10	\$ 194,25	\$ 0,54	30	\$ 16,19

Cálculo de Índices Financieros

Tiempo máximo de recuperación permitido	3 meses
Tasa efectiva activa referencial del Banco del Ecuador	9,33%

Tabla 5.17. Flujo neto del efectivo.

Flujo neto efectivo del proyecto Prototipo de Prospección Eólica Preliminar mediante un Globo Cautivo				
Mes		AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE
RESULTADO DEL EJERCICIO		\$ 865,26	\$ 769,26	\$ 5.230,50
DEPRECIACION		\$ 13,55	\$ 13,55	\$ 13,55
(-) INVERSION INICIAL	\$ -1.625,62			
FLUJO NETO DE MAQUINARIA	\$ -1.625,62	\$ -746,81	\$ 35,99	\$ 5.280,04

Valor actual neto (VAN)

$$VAN = \sum \frac{Fn}{(1+i)^n}$$

Donde:

Fn: Flujos netos

i: Tasa de descuento

n: Periodos

Tabla 5.18. Cálculo VAN.

VAN	\$ 660,36
------------	-----------

Tasa interna de retorno (TIR)

Tabla 5.19. Cálculo TIR.

TIR	18%
------------	-----

Periodo de recuperación de la inversión (PRI)

$$PRI = a \frac{(b - c)}{d}$$

Donde:

a: Año inmediato anterior en que se recupera la inversión.

b: Inversión Inicial.

c: Flujo de Efectivo Acumulado del año inmediato anterior en el que se recupera la inversión.

d: Flujo de efectivo del año en el que se recupera la inversión.

PRI	2,31
------------	------

Tabla 5.20. Periodo de recuperación de la inversión.

MESES	DIAS
2	0,31*30
	9,3
	10

5.7.3 Análisis de impactos

5.7.3.1 Impacto económico

La implementación del prototipo de prospección eólica preliminar mediante un globo cautivo tiene un costo de producción de 1942,50 \$ dólares Americanos con un VAN (Valor Actual Neto) positivo de 660,36; esto indica que el proyecto es viable debido a poseer una Tasa interna de retorno del 18% y un PRI (Periodo de Recuperación de la Inversión) de 2 meses y 10 días, a comparación de una torre meteorológica la cual tiene un costo de producción de 66536,90; un VAN de 32826,99 ; TIR de 14 % , Es así que estos factores analiza que a pesar de ser una inversión viable la tasa interna de retorno es demasiado baja,

dando como resultado un periodo de recuperación de 3 años, 2 meses y 1 día; Entonces, se determina que el prototipo PPEGC001 genera ventajas monetarias en tiempo de instalación, costo de producción y periodo de recuperación de dicha inversión, generando un ahorro total de 64594,40. Entonces el presente prospecto, necesita un elemento adicional que es el gas helio para llenado del globo meteorológico, el mismo que es utilizado para cada recopilación de datos sobre el potencial del viento dándonos una duración de tres a cinco días dentro del globo representando un costo de \$300,00 dólares americanos.

5.7.3.2 Impacto tecnológico

La implementación del PPEGC001 permite la posibilidad de medir a una altura fija y variable desde la superficie terrestre hacia la troposfera, Además de garantizar un almacenamiento de información de prospección eólica de manera preliminar, que ocupe un mínimo espacio de memoria ROM en el sistema operativo de Windows mediante una tarjeta Micro SD que produce siete archivos con diversas variables del viento, temperatura, presión, altitud sobre el nivel del mar, dirección del viento, debido a la creación en el software del bloc de notas con una extensión de archivos .txt, permitiendo un menor esfuerzo, pérdida económica al realizar la instalación de equipos robustos de medición eólica y pérdida de tiempo por medio de los implementos tecnológicos de esta propuesta se minimizara el espacio requerido para la instalación de máquinas de prospección eólica, se podrá interpretar los perfiles de velocidades del viento para analizar el potencial eólico de una zona geográfica gracias a un prototipo portátil que ocupe un mínimo espacio con la opción de realizar mantenimientos y reemplazo de elementos electrónicos existentes en el prototipo.

5.7.3.3 Impacto Ambiental

El desarrollo de la humanidad depende directamente de los ecosistemas y biodiversidad por esta razón el de prototipo PPEGC001, está constituido por elementos y sistemas electrónicos de baja producción de ruido los cuales no alteran el equilibrio ecológico, además de ser un dispositivo portátil que no requiere la modificación del medio donde se encuentre instalado, además de no provocar impactos contaminantes y perjudiciales en el sitio geográfico de estudio debido a que no produce residuos tóxicos o peligrosos que puedan afectar al ecosistema y su continuidad, dando la posibilidad del control de las variables del viento sin intervenir en el medio circundante, además de que podemos reutilizar nuestro globo meteorológico en forma cautiva a diferencia de los globos sonda los cuales son de una sola utilización.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

Mediante la utilización del globo cautivo se conoció la fuerza total de elevación de 49 [N] es importante para dimensionar el peso del prototipo para elevarlo desde la superficie terrestre variando su altura, su utilización permite predecir fenómenos naturales en áreas meteorológicas y de instrumentación, es una alternativa tecnológica confiable debido a las características de su material de construcción, al estar con un volumen de 3m³ de gas helio su resistencia a los cambios climáticos e impactos en la superficie terrestre permite que no exista ruptura del mismo, además que al elevar un peso de 14.7 [N], presento estabilidad frente a la turbulencia del viento, permitiendo la recuperación del globo a diferencia de los globos sonda que se destruyen en un solo lanzamiento.

Se determina que el sistema electrónico para medir las variables del viento otorga confianza, seguridad con un margen de error total en el prototipo de todos sus módulos de 7.88% debido a que algunos sensores de la estación meteorológica estaban ubicadas a 10 metros sobre la superficie terrestre tenemos márgenes de error más altos en el Anemómetro con 10.50% y la dirección del viento 10.27% frente a sensores y dispositivos de altas prestaciones con un precio económico accesible produciendo que el sistema instrumentado funcione de manera correcta cumpliendo mediciones ambientales aceptables, además de una comunicación eficiente e instantánea en la visualización de datos asegurando el funcionamiento del dispositivo antes de su despegue.

Se realizó la medición y evaluación del recurso eólico en San Vicente de Alpalag estimando la velocidad máxima registrada en 7.1 m/s y su velocidad mínima de 1m/s, además de la dirección predominante del viento de SE, conociendo como interactúa el viento en la zona geográfica propuesta, interpretando la información obtenida en varios software se definió que la frecuencia del viento es de 0,50-2.10 m/s donde se puede definir que no llega los requisitos mínimos para la instalación de aerogeneradores que es 3- 4 m/s , Además permitieron conocer que el viento tiene demasiada turbulencia y los diversos parámetros del comportamiento del viento, a diferencia de la construcción de grandes estructuras como las torres meteorológicas que tienen una posición fija en su instalación.

El prototipo tiene un gran impacto económico porque sus sensores son de costo rubrico accesible, además de tener acceso a la manipulación extracción e instalación de los módulos que componen el circuito electrónico dándonos la posibilidad de aumentar nuestro espacio

de almacenamiento de datos mediante una tarjeta Micro SD de poco uso de memoria ROM con una mano de obra mínima de dos personas y un solo gasto en transporte del dispositivo se puede obtener información sobre prospección eólica de manera preliminar.

6.2 RECOMENDACIONES

Disponer de un globo meteorológico con más capacidad de gas helio para presentar una mayor estabilidad en el momento del vuelo o su vez la construcción de tres estructuras para dispositivos de anclaje del globo cautivo a la superficie terrestre soltando el hilo de manera uniforme, además del precio del gas helio se podría optar por el uso de hidrogeno tomando en cuenta que es un gas que al cambio de temperatura se vuelve inflamable , el costo económico del helio es alto y su duración es de tres a cinco días pero en el tercer día pierde las características y fuerza de elevación por lo cual fue imposible el despegue del prototipo.

Instalar un sistema de carga inalámbrica o autosustentable para la recarga de la batería obteniendo un mayor tiempo de autonomía y medición de variables, además el prototipo puede perder información de visualización de datos inalámbricos debido a la cobertura GSM, esto es una limitante debido a el campo de la cobertura de redes móviles y la implementación de un microcontrolador con mayor RAM para la transmisión de datos hacia la tarjeta micro SD es necesario obtener los datos en el tiempo más rápido posible, Es así que dependiendo del uso requerido aumentar la sensibilidad del anemómetro para otros campos de estudio ya que el construido está basado en las velocidades mínimas recomendadas para la instalación de aerogeneradores.

La conexión inalámbrica para verificación de datos en el momento de la recopilación de la información no es instantánea debido a la velocidad de procesamiento de datos en el prototipo, cuando en el dispositivo se requiera verificar el funcionamiento inalámbrico debido a la accesibilidad y velocidad de transmisión de datos de las antenas de red móvil, además de la implementación de dispositivos de mejores prestaciones utilizando el sistema en ambientes despejados sin presencia de vientos demasiados turbulentos, implementando este sistema para el cuidado del medio ambiente ya que no requiere de infraestructuras de gran impacto ambiental.

7 BIBLIOGRAFÍA

- [1] UNESCO, “Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura,” *codigo*, 2017. https://www.epn.edu.ec/wp-content/uploads/2017/03/codigos_unesco.pdf.
- [2] “Universidad Técnica de Cotopaxi > INVESTIGACIÓN > Lineas Investigación.” <https://www.utc.edu.ec/INVESTIGACIÓN/Lineas-Investigación> (accessed May 06, 2021).
- [3] I. Uribe, “Valoración del viento como fuente de energía eólica en el estado de Guerrero,” 2018. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/467/46759491003/html/index.html> (accessed May 06, 2021).
- [4] J. A. Pardos, *Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el calentamiento global*. 2010.
- [5] L. A. Olalla, ““Diseño y simulación de un sistema de predicción de generación eólica basada en la investigación y predicción del clima.,’ Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.,” 2020. <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/22393/1/T-ESPE-043746.pdf>.
- [6] S. I. P. Encalada, “Diseño, Desarrollo E Implementación De Una Estación Meteorológica Basada En Una Red Jerárquica De Sensores, Software Libre Y Sistemas Embebidos Para La Empresa Elecaastro En La Minicentral Gualaceo Utilizando Comunicación Mqtt Y Modbus,” *Univ. Politécnica Sales. Sede Cuenca*, vol. 0, no. 0, p. 148, 2018, [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5264/1/UPS-CT002757.pdf>.
- [7] B. Guzman and M. Cerón, “Diseño e Implementación de un Prototipo de Estación Meteorológica para la Medición de Variables Ambientales.,” vol. 4, pp. 9–15, 2017, [Online]. Available: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/7210/GarzónGuzmánBrianYesid2017.pdf?sequence=1>.
- [8] F. Vaca, “Análisis y Determinación de las Zonas Optimas para la Instalación de un Proyecto Eólico en Ecuador a través de Méto de Toma de Decisión Multicriterio,” 2018. <https://docplayer.es/165087250-Universidad-politecnica-de-cartagena.html>.
- [9] F. Eraso Checa and E. Escobar Rosero, “Metodología para la determinación de

- características del viento y evaluación del potencial de energía eólica en Túquerres-Nariño,” *Rev. científica*, vol. 1, no. 31, pp. 19–31, 2018, doi: 10.14483/23448350.12304.
- [10] R. Vidal Herrera, “Evaluación del Recurso Eólico en la Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez,” 2014.
- [11] J. Naranjo, “Determinación del Potencial Eólico Disponible en el Sector de Río Blanco Perteneciente al Cantón Ambato Provincia de Tungurahua,” Ambato, 2017.
- [12] A. danesa de la industria Eólica, “Vientos geostroficos,” 2003. http://drømstørre.dk/wp-content/wind/miller/windpower_web/es/tour/wres/geostro.htm (accessed Apr. 10, 2021).
- [13] I. de tecnologías Educativas, “Dinámica de las masas de aire | Temas de Ecología,” 2008. https://fjferreer.webs.ull.es/Apuntes3/Leccion03/1_dinmica_de_las_masas_de_aire.html (accessed Apr. 10, 2021).
- [14] masmar, “El viento. Dirección. Gradiente de presión y el viento. Simbolos. Escala de Beaufort / Meteorología / Apuntes Náuticos / Portada - masmar,” 2013. <https://www.masmar.net/index.php/esl/Apuntes-Náuticos/Meteorología/El-viento.-Dirección.Gradiente-de-presión-y-el-viento.Simbolos.-Escala-de-Beaufort> (accessed Apr. 10, 2021).
- [15] Metereologia36, “viento ciclostrófico,” 2004. <https://encvirtual.es/cursos/PYATE/c3/36/36.htm> (accessed Apr. 10, 2021).
- [16] D. Giancoli, “Física Volumen 2 - Google Libros,” 2009. <https://books.google.com.ec/books?id=xFQHVBPODm0C&pg=PA18&dq=efecto+coriolis&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjC79HO3YvwAhUYFFkFHa8HCAoQ6AEwBXoECAAYQAg#v=onepage&q=efecto+coriolis&f=false> (accessed Apr. 19, 2021).
- [17] Canvas, “Facultad de ciencias curso de introducción a la metereología,” 2011. Accessed: Apr. 21, 2021. [Online]. Available: http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/Introduccion_a_la_Meteorologia/teorico_Introduccion_a_la_Meteorologia_2011/Bolilla7_2011.pdf.
- [18] Metereologia, “Convergencia y divergencia: Estrategias para ganar. Meteorología en la vuelta al mundo,” 2014. <https://learn.canvas.net/courses/404/pages/1-dot-2-3-tercer->

