



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE
POTENCIA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

**“DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS PARA UN
PROTOTIPO DE FAROLA EÓLICA DE EJE VERTICAL ORIENTADO AL
ALUMBRADO EXTERIOR, EN EL PERIODO 2021”**

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico en
Sistemas Eléctricos de Potencia.

AUTOR:

Santander Puli Segundo Anibal

TUTOR ACADÉMICO:

PhD. Secundino Marrero Ramírez

LATACUNGA - ECUADOR

2021

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo **SANTANDER PULI SEGUNDO ANIBAL** declaro ser autor del presente proyecto de investigación: “**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS PARA UN PROTOTIPO DE FAROLA EÓLICA DE EJE VERTICAL ORIENTADO AL ALUMBRADO EXTERIOR, EN EL PERIODO 2021**”, siendo el **PhD. SECUNDINO MARRERO RAMIREZ** el tutor del presente trabajo; y se exime expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, se certifica que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

.....
Santander Puli Segundo Anibal
C.C. 0503791980

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

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

“DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS PARA UN PROTOTIPO DE FAROLA EÓLICA DE EJE VERTICAL ORIENTADO AL ALUMBRADO EXTERIOR, EN EL PERIODO 2021”, de **SANTANDER PULI SEGUNDO ANIBAL**, de la carrera de Ingeniería Eléctrica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la Facultad de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, agosto 2021

El Tutor

.....
PhD. Secundino Marrero Ramírez.
C.C. 1757107907

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 Aplicadas; por cuanto, al postulante **SANTANDER PULI SEGUNDO ANIBAL** con el título de Proyecto de titulación “**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS PARA UN PROTOTIPO DE FAROLA EÓLICA DE EJE VERTICAL ORIENTADO AL ALUMBRADO EXTERIOR, EN EL PERIODO 2021**”, 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:

.....
Ing. Guamán Cuenca Wilian Patricio MSc.
C.C. 0603578956

.....
Ing. Salazar Achig Edgar Roberto
C.C. 0502847619

.....
Ing. Carlos Quinatoa Caiza
C.C. 0503287864

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mis sinceras muestras de agradecimiento a Dios Nuestrros Señor, por guiarme y fortalecerme en cada etapa de mi vida. A mis padres Segundo y María por darme la vida y por siempre creer y apoyar en todas mis decisiones que he tomado. A mi hermana María por guiarme por el camino del bien y el apoyo que me ha dado económica y moralmente. Un agradecimiento especial a mi hermano Hermel que es como un padre conmigo, por el apoyo durante toda mi vida estudiantil, por demostrarme que con esfuerzo y dedicación se puede lograr grandes cosas, sin importar los obstáculos. A mi familia y amigos por estar siempre presentes. A los docentes de la Universidad Técnica Cotopaxi de la Carrera de Ingeniería Eléctrica por haber compartido todos sus conocimientos a lo largo de mi Carrera Universitaria.

A todos, eternas gracias

Anibal Santander

DEDICATORIA

A mis hermanos Hermel y María quienes, con su apoyo incondicional, paciencia y esfuerzo me han permitido cumplir con uno de mis grandes metas, gracias por estar siempre conmigo cuando más los necesitaba por ser un ejemplo de esfuerzo y valentía ante las adversidades.

RESUMEN

En el presente trabajo de Titulación se determinó los parámetros físicos de un prototipo de farola eólica, mismo que sirve para la iluminación exterior de un campo deportivo, aprovechando el recurso natural de energías renovables para así poder brindar un servicio eléctrico a los habitantes. Motivo por el cual se efectuó el estudio y análisis del potencial eólico durante un año y a partir de esto se dimensionó un sistema eólico, con el cual cubra la demanda que requiere la superficie del campo deportivo. Los parámetros físicos obtenidos en la zona han permitido establecer un diseño adecuado de un aerogenerador tipo Savonius, para aprovechar todos los recursos naturales que pueda brindar la zona y a partir de esto mediante el dimensionamiento de los elementos eléctricos, se obtuvo una batería de 100 Ah/día a un sistema de 12 V, un regulador de carga de 50 A a 120 V y un inversor de corriente de 500 W, cumpliendo con el objetivo de un buen sistema de iluminación y sobre todo eficiente y aportando al medio ambiente con energías renovables. El diseño del aerogenerador se realizó en el software SolidWorks premium 2021, teniendo en cuenta uno de los parámetros físicos más importantes como es la dirección y velocidad del viento y a partir de esto se realizó el diseño adecuado de los alabes y el tamaño del aerogenerador, para posteriormente realizar una simulación con el software Matlab Simulink, y por medio del potencial eólico que se obtuvo se logró encender una lámpara eléctrica de 120 W, y mediante un análisis técnico económico se puede decir que el prototipo es factible para su implementación.

Palabras Clave: parámetros físicos, potencial eólico, prototipo, Dialux, SolidWorks Premium, Simulink, batería, regulador, inversor.

ABSTRACT

THEME:

“DETERMINATION OF THE PHYSICAL PARAMETERS FOR A WIND LAMP PROTOTYPE WITH A VERTICAL AXIS ORIENTED TO THE EXTERNAL LIGHTING, IN THE PERIOD 2021”

Author:

Santander Puli Segundo Anibal

In this degree work, the physical parameters of a wind street light prototype were determined, which is used for the exterior lighting of a sports field, taking advantage of the natural resource of renewable energies in order to provide electric service to the habitants. Thus, a study and analysis of the wind power potential were carried out during a year, resulting, a wind power system was dimensioned to cover the demand required by the surface of the sports field. The physical parameters obtained in the area have allowed establishing a suitable design of a Savonius type wind turbine. It was taken advantage of all the natural resources that the area can provide and by sizing the electrical elements, a battery of 100 Ah/day to a 12 V system, a charge regulator of 50 A at 120 V, and a current inverter of 500 W was obtained, fulfilling the objective of an excellent lighting system and above all efficient and contributing to the environment with renewable energies. The wind turbine design was made in the SolidWorks premium 2021 software, considering one of the most relevant physical parameters such as wind direction and speed. Consequently, the appropriate design of the blades and the size of the wind turbine was made, to later perform a simulation with the Matlab Simulink software, and employing the wind potential that was obtained, it was possible to light a 120 W electric lamp. Through a technical-economic analysis, it can be stated that the prototype is feasible for its implementation.

Keywords: physical parameters, wind power, prototype, Dialux, SolidWorks Premium, Simulink, battery, regulator, inverter.

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 presentado por el estudiante **Santander Puli Segundo Anibal** de la **Carrera de Ingeniería Eléctrica**, de la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**, cuyo título versa **“DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS PARA UN PROTOTIPO DE FAROLA EÓLICA DE EJE VERTICAL ORIENTADO AL ALUMBRADO EXTERIOR, EN EL PERIODO 2021.”**, lo realizaron 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 certificado de la manera ética que estimare conveniente.

Latacunga, agosto del 2021

Atentamente,

MSc. Diana Karina Taibe Vergara
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS
C.C. 1720080934



Firmado digitalmente por:
**MARCO PAUL
BELTRAN
SEMBLANTES**



**CENTRO
DE IDIOMAS**

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2. INTRODUCCIÓN	2
2.1. Descripción del proyecto.....	2
2.2. El Problema	2
2.2.1. Situación problemática.....	2
2.2.2. Formulación del problema.....	3
2.3. Objeto y campo de acción	3
2.4. Beneficiarios.....	4
2.4.1. Beneficiarios directos.....	4
2.4.2. Beneficiarios indirectos.....	4
2.5. Justificación.....	4
2.6. Hipótesis.....	5
2.7. Objetivos	5
2.7.1. General	5
2.7.2. Específicos	5
2.8. Sistema de tareas	6
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	7
3.1. Antecedentes	7
3.2. Energía eólica.....	8
3.2.1. Ventajas.....	8
3.2.2. Desventajas.....	9
3.2.3. Medida del viento.....	10
3.2.4. Distribución de frecuencias	10
3.3. Aerogeneradores.....	11
3.3.1. Clase de aerogeneradores	11
3.3.2. Turbinas de eje vertical	12
3.3.3. Turbinas de eje Horizontal	14
3.3.4. Sistemas aerodinámicos	16
3.3.5. Ley de Betz.....	19
3.3.6. Ley exponencial de Hellmann.....	19
3.3.7. Rugosidad del terreno.....	20
3.3.8. Potencia del viento	21
3.3.9. Velocidad de giro	22
3.3.10. Densidad del aire	23
3.4. Generalidades para el prototipo del Aerogenerado Tipo Savonius	24
3.4.1. Rotor Savonius	24
3.4.2. Principios de operación de un rotor Savonius	25

3.4.3. Coeficiente de potencia	26
3.4.4. Potencia extraída	27
3.4.5. Arrastre diferencial del rotor Savonius.....	27
3.4.6. Rotor.....	28
3.4.7. Barrido del rotor	29
3.4.8. Torque en el eje	30
3.4.9. Tapas del aerogenerador eólico	31
3.4.10. Fuerza que actúan sobre los alabes.....	32
3.4.11. Fuerzas que actúan sobre el eje	33
3.4.12. Diámetro del eje	35
3.4.13. Estructura del aerogenerador	35
3.5. Elementos del sistema de control de carga.....	38
3.5.1. Controlador de carga eólico	38
3.5.2. Sistema de inversor de corriente.....	38
3.5.3. Sistema de almacenamiento	38
3.5.3.1. Tiempo de descarga de una batería	40
3.5.3.2. Tipo de baterías	40
3.5.3.3. Potencia del aerogenerador	40
3.6. Tipos de iluminación en exteriores.....	41
3.6.1. Jardines y parques	41
3.6.2. Accesos.....	42
3.6.3. Estaciones y paradas.....	42
3.6.4. Fachadas	42
3.6.5. Andadores y ciclovías	42
3.6.6. Luminosidad vial.....	42
3.6.7. Campos deportivos.....	42
3.6.8. Iluminación en estacionamientos	42
3.7. Iluminación exterior de un campo deportivo.....	42
3.7.1. Ángulos visuales.....	43
3.7.2. Temperatura del color	44
3.7.3. Ubicación de los postes de iluminación	44
3.7.4. Especificaciones de iluminación para eventos no televisados.....	44
3.7.5. Tipos de reflectores para el sistema de iluminación.....	45
3.7.5.1. Proyectores circulares.....	45
3.7.5.2. Proyectores rectangulares.....	46
3.7.5. Características de los reflectores	47
3.7.6. Tipos de luminarias	48
3.7.6.1. Lámparas de vapor de mercurio	48
3.7.6.2. Lámpara de vapor de sodio	49

3.7.6.3. Iluminación LED.....	49
3.7.7. Método de lúmenes	49
3.7.8. Flujo luminoso total.....	50
3.7.9. Numero de luminarias	50
3.7.10. Norma UNE-EN 12193	51
3.7.11. Energía diaria del consumo	51
4. MATERIALES Y MÉTODOS	53
4.1. Métodos De Investigación.....	53
4.2. Tipos de investigación.....	53
4.2.1. Investigación explicativa o causal.....	53
4.2.2. Investigación experimental.....	53
4.3. Materiales	53
4.3.1. Norma UNE-EN 12193	53
4.3.2. Norma de la FIFA.....	54
4.4. Instrumentos	54
4.4.1. Wrplot View	54
4.4.2. Software Dialux.....	54
4.4.3. SolidWorks Premium 2021	54
4.4.4. Matlab Simulink.....	54
4.4.5. Software AutoCAD	54
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	55
5.1. Ubicación del proyecto.....	55
5.2. Estudio eólico.....	55
5.3. Dirección del viento en la parroquia el chaupi	57
5.4. Ubicación de las luminarias en el campo deportivo	59
5.4.1. Cálculo del flujo luminoso del campo deportivo	62
5.4.2. Cálculo y comprobación.....	65
5.4.3. Cálculo de demanda del sistema de iluminación exterior	65
5.4.4. Cálculo de consumo diario	65
5.5. Diseño del sistema de iluminación en software dialux.....	66
5.5.1. Resultados de la simulación del sistema de iluminación.....	66
5.6. Resultados del estudio eólico	69
5.6.1. Cálculo del coeficiente de rugosidad.....	69
5.6.2. Cálculo de la velocidad nominal del viento	70
5.6.3. Cálculo de la energía cinética.....	70
5.7. Diseño y cálculos del prototipo	71
5.7.1. Consideraciones del diseño	71
5.7.2. Altura del sitio del funcionamiento del aerogenerador	72
5.7.3. Condiciones externas.....	72

5.7.4. Condiciones internas	72
5.7.5. Temperatura de la parroquia el Chaupi	72
5.7.6. Cálculo de la densidad del viento.....	72
5.7.7. Parámetros geométricos del prototipo.....	73
5.7.8. Cálculo de la potencia extraída del sistema.....	73
5.7.9. Calculo para el dimensionamiento del rotor eólico.....	74
5.7.10. Cálculo de la potencia nominal del viento	75
5.7.11. Cálculo del área del barrido del rotor.....	75
5.7.12. Cálculo de la velocidad del alabe	77
5.7.13. Cálculo del torque del eje.....	78
5.7.14. Cálculo del dimensionamiento de las tapas del prototipo	78
5.7.15. Materiales para el prototipo.....	78
5.7.16. Cálculo de las fuerzas que trabajan sobre el alabe	79
5.7.17. Cálculo para el eje del rotor	81
5.7.18. Cálculo del análisis estático	83
5.7.19. Cálculo para el diseño de la estructura.....	84
5.8. Dimensionamiento del sistema eléctrico.....	85
5.8.1. Cálculo de la capacidad de almacenamiento de las baterías.....	85
5.8.2. Cálculo del inversor de corriente.....	86
5.8.3. Cálculo de potencia del aerogenerador.....	87
5.8.4. Cálculo del regulador de carga.....	87
5.8.5. Materiales	88
5.8.6. Esquema de conexión del sistema de iluminación	90
5.8.7. Diseño final de la luminaria eólica.....	90
5.9. Evaluación del sistema eólica mediante Simulink	92
5.9.1. Funcionamiento del sistema eólico	96
5.10. Análisis del modelo matemático	98
5.10.1. Ecuación de masa	99
5.10.2. Ecuación de momentum	99
5.10.3. Ecuación de la energía.....	100
5.11. Viabilidad del proyecto	103
5.11.1. Viabilidad económica.....	103
5.11.2. Viabilidad técnica.....	107
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	109
6.1. Conclusiones	109
6.2. Recomendaciones.....	109
7. BIBLIOGRAFIA	111
8. ANEXOS	116

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Anemómetros [10].	10
Figura 3.2. Partes principales de un aerogenerador Savonius [4].	13
Figura 3.3. Turbina tipo Darrieus [14].	14
Figura 3.4. Turbinas de eje Horizontal [14].	15
Figura 3.5. Aerogeneradores orientados a la dirección del viento [14].	15
Figura 3.6. Fuerzas de sustentación y resistencia sobre un alabe aerodinámico [15].	16
Figura 3.7. Características de Sustentación y Resistencia de los Alabes [15].	17
Figura 3.9. Perfil vertical de la rugocidad del viento [17].	20
Figura 3.10. Flujo de aire a través de una sección circular [6].	22
Figura 3.11. Turbina tipo Savonius [21].	24
Figura 3.12. Fuerza aerodinámica en la turbina Savonius [21].	24
Figura 3.13. Rotores tipo Savonius [16].	25
Figura 3.14. Corriente del aire en el alabe [15].	25
Figura 3.15. Flujo de aire en un alabe abierto [15].	26
Figura 3.16. Características del coeficiente de potencia y TSR [10].	27
Figura 3.17. Rotor tipo Savonius de arrastre [22].	28
Figura 3.18. Carga vs torque [24].	30
Figura 3.19. Tipos de configuraciones de rotores Savonius [25].	31
Figura 3.20. Coeficiente de potencia vs velocidad de rotores con distintas tapas [25].	31
Figura 3.21. Parámetros geométricos [16].	32
Figura 3.22. Movimiento de fuerzas de un alabe aerodinámico [22].	32
Figura 3.23. Rotor eje vertical [22].	34
Figura 3.24. Tipos de aerogeneradores de eje vertical [22].	34
Figura 3.25. Funcionamiento de una batería [30].	39
Figura 3.26. Tipos de Iluminación Exterior [32].	41
Figura 3.27. Angulo de deslumbramiento en un campo deportivo [38].	43
Figura 3.28. Deslumbramiento del portero en un campo de futbol [38].	44
Figura 3.29. Distancia mínimas entre los reflectores [3].	44
Figura 3.30. Reflector circulares [3].	46
Figura 3.31. Reflector rectangulares [3].	46
Figura 3.32. Reflectores en el campo deportivo [3].	47
Figura 3.33. Reflectores para iluminación de parques [39].	47
Figura 3.34. Lámparas tradicionales [39].	48
Figura 5.1. Ubicación del proyecto.	55
Figura 5.2. Media de velocidades mínimas y máximas del viento en m/s.	56
Figura 5.3. Dirección del viento de la zona.	57

Figura 5.4. Análisis del viento en Google Earth Pro.....	58
Figura 5.5. Coeficiente de distribución de Weibull.....	58
Figura 5.6. Distribución de Weibull.....	59
Figura 5.7. Medidas del campo deportivo.....	60
Figura 5.8. Altura y distancia mínima para la instalación de fuentes de luz.....	60
Figura 5.9. Distancia del poste del reflector en referencia a la línea de meta.....	61
Figura 5.10. Ubicación de las torres de iluminación.....	64
Figura 5.11. Campo deportivo.....	67
Figura 5.12. Luminosidad del campo deportivo.....	67
Figura 5.13. Escena exterior del campo deportivo.....	68
Figura 5.14. Diagrama del flujo luminoso en el campo deportivo.....	68
Figura 5.15. Energía vs velocidad del viento.....	71
Figura 5.16. Representación de la potencia que se obtiene.....	75
Figura 5.17. Parámetros geométricos de las aspas.....	76
Figura 5.18. Esquema de conexión del sistema.....	90
Figura 5.19. Diseño final en vista isométrica de la luminaria para el campo deportivo.....	91
Figura 5.20. Vistas del diseño final de la luminaria.....	91
Figura 5.21. Rotor del aerogenerador tipo Savonius.....	92
Figura 5.22. Control del rotor del aerogenerador.....	93
Figura 5.23. Sistema de control.....	93
Figura 5.24. Diseño del aerogenerador en 3D.....	94
Figura 5.25. Sensor de velocidad.....	94
Figura 5.26. Variación del potencial eólico por medio del sensor.....	95
Figura 5.27. Comunicación entre Matlab y Arduino.....	95
Figura 5.28. Diagrama de conexión de la tarjeta de datos del Arduino UNO.....	96
Figura 5.29. Conexión de los elementos.....	96
Figura 5.30. Potencial eólico que se está generando.....	97
Figura 5.31. Sistema con potencial eólico.....	97
Figura 5.32. Sistema sin potencial eólico.....	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Tipo de turbinas eólicas según la norma IEC 61400-1(Ed.3) [9].....	12
Tabla 3.2. Características de perfiles de diseño de alabes [15].....	18
Tabla 3.3. Ley del exponente de Hellmann [17].....	20
Tabla 3.4. Característica de las torres eólicas [22].....	36
Tabla 3.5. Factor de seguridad para la construcción de una estructura [28].	37
Tabla 3.6. Tipos de baterías [30].....	40
Tabla 3.7. Criterios para eventos no televisados [38].	45
Tabla 3.8. Reflectores de parqueo [39].	47
Tabla 3.9. reflectores <i>Metal Haliden</i> [39].....	48
Tabla 3.10. Criterios de iluminación para eventos no televisados [37].....	51
Tabla 5.1. Media anual de la velocidad del viento.....	56
Tabla 5.2. Características del campo deportivo.	62
Tabla 5.3. Características del reflector de 200 W de potencia [44].	63
Tabla 5.4. Demanda de energía eléctrica para el prototipo del sistema de iluminación.	65
Tabla 5.5. Característica de las luminarias utilizadas en la simulación [39].....	66
Tabla 5.6. Resultados del Sistema de Iluminación.....	69
Tabla 5.7. Energía cinética obtenida a diferentes velocidades del viento.	70
Tabla 5.8. Resultado de los parámetros del recurso eólico.	71
Tabla 5.9. Parámetros para el diseño del prototipo eólico.	72
Tabla 5.10. Potencia nominal a diferentes velocidades.....	75
Tabla 5.11. Parámetros geométricos del rotor.....	77
Tabla 5.12. Parámetros obtenidos de diseño de las aspas del rotor.....	79
Tabla 5.13. parámetros de diseño de las tapas del rotor.....	79
Tabla 5.14. Características del acero AISI-SAE 4340.	81
Tabla 5.15. Característica de las baterías [43].....	86
Tabla 5.16. Características del inversor [30].....	87
Tabla 5.17. Características del generador eólico para el sistema.	87
Tabla 5.18. Características del regulador de carga.....	88
Tabla 5.19. Lista de materiales para el prototipo.	89
Tabla 5.20. Potencia que puede entregar el prototipo.	98
Tabla 5.21. Costo de construcción.	104
Tabla 5.22. Consumo por año.	105
Tabla 5.23. Valor de la energía en los 10 años.....	105
Tabla 5.24. Periodo de Retorno.....	106
Tabla 5.25. Valor actual neto.	107

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título:

Determinación de los parámetros físicos para un prototipo de farola eólica de eje vertical orientado al alumbrado exterior, en el periodo 2021.

Tipo de Proyecto:

Propuesta Tecnológica.

Fecha de inicio:

Lunes 05 de abril del 2021

Fecha de finalización:

Miércoles 05 de agosto del 2021

Lugar de ejecución:

Simón Bolívar - El Chaupi – Mejía – Pichincha

Facultad que auspicia:

Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas (CIYA)

Carrera que auspicia:

Ingeniería Eléctrica en Sistemas Eléctricos de Potencia.

Proyecto de investigación vinculado:

Nueva investigación.

Equipo de trabajo:

Tutor: PhD. Secundino Marrero Ramírez

Estudiante: Segundo Anibal Santander Puli

Área de conocimiento:

07 ingeniería, Industria y Construcción / 071 Ingeniería y Profesiones Afines / 0713 Electricidad y Energía.

Línea de investigación:

Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

Sub líneas de investigación de la Carrera:

Control y optimización en el uso de la energía del sector industrial, comercial y residencial.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

La fuente de energía renovables se ha desarrollado de una manera muy rápida estos últimos años en el Ecuador, debido a que se puede generar energía eléctrica sin ningún costo, principalmente para cubrir demandas de energía en el sector residencial. El presente trabajo de tesis da a conocer los parámetros físicos que se debe tener cuenta para el diseño de un prototipo de farola eólica, el cual se utilizará para la iluminación exterior de una cancha de futbol, teniendo como prioridad aprovechar al máximo los recursos naturales que hay en la zona, ya sea esta como la velocidad del viento.

Las características de la fuerza de viento que hay en la zona, son adecuadas para este tipo de sistemas eólicos y por medio de estos poder generar energía eléctrica, por lo tanto, es necesario realizar un estudio donde se pueda encontrar una solución a todos los habitantes del Barrio Simón Bolívar Cantón Mejía Provincia de Pichincha, debido a que hay una gran preocupación por falta de energía eléctrica en el lugar y así los moradores del sector puedan desarrollar actividades físicas en el campo deportivo en horas de la noche sin ningún problema, seguidamente, se puede dar paso al estudio y análisis del potencial eólica y según los resultados que se obtenga poder saber si es adecuado el diseño de un sistema de generación por medio de una farola eólica, este proyecto brindara un beneficio a todos los moradores de la zona.

Con los resultados obtenidos del estudio potencial eólica, se determinará los parámetros y características de los equipos a considerar para el correcto funcionamiento del sistema eólico, los datos se analizarán en el periodo de 1 año y servirá para determinar la dirección, velocidad máxima y mínima del viento y también por medio de una simulación se demostrará los resultados del potencial eólico. La potencia total requerida para el alumbrado de la cancha deportiva es de 1600 W de demanda, en toda el área del campo deportivo hay 8 postes de luminarias, cada prototipo con una demanda de 200 W, para ello es importante conocer la velocidad promedio de viento y poder determinar si es óptimo implementar este tipo de proyecto en la zona para ayudar a solucionar los problemas de la sociedad.

2.2. EL PROBLEMA

2.2.1. Situación problemática

El principal problema de la humanidad en la actualidad es la contaminación ambiental, esto básicamente tiene que ver con el crecimiento de la población, el cual genera año tras año

perdidas de recursos y por ello es más difícil la generación de energía eléctrica, por lo tanto, es importante conocer nuevas formas de generar energías alternativas y especialmente que sean renovables. Es importante aprovechar todos los recursos de la energía eólica para la iluminación en exteriores, debido a que generar energía eléctrica sin ningún proceso ya sea esta de transformación o combustión, ayuda al medio ambiente en un alto porcentaje.

Hoy en día, el alumbrado en exteriores es primordial, debido a razones muy importantes como es la seguridad en calles, paradas de autobuses, pasos peatonales, vías, espacios públicos, campos deportivos, etc. por consiguiente, es necesario contar con un nivel de alumbrado mínimo requerido para evitar accidentes. Esto debido a que muchas veces al momento de caminar por una calle o en cualquier lugar que no cuente con una iluminación adecuada se puede sufrir lesiones graves en una caída, esto es ocasionado por irregularidades de la superficie de la calle, así mismo se evita violencias que hay en zonas que no cuenta con una iluminación adecuada y permanecen en la oscuridad total.

La necesidad de conocer nuevas formas para aprovechar al máximo el recurso eólico, es incentivar a crear nuevas propuestas tecnológicas para las futuras generaciones, por esta razón se propone analizar los parámetros físicos que ayuden a crear un prototipo de farola eólica de eje vertical, permitiendo esto conocer cuáles son los parámetros que influyen al momento de generar energía eléctrica para el alumbrado en exteriores, esto se llevara a cabo primero realizando un estudio previo de campo donde se podrá determinar las condiciones necesaria para el prototipo de la farola eólica, logrando así satisfacer una de las necesidades que se tienen e eliminado así el uso de energía eléctrica desde la red y por medio de esto también aportar al planeta con energías renovables y evitar la contaminación al medio ambiente.

2.2.2. Formulación del problema

La falta de energía eléctrica para el alumbrado en exteriores en zonas aisladas y la necesidad de aportar soluciones sostenibles en el uso de la energía para la iluminación, requiere determinar los parámetros físicos para el prototipo de una farola eólica de eje vertical y así aprovechar la velocidad del viento en el alumbrado de exteriores.

2.3. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

Aerogenerador de eje vertical / Generación de energía eléctrica orientado al alumbrado exterior.

2.4. BENEFICIARIOS

2.4.1. Beneficiarios directos

Los principales beneficiarios directos de esta propuesta tecnológica del prototipo de la farola eólica de eje vertical son los habitantes del sector.

2.4.2. Beneficiarios indirectos

Todas las personas que quieran ampliar sus conocimientos implementando este tipo de sistemas.

2.5. JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto está orientado en la generación alternativa de electricidad con la finalidad de generar energía eléctrica para alumbrados en exteriores y por medio de ello mejorar el estilo de vida de las personas en lugares que no cuenten con una luminaria adecuada, Una buena iluminación mejora totalmente el paisaje nocturno y sobre todo permite circular de una manera más segura en cuanto a los peligros que pueden presentarse por ausencia de luz.

Por medio de este proyecto tecnológico se ampliará los conocimientos técnicos y teóricos de las instalaciones de energía alternativas renovables, enfocándonos principalmente en determinar los parámetros físicos para el prototipo de una farola eólica de eje vertical y sus respectivos estudios de potencial energético que se podrá obtener bajo ciertas condiciones climatológicas de un determinado sector, permitiéndonos de esta manera dimensionar la energía que se podría llegar a producir para cubrir una cierta demanda eléctrica que se requiera.

La importancia de este estudio radica principalmente en determinar los diferentes parámetros que se requieren para un sistema de este tipo, donde su objetivo principal está en enseñar a las personas a ahorrar energía eléctrica usando nuevas tecnologías para contribuir con la vida del planeta y por medio de ello evitar usar recursos no renovables que con esto lo único que conseguimos es generar un mayor impacto ambiental y así poder dar un aporte al ecosistema utilizando por ejemplo iluminación LED, y a partir de esta investigación se pretende ayudar a terceras personas a implementar nuevas fuentes de energías renovables, siempre y cuando el tema esté relacionado con el estudio de esta índole, permitiendo tener una guía que ayude a mejorar su conocimiento en este tipo de tareas.

Este proyecto tiene como finalidad aprovechar este tipo de tecnologías renovables y autosustentables, debido a que no requiere de ningún gasto adicional y tampoco requiere dar mantenimiento en comparación a una red eléctrica.

2.6. HIPÓTESIS

El estudio del potencial eólico para un prototipo de farola eólica de eje vertical, permitirá establecer los parámetros de diseño y la generación eléctrica para cubrir la demanda de energía en un sistema de alumbrado de exteriores.

2.7. OBJETIVOS

2.7.1. General

Determinar los parámetros físicos para un prototipo de farola eólica de eje vertical, mediante el cálculo y simulación, para suministrar de energía eléctrica al alumbrado exterior de un campo deportivo del Barrio Simón Bolívar.

2.7.2. Específicos

Analizar por medio del estado del arte las características, elementos y requisitos de un prototipo de farola eólica de eje vertical para alumbrado de exteriores.

Determinar los parámetros físicos para las condiciones climáticas establecida en el sector mediante cálculos.

Diseñar el prototipo de una farola eólica de eje vertical donde se determinará las características de funcionamiento según los parámetros físicos obtenidos.

Evaluar la viabilidad técnica y económica de los componentes del diseño.

2.8. SISTEMA DE TAREAS

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Analizar por medio del estado del arte las características, elementos y requisitos de un prototipo de farola eólica de eje vertical para alumbrado de exteriores.	Indagación de los conceptos básicos de un sistema de generación eólica, a través de múltiples fuentes bibliográficas confiables.	Levantamiento de datos climatológicos. Evaluación del potencial eólico de la zona.	Investigaciones bibliográficas: Libros, tesis, artículos, revistas tecnológicas, normativas, informes técnicos, etc.
Determinar los parámetros físicos para las condiciones climáticas establecida en el sector.	Cálculo para determinar las condiciones de la farola, mediante la eficiencia eólica que haya en la zona.	Evaluación de la velocidad mínima y máxima del viento de cada mes durante 1 año. Evaluación de la velocidad promedio durante los 12 meses.	Tablas y anexos
Diseñar el prototipo de una farola eólica de eje vertical donde se determinará las características de funcionamiento según los parámetros físicos obtenidos.	Simulación en el software DIALux para determinar la potencia requerida. Diseño del sistema de generación.	Conocimiento de la demanda que genera el sistema eólico. Dimensionamiento del esquema.	Diseño en SolidWorks y anexos.
Evaluar la viabilidad técnica y económica de los componentes del diseño.	Simulación del sistema en Simulink. Simulación con un microcontrolador para el encendido de un foco.	comprobación del potencial eólico que está generando de acuerdo a la potencia eólica que hay en la zona.	Simulación y anexos

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1. ANTECEDENTES

La energía eólica es un recurso abundante en la tierra, y este tipo de proyectos permite aprovechar al máximo las energías renovables y reducir las emisiones que están presentes en el mundo por los gases de efecto invernadero y diversos contaminantes. El impacto del sistema eólico se minimiza en el ecosistema porque se utiliza energía limpia y es menos problemático que otras fuentes de energía.

Actualmente, los sistemas de generación de electricidad primaria, es decir no renovables, basados en el consumo de recursos naturales tienen una tasa de recuperación mucho más baja que la tasa de consumo actual y se suman al problema energético actual, los recursos ahora se agotarán mucho más rápido para un futuro no muy lejano [1].

La turbina tipo Savonius fue inventado por el finlandés en el año de 1922 y patentado en 1924. Consta de dos mitades del mismo diámetro, con ejes paralelos acoplados al eje de rotación y espaciados entre sí, la fuerza que ejerce el viento sobre el cóncavo y el convexo es diferente haciendo que el conjunto gire alrededor del eje [2].

El propósito de la iluminación de las instalaciones deportivas interiores y exteriores es proporcionar, un entorno adecuado para que los deportistas y el público en general practiquen deportes. Lógicamente, los requisitos dependen del tipo de instalación, es decir, entretenimiento o competición y del nivel de categoría del evento, ya sea este amateur, profesional o televisión [3].

Tanto en Europa, especialmente en Francia, los Países Bajos, el Reino Unido, como en la civilización árabe, es donde el desarrollo de las turbinas eólicas se llevó a cabo de forma independiente, su uso principal es el bombeo y es utilizado para moler granos [4].

Como país rico en recursos energéticos renovables, Ecuador siempre ha dependido de los combustibles fósiles como fuente de energía. El gobierno apunta a revertir esta tendencia para 2021 con un cambio radical en la matriz energética, donde las energías renovables representan alrededor del 2% de la producción total de energía [5].

Destacan países como China, Ecuador, Brasil, Sudáfrica e Indonesia y se están desarrollando planes y programas de instalaciones eléctricas para energía eólica. China es uno de los países con mayor número de aerogeneradores instalados y mayor capacidad en potencia en el mundo [6].

Desde la antigüedad, la fuerza del viento se ha utilizado para el bien del hombre, principalmente en barcos y fábricas. Estos aparatos básicos que se originaron en Egipto para atrapar el viento y por medio de esto tener un beneficio. El diseño tradicional es los molinos de viento y que fue popular en los países de Europa [7].

En Ecuador, un estudio argumenta que el tema energético se convertirá en un territorio estratégico para el gobierno ecuatoriano, ya que los ecosistemas son actualmente los más afectados por los sistemas de generación eléctrica existentes en el país y que generan una alta contaminación al medio ambiente. Dado esto se han desarrollado muchos proyectos para solucionar el problema de la generación de energía, principalmente enfocados al sector hidroeléctrico, como es el caso de la central hidroeléctrica coca codo Sinclair [8].

3.2. ENERGIA EÓLICA

El concepto actual de energía eólica se basa en la transformación de la energía cinética del viento en energía eléctrica mediante el uso de aerogeneradores, que consisten básicamente en un rotor que mueve un eje, el cual, mediante un generador origina electricidad. Actualmente los modelos de turbinas cada día son mucho más precisos, por ende, también más eficientes y de mayor tamaño para poder obtener una mayor potencia [9].

3.2.1. Ventajas

(a) Inagotable y limpia

Las energías renovables se definen como una fuente inagotable de energía, esto debido a que no consume ni contamina el medio ambiente y además se puede obtener de varias maneras permitiendo el desarrollo sostenible y el beneficio al ecosistema. La corriente del viento es originada por la presión atmosférica que hay entre dos puntos, puesto que uno de los responsables de este cambio es el sol [9].

(b) Ínfimo impacto al terreno circundante

Una de las ventajas más importantes de este tipo de proyectos es que se puede aprovechar el terreno para generar nuevas fuentes de energías renovables y seguir aportando al medio ambiente. Para ello es importante que las plantas de las centrales eléctricas que utilizan combustibles fósiles estén alejadas, ya que las emisiones producidas son dañinas para los seres vivos. Otra ventaja de este tipo de sistemas eólicos es la rápida instalación del aerogenerador,

pues casi todos los componentes son prefabricados, solo es necesario adaptarse al terreno, transportarlos y las herramientas necesarias para su implementación [9].

(c) Genera puestos de trabajo

Sin duda este tipo proyectos genera múltiples fuentes de trabajo, debido a que se necesita de una amplia investigación bibliográfica para el diseño de un sistema eólico que permita operar de una manera eficiente.

(d) Ingresos para empresas o propietarios locales

El área en que se vaya a realizar la construcción, requiere de una preparación previa y un análisis detallado de la ubicación de los cables o el tipo de cimientos que vayan a ir en el punto.

3.2.2. Desventajas

Según [9] las principales desventajas que tiene estas energías eólicas es el impacto, ruido y el área, esto depende del tipo de turbina que se vaya a implementar.

(a) Impacto visual

Debido a la gran altura y envergadura de estas máquinas, visibles desde grandes distancias, muchos colectivos han denunciado el deterioro visual y las repercusiones que ello supone a los intereses de la zona afectada.

(b) Ruido

Una de las desventajas más importantes que tiene este tipo proyectos eólicos es causado por las palas del aerogenerador o conocido también como aeroturbinas, debido al movimiento que estas generan causan ruido y muchas veces es perjudicial, esto suele suceder porque muchas veces no se toma en cuenta los datos técnicos de los equipos.

(c) Ocupación de suelo

En el Ecuador la energía eólica está siendo aprovechado muy poco, esto debido a que instalar un central es bastante caro y requiere de un estudio muy profundo para poder determinar la zona más eficiente y así aprovechar el potencial eólico al máximo. En la actualidad la central más representativa y de mayor potencia que aporta en el país es la central Villonaco ubicado en la Provincia de Loja. Dado que este tipo de proyectos requieren de un área de construcción mayor en comparación con los aerogeneradores de baja velocidad [9].

3.2.3. Medida del viento

En la Figura 3.1 se puede ver el instrumento llamado anemómetro que sirve para medir el flujo del aire, con este equipo se puede medir la dirección de los vientos, debido a los cambios de las propiedades de la atmosfera, esto depende también de las condiciones ambientales que haya en la zona.



(a) Anemómetro de cazoletas.



(b) Anemómetro de veleta.

Figura 3.1. Anemómetros [10].

3.2.4. Distribución de frecuencias

Según [9] las diferentes velocidades del viento que existen en un año deben analizarse mediante distribuciones de probabilidad, a partir de las cuales se puede obtener la distribución de Weibull para comprender la velocidad máxima que hay en un determinado período de tiempo.

$$p(V_0) = \left(\frac{k}{c}\right) \cdot \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{V_{prom}}{c}\right)^k\right] \quad (3.1)$$

$$p_w(V_0) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{v_{prom}}{c}\right)^k\right] \quad (3.2)$$

donde $p(v_0)$ es la función de densidad de probabilidad de Weibull, $p_w(V_0)$ es la función de distribución acumulada de Weibull, v_{prom} es la velocidad del viento, c es el parámetro de escala de la función de Weibull y k es el parámetro de forma de la función de Weibull. El parámetro de forma k no tiene unidades y se puede obtener de la siguiente manera:

$$k = \left(\frac{\sigma}{v_{prom}} \right) \quad (3.3)$$

En este caso sigma σ es la desviación estándar obtenida a partir de la gráfica de la velocidad con respecto al tiempo. Para el factor de escala, las unidades son las mismas de la velocidad que para este caso es en m/s y está dada así [12] [11].

$$C = \frac{v_{promedio}}{\left(\gamma \cdot \left(1 + \frac{1}{k} \right) \right)} \quad (3.4)$$

donde C parámetro de escala, v_{prom} representa a la velocidad promedio del viento, k es la forma de función de Weibull.