- motor-convergencia-y-divergencia (accessed Apr. 21, 2021).
- [19] M. Cadena, “Atlas eólico Ecuador,” pp. 1–8, 2015, [Online]. Available: <http://elestudianteelectromecanico.blogspot.com/2015/09/atlas-eolico-del-ecuador.html>.
- [20] ARCONEL, “Balance Nacional de Energía Eléctrica – ARCONEL,” 2020. <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/balance-nacional/> (accessed Apr. 25, 2021).
- [21] M. de E. y E. Renovable, “Ministerio de electricidad y energía renovable presento el primer atlas eólico del Ecuador,” 2020. <http://historico.energia.gob.ec/ministerio-de-electricidad-y-energia-renovable-presento-el-primer-atlas-eolico-del-ecuador/> (accessed Apr. 29, 2021).
- [22] G. S. E. Partnership, “Proyecto Eólico Isla San Cristóbal-Galápagos,” 2016. Accessed: Apr. 29, 2021. [Online]. Available: www.globalelectricity.org/galapagos.
- [23] M. de E. y R. N. no Renovables, “CENTRAL EÓLICA ‘VILLONACO,’” 2021. <https://www.recursoyenergia.gob.ec/central-eolica-villonaco/> (accessed Apr. 29, 2021).
- [24] M. de E. y R. N. no Renovables, “INAUGURACIÓN PROYECTO EÓLICO BALTRA Y PARQUE FOTOVOLTAICO PUERTO AYORA,” 2014. <http://historico.energia.gob.ec/inauguracion-proyecto-eolico-baltra-y-parque-fotovoltaico-puerto-ayora/> (accessed May 03, 2021).
- [25] C. Melo, “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MICROGENERACIÓN EÓLICA CON INTEGRACIÓN A LA RED ELÉCTRICA EN EL EDIFICIO DE LA CARRERA DE ELECTRICIDAD EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE,” 2019. http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/10108/2/04_MEL_077_TRABAJO_GRADO.pdf (accessed May 03, 2021).
- [26] R. Garces, “ENERGÍA PARA GARUPAMBA(CUENCA) PROVIENTO S.A.” <https://www.proviento.com.pe/gamma.html> (accessed May 03, 2021).
- [27] W. Olovacha, “INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR AERONÁUTICO CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA-MOTORES ENSAMBLAJE DE UN AEROGENERADOR CON SU RESPECTIVA TORRE DE SOPORTE PARA EL ITSA.,” Latacunga, 2010.

- [28] Proviento, “SISTEMA HIBRIDO DEL PULULAHUA (ECUADOR).” <http://www.proviento.com.pe/pululauhua.html> (accessed May 03, 2021).
- [29] M. Villarrubia, *Ingenieria de la energia eolica*, Primera., vol. 44, no. 8. Mexico, 2011.
- [30] F. Silva, “Diseño y Desarrollo de Hardware Reconfigurable de Acondicionamiento de Sensores para un Instrumento de Medición de Temperatura, Iluminancia, Nivel de Sonido, Vibración, Velocidad del Viento y Humedad Relativa,” 2008. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/12876> (accessed May 06, 2021).
- [31] G. Metereocultura, “¿QUÉ ES UNA ESTACIÓN METEOROLÓGICA? - METEOCULTURA,” <https://estaciondemeteorologia.com/>, 2019, Accessed: May 06, 2021. [Online]. Available: <https://estaciondemeteorologia.com/que-es-una-estacion-meteorologica/>.
- [32] P. Buenestado, “CAPÍTULO 2 TÉCNICAS DE EXPLORACIÓN DE LA CAPA SUPERFICIAL ATMOSFÉRICA,” 2003. https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/738/3.Cap_2.pdf?sequence=5&isAllowed=y (accessed May 09, 2021).
- [33] M. en Red, “Globo sonda: características, cómo funciona y para qué sirve | Meteorología en Red.” <https://www.meteorologiaenred.com/globo-sonda.html> (accessed May 10, 2021).
- [34] P. Aguayo, “Introducción al Microcontrolador,” 2004. <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/39407044/micro.pdf?1445749965=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DMicro.pdf&Expires=1620403865&Signature=RdTkWjQahbS82~bQoH-haOiikBJsyFHHPGgHex0o9NXcstLKKOgww0QqLVhNgTjbrCzWNqS57YLqdJF1jFNnXskh8w8NhbrBe> (accessed May 08, 2021).
- [35] R. Enríquez Herrador, “Guía de Usuario de Arduino,” 2009. <https://docplayer.es/2699260-Guia-de-usuario-de-arduino-rafael-enriquez-herrador.html> (accessed May 08, 2021).
- [36] C. Varela and L. Domínguez, “Redes Inalámbricas,” 2002.
- [37] DIGI, “¿Qué es XBee? XBee.cl - Comunicación Inalámbrica para Tus Proyectos.” <https://xbee.cl/que-es-xbee/> (accessed May 10, 2021).

- [38] M. de Catalunya, “Meteotek08-Sonda Meteorológica,” 2008. https://teslabs.com/meteotek08/fixers/docs/meteotek08_castella.pdf (accessed May 10, 2021).
- [39] O. Perez, “Estudio de la gestión de localización en redes GSM,” 2010. https://www.revistatonoetecsa.cu/sites/default/files/pdf_articulo/ESTUDIODELAGESTION_TONO_2_2010-8.pdf (accessed May 31, 2021).