La distribución de Weibull permite conocer cuáles son las horas en que predomina una u otra velocidad mediante la probabilidad y la velocidad del viento. También es necesario conocer la ecuación de la línea de tendencia y a partir del ajuste de regresión se realiza los cálculos para la distribución de Weibull.

3.3. AEROGENERADORES

Un aerogenerador es aquella que permite aprovechar la velocidad del viento para convertirla en energía mecánica, esto es posible a través del movimiento de las palas y las revoluciones por minuto que tiene en el giro, para ello es necesario tener una velocidad promedio constante y como consecuencia de la velocidad rotor que se tenga se logra obtener la energía eléctrica. En términos generales, un aerogenerador eólico toma la energía cinética contenida en el viento y la transforma en energía eléctrica [12].

3.3.1. Clase de aerogeneradores

Un aerogenerador se caracteriza por tener la capacidad de transformar la energía cinética en energía mecánica, para este proceso existe dos clases principales, cada una se caracteriza por la eficiencia que tiene:

- (a) Turbina de eje vertical.
- (b) Turbina de eje horizontal.

Los diferentes tipos se definen en términos de velocidad del viento o parámetros de turbulencia, por lo tanto, dependen de la ubicación del aerogenerador. Cada tipo cubre varias ubicaciones posibles donde se puede instalar, en la Tabla 3.1 indica la clasificación basada en los parámetros básicos dependiendo de la altura del buje. Las categorías I, II y III no están destinadas a cubrir condiciones extremas [9].

Tabla 3.1. Tipo de turbinas eólicas según la norma IEC 61400-1(Ed.3) [9].

Clase	I	II	III	S
$V_{ref}(m/s)$	50	42,50	37,50	Valores especificados por el diseñador
A $I_{ref}(-)$	0,16			
B $I_{ref}(-)$	0,14			
C $I_{ref}(-)$	0,12			

donde V_{ref} , es la velocidad de referencia del viento a la altura del buje promediado en un periodo de 10 minutos, I_{ref} , representa valor esperado de intensidad de turbulencia a la altura del buje en un periodo de 10 minutos para una velocidad promedio del viento de 15 m/s, A viene siendo la categoría para características de turbulencia alta, B para turbulencia media y C para turbulencia baja. Para las clases desde la I hasta la III la vida útil de diseño debe ser de al menos 20 años [9].

Los aerogeneradores deben soportar condiciones extremas para garantizar su funcionamiento, dando que hay variaciones dependiendo del estado del clima que haya y de acuerdo a ello se puede realizar un diseño optimo que garantice y soporte este tipo de precipitaciones.

3.3.2. Turbinas de eje vertical

Denominadas VAWT (*Vertical Axis Wind Turbine*) por su sigla en inglés, Este tipo de aerogeneradores se caracterizan por su eje vertical, cuenta con ventajas muy importantes a diferencia de los demás, debido a que no tienen esfuerzos mecánicos en sus palas al momento de la orientación, también con este tipo de aerogeneradores se evita cualquier fallo o desconexión, esto por su puesto debido a que en algunos lugares se tiene una buena velocidad de viento y muchas veces por esa turbulencia hay inconvenientes en el sistema de generación.

Habitualmente se conocen tres turbinas de este tipo como es el Savonius, Darrieus y el Giromill [12].

a) Turbina Savonius

Está formada por dos palas que corresponden a dos mitades de un cilindro cortado en la mitad. Su sencilla construcción y capacidad para operar a bajos vientos, facilita su implementación. La turbina Savonius es considerada de baja velocidad, su eficiencia es la mitad de la turbina Darrieus, también cabe recalcar que las dos son turbinas bases, es decir son las más antiguas en lo que se refiere a las de eje vertical y a partir de estas se han ido modificando a varios modelos hoy en día. Este tipo de turbinas son muy utilizadas para alumbrados en exteriores, ya se estas como parques, jardines, alumbrados publico etc. Así mismo tiene una eficiencia baja entre 10 a 15% [13].

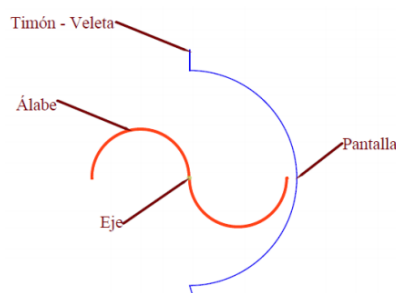


Figura 3.2. Partes principales de un aerogenerador Savonius [4].

- Álabes o cazoletas: Parte que aprovecha el empuje del viento, para hacer girar el aerogenerador.
- Eje: Parte alrededor del cual rotan los álabes.
- Pantalla: Evita la acción del viento sobre la zona posterior del alabe, para disminuir la fuerza de arrastre que se opone al movimiento.
- Timón-Veleta: Permite la alineación de la dirección del viento [4].

b) Turbina Darrieus

Consiste en dos o más palas, que están dispuestas de manera similar a una cuerda unida a su extremo, las turbinas Darrieus tienden a detenerse con vientos fuertes. Una de las desventajas que tiene este tipo de turbinas de eje vertical es que trabajan a bajas velocidades, pero como principales ventajas es que pueden trabajar a bajas alturas y son silenciosas en relación a las turbinas de eje horizontales y tiene una eficiencia moderada aproximadamente de un 30% [13].



Figura 3.3. Turbina tipo Darrieus [14].

3.3.3. Turbinas de eje Horizontal

Son aquellos en los que el eje de rotación del equipo se encuentra paralelo al piso. Los aerogeneradores horizontales tienen su eje de rotación principal en la parte superior de una torre y necesitan un mecanismo de orientación para hacer frente a los cambios bruscos en la dirección del viento. Este tipo de turbinas generan mucho ruido, pero se debe aclarar que esto depende de las dimensiones del rotor y otra de las características es que son muy robustas en comparación con las del eje vertical su eficiencia es alta y oscila entre 45 a 50% [14].

a) El número de palas empleado en tripala, bipala y monopala.

El más común es el uso del diseño tripala, que a menudo se conoce como el modelo danés debido a su origen. Esto se debe a que, en condiciones dinámicas, su configuración no perjudica en la estabilidad estructural de la turbina, en estas condiciones, sus palas se consideran discos giratorios en términos de diseño de torres [12].

En una estructura de una o dos palas, existe el problema de que se requiere una velocidad más alta para generar la misma energía que una turbina tripala. Las características que tienen este tipo de turbinas es que trabajan a mayores velocidades del viento, cuando se tiene una bipala significa que se tiene velocidades en un rango de 15 a 20 m/s como velocidades predominantes, esta es una de las formas de seleccionar una turbina de eje vertical, atendiendo principalmente a las velocidades que existen en la zona.



a) Monopala.

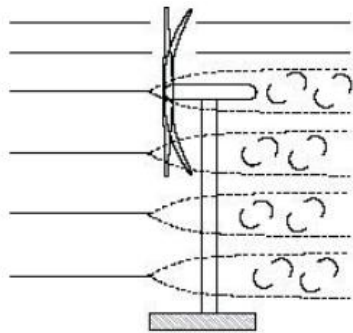
b) Bipala.

c) Tripala.

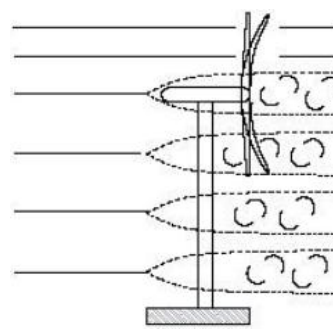
Figura 3.4. Turbinas de eje Horizontal [14].

b) La orientación respecto a la dirección dominante del viento.

Las opciones para disponer una turbina eólica para capturar energía eólica son contra viento, donde el viento entra por la parte delantera de las aspas, y sotavento, donde el viento viene de la parte trasera de la turbina eólica. El tipo de turbina más comúnmente utilizado es el de las aspas que están en contra del viento, donde el flujo de aire choca completamente con la turbina sin obstrucciones, como en una configuración de sotavento que interfiere con el flujo eólico recibida por la cola o góndola en el tubo de la turbina [12].



a) Esquema de un aerogenerador orientado a barlovento.



b) Esquema de un aerogenerador orientado a sotavento.

Figura 3.5. Aerogeneradores orientados a la dirección del viento [14].

La dimension de los radios de este tipo de turbinas han ido creciendo considerablemente mientras se ha ido desarrollando tecnologías en la fabricación de los aerogeneradore, hoy en día se llega a diámetros considerables que son capaces de generar una potencia por encima de los 2 MW.

3.3.4. Sistemas aerodinámicos

En un álabe con perfil alar, el aire que fluye sobre él, origina dos fuerzas: una de sustentación o elevación (*Lift*) y otra de resistencia al desplazamiento (*Drag*). La sustentación se mide utilizando la ley de Betz, donde indica que se construyen en una dirección perpendicular a la dirección de la corriente del aire. Asimismo, la de resistencia o *Drag* por la dirección paralela al flujo de aire [15]. La Figura 3.6 indica claramente lo expresado.

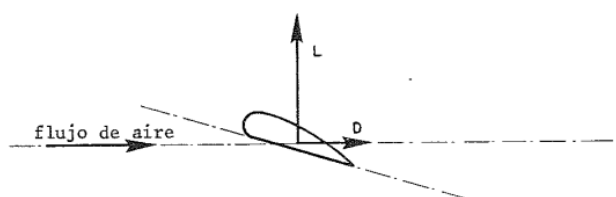


Figura 3.6. Fuerzas de sustentación y resistencia sobre un alabe aerodinámico [15].

El frenado aerodinámico en el aerogenerador se lo realiza a través del ángulo que se le puede dar a la pala, es muy similar a lo que se puede ver en las alas de un avión cuando está aterrizando y quiere disminuir la velocidad comienza a moverlos en un ángulo determinado, de forma similar se hace el frenado aerodinámico en los aerogeneradores. Para calcular las fuerzas de sustentación y de resistencia una placa se emplean las siguientes expresiones:

$$L = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A \cdot C_L \quad (3.5)$$

$$D = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A \cdot C_D \quad (3.6)$$

donde L es la fuerza de sustentación, D representa la fuerza de resistencia, ρ viene siendo la densidad del aire, v es la velocidad del aire, A representa el área del alabe, C_L coeficiente de sustentación y C_D es el coeficiente de resistencia.

Dado que las formas o perfiles aerodinámico tienden a trabajar con una resistencia de arrastre en el eje (x) y con una resistencia de sustentación en el (y) y en base a las dimensiones en L y D , Esto permite obtener un coeficiente contiguo [15].

$$C_L = \frac{L}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A} \quad (3.7)$$

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A} \quad (3.8)$$

Tal como se mencionó anteriormente, las magnitudes de las fuerzas de sustentación y de resistencia dependen del ángulo de ataque. Esta dependencia se representa gráficamente mediante los coeficientes C_L y C_D en función de α [15]. Las ecuaciones 3.7 y 3.8 representan los coeficientes aerodinámicos, es decir son el comportamiento que tiene que ver con respecto a la geometría al momento de su construcción.

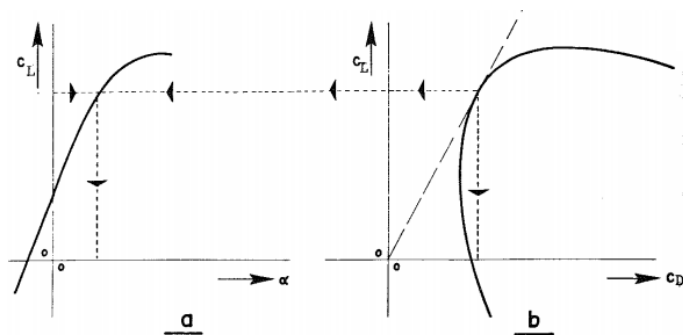
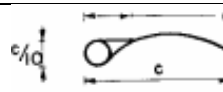

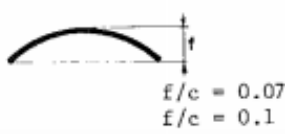
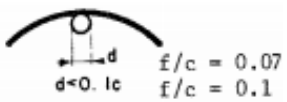
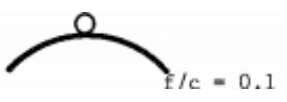
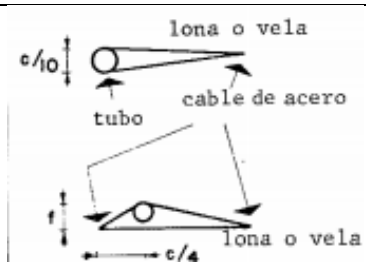


Figura 3.7. Características de Sustentación y Resistencia de los Alabes [15].

Al diseñar los alabes del rotor, es importante conocer los valores del coeficiente de sustentación y α correspondientes a la relación mínima del coeficiente de arrastre y el coeficiente de sustentación. Las curvas polares de coeficiente de arrastres entre el coeficiente de sustentación se obtiene del punto tangencial de la línea que pasa por el origen de coordenadas, dado que esto determina el par de valor mínimo como se puede ver en la Figura 3.7 (b), de la misma forma usando el coeficiente de sustentación obtenido se logra la función del ángulo y mediante esto se obtiene el valor del ángulo de ataque del diseño como se ve en la Figura 3.7 (a) [15].

Tabla 3.2. Características de perfiles de diseño de alabes [15].

Nombre del perfil	Descripción geométrica	$(C_D/C_L)_{min}$	α^0	C_L
Mástil y vela		0,10	5	0,80
Placa de acero plana		0,10	4	0,40
Placa de acero arqueada		0,02 0,02	4 3	0,90 1,25
Placa de acero arqueada con un tubo en el lado cóncavo		0,05 0,05	5 4	0,90 1,10
Placa de acero arqueada con un tubo en el lado convexo		0,20	14	1,25
Vela de navegación de dos faces $\frac{f}{c} = 0,1$ $d_{tubo} = 0,6f$		0,50	2	1,00

En la Tabla 3.2, puede ver diferentes configuraciones aerodinámicas que le permiten ver la relación entre diferentes geometrías, en base al coeficiente de arrastre y el coeficiente de sustentación.



Figura 3.8. Cuerda del Perfil y Angulo de Ataque [15].

El ángulo de ataque, es el ángulo que se forma entre la cuerda del perfil aerodinámico y la dirección del viento, es muy importante saber que, dependiendo del ángulo de ataque, las fuerzas de arrastre y sustentación varían [15].

Las características de los perfiles aerodinámicos son importantes, porque dependiendo de la velocidad del viento que haya se puede conocer la velocidad de giro y las fuerzas involucradas, esto lo que permite es encontrar el mejor rendimiento del sistema eólico y por supuesto tener una mayor eficiencia, para esto se requiere conocer las fuerzas de arrastre y la fuerza de sustentación.

3.3.5. Ley de Betz

La ley de Betz fue formulada por el físico alemán Albert Betz en 1919. El límite de Betz permite conocer la eficiencia que tiene una turbina eólica en relación a otras, dando que las turbinas de eje vertical no son tan eficientes, se tiene un rendimiento de hasta de un 30% sobre el límite de Betz y trabajan a bajas velocidades, por otra parte, las más eficientes y las que más se acercan a este límite son las de eje horizontal, dado que trabajan a velocidad altas un 40 a 50% sobre el límite de Betz que es igual a 0,59 [16].

3.3.6. Ley exponencial de Hellmann

La ley de Hellman, permite calcular la velocidad de viento, dependiendo de la altura y el tipo de suelo que se tenga, la ecuación es de tipo estadístico [17]. Esta ley lo que permite es conocer la velocidad del viento que haya a una altura determinada.

$$v = v_0 \cdot \left(\frac{h}{h_0}\right)^\alpha \quad (3.9)$$

donde v representa la velocidad del viento, v_0 es la velocidad del viento de la zona en metros, h es la altura del aerogenerador, h_0 viene siendo la altura del anemómetro con respecto a la zona de referencia, α representa la exponente de Hellmann que varía con la rugosidad del terreno, y cuyos valores viene indicado en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Ley del exponente de Hellmann [17].

Lugares llanos con hielo o hierva	$\alpha = 0,08-0,12$
Lugares llanos mar, costa	$\alpha = 0,14$
Terrenos poco accidentados	$\alpha = 0,13-0,16$
Zonas rusticas	$\alpha = 0,2$
Terrenos accidentados o bosques	$\alpha = 0,2-0,26$
Terrenos muy accidentados y ciudades	$\alpha = 0,25-0,4$

3.3.7. Rugosidad del terreno

A menudo se utiliza un método simple y directo para obtener el parámetro del coeficiente de rugosidad α debido a la complejidad de muchos factores que intervienen, dado que los datos en cada zona son diferentes, se calculará usando diferentes métodos para comprobar el error del cálculo [17]. La rugosidad del terreno tiene una relación con la velocidad promedio que se tiene anualmente.

$$\alpha = \frac{0,37 - 0,088 \cdot \ln \cdot v_o}{1 - 0,088 \cdot \ln \frac{h_0}{10}} \tag{3.10}$$

donde α es el coeficiente de rugosidad, v_o representa la velocidad promedio del viento y h_0 es la altura del anemómetro con respecto a la zona de referencia.

Las turbinas eólicas comienzan a una velocidad de viento específica y proporcionan la máxima potencia a velocidades superiores a un voltaje nominal específico. Las curvas de velocidad y tiempo tienden a aplanarse a medida que aumenta la duración del viento a una velocidad promedio en la que este [17].

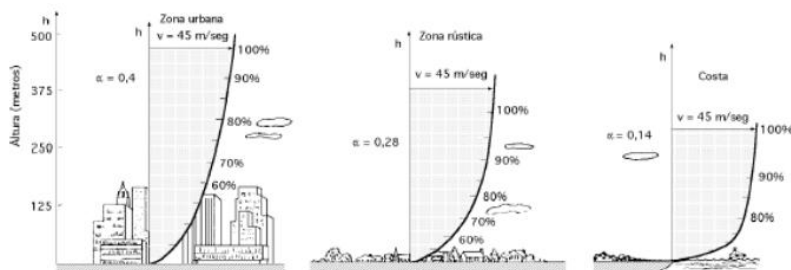


Figura 3.9. Perfil vertical de la rugosidad del viento [17].

En la Figura 3.9 las velocidades del viento son las mismas, pero la rugosidad depende del terreno, como se muestra en la Tabla 3.3.

3.3.8. Potencia del viento

La energía cinética, es la energía que tienen los objetos debido a su movimiento, esta varía dependiendo de la velocidad del viento.

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v \quad \left[\frac{kgm^2}{s^2} \right] \quad (3.11)$$

donde E es la energía cinética, m viene siendo la masa y v es la velocidad del viento.

Es importante conocer que la unidad de $\left[\frac{kgm^2}{s^2} \right]$, se llama Joules.

La energía del viento es energía cinética, normalmente el objetivo es transformar la energía cinética en energía mecánica o energía eléctrica.

Si la densidad del aire es ρ , entonces la energía cinética por volumen del aire con velocidad es:

$$E_v = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \quad (3.12)$$

Con el potencial eólico se puede determinar la potencia del aerogenerador, para ello hay que tomar en cuenta parámetros básicos como es la velocidad y la dirección del viento; así como la temperatura y la presión atmosférica, dado que es importante el lugar donde se vaya implementar el prototipo ya que depende mucho de la altura en la zona. El flujo eólico permite obtener toda la potencia creada por el movimiento de las palas o aspas, por lo que el generador se puede calcular mediante la ecuación (3.9).