ANEXO I

Diseño y construcción electrónica del prototipo

Figura 1 Pruebas de prototipo en protoboard

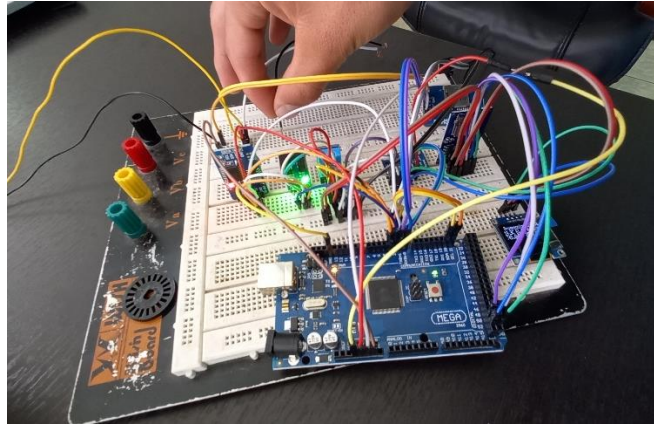


Figura 2 Pines usados en Arduino ATmega 2560

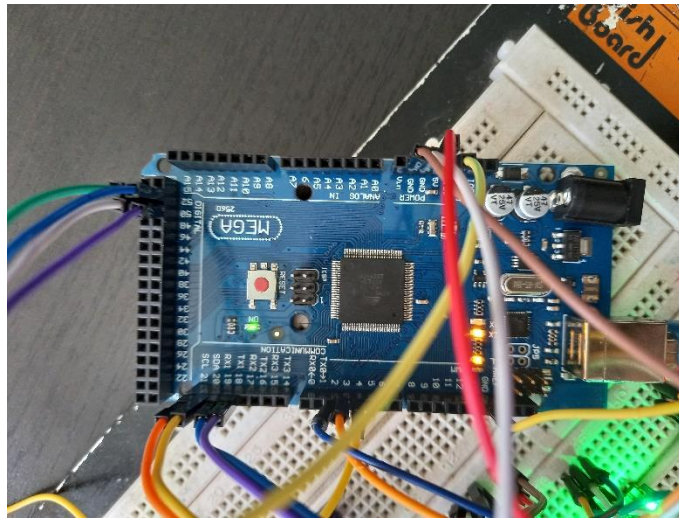


Figura 3 Medición de consumo de energía

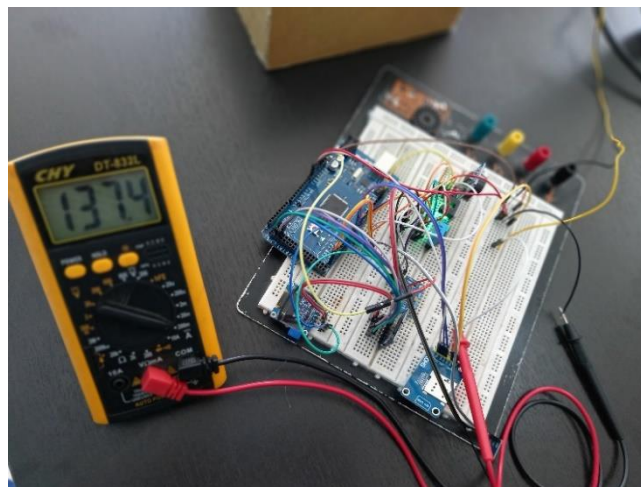


Figura 4 Diseño electrónico de PPEGC001

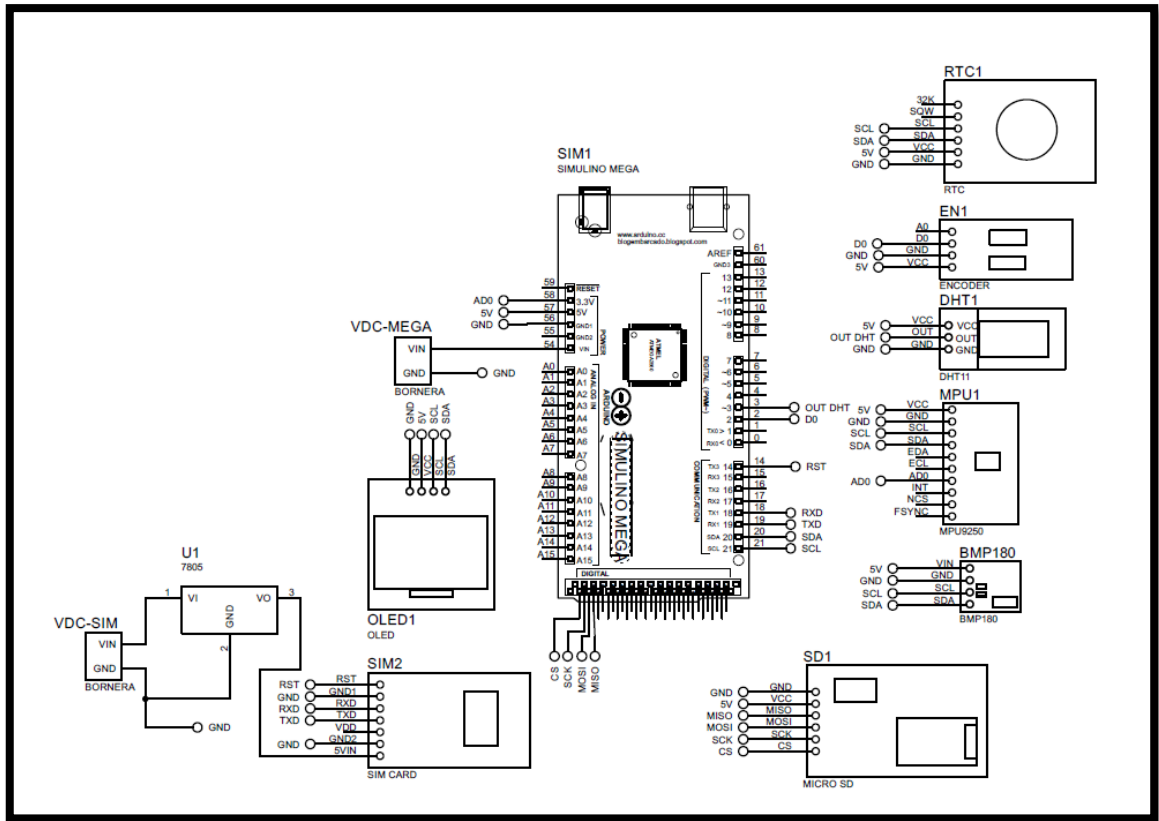


Figura 5 Prueba de placa método de planchado

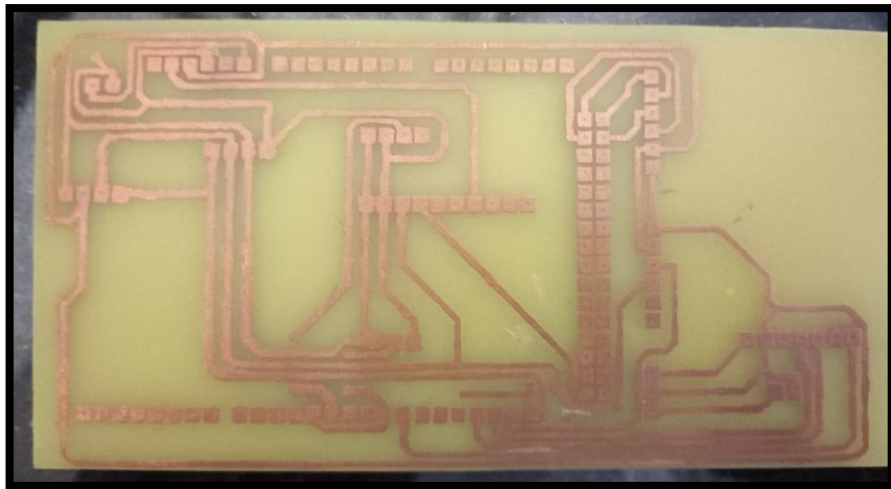


Figura 6 Taladrado de circuito impreso

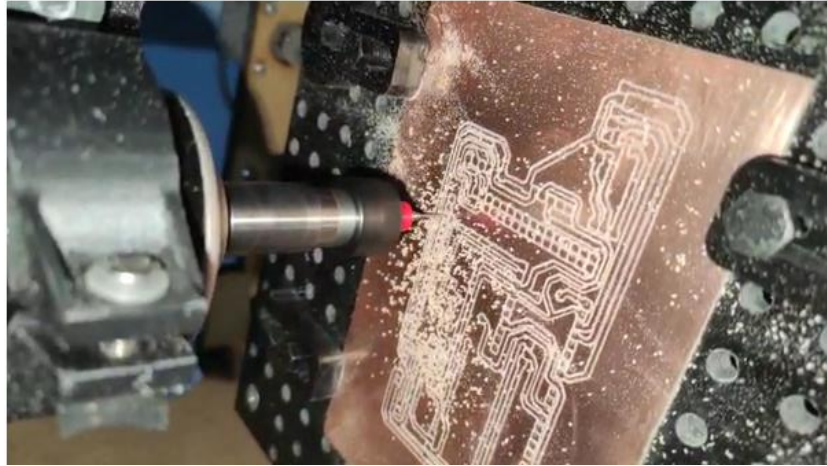


Figura 7 Prueba 1 de placa método CNC

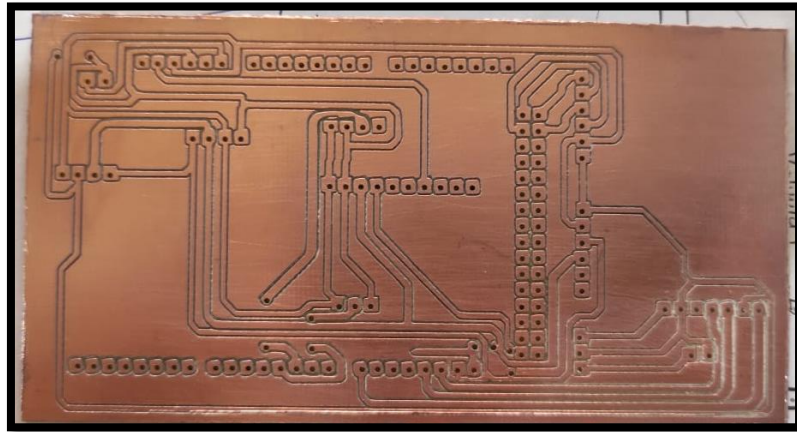


Figura 8 Prueba 2 de placa método CNC

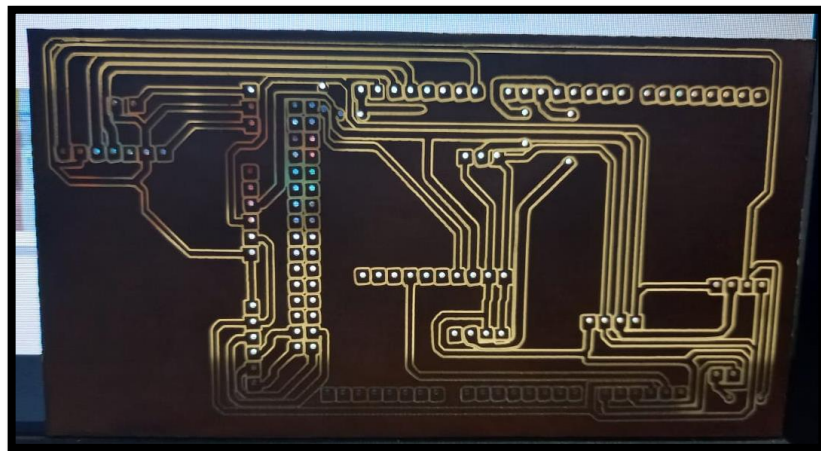


Figura 9 Placa final de placa método CNC

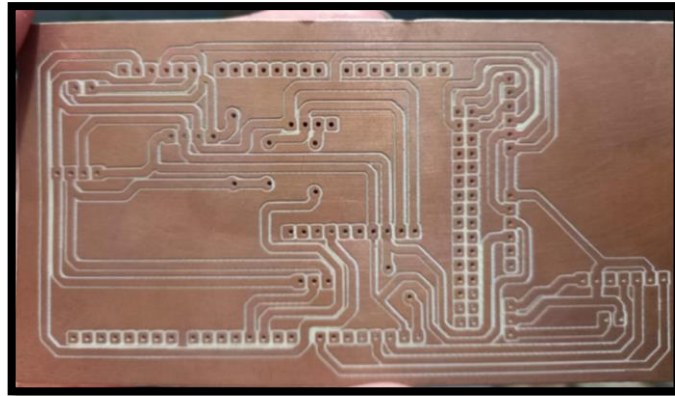


Figura 10 Instalación de elementos electrónicos en la placa impresa

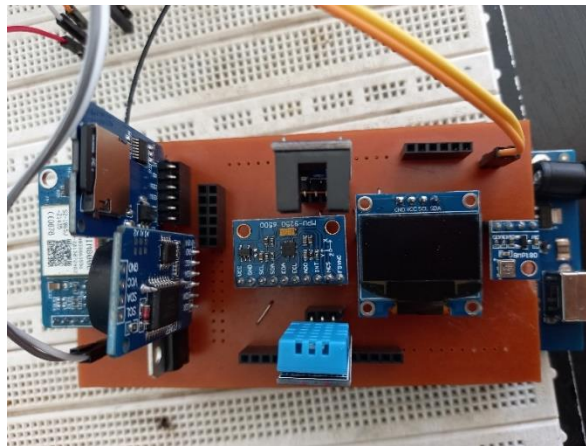


Figura 11 Globo meteorológico



ANEXO II

Simulación en Software del prototipo de prospección eólica preliminar

Figura 1 velocidad del viento contra armazón

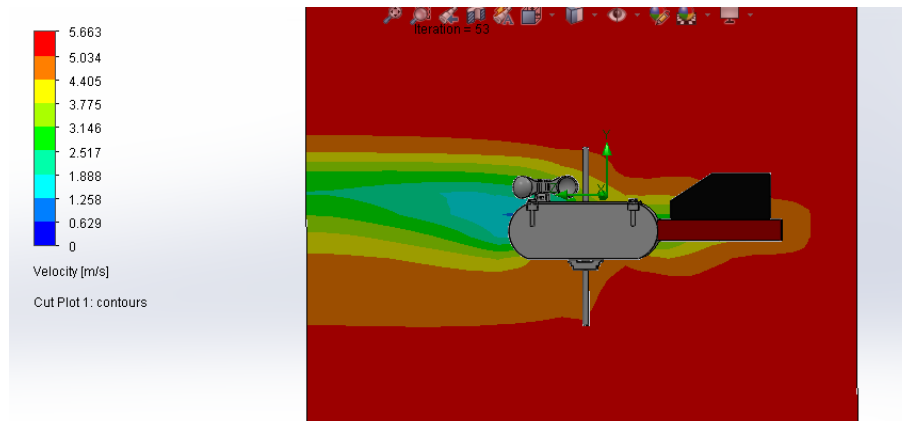


Figura 2 Vorticidad contra el armazón

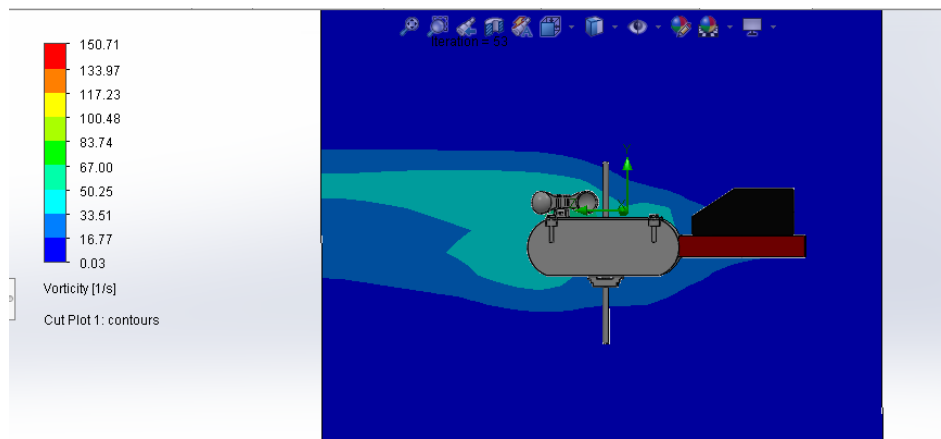
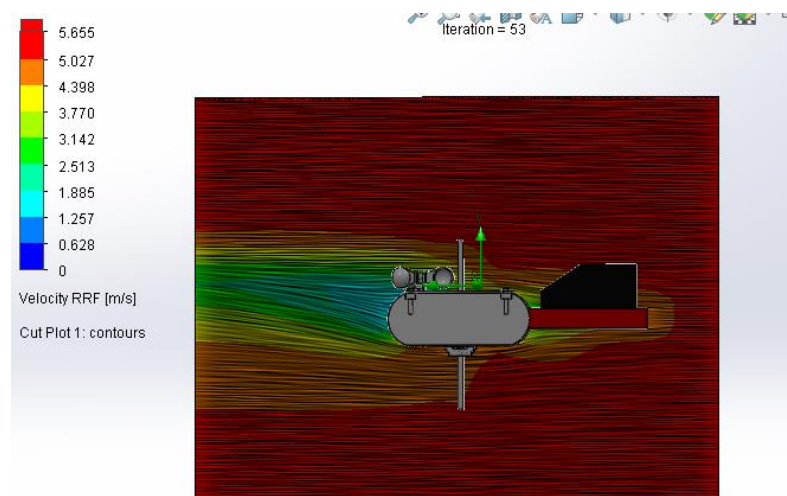
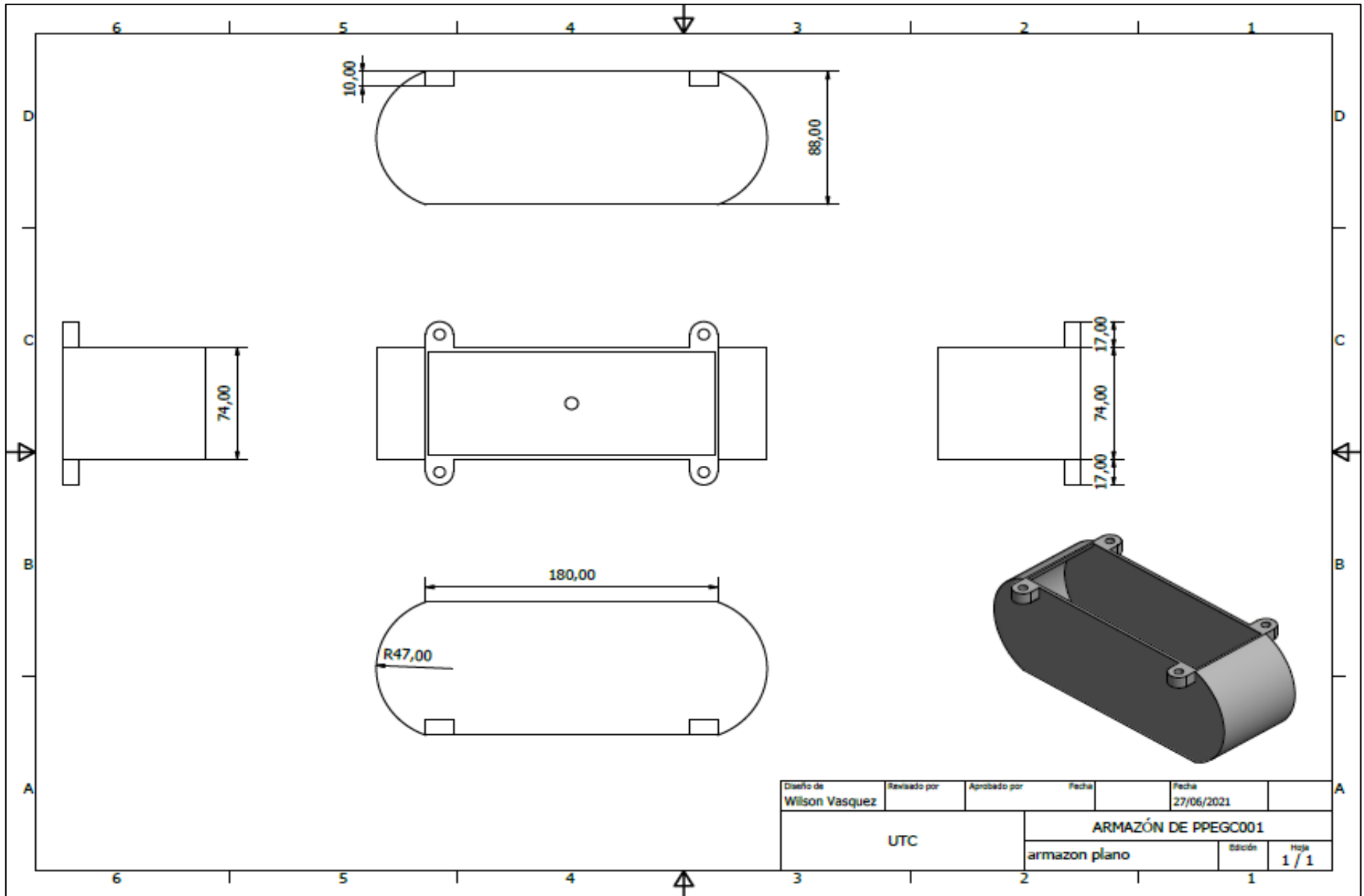