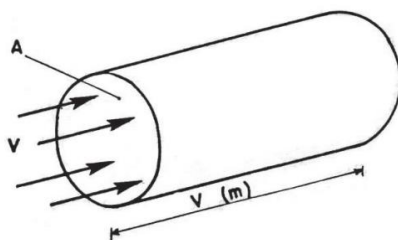


Figura 3.10. Flujo de aire a través de una sección circular [6].

En la Figura 3.10 se puede ver que la velocidad que ingresa es constante, esto básicamente depende de del área que haya, en cuanto mayor área tenga mayor será la energía cinética que se genere. La potencia de este flujo de aire a través de A, es el flujo de energía cinética por unidad de tiempo.

$$P_n = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \cdot A \quad [\text{W}] \quad (3.13)$$

donde P representa la potencia, ρ es la densidad del aire, v es conocida como la velocidad del viento y A viene siendo el área perpendicular.

3.3.9. Velocidad de giro

Mediante la ley de Betz, el coeficiente de potencia no debe exceder un valor de 0.59, al mismo tiempo otra variable clave que determina la potencia y la eficiencia del aerogenerador es la velocidad definida del viento, conocida como *Tip Speed Ratio* que tiene una relación lineal del extremo de las aspas y el flujo del viento [18].

$$\omega = \frac{\text{TSR} \cdot v}{r} \quad [\text{rad/s}] \quad (3.14)$$

$$\eta = \frac{v}{2 \cdot \pi \cdot r} \quad [\text{Seg.}] \quad (3.15)$$

$$\eta = \frac{v}{2 \cdot \pi \cdot r} \cdot 60 \quad [\text{min.}] \quad (3.16)$$

donde v representa la velocidad del viento, r es el radio y π es (3.1419).

La velocidad de giro de un aerogenerador eólico tiene que ver con aspectos como el material con que este diseñado, dado que, si tiene un peso considerable y tiene muchas cargas mecánicas, entonces como resultado se tendrá un menor RPM y si eficiencia obviamente se disminuirá. Según [19]. Para determinar la velocidad de rotación del sistema eólico, puede calcularla mediante la siguiente fórmula.

$$\eta = \frac{(60 \cdot \lambda \cdot v)}{(\pi \cdot D)} \quad (3.17)$$

donde η es el numero de revoluciones por minuto (rpm), λ se llama velocidad específica, este factor depende del tipo de eólica (rápida o lenta), puede tener un valor comprendido entre aproximadamente 1 y 14, v es la velocidad del viento y D viene siendo el diámetro de la eólica en metros.

3.3.10. Densidad del aire

La densidad del aire depende de algunas características como temperatura y presión. Este parámetro es uno de los más importantes para los propósitos de uso de la energía eólica, puesto que, a mayor densidad, mayor energía del viento. Se observa como el viento tiene varias características especiales lo que hace complicado entender su comportamiento, pues no presenta una conducta continua o similar en todo momento [20].

La densidad varia constante mente dependiendo del lugar, por ejemplo, no es lo mismo tener un aerogenerador instalado al nivel del mar como en una montaña, esto depende a de la presión y la densidad del aire y a partir de esto se obtiene la energía cinética, es decir hay que tomar la densidad del aire con respecto a la altura donde este vaya a trabajar.

$$\rho = \frac{P}{R \cdot T} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \quad (3.18)$$

dónde ρ es la densidad del aire, P vienes siendo la presión, R representa la constante específica del aire y T es la temperatura.

3.4. GENERALIDADES PARA EL PROTOTIPO DEL AEROGENERADO TIPO SAVONIUS

Este tipo de aerogenerador puede funcionar a corrientes de viento muy bajas debido a la diferencia del coeficiente resistencia C_D que existe entre los dos semicírculos, debido a sus características aerodinámicas, presenta un excelente rendimiento en el instante del inicio y en la autorregulación [16].

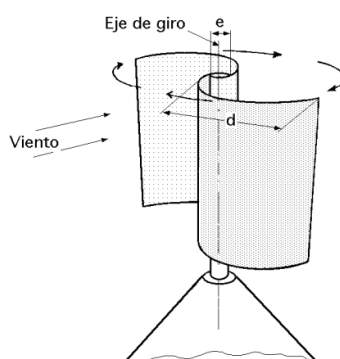


Figura 3.11. Turbina tipo Savonius [21].

En la Figura 3.11 se puede observar que llega un viento con una velocidad determinada hacia el frente de una pala, de tal manera que el aire va a generar una presión, en la otra pala se tiene una presión en contra, pero esta presión será menor, debido a que está en contra de la dirección de giro del aerogenerador, es decir que la pala superior va a ejercer una fuerza mayor que la pala inferior, este tipo de choque de fuerzas va a generar un giro y consecuentemente un rpm.

3.4.1. Rotor Savonius

Hasta la actualidad existen múltiples diseños desarrollados a partir del diseño original que mejoran la eficiencia del dispositivo, estos varían de acuerdo al número de álabes, ángulo entre ellos, número de módulos que presente el rotor, distancia existente entre las aspas y el eje del rotor, la longitud y forma de los álabes [16].

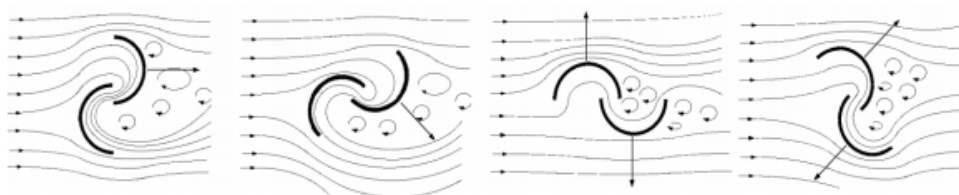


Figura 3.12. Fuerza aerodinámica en la turbina Savonius [21].

La fuerza que se genera en la punta de los alabes es debido a la presión, donde el aire viene con una velocidad determinada que choca con el alabe, donde se genera una zona de alta presión y ahí el flujo del aire trata de ir por los lados como se puede ver en la Figura 3.12 provocando el giro de la turbina eólica. Se aprecia que el viento actúa sobre las dos superficies, pero el arrastre diferencial producido genera el giro del rotor. Para este ejemplo se visualiza una turbina con cantidad par de aspas, pero también podría diseñarse en cantidad de aspas impares [21].

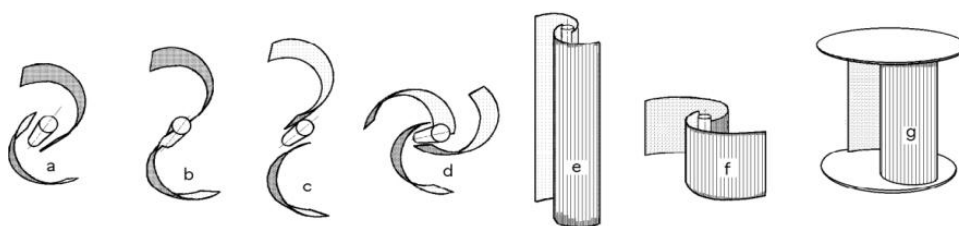


Figura 3.13. Rotores tipo Savonius [16].

En la Figura 3.13 se puede prestar atención a las diferentes configuraciones de rotores, que puede tener un aerogenerador con dos alabes.

3.4.2. Principios de operación de un rotor Savonius

Dentro del movimiento es trascendental tener en cuenta las destrezas de los alabes, para ello se tiene dos tipos de disposiciones, nombradas a continuación.

(a) Alabe cerrado

En la Figura 3.14 la circulación de los flujos de aire está prácticamente frente a la dirección del viento, esta circulación crea un vacío parcial en el lado del viento debajo de la pala que se mueve en dirección de la corriente del viento [15].

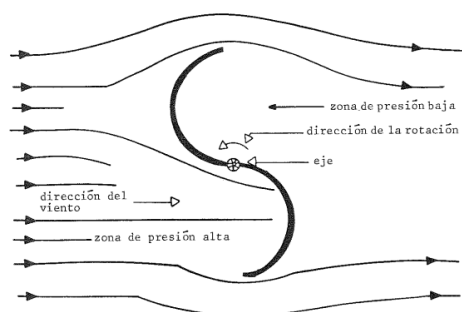


Figura 3.14. Corriente del aire en el alabe [15].

Este tipo de aerogenerador tiene la ventaja de que el aire pega en la paleta que esta hacia la cara del flujo del aire, de acuerdo a eso una parte del aire se va o se atrapa en la cara que esta directo con el viento y a partir de esa fuerza se genera el movimiento como se puede ver en la Figura 3.14.

(b) Alabe abierto

Para un sistema más eficiente se puede diseñar como esta en la Figura 3.15, con dos caras semicirculares en una dirección contraria a fin de que exista una fuga de presión que se va hacia la paleta contraria de manera que la presión que genera la corriente del aire resultante ayuda a tener un giro más eficiente y vigoroso [15].

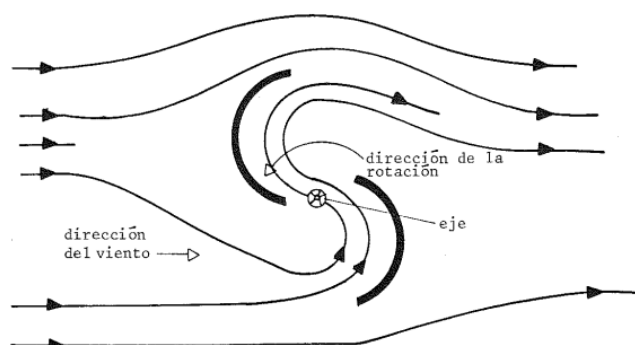


Figura 3.15. Flujo de aire en un alabe abierto [15].

3.4.3. Coeficiente de potencia

Utilice la Figura 3.16 Para comprender que las turbinas eólicas se pueden seleccionar en función de la velocidad actual de la región y el coeficiente de potencia máximo que tiene el aerogenerador Savonius es 0.2 por ende se puede considerar a este tipo de maquina como una de baja eficiencia en comparación con las otras turbina, mientras tanto la de una, dos y tres paletas, como resultado se tiene que se incrementa la velocidad de trabajo y se acerca más a la curva del límite de Betz, que sería prácticamente tener un rendimiento ideal [10].

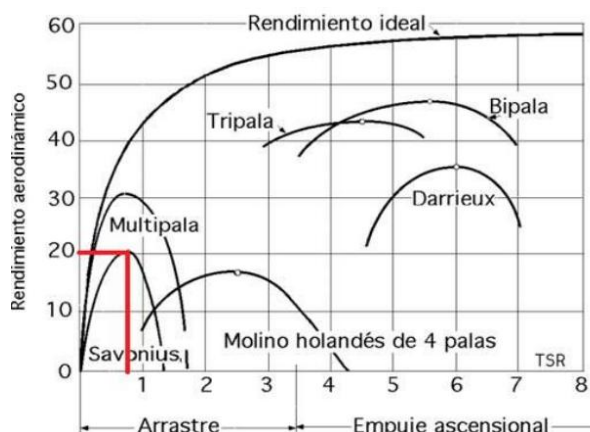


Figura 3.16. Características del coeficiente de potencia y TSR [10].

3.4.4. Potencia extraída

La suma de energía que una turbina eólica puede convertir en energía eléctrica depende de la corriente del viento que hay en la zona. Por tanto, la potencia total en MW a extraer viene dada por la fórmula (3.19). La potencia total extraída varía dependiendo del coeficiente de potencia y el tipo de turbina que se tenga, además del flujo de viento que atraviese por el área del rotor [16].

$$P_e = \eta_m \cdot \eta_e \cdot C_p \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (3.19)$$

donde P_e representa a la potencia total extraída, η_m es la eficiencia mecánica, η_e viene siendo la eficiencia eléctrica, C_p coeficiente de potencia, v es la velocidad del viento, ρ es la densidad del aire.

3.4.5. Arrastre diferencial del rotor Savonius

La maniobra de este rotor se basa en la diferente fuerza aerodinámica que ejerce una corriente de aire sobre cuerpos de distinta forma, dado que esta fuerza viene dada por [22].

$$F = C \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot w^2 \right) \quad (3.20)$$

donde F es la fuerza aerodinámica, C es el coeficiente aerodinámico (depende de la geometría del objeto), ρ densidad del aire, A expresa el área de la sección transversal que presenta el cuerpo al flujo de aire, w es la velocidad relativa del aire respecto al objeto.

El aerogenerador de tipo Savonius se puede analizar como una hélice semiesférica o semicilíndrica en forma de copa, similar a un instrumento de medida como el anemómetro de copa, como se muestra en la Figura 3.17 dado que esto sucede debido a la acción del viento que se generan a diferentes fuerzas en las partes cóncavas y convexas de la copa, creando un par de fuerzas que hacen girar el rotor. Por eso, este tipo de rotor se considera de arrastre [22].

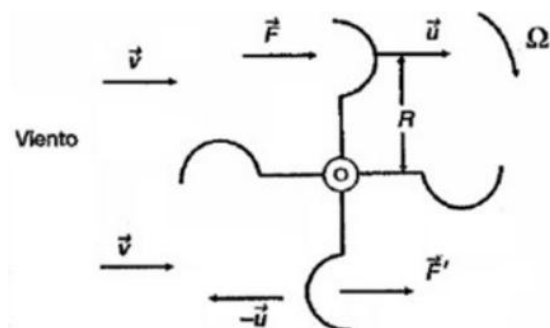


Figura 3.17. Rotor tipo Savonius de arrastre [22].

El rotor gira a una velocidad de rotación en ohmios y el centro de gravedad de la losa está a un radio determinado del centro de rotación y tiene una velocidad lineal. Por consiguiente, la velocidad absoluta es igual a la rotación por el diámetro como se puede determinar en la Figura 3.17 [22].

3.4.6. Rotor

El dimensionamiento del rotor se basa en la corriente nominal del aire y la potencia en MW total que debe entregar el aerogenerador, teniendo en cuenta las medidas de entrada, con el fin de que se aplique la ley de Betz donde indica que es inadmisibles que un sistema eólico estirpe todo el potencial eólico [16].

$$P_{\text{aerogenerador}} = C_p \cdot P_v \quad (3.21)$$

donde P_v representa la potencia del viento, C_p es el coeficiente de potencia.

Potencia de un aerogenerador depende del coeficiente de potencia y el *Tip speed Ration*, se suma a esto también las condiciones aerodinámicas del diseño del aspa y la eficacia mecánica.

$$P_{\text{aerogenerador}} = C_p \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (3.22)$$

La energía de la turbina eólica y la corriente de aire a través del rotor producen una eficiencia aerodinámica, por lo se determina mediante la ecuación (3.25) [16].

$$\eta_m = \eta_{\text{rod}} \cdot \eta_t \quad (3.23)$$

$$P_{\text{elétrica}} = \eta_m \cdot \eta_e \cdot P_{\text{aerogenerador}} \quad (3.24)$$

$$P_{\text{elétrica}} = \eta_m \cdot \eta_e \cdot C_p \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad [\text{W}] \quad (3.25)$$

donde η_m es la eficiencia mecánica, η_{rod} representa la eficiencia mecánica de los rodamientos, η_t viene siendo la eficiencia de transmisión del generador, v es la velocidad del viento y C_p es el coeficiente de potencia.

La eficiencia de transferencia del multiplicador está en el orden de 0.95 a 0.98, y la eficiencia de transmisión del generador entre un 0,90 a 0,98 dependiendo de su tamaño. De manera similar, el límite del coeficiente de potencia para una turbina eólica es 0.59 en condiciones ideales de operación [16].

$$A = \frac{1}{2} \cdot \frac{P_{\text{elétrica}}}{\eta_m \cdot \eta_e \cdot C_p \cdot \rho \cdot v^3} \quad [\text{m}^2] \quad (3.26)$$

donde $P_{\text{elétrica}}$ representa la potencia eléctrica y A es el área.

3.4.7. Barrido del rotor

El área de trabajo de barrido del rotor es la misma para todos los modelos, incluso si tienen otras formas, por consiguiente, el área del barrido es muy importante a la hora del diseño, debido

a que mientras mayor sea el área, mayor energía se puede obtener. El espacio del rotor del eje vertical se determina a partir de la ecuación (3.27) [23].

$$A = d \cdot H \quad [\text{m}^2] \quad (3.27)$$

donde A expresa el área del barrido, d es el diámetro del rotor y H es la altura del alabe.

3.4.8. Torque en el eje

Para diseñar una turbina eólica es importante considerar parámetros mecánicos, dentro de estas se tiene dos: fuerza y torque, de manera que la fuerza es una magnitud mecánica, en otras palabras, es la forma de los materiales y el torque es la fuerza que se aplica para hacer rotar un objeto, en un ejemplo se puede decir que, entre una llave y una tuerca, la fuerza es la que se ejerce hacia abajo con la mano y el torque es el movimiento circular resultante. Así se puede decir que el torque se representa de la siguiente manera. La Figura 3.18 muestra el procedimiento del par del rotor expuesto a diferentes corrientes del aire. Las curvas coloreadas son las curvas de carga y torque necesarias para operar las turbinas eólicas a diferentes velocidades [24].

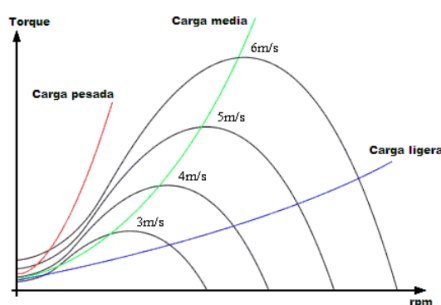


Figura 3.18. Carga vs torque [24].

$$T = \frac{P}{\omega} \quad (3.28)$$

donde P expresa la potencia extraída y ω es la velocidad angular.

3.4.9. Tapas del aerogenerador eólico

Según [25] el número de tapas de una turbina tipo Savonius indica que el número óptimo es de dos, debido a que el uso de tres tapas reduce la eficiencia de un aerogenerador y esto puede obtener como consecuencia un aumento de la inercia en el rotor del sistema eólico. En la Figura 3.20 indica que a velocidades de aproximadamente 7 m/s han demostrado que se han encontrado mediante investigaciones bibliográficas que se tiene un coeficiente de potencia más altos. El rotor de tres tapas es más eficiente que el rotor de una sola tapa, pero el rotor de doble tapa es mucho más eficiente en este tipo de aerogeneradores.

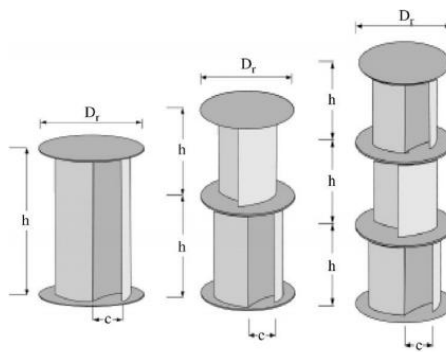


Figura 3.19. Tipos de configuraciones de rotores Savonius [25].

donde D_r representa el diámetro de la tapa, h es la altura.

En la Figura 3.19 se puede ver desfasado en 180° grados que tiene cada alabe, pero esto a su vez puede provocar inercia en el rotor de modo que afecta su rendimiento.

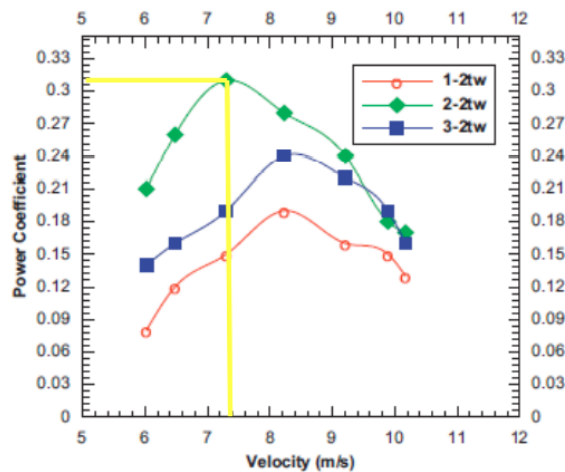


Figura 3.20. Coeficiente de potencia vs velocidad de rotores con distintas tapas [25].