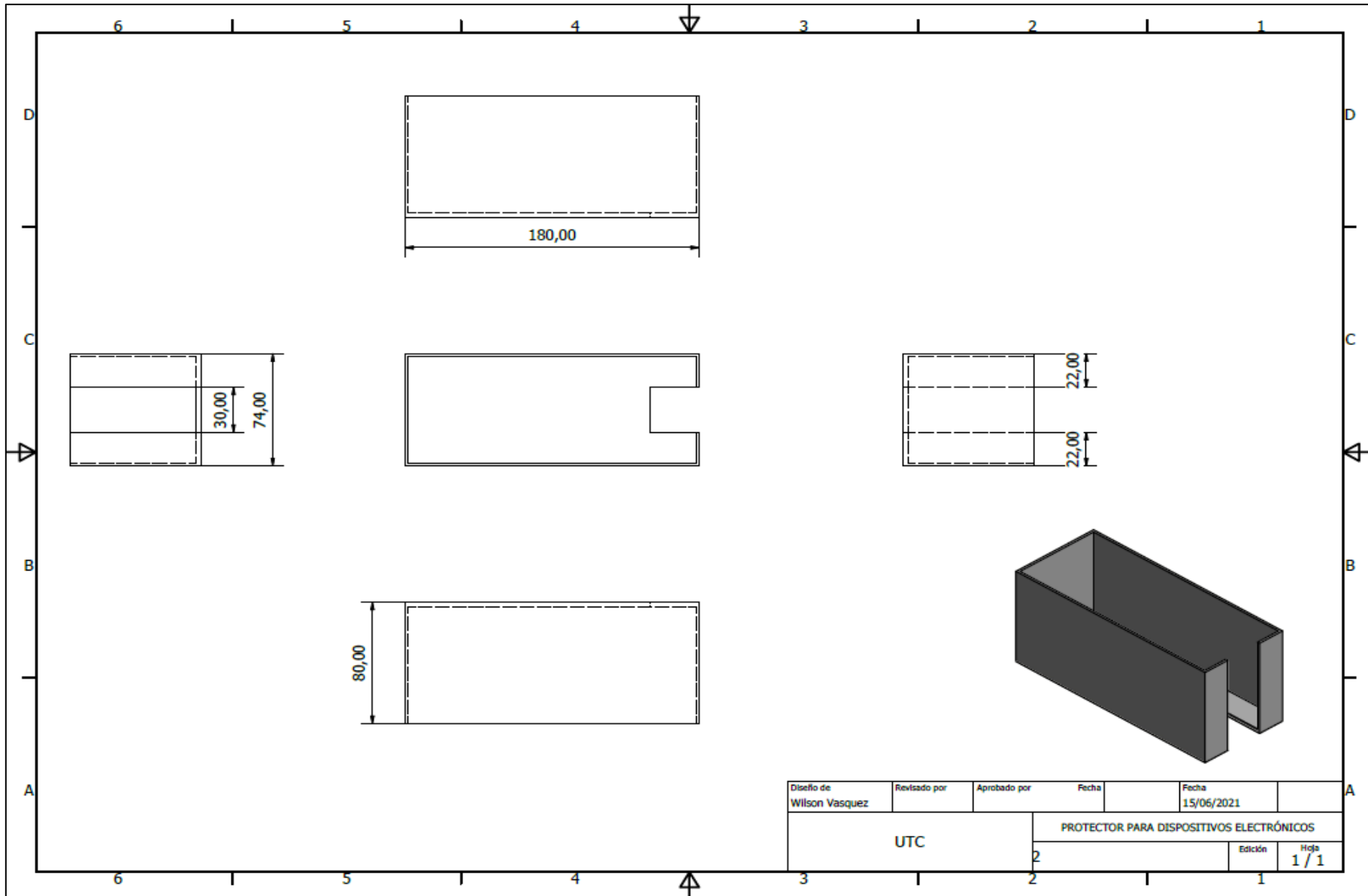
Figura 3 Dirección del viento contra el armazón



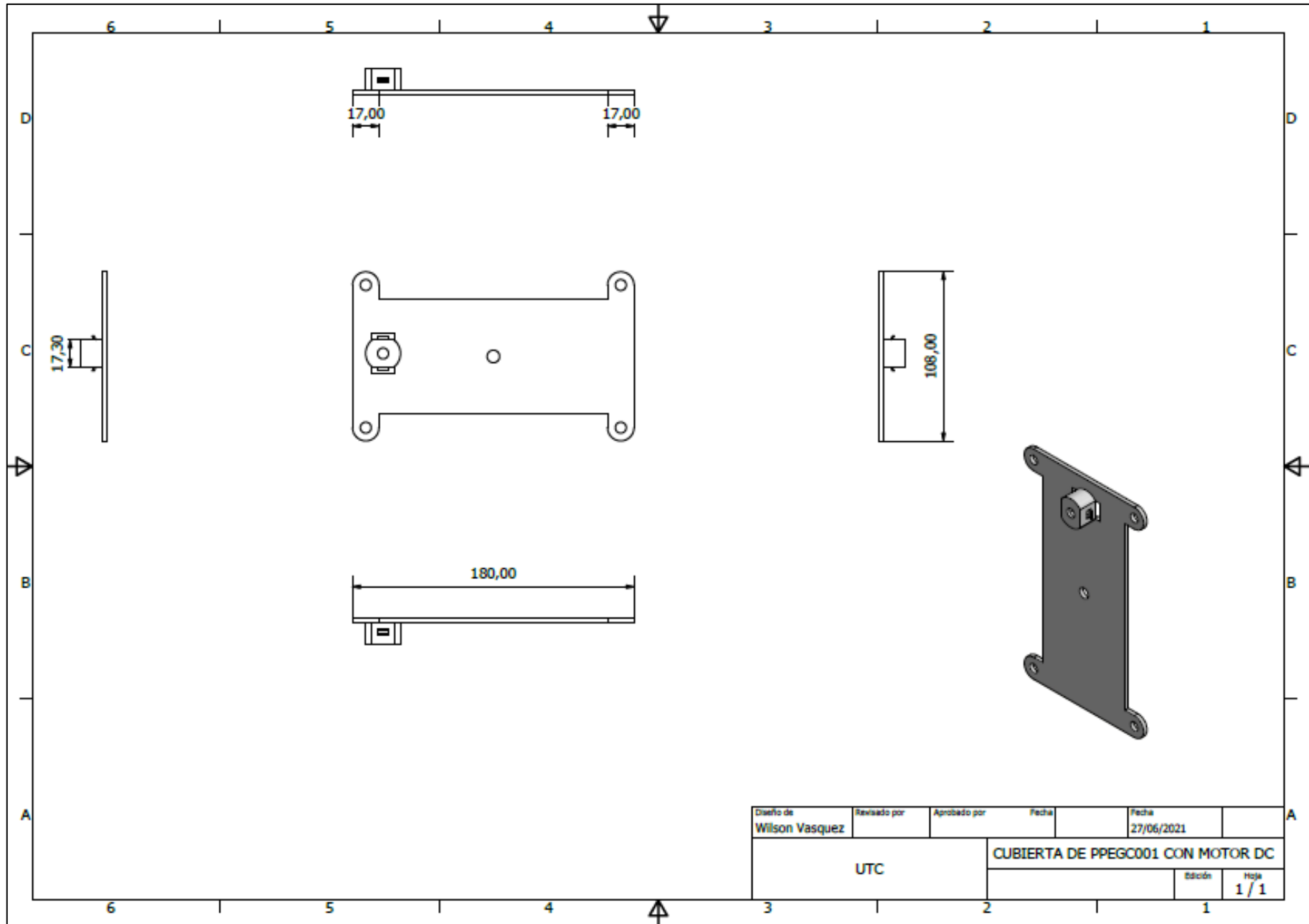
ANEXO III

Diseño en software para impresión 3D del prototipo



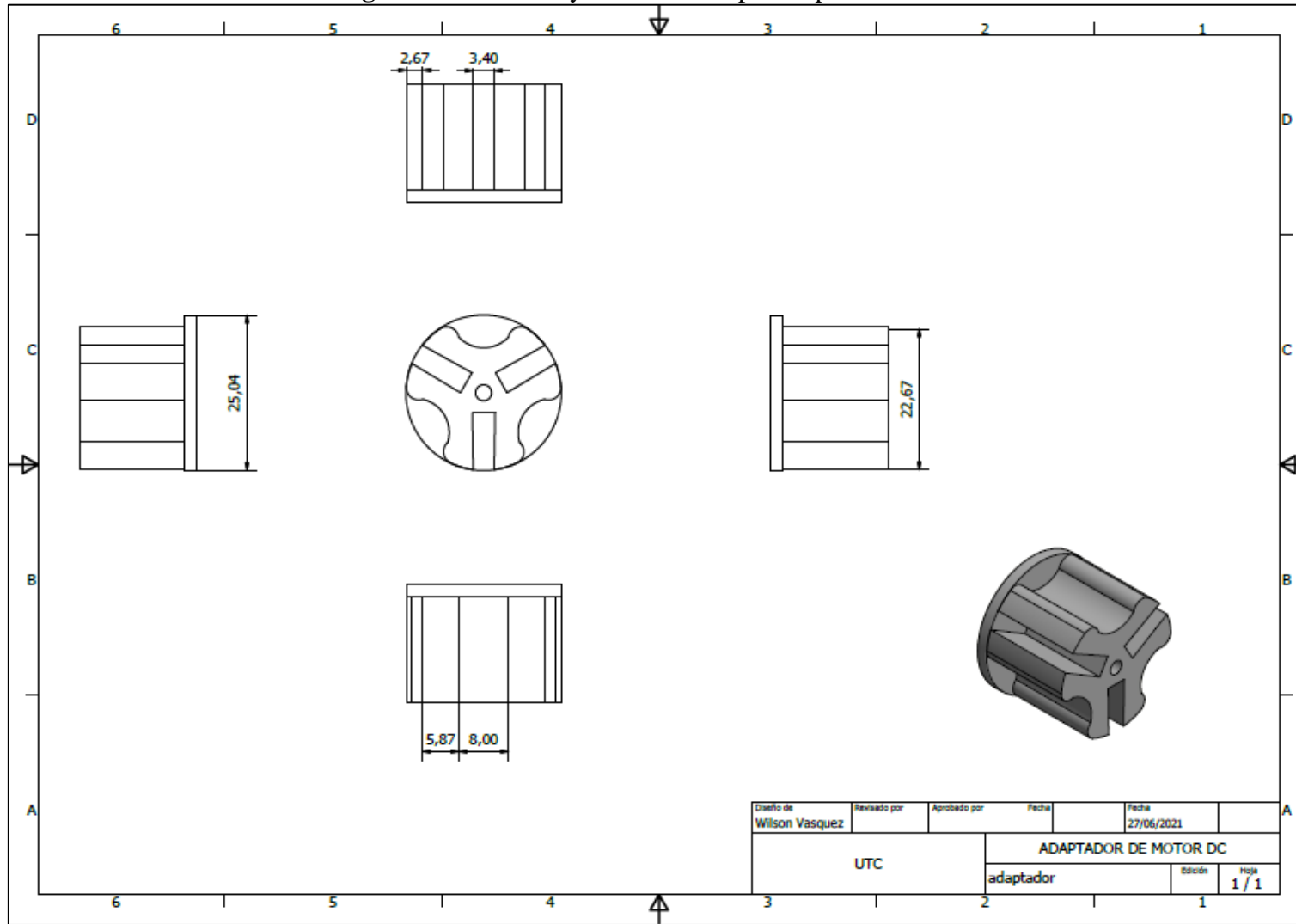


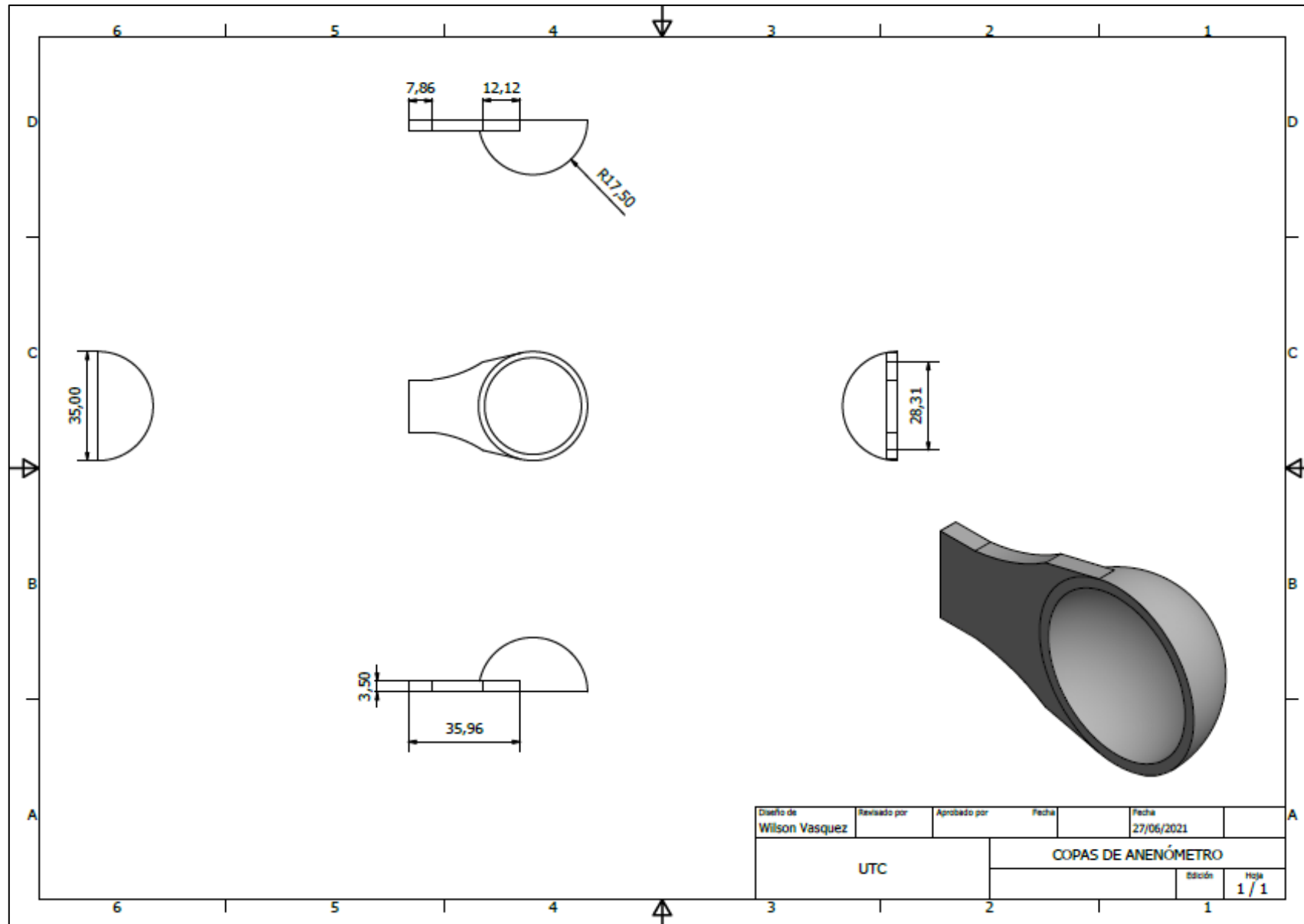
Diseño de Wilson Vasquez	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 15/06/2021
UTC			PROTECTOR PARA DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS	
			Edición	Hojas 1 / 1



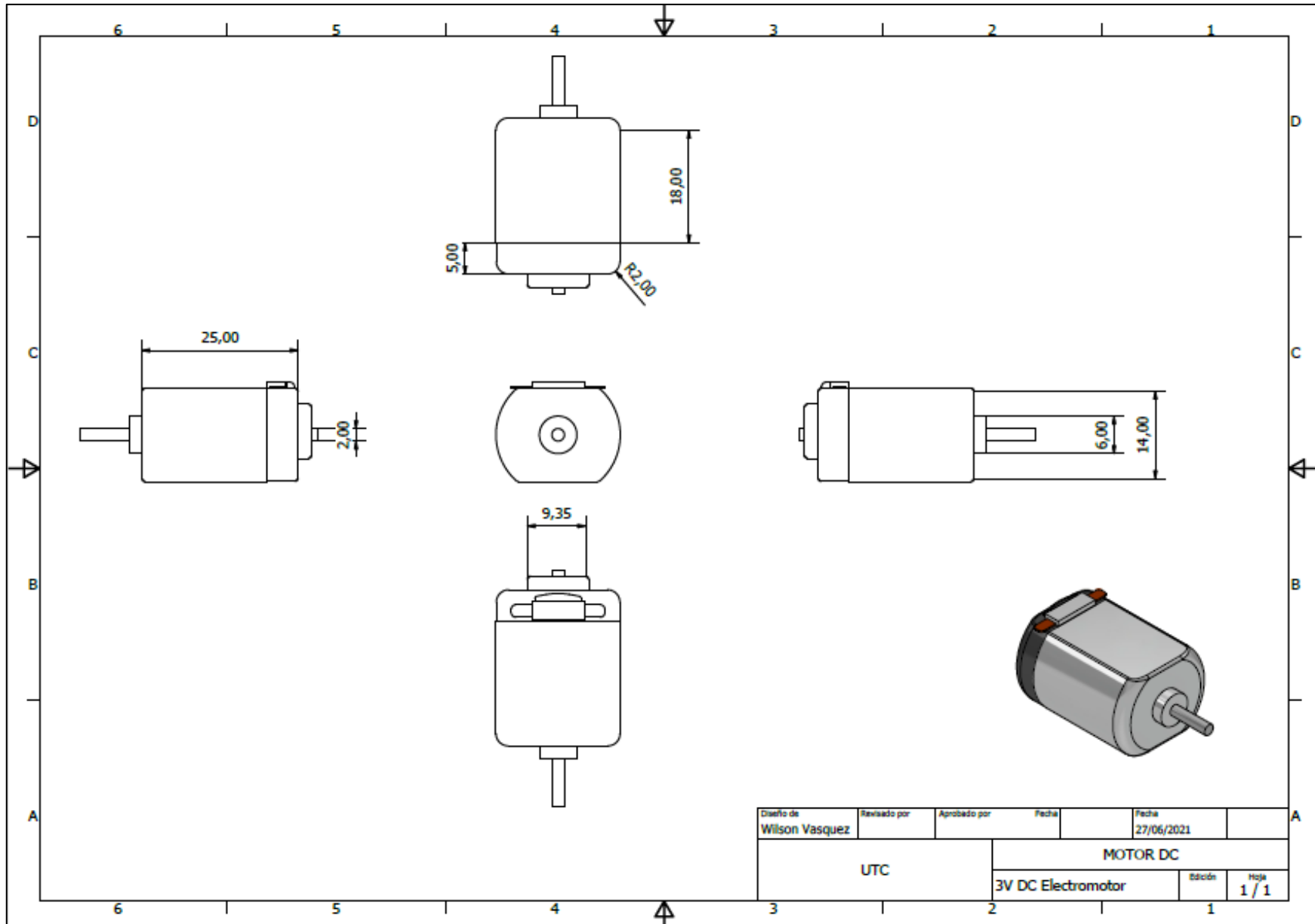
Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha	
Wilson Vasquez				27/06/2021	
UTC			CUBIERTA DE PPEGC001 CON MOTOR DC		
				Edición	Hoja
				1	1 / 1