Para diseñar una tapa de una turbina Savonius es necesario conocer el tipo de material y el tamaño del radio de la hoja del alabe. Por tanto, esta debería ser del 10% mayor a la de los alabe, en caso de que se excediera de este porcentaje puede reducir la eficiencia de la turbina eólica.

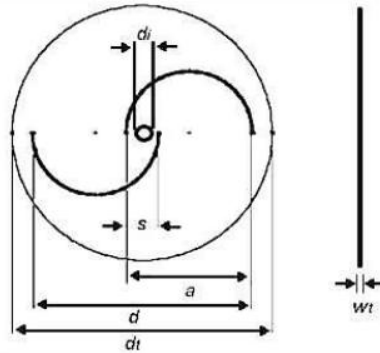
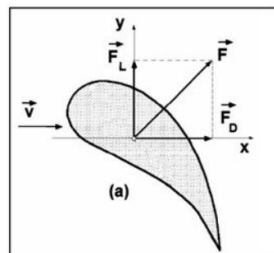


Figura 3.21. Parámetros geométricos [16].

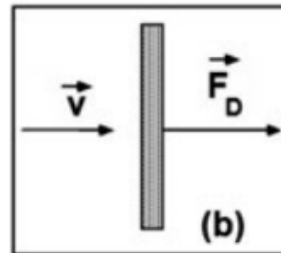
donde dt viene siendo el diámetro de la tapa, w_t espesor de la tapa, a es el diámetro del alabe, d diámetro del rotor, d_i eje del rotor y s es el traslapo de los alabes.

3.4.10. Fuerza que actúan sobre los alabes

En la Figura 3.22 se generan dos fuerzas sobre el objeto dentro del fluido en movimiento. Uno es la dirección del movimiento relativo del fluido con respecto al objeto, llamado arrastre o resistencia, y el otro es la dirección perpendicular a la fuerza anterior citado como empuje o sustentación. La potencia total de la fuerza es la suma vectorial de los dos componentes. En la Figura 3.22 muestra estas fuerzas en el caso de una hoja de alabe aerodinámica, Si el objeto se mueve en dirección de la corriente de aire, se considera que la velocidad es relativa del fluido con respecto al objeto [22].



(a) Alabe aerodinámico.



(b) No aerodinámico.

Figura 3.22. Movimiento de fuerzas de un alabe aerodinámico [22].

El coeficiente de arrastre viene dado por la influencia del aire que actúa sobre el objeto porque para el estudio aerodinámico se debe conocer la resistencia que se puede conseguir debido al ángulo de ataque del alabe [22].

$$F_D = C_p \cdot \frac{v^2 \cdot \rho \cdot A}{2} \quad [\text{N}] \quad (3.29)$$

Para analizar este tipo de fuerzas es importante y necesario que las uniones de las palas estén completamente unidas con el eje vertical del rotor. La fuerza centrífuga es el giro del rotor del aerogenerador, este tipo de fuerza hace que la pala del eje sea mayor a medida que aumenta el radio del rotor [16].

$$F_c = \frac{m \cdot w^2 \cdot d}{2} \quad [\text{N}] \quad (3.30)$$

donde F_D expresa la fuerza de arrastre. v es la velocidad del viento, ρ densidad del aire, A viene siendo el área, F_c representa la fuerza centrífuga, m es la masa del cuerpo, w viene siendo velocidad angular y d es el diámetro.

3.4.11. Fuerzas que actúan sobre el eje

Según [22] las turbinas de eje vertical se utilizan con mucha menos frecuencia que las turbinas de eje horizontal, debido a que la mayoría de los ejes verticales son de dos tipos: arrastre diferencial que aprovecha la diferencia en la fuerza del viento entre el cóncavo y el convexo, o la variación cíclica de la turbina Darrieus y por último la turbina Savonius que básicamente su funcionamiento es parecido a la de un anemómetro, véase en la Figura.3.23.

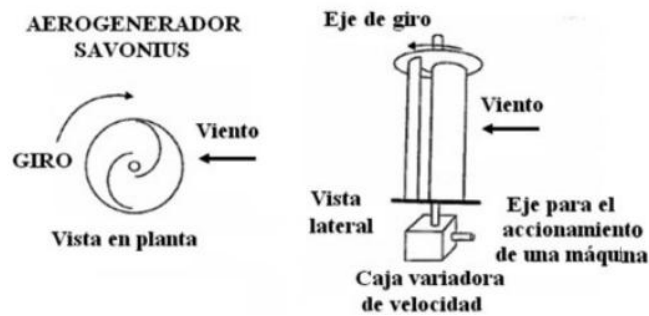
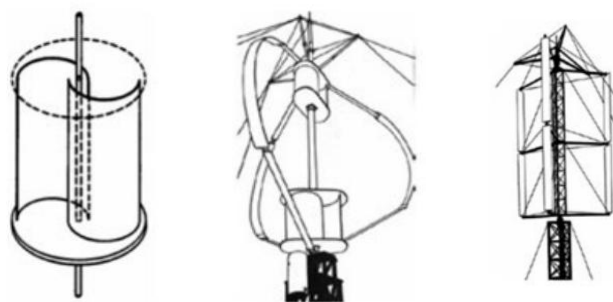


Figura.3.23. Rotor eje vertical [22].

En la Figura 3.24 este tipo de aerogeneradores trabajan a bajas velocidades, asimismo una de las diferencias que tiene estos son los altos costos económicos que tienen, ya que los aerogeneradores tipo Darrieus para la construcción necesitan un mayor análisis. Por lo tanto, el material obviamente también es más alto que el tipo Savonius [22].



(a) Savonius. (b) Darrieus. (c) Giromill.

Figura 3.24. Tipos de aerogeneradores de eje vertical [22].

Para encontrar la fuerza la energía eólica, se tiene que considerar la carga a lo largo del eje del rotor, y a partir de eso se puede determinar de la siguiente manera.

$$F_V = P_V \cdot A \quad (3.31)$$

donde F_v representa a la fuerza del viento P_v es la fuerza que actúa sobre los alabes y A viene siendo el área [26].

3.4.12. Diámetro del eje

Para calcular el diámetro del eje del rotor se requiere tener la potencia que puede generar, esto depende de la velocidad media del viento con el fin de conseguir el diámetro mínimo que se requiere para el eje del rotor [26].

$$d_e = \left[\frac{16 \cdot N}{\pi \cdot S_y} \cdot \sqrt{4M^2 + 3T^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (3.32)$$

donde d_e representa el diámetro, N número de aspas, S_y es el esfuerzo de fluencia M es el momento de flector en el punto y T es el par torsional producido por el viento.

3.4.13. Estructura del aerogenerador

En primer lugar, teniendo en cuenta el periodo de vida del proyecto y costes, debe diseñarse con el máximo esfuerzo y rigidez para lograr sus objetivos. Esto significa identificar las cargas y las áreas donde se absorben turbulencia creadas por las corrientes del aire. De esta forma, mediante estudios y análisis, se realiza el diseño estructural para soportar estas cargas con un factor de seguridad suficiente para evitar deslizamientos [15]. Las cargas operacionales que deben ser consideradas son:

- (a) Velocidad nominal del viento.
- (b) Velocidad máxima del viento.
- (c) Fuerzas ejercidas por el rotor del aerogenerador.
- (d) Fuerza de gravedad.

En la estructura de la turbina, para soportar el peso del sistema eléctrico y las labores de mantenimiento del personal, es necesario trabajar con materiales fuertes para soportar un peso considerable, se recomienda utilizar piezas y componentes estándar siempre que sea posible, es decir, encontrar alternativas más económicas [15]. Se utilizan dos tipos de torre de sustentación:

- (a) Torres de celosía.
- (b) Torres tubulares.

En un sistema eólica vale decir que requiere de un constante monitoreo periódicamente para garantizar el funcionamiento idóneo del sistema con el fin de que pueda tener ser factible, por lo tanto, depende de que la estructura garantice una resistencia mecánica [22].

Como regla general, de acuerdo con la ley de la energía potencial, la corriente del aire aumenta con la altura sobre el suelo, por lo que cuanto más alta es la torre, más energía se puede obtener. La altura de la torre, por otro lado, significa mayores costos de inversión, instalación y mantenimiento, por lo que la altura de la torre es el resultado de una compensación entre la extracción de energía y los costos locales. En la Tabla 3.4 se muestran las características de estas torres que se utilizan para la generación eólica, asimismo poder conocer sus ventajas y desventajas [22].

Tabla 3.4. Característica de las torres eólicas [22].

Torre	Ventajas	Inconvenientes
Celosía	<ul style="list-style-type: none"> • Coste más bajo. • Fácil montaje a partir de perfiles angulares de acero. • Facilidad de transporte. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor mantenimiento (verificación de las uniones de los perfiles). • Limitada a pequeña y mediana potencia.
Tubular	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor seguridad para equipos y personas. • Buen comportamiento dinámico frente a vibraciones. • Facilidad de montaje y poco mantenimiento. • Mejor aspecto estético. • Usadas en aerogeneradores de gran potencia. 	<ul style="list-style-type: none"> • Coste más alto que las de celosía. • Mayor dificultad de fabricación y transporte.

Para calcular el esfuerzo máximo del perfil se utiliza la ecuación (3.33) donde se puede ver el esfuerzo máximo de la estructura [4].

$$\sigma_{est} = \frac{M \cdot d}{I} + \frac{F}{A} < \sigma_{acer} \quad (3.33)$$

donde σ_{est} es el esfuerzo máximo de la estructura en el punto, M representa el momento máximo en el punto, d distancia de la estructura, I inercia del perfil preseleccionado, F fuerza de atracción en el punto y A es el área del perfil.

Según [27] que el coeficiente de fricción para el hormigón y el acero varía entre el 0,57 a 0,70.

$$F_r = \mu \cdot N \quad (3.34)$$

donde F_r es la fuerza de fricción, μ es el coeficiente de fricción y N representa normal.

Según [28] la Tabla 3.5 la norma técnica indica que, para estándares de diseño para edificaciones en construcción, muestra que el factor de seguridad para este tipo es 1.5.

Tabla 3.5. Factor de seguridad para la construcción de una estructura [28].

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Factor I
Edificaciones esenciales y/o peligrosas	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1,50
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1,30
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1,00

$$FS_{des} = \frac{F_r}{F_v} > 1,5 \quad (3.35)$$

donde FS_{des} representa el factor de seguridad del deslizamiento, F_r es la fuerza de fricción y F_v es la fuerza del viento.

La estructura debe tener en cuenta las distintas fuerzas que actúan sobre ella, sujetas a ciertos efectos que pueden ocasionar este tipo de inconvenientes, y los efectos de inclinación o deslizamiento que se producen sobre la estructura a analizar e investigar.

3.5. ELEMENTOS DEL SISTEMA DE CONTROL DE CARGA

Los principales elementos que se utiliza para el control de carga de un sistema eólico es el inversor de corriente, regulador de carga y sistema de almacenamiento, mismos que se detallaran a continuación:

3.5.1. Controlador de carga eólico

El controlador de carga protege la vida útil de la batería, este elemento es capaz de controlar el voltaje y la corriente suministrados por el generador al sistema eléctrico.

$$I_R = 1,25 \cdot \frac{P_e \cdot N}{V_n} \quad (3.36)$$

donde I_R representa la corriente del regulador, P_e es la potencia del generador eólico, N viene siendo número de generadores eólicos, 1,25 representa el factor de seguridad para evitar daños al regulador y V_n es el voltaje nominal del sistema.

3.5.2. Sistema de inversor de corriente

Dado que un inversor es un dispositivo que convierte la corriente continua en corriente alterna, se puede utilizar adecuadamente según la demanda del usuario. El inversor de corriente depende de la corriente de carga total utilizada.

$$P_I = 1,25 \cdot P_{AC} \quad (3.37)$$

donde P_I es la potencia del inversor, P_{AC} viene siendo la carga total en corriente alterna y 1,25 representa el factor de seguridad para evitar daños al inversor.

3.5.3. Sistema de almacenamiento

Hay muchos tipos de baterías de almacenamiento de energía, pero la mayoría son baterías de plomo ácido. Esta es una relación alta en comparación con este tipo de sistema autónomo, por lo que este elemento puede almacenar energía esencialmente cuando la velocidad del viento cae significativamente [29]. La capacidad del banco de baterías se calcula en función del número de días de autonomía.

$$CBB = \frac{E \cdot N}{Dod} \text{ [Ah]} \quad (3.38)$$

donde CBB representa la capacidad de la batería, E es la energía real necesaria en (Wh), N es el número de días de autonomía y Dod viene siendo la eficiencia del rendimiento del inversor.

a) Baterías en paralelo

$$B_p = \frac{(CBB) \cdot (\text{días de autonomía})}{\text{Profundida de descarga}} \quad (3.39)$$

b) Baterías en serie

$$B_s = \frac{V_s}{V_B} \quad (3.40)$$

donde V_s representa el voltaje del sistema y V_B es el voltaje de la batería.

Para determinar el número total de baterías que requiere el sistema se calcula de la siguiente manera.

$$B_T = B_p \cdot B_s \quad (3.41)$$

Las baterías son dispositivos capaces de transformar la energía química en eléctrica. El funcionamiento en una instalación será el siguiente:

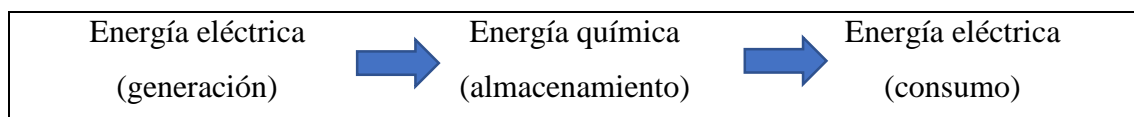


Figura 3.25. Funcionamiento de una batería [30].

La batería o elemento de almacenamiento de energía se recarga con la electricidad generada por la turbina eólica a través del controlador de carga, que puede alimentar y consumir la salida del sistema [30].

Tres son las misiones que tienen las baterías en las instalaciones:

- (a) Almacenar energía durante un determinado número de días.
- (b) Proporcionar una potencia instantánea elevada.
- (c) Fijar la tensión de trabajo de la instalación.

3.5.3.1. Tiempo de descarga de una batería

Entre los parámetros a tener en cuenta a la hora de elegir una batería para un sistema automatizado, es necesario estar al tanto de su capacidad, a partir de la cual se puede calcular cuánto tiempo se descargará la batería. Esto se puede hacer usando la siguiente fórmula [30].

$$t = \frac{C}{I} \quad (3.42)$$

donde t es tiempo de descarga en horas, C representa la capacidad de la batería en Ah e I viene siendo la intensidad.

3.5.3.2. Tipo de baterías

El sistema de almacenamiento o conocidos como baterías se clasifican según la tecnología de fabricación y el electrolito utilizado, Tabla 3.6 presenta los principales tipos de baterías del mercado y sus particularidades básicas [30].

Tabla 3.6. Tipos de baterías [30].

Tipo de baterías	Tensión por vaso (V)	Tiempo de recarga	Auto descarga por mes	Numero de ciclos	Capacidad (por tamaño)	Precio
Plomo-ácido	2	8-16 horas	< 5 %	Medio	30-50 Wh/kg	Bajo
Ni-Cd (Níquel-cadmio)	1,20	1 hora	20%	Elevado	50-80 Wh/kg	Medio
Ni-Mh (níquel-metal-hidride)	1,20	2-4 horas	20%	Medio	60-120 Wh/kg	Medio
Li ion (ión litio)	3,60	2-4 horas	6%	Medio-bajo	110-160 Wh/kg	Alto

3.5.3.3. Potencia del aerogenerador

Para conocer el dimensionamiento de la turbina eólica se establece de la siguiente manera.

$$P_e = P \cdot n \quad (3.43)$$

donde P_e viene siendo la potencia efectiva del aerogenerador, P representa el potencial eólico y n es la eficiencia del sistema.

3.6. TIPOS DE ILUMINACIÓN EN EXTERIORES

El deslumbramiento de las farolas y los reflejos de la calle son un problema grave, ya que pueden tener sus efectos y ocasionar accidentes incluso por el deslumbramiento y aparte de esto produce una sensación desagradable reduciendo la visión, en casos severos, puede provocar ceguera temporal. Por tanto, es necesario cuantificar este fenómeno y establecer estándares para evitar contaminación de luz y evitar accidentes de los peatones en exteriores [31].

Como iluminación exterior se puede entender a la iluminación de calles y avenidas, de glorietas, la iluminación de jardines, de edificios, de campos deportivos, etc. En todo lo relacionado con la iluminación de áreas exteriores interviene con un alto grado de importancia lo relativo al tipo de luminarias usadas y los criterios para su utilización, así como el tipo de lámparas y sus características de fabricación para cada aplicación específica [32]. En la Figura 3.26 se puede observar tipos de iluminación en exterior.

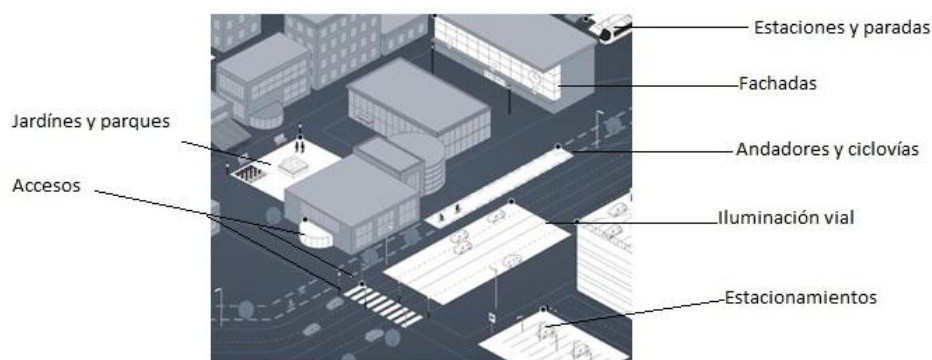


Figura 3.26. Tipos de Iluminación Exterior [32].

3.6.1. Jardines y parques

El color y la claridad del parque es un factor importante para atraer a la gente a visitar, por tanto, depende de la decoración de luces para llamar la atención y brindar una sensación única en el usuario con la iluminación que se le puede brindar [33].

3.6.2. Accesos

Para este tipo de lugares, es primordial y necesario tener una buena iluminación, debido a que garantiza la seguridad al ingreso de cualquier centro comercial o lugares parecidos a ellos.

3.6.3. Estaciones y paradas

La iluminación exterior de las estaciones permite a los usuarios realizar sus actividades normales con total seguridad. Depende de si está leyendo un libro o caminando libremente [34].

3.6.4. Fachadas

Este tipo de iluminaciones en exteriores para fachadas se puede ver en edificios patronales, edificios modernos, entre otras, que permiten tener un ambiente decorativo al momento obsérvalos.

3.6.5. Andadores y ciclovías

Las calles, fachadas, destinos históricos o turísticos deben mantener el estilo, por lo que una buena iluminación ayuda a los peatones, ciclistas y automóviles a tener un mejor impacto visual y disfrutar de los paisajes nocturnos [35].