Figura 4 Diseño 3D y vistas del adaptador para motor DC

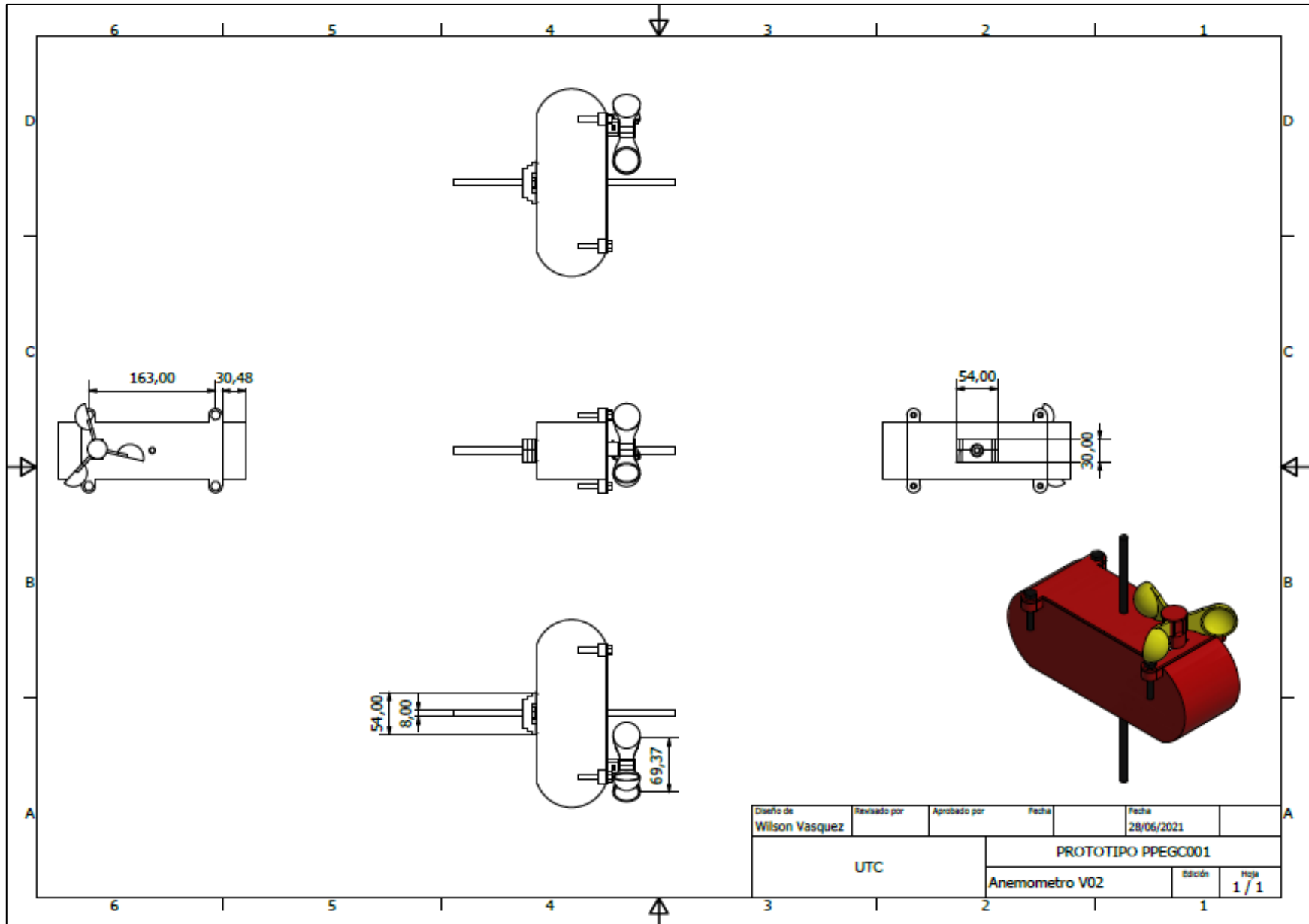


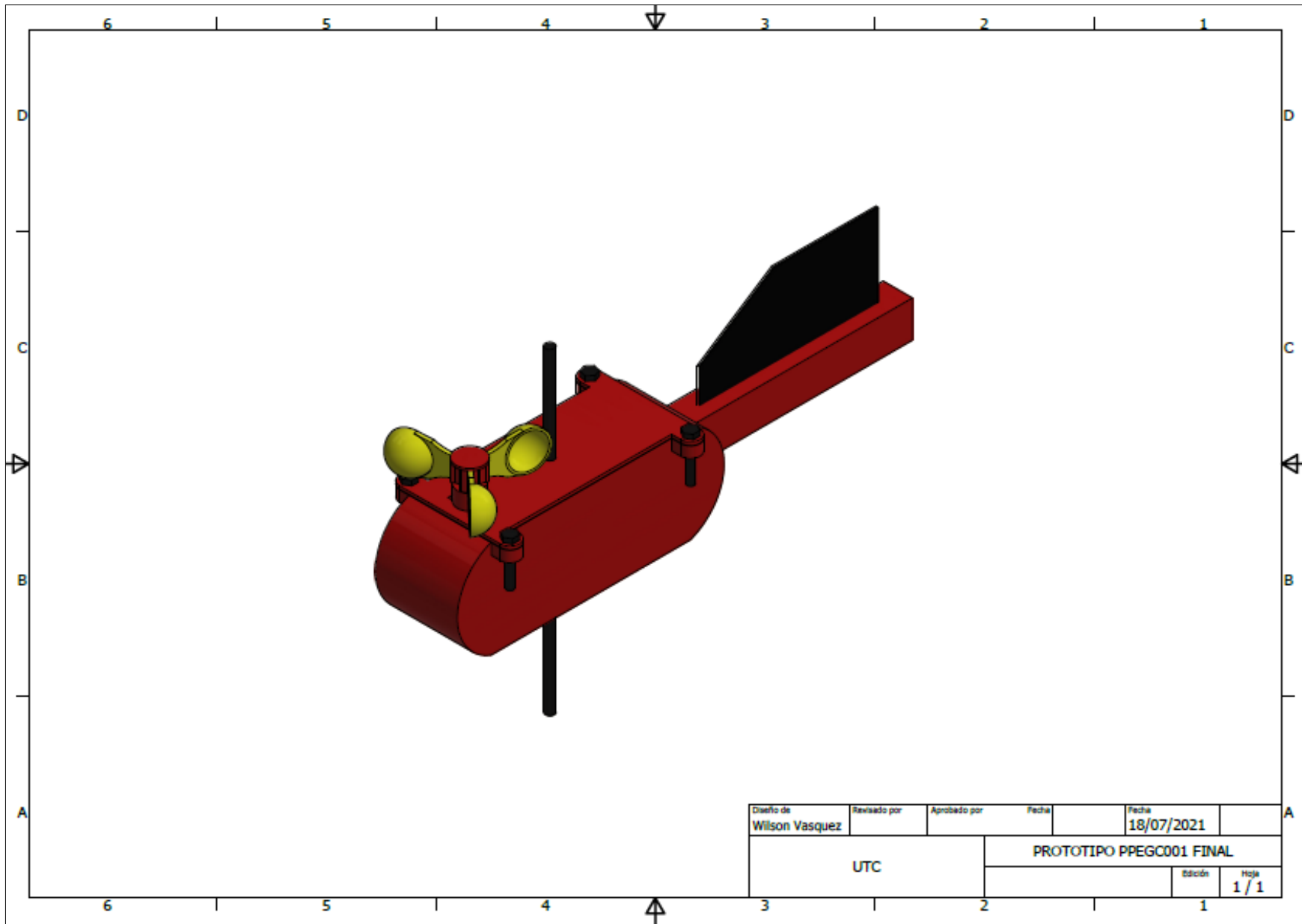


Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha	
Wilson Vasquez				27/06/2021	
UTC			COPAS DE ANENÓMETRO		
				Edición	Hoja
					1 / 1



Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha	
Wilson Vasquez				27/06/2021	
UTC			MOTOR DC		
			3V DC Electromotor	Escala	Hoja
					1 / 1





ANEXO III

Construcción y pruebas en campo

Figura 1 Pruebas del PPEGC001



Figura 2 Diseño final de PPEGC001



Figura 3 Plancha para el anclaje a la superficie terrestre



Figura 4 Soldadura de cáncamos en un tubo



Figura 5 Carrete para base de anclaje



Figura 6 Recopilación de datos en la estación meteorológica Rumipamba



Figura 7 Preparación de objeto para anclaje



Figura 8 Preparación del gas helio



Figura 9 Llenado del globo meteorológico



Figura 10 Despegue del prototipo



Figura 11 Recopilación de datos en San Vicente de Alpamalag



Figura 12 Turbulencias del viento sobre el globo



Figura 13 Prototipo recopilando información



Figura 14 Aterrizaje del globo meteorológico



ANEXO III

Especificaciones de los sensores instalados

Tabla 1 Características del Sensor BMP180

Parámetro	Símbolo	Condición	Min	Typ	Max	Unidades
Temperatura de funcionamiento	T _A	Operacional	- 40		+ 85	° C
		precisión total	0		+ 65	
Tensión de alimentación	V _{DD}	ondulación máx. 50 mVpp	1.8	2.5	3.6	V
			1,62	2.5	3.6	
Corriente de suministro @ 1 muestra / seg. 25 ° C	I _{DDLOW}	modo de energía ultrabaja		3		µA
	I _{DDSTD}	modo estándar		5		µA
	I _{DDHR}	modo de alta resolución		7		µA
	I _{DDUHR}	Ultra alta resolución, modo		12		µA
	I _{DDAR}	Res. Avanzada modo		32		µA
Corriente pico	I _{DDPK}	durante la conversión		650		µA
Corriente de espera	I _{DDSM}	@ 25 ° C		0,1	4 _t	µA
Precisión relativa presión V _{DD} = 3,3 V		950 ... 1050 hPa a 25 ° C		+ 0,12		hPa
		700 ... 900 hPa 25 ... 40 ° C		+ 1,0		→→
Exactitud absoluta presión V _{DD} = 3,3 V		300 ... 1100 hPa 0 ... +65 ° C	- 4,0	- 1,0*	+ 2,0	hPa
		300 ... 1100 hPa - 20 ... 0 ° C	- 6,0	- 1,0*	+ 4,5	hPa
Resolución de datos resultantes		presión		0,01		hPa
		temperatura		0,1		° C
Ruido en la presión		ver tabla en la página 12-13				
Exactitud absoluta temperatura V _{DD} = 3,3 V		@ 25 ° C	- 1,5	± 0,5	+ 1,5	° C
		0 ... +65 ° C	- 2,0	± 1,0	+ 2,0	° C

Tabla 2 Características del Sensor BMP180

Tiempo de conversión presión	t _{c,p_low}	modo de energía ultrabaja		3	4,5	Sra
	t _{c,p_std}	modo estándar		5	7,5	Sra
	t _{c,p_hr}	modo de alta resolución		9	13,5	Sra
	t _{c,p_uhr}	ultra alta resolución, modo		17	25,5	Sra
	t _{c,p_ar}	Res. Avanzada modo		51	76,5	Sra
Tiempo de conversión temperatura	t _{c,temp}	modo estándar		3	4,5	Sra
Reloj de datos en serie	F _{SCL}				3,4	→→→→
Derivaciones de soldadura		Soldadura mínima altura 50µm	- 0,5		+ 2	hPa
Estabilidad a largo plazo**		12 meses		± 1,0		hPa

Tabla 3 Precisión de muestreo en hardware del Sensor BMP180

Modo	Parámetro <i>oversampling_setting</i>	Interno número de muestras	Tiempo de conversión presión máx. [5ra]	Promedio Actual @ 1 muestra / s típ. [µA]	RMS ruido tip. [hPa]	RMS ruido tip. [hPa]
potencia ultra baja	0	1	4,5	3	0,06	0,5
estándar	1	2	7,5	5	0,05	0,4
alta resolución	2	4	13,5	7	0,04	0,3
resolución ultra alta	3	8	25,5	12	0,03	0,25

Tabla 4 Coeficientes de calibración del Sensor BMP180

Parámetro	BMP180 reg adr	
	MSB	LSB
AC1	0xAA	0xAB
AC2	0xAC	0xAD
AC3	0xAE	0xAF
AC4	0xB0	0xB1
AC5	0xB2	0xB3
AC6	0xB4	0xB5
B1	0xB6	0xB7
B2	0xB8	0xB9
<i>calibration</i>	0xBA	0xBB
MC	0xBC	0xBD
<i>byteend</i>	0xBE	0xBF

Tabla 5 Coeficientes de calibración del Sensor DHT11

Parámetros	Condiciones	Mínimo	Típico	Máximo
Humedad				
Resolución		1% de humedad relativa	1% de humedad relativa	1% de humedad relativa
			8 bits	
Repetibilidad			±1% de humedad relativa	
Precisión	25°C		±4% de humedad relativa	
	0-50°C			±5% de humedad relativa
Intercambiabilidad	Totalmente intercambiable			
Medición Distancia	0°C	30% de humedad relativa		90% de humedad relativa
	25°C	20% de humedad relativa		90% de humedad relativa
	50°C	20% de humedad relativa		80% de humedad relativa
Tiempo de respuesta (Segundos)	1 / e (63%) 25°C , 1 m / s de aire	6 S	10 S	15 S
Histéresis			±1% de humedad relativa	
A largo plazo Estabilidad	Típico		±1% RH / año	
Temperatura				
Resolución		1°C	1°C	1°C
		8 bits	8 bits	8 bits
Repetibilidad			±1°C	
Precisión		±1°C		±2°C
Medición Distancia		0°C		50°C
Tiempo de respuesta (Segundos)	1 / e (63%)	6 S		30 S

Figura 1 Proceso de comunicación general sensor DHT11

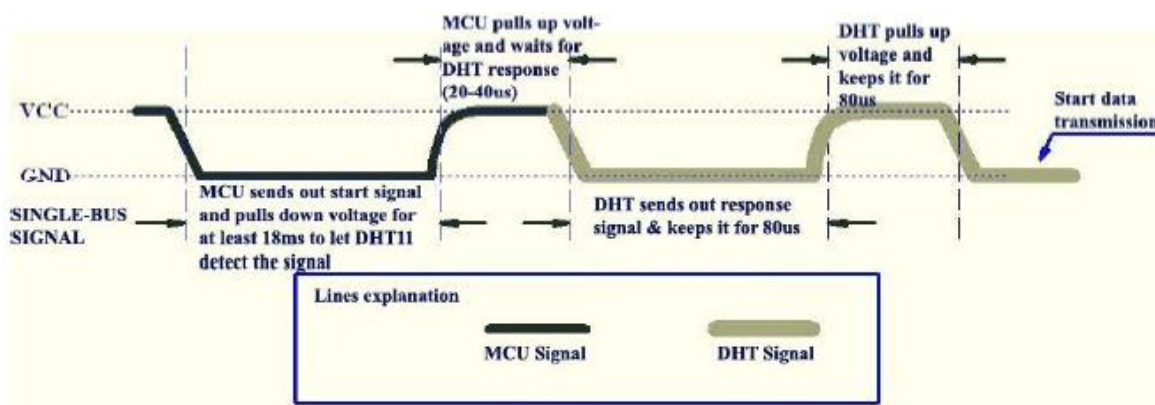


Tabla 6 Especificaciones del magnetómetro del Sensor DHT11

PARÁMETRO	CONDICIONES	MIN	TYP	MAX	UNIDADES
SENSIBILIDAD DEL MAGNETOMETRO					
Rango de escala completa			± 4800		μT
Longitud de la palabra ADC			14		bits
Factor de escala de sensibilidad			0,6		$\mu T / LSB$
SALIDA DE CAMPO CERO					
Tolerancia de calibración inicial			± 500		LSB

PARÁMETRO	CONDICIONES	MIN	TYP	MAX	Unidades
Frecuencia de funcionamiento SPI, lectura / escritura de todos los registros	Caracterización de baja velocidad		100 $\pm 10\%$		kHz
	Caracterización de alta velocidad		$1 \pm 10\%$		mag/seg
Registros de interrupción, sensor y frecuencia de funcionamiento SPI Solo lectura			$20 \pm 10\%$		mag/seg
I _C Frecuencia de funcionamiento	Todos los registros, modo rápido			400	kHz
	Todos los registros, modo estándar			100	kHz

Tabla 7 Características eléctricas del Sensor DHT11

PARÁMETRO	CONDICIONES	MIN	TYP	MAX	Unidades	Notas
VOLTAJES DE SUMINISTRO						
VDD		2,4	2,5	3,6	V	
VDDIO		1,71	1,8	VDD	V	
CORRIENTES DE SUMINISTRO						
Modo normal	9 ejes (noDMP), giroscopio de 1 kHz, ODR de aceleración de 4 kHz, 8 Hz mag. tasa de repetición		3,7		mA	
	6 ejes (acel + giroscopio, sin DMP), girocompás de 1 kHz ODR, acelODR de 4 kHz		3,4		mA	
	Solo giroscopio de 3 ejes (noDMP), ODR de 1 kHz		3,2		mA	
	6 ejes (acel + magnetómetro, sin DMP), 4 kHz acelODR, mag. tasa de repetición = 8 Hz		730		μA	
	Acelerómetro de 3 ejes, 4kHz ODR (sin DMP)		450		μA	
	Magnetómetro de 3 ejes únicamente (noDMP), frecuencia de repetición de 8 Hz		280		μA	
Acelerómetro Modo de bajo consumo (DMP, giroscopio, magnetómetro desactivado)	Frecuencia de actualización de 0,98 Hz		8,4		μA	1
	Frecuencia de actualización de 31,25 Hz		19,8		μA	1
Corriente de suministro en modo inactivo de chip completo			8		μA	
RANGO DE TEMPERATURA						
Rango de temperatura especificado	Los parámetros de rendimiento no son aplicables más allá del rango de temperatura especificado	- 40		+ 85	$^{\circ} C$	