3.6.6. Luminosidad vial

La distribución asimétrica en una iluminación vial se basa exactamente en establecer parámetros fotométricos como es el control de rango, varianza y brillo, mediante esto se puede controlar el deslumbramiento [36].

3.6.7. Campos deportivos

Para los deportes al aire libre, puede ocurrir algo de deslumbramiento entre los atletas que estén presentes. El ángulo de la rampa es importante porque algunos deportes que practicas deben evitar el deslumbramiento [37].

3.6.8. Iluminación en estacionamientos

En el estacionamiento, se debe prestar especial atención a las cuestiones de color y se deben garantizar requisitos mínimos para que cada usuario pueda identificar su vehículo sin mayores problemas. Debe tener en cuenta las características y la fuente de luz utilizada [34].

3.7. ILUMINACIÓN EXTERIOR DE UN CAMPO DEPORTIVO

Para la iluminación de un campo deportivo, es importante conocer criterios que permitan garantizar una buena visibilidad del deportista.

3.7.1. Ángulos visuales

Evitar el deslumbramiento que se pueda generar en los jugadores, es uno de los objetivos principales que se debe tener en cuenta, para ello es relevante conocer estos los criterios.

a) Zona de las esquinas de la línea de meta

A fin de mantener adecuadas condiciones visuales para el portero y los jugadores atacantes en los saques de esquina, no se colocará iluminación dentro de los 10 grados a ambos lados de la línea de meta [38].

b) Detrás de la línea de meta

Para mantener las condiciones visuales adecuadas para los deportistas que se encuentran en el campo de juego, principalmente para los que atacan al área contraria debe evitar el deslumbramiento, por ende, las luminarias deben colocarse a 25 grados con referencia al punto central del campo deportivo [38].

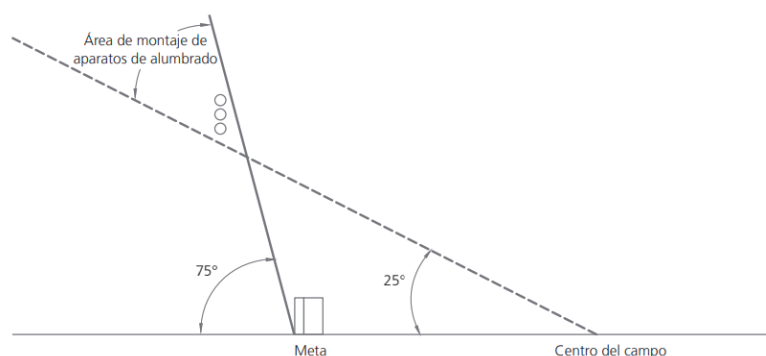


Figura 3.27. Ángulo de deslumbramiento en un campo deportivo [38].

Según las reglas de la FIFA, es importante que las luces estén en un ángulo de diez grados desde la línea de meta del portero con referencia a las esquinas, esto permite que el portero tanto como los jugadores no tengan deslumbramiento [38].



Figura 3.28. Deslumbramiento del portero en un campo de futbol [38].

3.7.2. Temperatura del color

La temperatura de color representa la sensación de calor que se reflejara, con una luz rojo o azul, se mide en grados kelvin. Actualmente la tecnología ha ido avanzando en el deporte, por consiguiente, existen cámaras que ayudan a mejorar el contraste de brillo, esto con el fin de que hay una mejor calidad en las competencias [38].

3.7.3. Ubicación de los postes de iluminación

Dentro del sistema de iluminación es importante conocer la distancia de las torres lateralmente para ello es necesario tener en cuenta los ángulos de deslumbramiento en las esquinas de la línea del portero, esto permite determinar a qué distancia va la torre de la iluminación como se ve en la Figura 3.28.



Figura 3.29. Distancia minimas entre los reflectores [3].

3.7.4. Especificaciones de iluminación para eventos no televisados

La Tabla 3.7 muestra los criterios a considerar para eventos no televisivos.

Tabla 3.7. Criterios para eventos no televisados [38].

Nivel de actividad	Iluminación horizontal	Uniformidad	Temperatura de color de lámpara	Reproducción de color de lámpara
Clase	Eh ave (lux)	U2	Tk	Ra
Clase III Partidos nacionales	750	0,70	> 4,000	≥ 65
Clase II Partidos de liga y/o clubes	500	0,60	> 4,001	≥ 66
Clase I Entrenamientos y juegos de recreo	200	0,50	> 4,002	≥ 67

Es importante conocer estos parámetros al momento de instalar una iluminación en un campo deportivo:

- Todos los valores de iluminancia indicados representan valores constantes.
- Se recomienda un factor constante de 0.70; por tanto, los valores iniciales serán aproximadamente 1.4 veces el valor de los antes indicados.
- La uniformidad de iluminancia no deberá exceder el 30% cada 10 metros.
- Los ángulos visuales primarios del jugador han de estar libres de deslumbramiento directo. Tal índice de deslumbramiento se cumple si se cumplen los ángulos visuales del jugador [38].

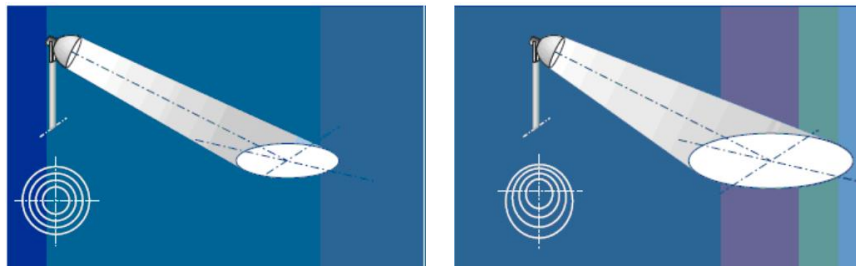
3.7.5. Tipos de reflectores para el sistema de iluminación

3.7.5.1. Proyectorios circulares

Se requiere una fuente de luz enfocada para el reflector circular. Cuando no se enfoca verticalmente hacia abajo, el rayo cónico emite una luz elíptica o casi elíptica al suelo [3].

Dentro de los proyectores circulares existe dos tipos de iluminación por proyección:

- Con haz cónico simétrico pueden tener un haz estrecho o ancho.
- El radio del plano vertical es ligeramente asimétrico.



(a) Luz simétrico.

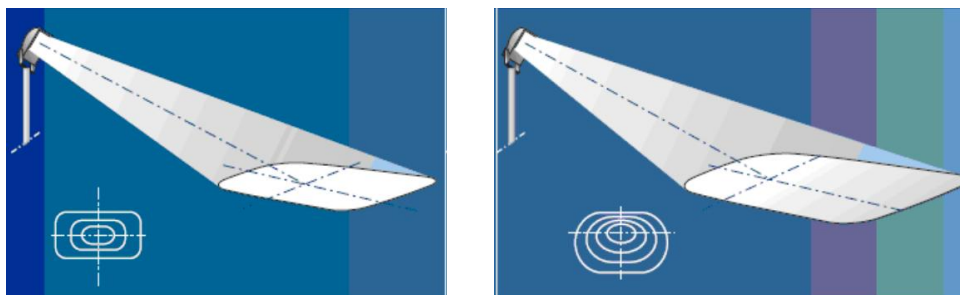
(b) luz asimétrica.

Figura 3.30. Reflector circulares [3].

3.7.5.2. Proyectores rectangulares

Montar un reflector en una ubicación común en espacios pequeños tiene dos ventajas sobre los reflectores circulares. Como se muestra en la Figura 3.32 la distribución de la luz es más uniforme y se desperdicia menos luz [3]. De igual forma existen dos tipos:

- El haz puede ser ancho o estrecho en el plano horizontal y ancho o estrecho en el plano vertical.
- Distribución luminosa simétrica en el plano horizontal, distribución luminosa asimétrica en el plano vertical.

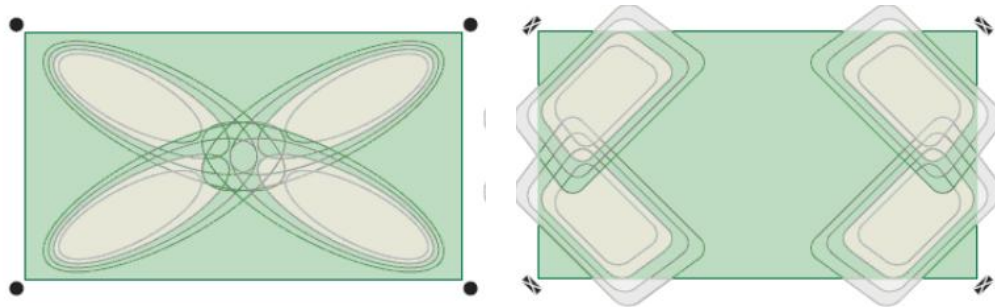


(a) Distribución simétrica en el plano Horizontal.

(b) Distribución asimétrica en el plano horizontal.

Figura 3.31. Reflector rectangulares [3].

Los proyectores circulares son más efectivos que los proyectores rectangulares cuando se usan con las cuatro esquinas dispuestas en diagonal, como se muestra en la Figura 3.32 esto se utiliza cuando se usan varias unidades en el poste [3].



(a) Reflector circular.

(b) Reflector rectangular.

Figura 3.32. Reflectores en el campo deportivo [3].

3.7.5. Características de los reflectores

Existen diferentes tipos de reflectores que se utilizan para la iluminación exterior, según el lugar donde se instalen.

Tabla 3.8. Reflectores de parqueo [39].

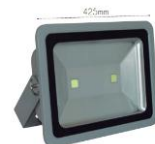
Código	Tecnología	Wattage	Flujo luminoso	Temperatura	Voltaje
LED0187	LED	200 W	23,400 lm	6,500 K	120V / 240V
LED0158	LED	200 W	14,000 lm	6,500 K	120V / 240V
LED0157	LED	100 W	7,000 lm	6,700 K	120V / 240V



(a) LED0187



(b) LED0158



(c) LED0157

Figura 3.33. Reflectores para iluminación de parques [39].

a) Reflectores tradicionales

Por medio de una lámpara de descarga de alta presión que pertenece a un grupo de lámparas llamado HID (*High Intensity Discharge*). Suelen ser fuertes y muestran buen color para este tipo de lugares, dando una mejor eficiencia que las lampara normales [39].

Tabla 3.9. reflectores *Metal Haliden* [39].

Código	Tecnología	Potencia [W]	Flujo luminoso [lm]	Temperatura[k]	Voltaje [V]
LUX0027	Metal Haliden	1000 W	110.000,00	6,500	208V / 240
LUX0034	Metal Haliden	1000 W	110.000,00	6,500	120V / 277
LUX0033	Metal Haliden	400 W	36.000,00	6,500	208V / 240V
LUX0028	Metal Haliden	1000 W	11.000,00	6,500	120V / 277
LUX0010	Metal Haliden	400 W	36.000,00	6,500	120V / 277



(a) LUX0027



(b) LUX0034



(c) LUX0028



(d) LUX0010

Figura 3.34. Lámparas tradicionales [39].

3.7.6. Tipos de luminarias

3.7.6.1. Lámparas de vapor de mercurio

Están equipadas con un tubo de descarga corto hecho de vidrio cuenta con una composición de gases y mercurio. Los electrodos se ubican en ambos extremos del tubo, muy cerca de uno de ellos, con electrodos auxiliares adicionales para encender la lámpara [40].

a) Ventajas

- Tienen un color blanco azulado.

b) Desventajas

- Costoso
- Eficacia media
- Se tarda más tiempo para encenderse.

3.7.6.2. Lámpara de vapor de sodio

El espectro de luz emitida se puede ampliar aumentando la presión de vapor de la descarga de vapor de sodio. A una presión lo suficientemente alta, el espectro es casi continuo con una reproducción del color mejorada [40].

a) Ventajas

- Tiene una reproducción cromática de moderada a buena.

b) Desventajas

- Elevado consumo.
- Luminosidad de 60 lm/W.
- Riesgo de que exista flujo luminoso.
- Su funcionamiento es con reactancia y cebador [40].

3.7.6.3. Iluminación LED

Un diodo emisor de luz es un semiconductor que emite luz casi monocromática cuando está directamente polarizado por una corriente. Es un fenómeno que convierte la energía eléctrica en luz visible, en otras palabras, a diferencia de la tecnología convencional, no hay filamentos o gases inertes alrededor, ni una capa de vidrio alrededor [41].

a) Ventajas

- Disminuye el consumo.
- Tiene una vida útil entre quince a cincuenta horas.
- Una eficiencia del 70%.
- No genera calor y evita daños por calor.
- Elevado índice de reproducción cromática

b) Desventajas

- Son frágiles a los 65°
- Elevado costo.

3.7.7. Método de lúmenes

Mediante una buena iluminación se puede crear un ambiente confortable y casi mágico, sin olvidar nunca que el sistema de iluminación es energéticamente sostenible [42].

3.7.8. Flujo luminoso total

Este método de lúmenes, permite conocer el nivel de flujo luminoso que se requiere en un área determinada que se quiera iluminar [42].

$$\Phi_T = \frac{E_m \cdot S}{C_m \cdot C_u} \quad (3.44)$$

donde, Φ_T es el flujo luminoso que un determinado local o zona necesita (en lúmenes), E_m viene siendo el nivel de iluminación medio (en LUX), S es la superficie a iluminar, C_m es el coeficiente de mantenimiento indica el grado de conservación de una luminaria y C_u es el coeficiente de utilización o la relación entre el flujo luminoso recibido por un cuerpo y el flujo emitido por la fuente luminosa.

3.7.9. Numero de luminarias

Para determinar el número de luces necesarias para el área total del campo deportivo, es necesario conocer el flujo luminoso y la cantidad de luces disponibles.

$$NL = \frac{\Phi_T}{n \cdot \Phi_L} \quad (3.45)$$

donde NL indica el número de luminarias, Φ_T viene siendo el flujo luminoso total necesario en la zona o local, Φ_L es el flujo luminoso de una lámpara (se toma del catálogo), n representa el número de lámparas que tiene la luminaria.

Para conocer el número de fila y columna de luminarias en el campo, se define de la siguiente manera, como se muestra en la fórmula (3.3) a continuación.

$$NF_{luminarias} = \sqrt{\frac{NL_{Total}}{b} \cdot a} \quad (3.46)$$

donde $NF_{\text{luminarias}}$ representa el número de filas de luminarias, a es la parte vertical del campo, b parte horizontal del campo y NL_{Total} viene siendo el número total de luminarias.

Por otro lado, para calcular el número de filas de columnas que ingresan al campo deportivo, se determina lo siguiente.

$$NC_{\text{luminarias}} = NF_{\text{luminarias}} \cdot \left(\frac{b}{a}\right) \quad (3.47)$$

3.7.10. Norma UNE-EN 12193

De acuerdo con esta norma, que es el punto de partida para la iluminación en campos deportivos al aire libre, se debe prestar atención a la iluminancia, uniformidad, brillo y reproducción cromática requeridos por categoría y nivel de competencia. [37].

- a. Alumbrado Clase I: Competición del más alto nivel. Competiciones nacionales e internacionales.
- b. Alumbrado Clase II: Competición de nivel medio. Partidos de competición regional y local.
- c. Alumbrado Clase III: Entrenamiento general, educación física y actividades recreativas.

Tabla 3.10. Criterios de iluminación para eventos no televisados [37].

Aikido, Baloncesto, Ciclismo, Fistball, Fútbol, Balonmano, Jujitsu, Judo, Karate, Netball, Lucha Sambo, Deportes escolares (educación física), Sumo, Taekwondo, Voleibol y Lucha.				
Clase	Iluminación horizontal	Uniformidad min/med.	Rendimiento cromático	Valoración de brillo
I	750	0,70	> 60	N/A
II	500	0,70	> 60	N/A
III	200	0,50	> 20	N/A

Debido a su excelente rendimiento en la iluminación de campos deportivos, ahora se recomienda la iluminación LED. Esto asegura una buena visibilidad a través del estadio y cumple con los requisitos reglamentarios obligatorios.

3.7.11. Energía diaria del consumo

El requerimiento energético de carga diaria, se calcula sumando la potencia o el consumo de cada elemento eléctrico y el tiempo de funcionamiento diario promedio de cada equipo, para

determinar el valor del consumo diario es importante los días autónomos, por lo general está en un rango de una a tres días [43].

La energía realmente requerida se calcula teniendo en cuenta la eficiencia y las pérdidas de los distintos subsistemas.

$$E = \frac{\text{Cantidad de equipos (u)} \cdot \text{potencia (W)} \cdot \text{Horas de uso por día}}{\text{Voltaje del sistema}} \quad (3.48)$$

Factor de seguridad es el factor de sobredimensionamiento, se considera un factor del 20% para compensar la pérdida de eficiencia. Es importante conocer el tipo de sistema que está utilizando. Para hacer esto, debe considerar lo siguiente:

- (a) De 1 a 2000 W/h de consumo diario se recomienda hacer un sistema de 12V.
- (b) De 2001 W/h A 4000 W de consumo diario se recomienda hacer un sistema de 24V.
- (c) De 4001 W de consumo diario en adelante se recomienda hacer un sistema de 48 V.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

Para poder realizar este proyecto se requiere aplicar el método de investigación deductivo, este método se usará para determinar los parámetros y procedimientos en el cálculo del potencial eólico que hay en la zona de estudio, además por medio del método descriptivo se analizará la recolección, tabulación y posterior análisis de los datos, mediante el apoyo de fuentes bibliográficas, tales como libros, revistas, artículos, tesis y normativas que se utilizará para el cálculo y simulación de un prototipo de una farola eólica de eje vertical para alumbrados en exteriores.

4.2. TIPOS DE INVESTIGACIÓN

4.2.1. Investigación explicativa o causal

Para el desarrollo de este análisis se ha tomado la línea de investigación explicativa, debido a que esta permite tomar variables como el fenómeno de la velocidad del viento y así poder realizar una interpretación concreta y entendible de acuerdo a lo que se está realizando.

4.2.2. Investigación experimental

Dentro de esta investigación permite tener un enfoque científico, donde se puede analizar un conjunto de variables, en este caso el potencial eólico, densidad y velocidad del viento, permitiendo esto tener al final un resultado óptimo.

4.3. MATERIALES

Dentro del desarrollo de este proyecto se utilizó diferentes normas técnicas aplicadas a iluminación en exteriores, las cuales son realizadas por organismos internacionales, mismas que son utilizadas en varios proyectos relacionados con la iluminación en diferentes áreas o campos.

4.3.1. Norma UNE-EN 12193

Esta normativa está vinculada con la iluminación en los campos deportivos, dentro de ella indica parámetros importantes como el nivel de iluminación que se debe tener en las instalaciones deportivas.

4.3.2. Norma de la FIFA

Establece criterios y parámetros que sirve para el diseño de un estadio de futbol, donde el principal objetivo es aportar tanto ecológica y socialmente a la comunidad con una buena iluminación tanto en interiores como en exteriores y así poder brindar una adecuada luminosidad en los diferentes eventos deportivos.

4.4. INSTRUMENTOS

A continuación, se nombra los diferentes instrumentos que se utilizó, recalcando que varios de ellos hoy en día están disponibles de manera gratuita para los estudiantes.

4.4.1. Wrplot View

Wrplot View, es una herramienta que permite determinar de una forma visual la velocidad y dirección del viento que hay en la zona, esto a partir de la construcción de la Rosa de vientos.

4.4.2. Software Dialux

La simulación de la iluminación se la desarrollará a través del uso del software Dialux 4.13, el cual permite observar mediante el diseño tridimensional, el nivel de iluminación que se tendrá en el campo deportivo, en el cual se podrá ver los efectos luminosos de una forma real y en 3D.