Tabla 8 Características eléctricas del Sensor MPU9250

PARÁMETRO	CONDICIONES	MIN	TYP	MAX	Unidades	Notas
VOLTAJES DE SUMINISTRO						
VDD		2.4	2.5	3.6	V	
VDDIO		1,71	1.8	VDD	V	
CORRIENTES DE SUMINISTRO						
Modo normal	9 ejes (noDMP), giroscopio de 1 kHz, ODR de aceleración de 4 kHz, 8 Hz mag. tasa de repetición		3,7		mA	
	6 ejes (acel + giroscopio, sin DMP), girocompás de 1 kHz ODR, acelODR de 4 kHz		3.4		mA	
	Solo giroscopio de 3 ejes (noDMP), ODR de 1 kHz		3.2		mA	
	6 ejes (acel + magnetómetro, sin DMP), 4 kHz acelODR, mag. tasa de repetición = 8 Hz		730		μA	
	Acelerómetro de 3 ejes, 4kHz ODR (sin DMP)		450		μA	
	Magnetómetro de 3 ejes únicamente (noDMP), frecuencia de repetición de 8 Hz		280		μA	
Acelerómetro Modo de bajo consumo (DMP, giroscopio, magnetómetro desactivado)	Frecuencia de actualización de 0,06 Hz		8.4		μA	1
	Frecuencia de actualización de 31,25 Hz		19,8		μA	1
Corriente de suministro en modo Inactivo de chip completo			8		μA	
RANGO DE TEMPERATURA						
Rango de temperatura especificado	Los parámetros de rendimiento no son aplicables más allá del rango de temperatura especificado	- 40		+ 85	° C	

Tabla 9 Características del magnetómetro del Sensor MPU9250

PARÁMETRO	CONDICIONES	MIN	TYP	MAX	UNIDADES
SENSIBILIDAD DEL MAGNETOMETRO					
Rango de escala completa			± 4800		μT
Longitud de la palabra ADC			14		bits
Factor de escala de sensibilidad			0,6		μT / LSB
SALIDA DE CAMPO CERO					
Tolerancia de calibración inicial			± 500		LSB

ANEXO IV

Programación IDE Arduino

Tabla 1 Programación el Software IDE Arduino

```
#include "RTClib.h" //Libreria modulo RTC tiempo

#include "DHT.h" //Libreria modulo DHT11 humedad temp

#include <Adafruit_BMP085.h> //Libreria para el barometro

//Variable para manipular el modulo RTC

RTC_DS3231 rtc;

char daysOfTheWeek[7][12] = {"Sunday", "Monday", "Tuesday", "Wednesday",
"Thursday", "Friday", "Saturday"};

//Variable para manejar modulo DHT11

#define DHTPIN 3 // Digital pin connected to the DHT sensor

#define DHTTYPE DHT11 // DHT 11

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

float h = 0;

float t = 0;

//Variable para manipular el barometro BMP180

Adafruit_BMP085 bmp;

float presion = 0;

float altitud = 0;

//Variables del encoder

int encoder_pin = 2; //Pin 2, donde se conecta el encoder

unsigned int rpm = 0; // Revoluciones por minuto calculadas.
```

```
float velocity = 0;           //Velocidad en [Km/h]

volatile byte pulses = 0;     // Número de pulsos leídos por el Arduino en un segundo

unsigned long timeold = 0;    // Tiempo

unsigned int pulsesperturn = 20; // Número de muescas que tiene el disco del encoder.

const int wheel_diameter = 26; // Diámetro de la rueda pequeña[mm]

static volatile unsigned long debounce = 0; // Tiempo del rebote.

void setup() {

    // put your setup code here, to run once:

    //Configuración de la velocidad de comunicación Serial

    Serial.begin(9600);

#ifdef ESP8266

    while (!Serial); // wait for serial port to connect. Needed for native USB

#endif

    //Función si no se ha conectado del módulo RTC

    if (!rtc.begin()) {

        Serial.println("Couldn't find RTC");

        Serial.flush();

        abort();

    }

    //En caso de bajo voltaje
```

```
if (rtc.lostPower()) {  
    Serial.println("RTC lost power, let's set the time!");  
    rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));  
    // rtc.adjust(DateTime(2021, 1, 21, 3, 0, 0));  
}  
  
//Definir como entrada pines encoder  
pinMode(encoder_pin, INPUT); // Configuración del pin n°2  
attachInterrupt(0, counter, RISING); // Configuración de la interrupción 0, donde esta  
conectado.  
  
pulses = 0;  
rpm = 0;  
timeold = 0;  
  
//Iniciar el sensor DHT11  
dht.begin();  
  
//Iniciar la comunicacion con el BMP180  
if (!bmp.begin()) {  
    Serial.println("Could not find a valid BMP085 sensor, check wiring!");  
    while (1) {}  
}  
  
}
```

```
void loop() {  
  
    // put your main code here, to run repeatedly:  
  
    velocidad();  
    press_altitud();  
    temp_hum();  
    impresion();  
    delay(250);  
  
}  
  
void velocidad() {  
    if (millis() - timeold >= 1000){ // Se actualiza cada segundo  
        noInterrupts(); //Don't process interrupts during calculations // Desconectamos la  
        interrupción para que no actúe en esta parte del programa.  
        rpm = (60 * 1000 / pulsesperturn )/ (millis() - timeold)* pulses; // Calculamos las  
        revoluciones por minuto  
        velocity = rpm * 3.1416 * wheel_diameter * 60 / 1000000; // Cálculo de la  
        velocidad en [Km/h]  
        timeold = millis(); // Almacenamos el tiempo actual  
        pulses = 0; // Inicializamos los pulsos.  
        interrupts(); // Restart the interrupt processing // Reiniciamos la interrupción  
    }  
}
```

```
}

void counter(){

  if( digitalRead (encoder_pin) && (micros()-debounce > 500) && digitalRead
(encoder_pin) ) {

// Vuelve a comprobar que el encoder envía una señal buena y luego comprueba que el
tiempo es superior a 1000 microsegundos y vuelve a comprobar que la señal es correcta.

    debounce = micros(); // Almacena el tiempo para comprobar que no contamos el
rebote que hay en la señal.

    pulses++;} // Suma el pulso bueno que entra.

    else ;

}

void impresion() {

//Impresion de tiempo

DateTime now = rtc.now();

Serial.print(now.year(), DEC);

Serial.print('/');

Serial.print(now.month(), DEC);

Serial.print('/');

Serial.print(now.day(), DEC);

Serial.print(" (");

Serial.print(daysOfTheWeek[now.dayOfTheWeek()]);

Serial.print(") ");

Serial.print(now.hour(), DEC);
```

```
Serial.print(':');  
  
Serial.print(now.minute(), DEC);  
  
Serial.print(':');  
  
Serial.print(now.second(), DEC);  
  
  
//Impresion de Velocidad  
  
Serial.print("  Velocidad: ");  
  
Serial.print(velocity,2);  
  
  
//Impresion de humedad y temperatura  
  
Serial.print(F(" Humedad: "));  
  
Serial.print(h);  
  
Serial.print(F("% Temperatura: "));  
  
Serial.print(t);  
  
Serial.print(F("°C "));  
  
  
//Impresion de altitud y presion  
  
Serial.print("Presion = ");  
  
Serial.print(presion);  
  
Serial.print(" Pa ");  
  
  
Serial.print("Altitud = ");  
  
Serial.print(altitud);  
  
Serial.println(" metros");
```



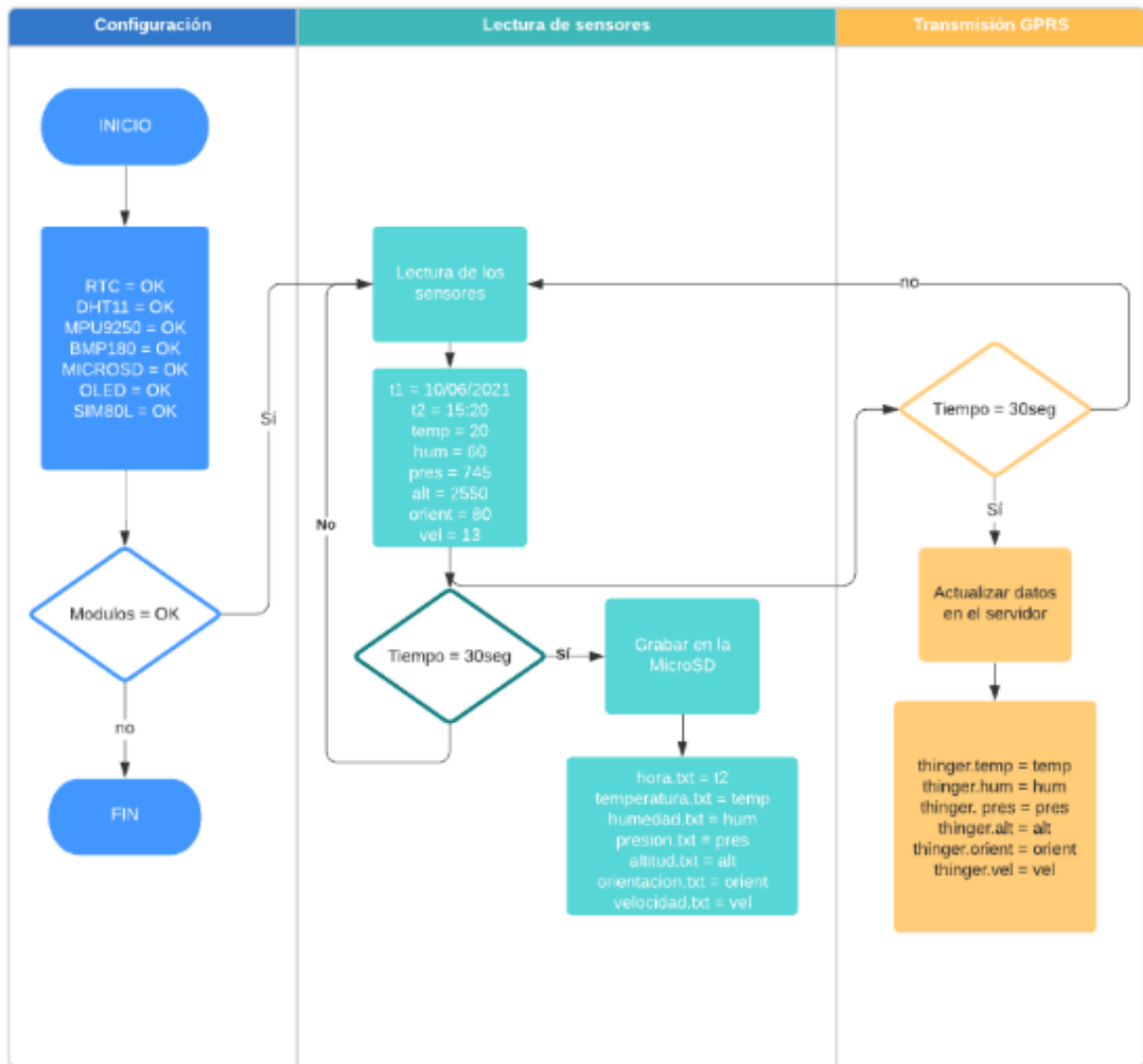
```
}

void temp_hum(){
    h = dht.readHumidity();
    // Read temperature as Celsius (the default)
    t = dht.readTemperature();
    // Check if any reads failed and exit early (to try again).
    if (isnan(h) || isnan(t) ) {
        Serial.println(F("Failed to read from DHT sensor!"));
        return;
    }
}

void press_altitud(){
    presion = bmp.readPressure();
    altitud = bmp.readAltitude();

}
```