4.4.3. SolidWorks Premium 2021

Por medio de esta herramienta se puede crear diseños asistidos por computadora, este software permite modelar, crear, simular, fabricar y ensamblar elementos en tercera dimensión y también se puede diseñar planos técnicos en 2D.

4.4.4. Matlab Simulink

Es un programa que permite realizar una programación textual y gráfica, esto se consigue a través de algoritmos, por lo tanto, mediante el modelado del sistema en 3D, se realizará la simulación en Simulink perteneciente al software Matlab, en el cual se podrá determinar la potencia que se genera a partir del potencial eólico que se haya obtenido en la zona.

4.4.5. Software AutoCAD

Esta herramienta es muy importante al momento del diseño del campo deportivo, así como los planos estructurales, por lo tanto, este software permite un mejor manejo y entendimiento de los entornos del estudio.

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1. UBICACIÓN DEL PROYECTO

Par determinar el estudio eólico se recopilará datos de una estación meteorológica más cercana al lugar y así por medio de un análisis de datos poder determinar cuál es la velocidad máxima y mínima del viento que hay en el área, este estudio se realizará en un periodo de un año. Las coordenadas geográficas son, latitud $-0,602485$ ($0^{\circ}36'6,46''$) Sur y longitud $-78,639023$ ($78^{\circ}38'31,15''$) Oeste, perteneciente a la parroquia el Chaupi, Cantón Mejía, Provincia de Pichincha.



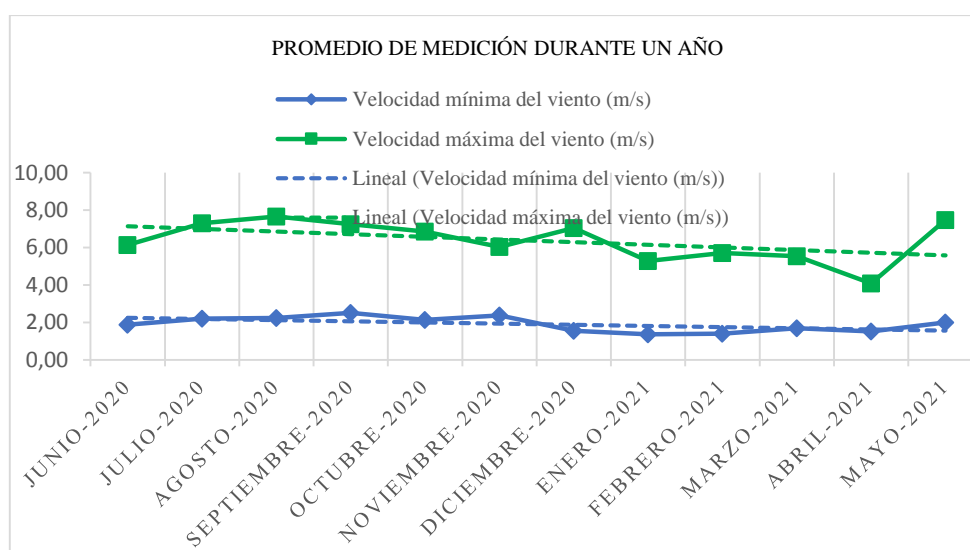
Figura 5.1. Ubicación del proyecto.

5.2. ESTUDIO EÓLICO

A continuación, puede observar el análisis de Tabla 5.1 relacionada con los datos de cada mes. donde se podrá verificar las velocidades mínima y máxima del viento en m/s y de acuerdo a ello poder obtener un promedio total de velocidades del viento en la zona, también se podrá verificar las curvas de acuerdo a cada mes respectivamente, cabe recalcar que esto se determinará para cada mes durante un periodo de un año, en los cuales se detallan las velocidades del viento en el Anexo A, empezando desde el mes de junio del 2020 a mayo del 2021.

Tabla 5.1. Media anual de la velocidad del viento.

Promedio de medición durante el año		
Mes	Velocidad mínima del viento (m/s)	Velocidad máxima del viento (m/s)
Junio 2020	1,88	6,13
Julio 2020	2,20	7,30
Agosto 2020	2,24	7,66
Septiembre 2020	2,52	7,24
Octubre 2020	2,14	6,86
Noviembre 2020	2,38	6,04
Diciembre 2020	1,55	7,05
Enero 2021	1,37	5,29
Febrero 2021	1,40	5,71
Marzo 2021	1,69	5,53
Abril 2021	1,52	4,09
Mayo 2021	2,00	7,47
Valor mínimo	1,37	4,09
Valor máximo	2,52	7,66
Promedio	1,91	6,36

**Figura 5.2.** Media de velocidades mínimas y máximas del viento en m/s.

De acuerdo al análisis y estudios realizados, se puede observar en la Tabla 5.1 una velocidad mínima y máxima en la zona, por medio de ese rango de velocidad se realizará un prototipo de farola eólica, para ello es importante ver la Figura 3.16 donde indica que un aerogenerador tipo Savonius trabaja por debajo de 5 m/s y tiene un rendimiento del 10 a 15% y su coeficiente de potencia es de 0,2 y su TSR es de 0,8 m/s. Una vez detallado estos criterios se puede decir que con una velocidad promedio de 6,36 m/s es óptimo realizar un diseño de este tipo de

aerogenerador, donde se puede decir que cumple con las características necesarias para el dimensionamiento de una farola eólica.

5.3. DIRECCIÓN DEL VIENTO EN LA PARROQUIA EL CHAUPI

En la Figura 5.3 muestra el análisis de los datos que se realizó en el software Wrplot View, de la estación meteorológica más cercana ubicada en la Parroquia del Chaupi Barrio Simón Bolívar Cantón Mejía Provincia de Pichincha, donde se determinó mediante la rosa de los vientos las distintas direcciones del viento que hay en la zona y como se observa en la Figura 5.3 (b) la gran parte del viento esta por la dirección Noroeste.

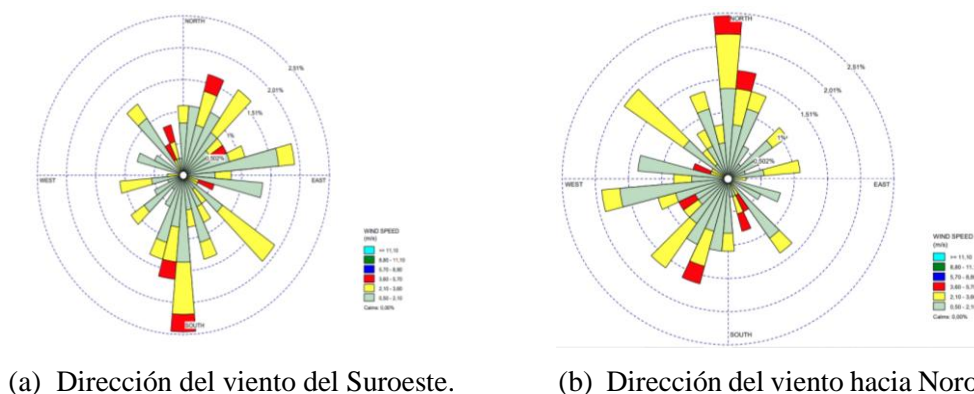


Figura 5.3. Dirección del viento de la zona.

La dirección del viento se la puede determinar a través de varios parámetros como es la precipitación, velocidad y otros que es necesario analizar al momento de realizar la rosa de los vientos, una vez obtenidos estos datos, se puede determinar una simulación través de software Google Earth Pro, la cual permite ver en tiempo real de donde viene y hacia dónde va la dirección del viento en un radio de 1 kilómetro de distancia como se ve en la Figura 5.4.

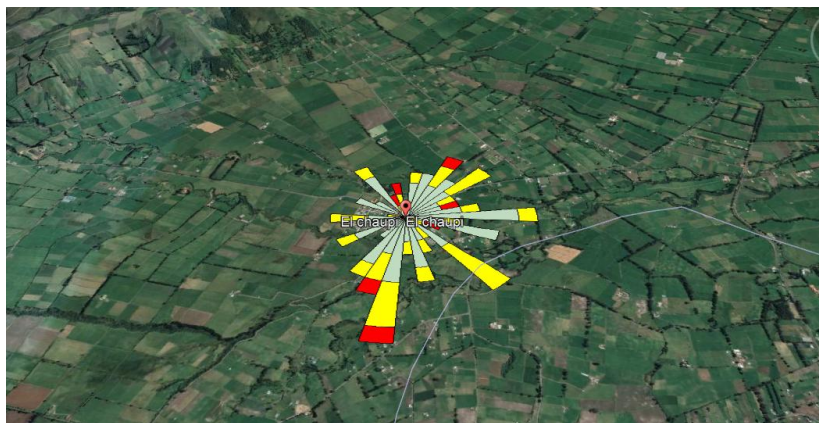


Figura 5.4. Análisis del viento en Google Earth Pro.

La probabilidad de Weibull le permite ver las líneas de tendencia por regresión. Estos puntos se refieren a la velocidad y determinan las distintas probabilidades mostradas. Las rectas observadas son el resultado de la misma ecuación.

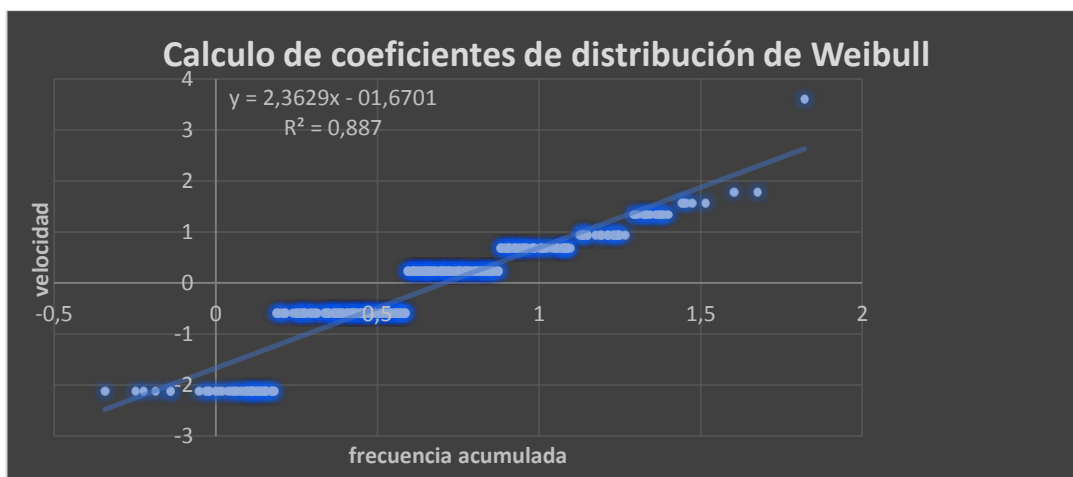


Figura 5.5. Coeficiente de distribución de Weibull.

Según esta ecuación, (x) corresponde a diferentes valores de velocidad, (y) es la pendiente de la línea del gráfico y (R) es la regresión. Si las regresiones son mayores que 0.8 es aceptables esta ecuación, por lo tanto, la ecuación es válida para la distribución de Weibull.

Mediante la ecuación 3.1 y los datos realizados en el Anexo A, se puede determinar la distribución de Weibull el cual es una distribución de probabilidades continua como se muestra a continuación:

Usando los datos de la ecuación 3.1 y el análisis de datos del Anexo A, se puede determinar la distribución de Weibull, que es una distribución de probabilidad continua, como se muestra a continuación.

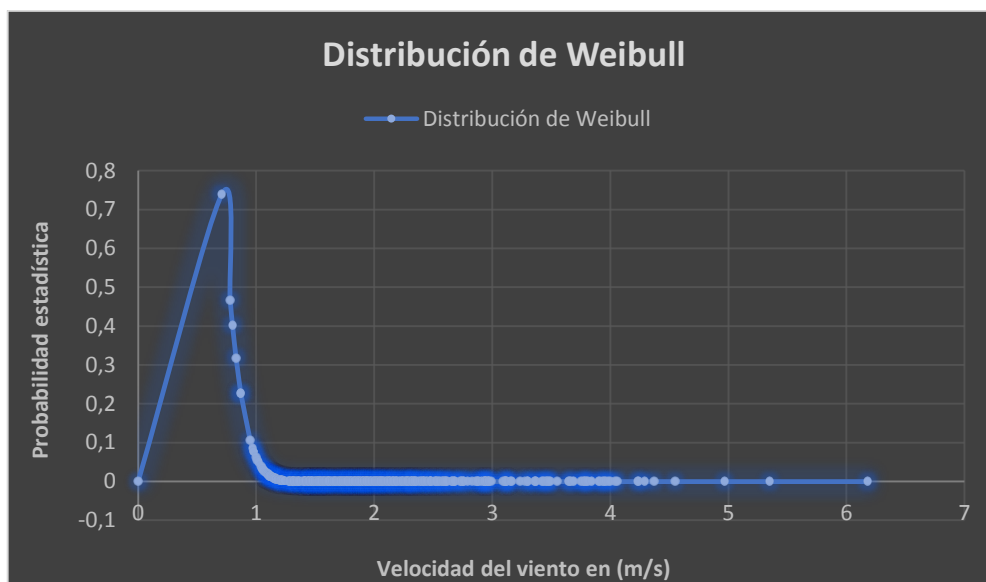


Figura 5.6. Distribución de Weibull.

En la Figura 5.6 el intervalo aproximadamente de 0,4 a 0,8 m/s es la zona más elevada, esta es conocida como la zona de trabajo de la curva de potencia de un aerogenerador comienza con el denominado punto de conexión y termina en el punto de desconexión.

A partir de una determinada velocidad y frecuencia se puede obtener una potencia máxima y a partir de la misma se puede observar en la Figura 5.6 como disminuye esto a medida de como aumenta la velocidad, esto se ajusta precisamente a las características que tiene el generador y aprovechar una velocidad óptima para que entregue su máxima potencia, por otra parte a velocidades por encima de la potencia máxima el aerogenerador es necesario reducir su velocidad para evitar daños mecánicos.

5.4. UBICACIÓN DE LAS LUMINARIAS EN EL CAMPO DEPORTIVO

Para la iluminación en el exterior del campo deportivo, se debe considerar varios parámetros, mismo que servirán para determinar el número de luminarias que se requiera para cumplir con lo que dice la norma FIFA el cual indica que se debe tener por lo mínimo 200 luxes en un campo deportivo deportiva de primera clase.

Para ello en la Figura 5.7 se muestra las medidas del campo donde se realizará el dimensionamiento para el sistema eólico.

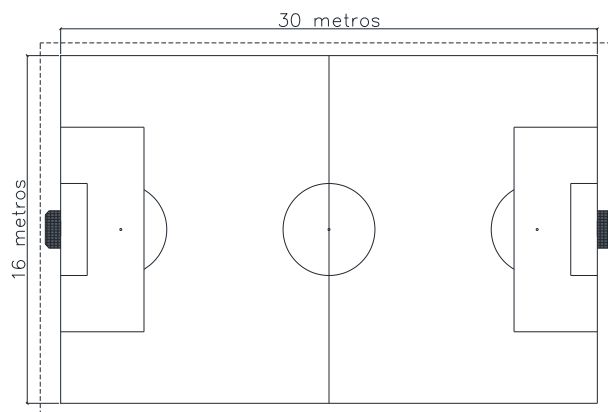


Figura 5.7. Medidas del campo deportivo.

En un campo deportivo es primordial la correcta iluminación al momento de realizar la actividad deportiva y sobre todo evitar el deslumbramiento en los jugadores, para ello es necesario unas ciertas medidas que imponen las normas internacionales al momento de estipular las medidas adecuadas para instalar una lampara, para ello dentro del reglamento de la FIFA señala que no se debe colocar ningún tipo de iluminación que interrumpa la vista del portero al momento de cobrar un saque de esquina [40]. La Figura 5.8 para determinar la altura y distancia mínima necesarias para colocar el reflector en el campo deportivo se determina de la siguiente manera.

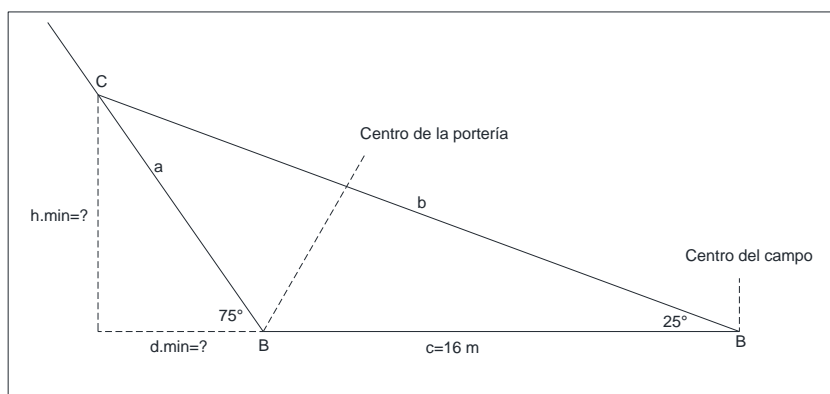


Figura 5.8. Altura y distancia mínima para la instalación de fuentes de luz.

donde h_{\min} es la altura mínima para instalar el reflector de iluminación y d_{\min} representa la distancia mínima de los postes con respecto a la línea de meta.

$$\frac{\text{sen}(A)}{a} = \frac{\text{sen}(C)}{c}$$

$$a = \frac{(c)\text{sen}(A)}{\text{sen}(C)}$$

$$a = \frac{(16\text{m}) \cdot \text{sen}(25^\circ)}{\text{sen}(50^\circ)} = 8,8270 \text{ m}$$

$$h_{\min} = (a) \cdot \cos(15^\circ)$$

$$h_{\min} = (8,8270) \cdot \cos(15^\circ)$$

$$h_{\min} = 8,5262 \text{ m}$$

$$d_{\min} = \sqrt{a^2 - h_{\min}^2}$$

$$d_{\min} = \sqrt{(8,8270 \text{ m})^2 - (8,5262 \text{ m})^2}$$

$$d_{\min} = 2,28 \text{ m}$$

Al momento de implementar el poste de iluminación se debe tomar en cuenta que este dentro de un ángulo de 10° hacia ambos lados de meta, con esto lo que se pretende es evitar que haya deslumbramiento en los jugadores tanto los que atacan y principalmente al portero al momento de que el árbitro dicte un lanzamiento de tiro de esquina.

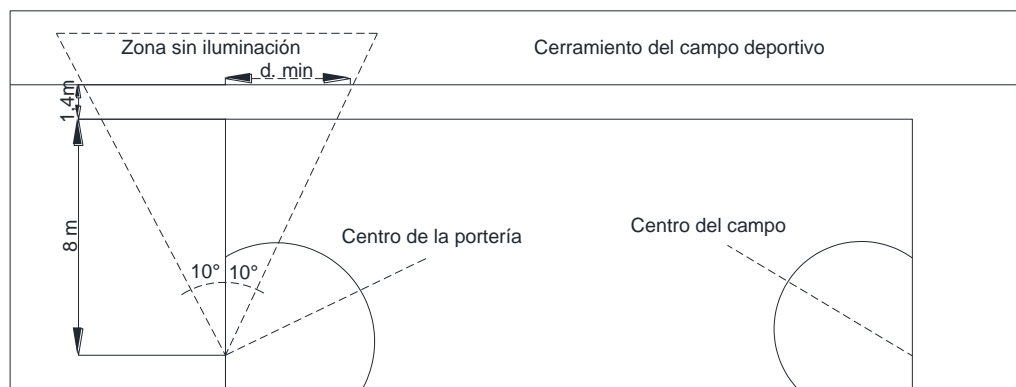


Figura 5.9. Distancia del poste del reflector en referencia a la línea de meta.