Tabla 1 Diagrama de flujo de funcionamiento



ANEXO V

Gráficas estadísticas del porcentaje de error

Figura 1. Gráfica estadística del porcentaje de error de la humedad relativa

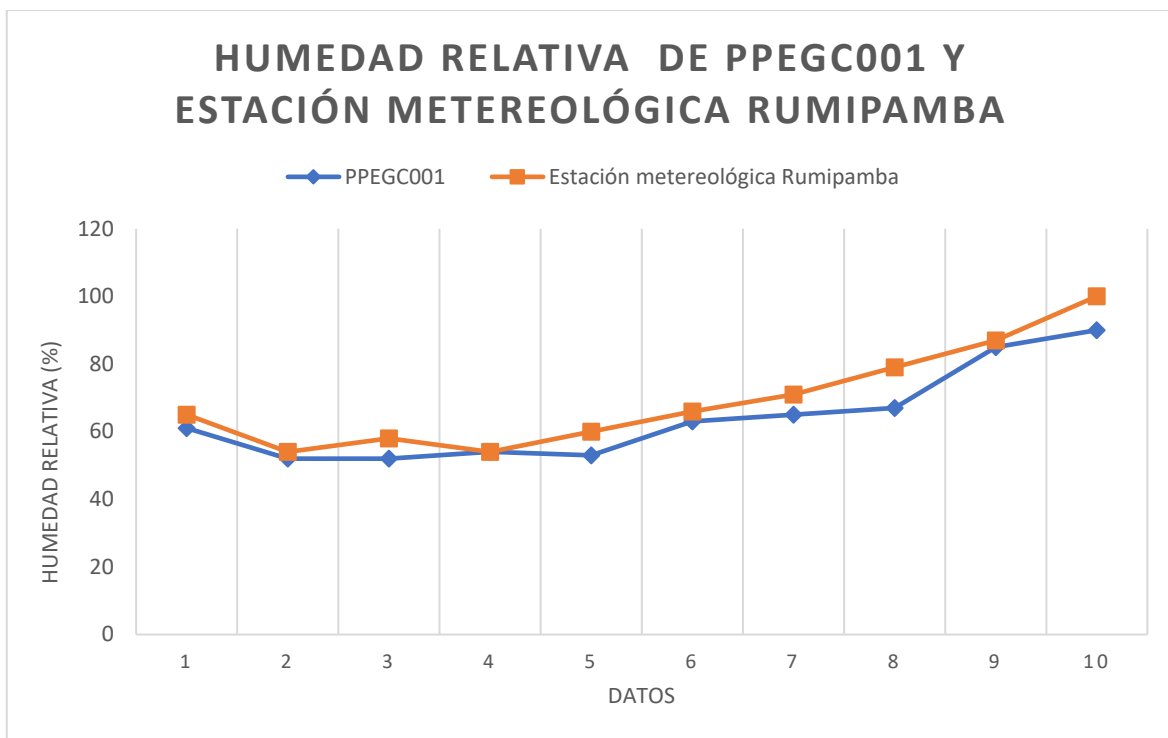


Figura 2. Gráfica estadística del porcentaje de error de la presión atmosférica

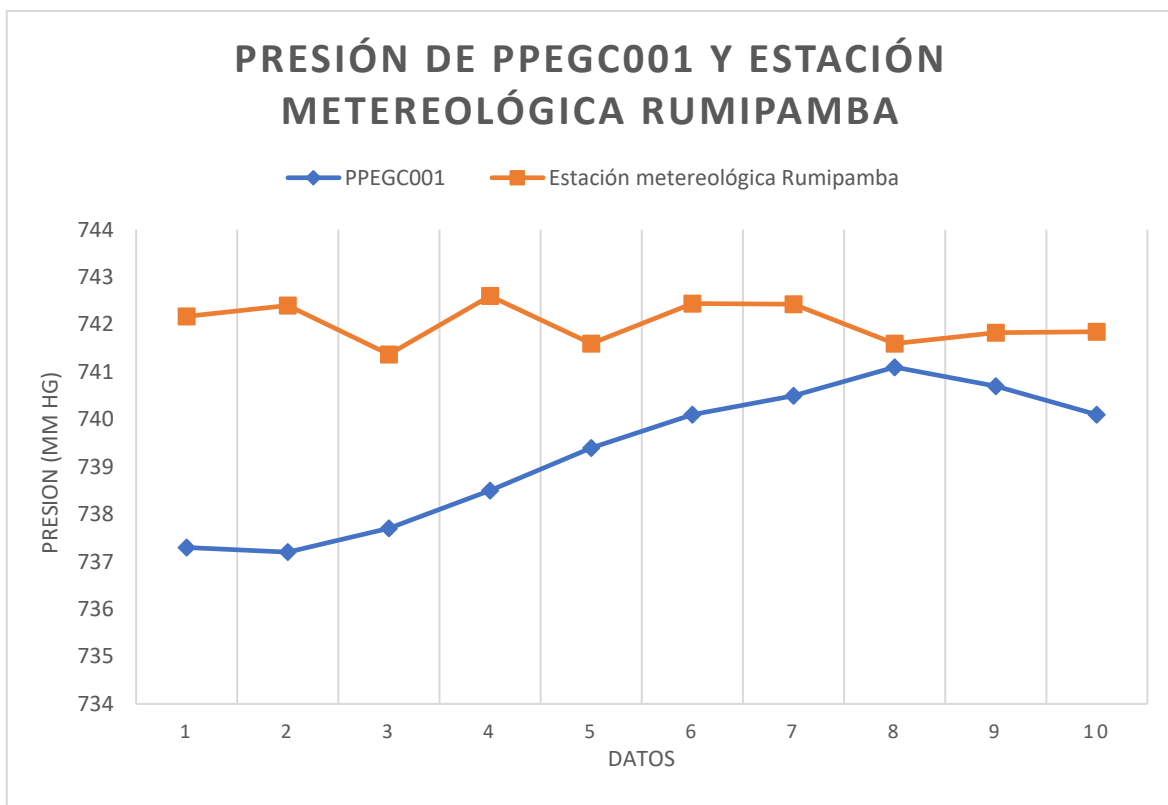


Figura 3. Gráfica estadística del porcentaje de error de la temperatura

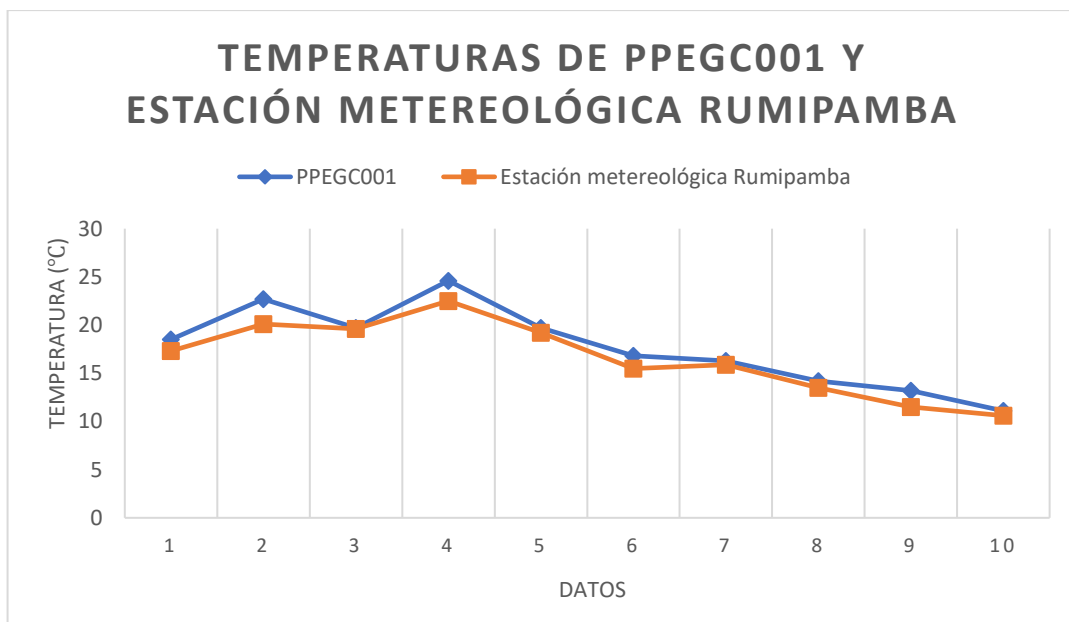


Figura 4. Gráfica estadística del porcentaje de error de la dirección del viento

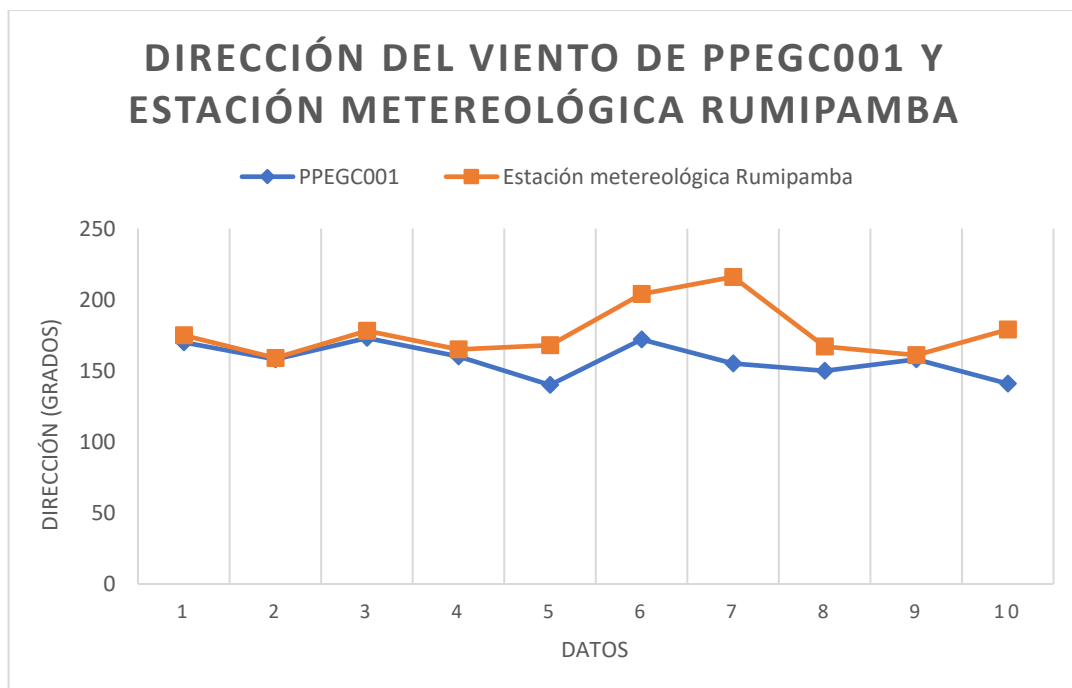


Figura 5. Gráfica estadística del porcentaje de error de la velocidad del viento

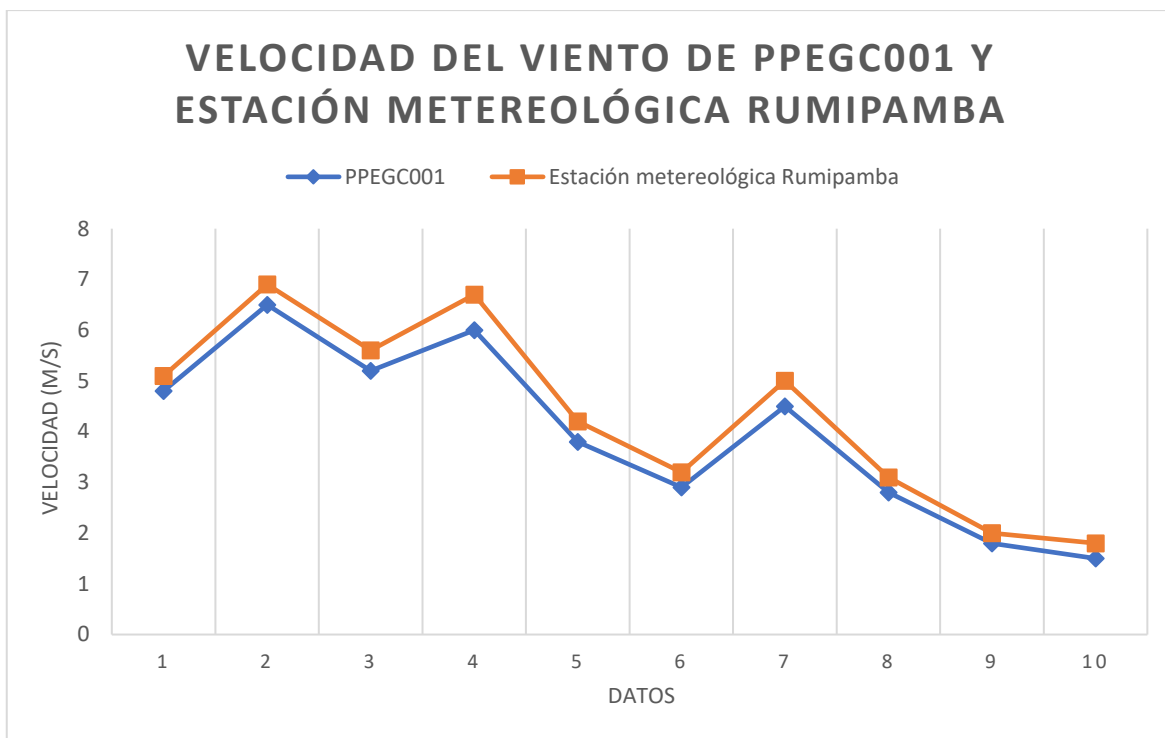


Figura 6. Tabla del análisis de perfil de velocidad de Hellman

Perfil de velocidad			
Altura (m)	Velocidad (m/s)		Porcentaje de error
	PPEGC001	Estación meteorológica	
1	4,3	4,1	5,8
2	4,6	4,3	5,8
3	4,8	4,5	5,8
4	4,9	4,7	5,8
5	5,1	4,8	5,8
6	5,1	4,8	5,8
7	5,2	4,9	5,8
8	5,3	5,0	5,8
9	5,4	5,0	5,8
10	5,4	5,1	5,8