Ya conocidas las medidas correspondientes desde el centro de la portería que es de 8 metros más 1,4 metros que es del cerramiento a la línea del campo deportivo, da como resultado 9,4 metros de distancia donde se colocara el poste de la iluminación, este poste se colocara a una distancia mínima desde la línea del portero.

$$d_{\min} = (9,4 \text{ m}) \cdot \tan(10^\circ) = 1,6574 \text{ m}$$

5.4.1. Cálculo del flujo luminoso del campo deportivo

Mediante el cálculo del flujo luminoso se determinará el número de luminarias que se necesitan según el área del campo deportivo, tomando en cuenta que es de clase I, para ello se tiene los siguientes datos del campo deportivo.

Tabla 5.2. Características del campo deportivo.

Largo [m]	30
Ancho [m]	16
Flujo luminoso [Lux]	200
Potencia del reflector LED (W)	200

$$A = 30 \text{ m} \cdot 16 \text{ m}$$

$$A = 480 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total} = 480 \text{ m}^2$$

a) Datos específicos del Reflector

A continuación, en la Figura 5.3 detalla las características del reflector que se usará para el alumbrado exterior del campo deportivo.

Tabla 5.3. Características del reflector de 200 W de potencia [44].

Datos ópticos		Datos Físicos		Datos eléctricos	
Temperatura de color	6500k [DL]	Acabado	Negro	Potencia de entrada	200 W
Flujo luminoso	21000 lm	Grado de protección IP	IP65/IK05	Tensión de operación	100-240 V 50/60 Hz
Angulo de apertura	100°	Dimensiones (LxWxH)	405x344x43 mm	Corriente de entrada	1,667 A @ 120V
Tipo de distribución	Directa simétrica	Tipo de montaje	Sobreponer	Factor de potencia	0,9
Reproducción de color (IRC)	>70	Chasis	Aluminio extruido	Distorsión armónica (THD)	<20%
Vida útil	30000 h L70	Óptica	Semiespecular	Tipo de driver	Independiente
Eficiencia	95 lm/w	Temperatura de operación Ta	20°C - 35°C	Atenuable	NO

b) Flujo luminoso

Para calcular el flujo de luminosidad que se necesita, es importante conocer la cantidad de luxes requerido para el área deportiva, lo cual como mínimo que se requiere es de 200 luxes según la norma de la FIFA.

$$\Phi_T = \frac{200 \text{ lux} \cdot 480 \text{ m}^2}{0,8 \cdot 0,6}$$

$$\Phi_T = 200.000,00 \text{ lúm.}$$

c) Numero de luminarias

El número de luminarias, se determina de la siguiente manera, donde, el flujo luminoso del reflector de 200W es 21,000 lúmenes.

$$NL = \frac{200.000,00 \text{ lúm.}}{1 \cdot 21.000,00 \text{ lúm.}}$$

$$NL = 9,5238 \text{ luminarias.}$$

Es decir, en toda el área del campo deportivo debemos poner 9,5238 luminarias, pero como se va a distribuir en 8 torres, queda de la siguiente manera.

$$\frac{9,5238}{8} = 1,1904 \approx 1 \text{ luminaria de 200 W.}$$

En el campo deportivo se pondrá 8 luminarias cada una de 200 W por prototipo. Una vez calculado el número mínimo de luminarias que se necesita, se tiene que proceder a distribuirlas sobre el área del campo deportivo, es decir, calcular el número de filas y columnas de luminarias que entran en toda el área del campo, para ello se procede a calcular el número de filas de luminarias verticalmente (a) y horizontal (b) de la cancha.

$$NF_{\text{luminarias}} = \sqrt{\frac{9,5238 \text{ luminarias}}{30 \text{ m}} \cdot 16 \text{ m}}$$

$NF_{\text{luminarias}} = 2,2537 \approx 2$ Numero de filas de luminarias que se tiene a lo ancho.

Numero de columna de luminarias a lo largo (b) de la cancha en (m).

$$NC_{\text{luminarias}} = 2,2537 \text{ luminaria} \cdot \left(\frac{30 \text{ m}}{16 \text{ m}}\right)$$

$NC_{\text{luminarias}} = 4,2256 \approx 4$ Columnas de luminarias en el area del campo deportivo.

En la siguiente figura, puede ver la posición de la torre reflectora a lo largo del campo deportivo según las medidas del campo deportivo.

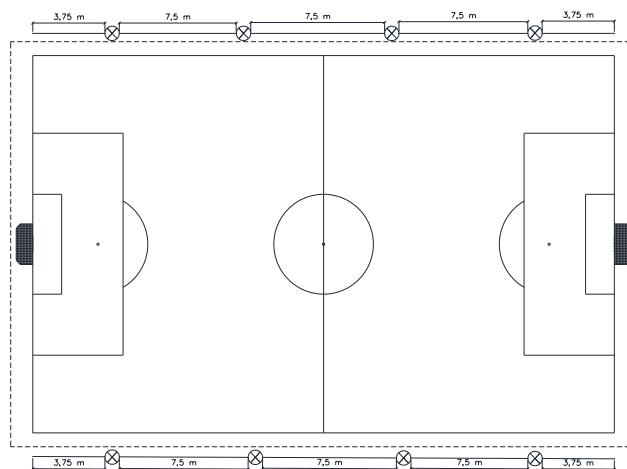


Figura 5.10. Ubicación de las torres de iluminación.

5.4.2. Cálculo y comprobación

Según la norma de la FIFA indica que, para la clase I de los escenarios deportivos como mínimo debe tener 200 luxes, por lo tanto, se procede a validar de la siguiente manera.

$$E_m = \frac{9,5238 \text{ luminarias} \cdot 1 \cdot 21.000,00 \text{ lum} \cdot 0,8 \cdot 0,6}{480 \text{ m}}$$

$$E_m = 199,9998 \text{ Lux} \approx 200 \text{ Lux}$$

El resultado obtenido es de 199,998 luxes, el cual quiere decir que cumple con la norma estipulada para los escenarios de primera clase.

5.4.3. Cálculo de demanda del sistema de iluminación exterior

A través de la potencia de los reflectores de iluminación, se determina la energía consumida diariamente.

Tabla 5.4. Demanda de energía eléctrica para el prototipo del sistema de iluminación.

Demanda total para cada prototipo.						
Descripción del equipo	Cantidad	Potencia nominal [W]	Potencia total [W]	Tiempo estimado [h]	Energía [Wh]	Energía [KWh/mes]
Led reflector jeta 200W DL	1	200,00	200,00	4,00	800,00	240,00
Demanda máxima			200,00			
Energía Diaria					800,00	
Energía consumida						240,00

5.4.4. Cálculo de consumo diario

Para determinar la energía del consumo diario es importante conocer la demanda que requiere el sistema.

$$E = 1 \cdot 200 \text{ W} \cdot 4 \text{ h} = 800 \text{ W/h}$$

$$E = 800 \frac{\text{W}}{\text{h}} \cdot 1,2$$

$$E = 960 \text{ W/h}$$

La energía diría de consumo es de 960 W/h, por lo tanto, se requiere un sistema de 12 voltios.

$$E = \frac{1 \cdot 200 \text{ W} \cdot 4 \text{ h}}{12 \text{ V}} = 66,66 \text{ Ah/día}$$

Factor de seguridad permite tener un porcentaje de sobredimensionamiento, se considera un factor del 20%, para compensar la pérdida de eficiencia.

$$E = 66,66 \frac{\text{Ah}}{\text{día}} \cdot 1,2$$

$$E = 80 \text{ Ah/día}$$

5.5. DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN EN SOFTWARE DIALUX

Con el fin de obtener un sistema garantizado y que cumpla con todos los criterios dictado por la norma del FIFA se procede a realizar una simulación en Dialux 4.13 el cual sirve para crear escenarios deportivos en 3D y por medio de ello poder determinar si la iluminación obtenida es adecuada para el campo deportivo del Barrio Simón Bolívar.

Tabla 5.5. Característica de las luminarias utilizadas en la simulación [39].

Tipo de luminaria	Voltaje [V]	Potencia [W]	Flujo luminoso [lm]	Protección	Vida útil [h]
LED Área Light	277 V	200	21000	IP66	30000
SAUDILIGHTING A6TG/3-250QP	220 V	200	21000	IP65	30000

Las características de luminarias que se utilizó en la simulación del campo deportivo se pueden observar en la Tabla 5.5 las características técnicas del elemento que se implementó en cada poste de las luminarias.

5.5.1. Resultados de la simulación del sistema de iluminación

El diseño realizado en AutoCAD del campo deportivo que se utilizó para realizar la simulación y de acuerdo a este poder determinar la ubicación de las luminarias de una manera más adecuada en el software Dialux.

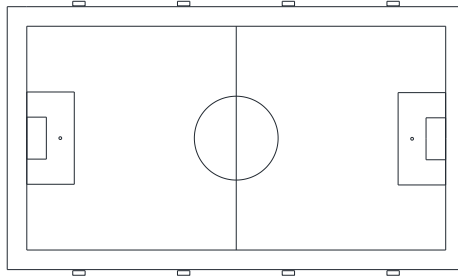
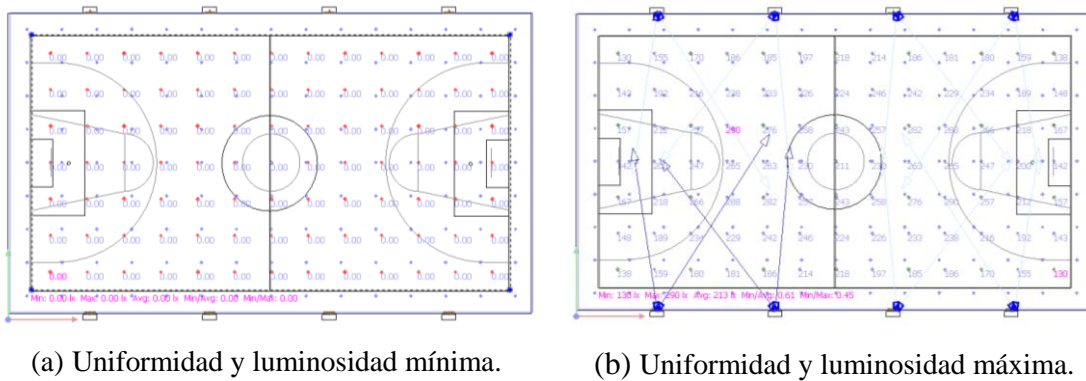


Figura 5.11. Campo deportivo.

Se puede observar la iluminancia mínima y máxima que se obtuvo en el campo, así como la uniformidad luminosa como se muestra a continuación.

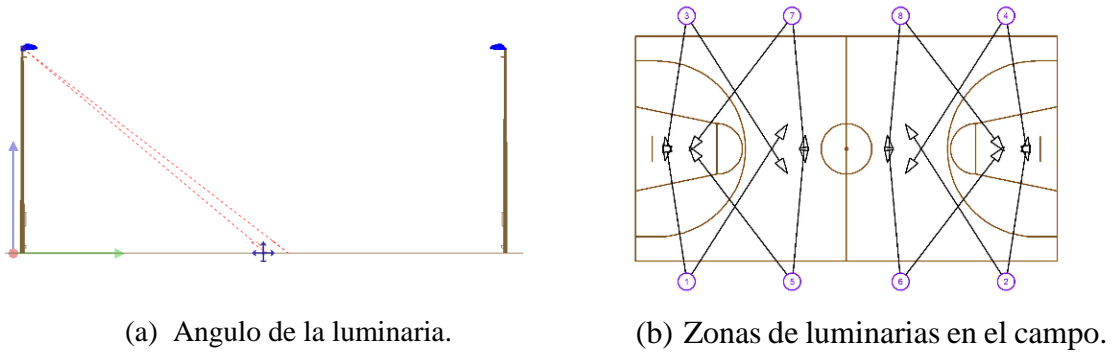


(a) Uniformidad y luminancia mínima.

(b) Uniformidad y luminancia máxima.

Figura 5.12. Luminancia del campo deportivo.

La iluminancia es el flujo luminoso por unidad de superficie y se mide en luxes y la uniformidad es aquella que mide la calidad de distribución de la iluminación en la cancha deportiva, es decir, mide la desviación que hay entre la iluminancia media y la iluminancia máxima, por lo tanto, en la Figura 5.12 (a) se puede observar que se tiene cero tanto en luminancia como uniformidad, esto debido a que el campo aún no se ha implementado las luminarias. Por otra parte, en la Figura 5.12 (b) con las luminarias implementadas en el campo, tiene una luminancia mínima de 130 luxes y una máxima de 290 luxes y en cuanto a la uniformidad se tiene una media de 213 luxes, el cual es aceptable, bajo la norma FIFA donde establece la luminancia de acuerdo al tipo de escenario que se requiera. Una buena iluminación tiene que ver con el ángulo que tiene el reflector con el centro del campo de juego, como se puede ver en la Figura 5.13

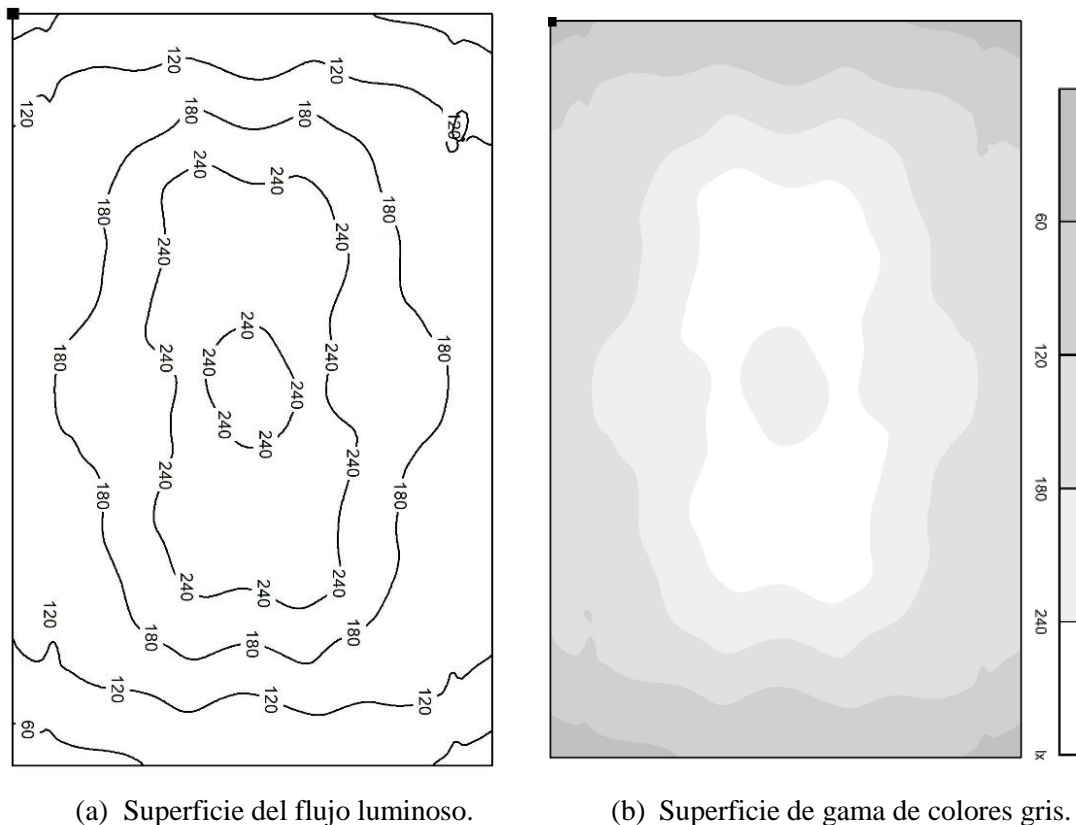


(a) Angulo de la luminaria.

(b) Zonas de luminarias en el campo.

Figura 5.13. Escena exterior del campo deportivo.

Para la simulación del campo deportivo es importante el ángulo adecuado de las luminarias, esto se determina en la Figura 3.28 donde se determina el ángulo adecuado que debe tener, mientras tanto en la Figura 5.13 (b) se determina las zonas hacia donde queremos que llegue con mayor intensidad la iluminación.



(a) Superficie del flujo luminoso.

(b) Superficie de gama de colores gris.

Figura 5.14. Diagrama del flujo luminoso en el campo deportivo.

Los diferentes niveles de luz que se tiene y de acuerdo a ello se determinó que cumple con la iluminación requerida para el campo deportivo del Barrio Simón Bolívar.

Tabla 5.6. Resultados del Sistema de Iluminación.

Tipo	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
Perpendicular	196	103	292	0,52	0,35
Gama de grises	213	130	290	0,61	0,45
Superficie del suelo	175	30	292	0,17	0,102

5.6. RESULTADOS DEL ESTUDIO EÓLICO

En el diseño del sistema de generación eólica ubicado en el Barrio Simón Bolívar de la Parroquia el Chaupi Provincia de Pichincha, tiene una gran ausencia de iluminación exterior, por lo que es necesario el dimensionamiento de los elementos que se implementará en el prototipo.

El sistema permitirá aprovechar todos los recursos eólicos que hay en esta zona, a través de una de una farola eólica de eje vertical, con el cual se obtendrá energía mecánica y con el generador tener una corriente directa, seguidamente se lleva a un sistema de regulación y control de carga, donde se almacenará esta energía mediante un banco de baterías, y posteriormente esta corriente ingresar al inversor para convertir esta corriente directa en altera y finalmente será usada para encender el reflector del campo deportivo.

Para el dimensionamiento de los elementos que tiene el sistema eólico, es necesario conocer parámetros muy importantes como es la velocidad del viento, calculada anteriormente en la Tabla 5.1 estos cálculos servirán para determinar las características del equipo que se utilizará en el sistema eólico.

5.6.1. Cálculo del coeficiente de rugosidad

El coeficiente de rugosidad (α) se obtiene de la siguiente forma, aplicando los datos ya conocidos.

$$\alpha = \frac{0,37 - 0,088 \cdot \ln \cdot 6,36 \text{ m/s}}{1 - 0,088 \cdot \ln \left(\frac{8 \text{ m}}{10 \text{ m}} \right)}$$

$$\alpha = 0,17 \approx 0,2$$

5.6.2. Cálculo de la velocidad nominal del viento

Por medio del cálculo de la velocidad del viento se realiza todos los cálculos necesarios, esto datos fueron obtenidos por la NASA “Administración Espacial Aeronáutica de Estados Unido” en la provincia de Pichincha Ciudad Machachi Parroquia el Chaupi, donde se pudo obtener una velocidad promedio a 2 metros de $6,36 \text{ m/s}$ cómo se puede ver en la Tabla 5.1.

$$v = 6,36 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \left(\frac{8 \text{ m}}{2 \text{ m}} \right)^{0,2}$$

$$v = 8,39 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

para realizar el análisis se estudia a partir de los 2 m/s , debido a que este es la velocidad mínima que requiere para que un generador Savonius comience a moverse, pero esto no implica que todos los aerogeneradores empiecen a moverse con esa velocidad.

5.6.3. Cálculo de la energía cinética

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot \left(1,2149 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \cdot \left(8,39 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2$$

$$E_c = 42,7596 \frac{\text{kgm}^2}{\text{s}^2}$$

La energía cinética que se genera en la zona, a diferentes velocidades del viento se puede ver en la Tabla 5.7.

Tabla 5.7. Energía cinética obtenida a diferentes velocidades del viento.

Área de 1 m^2	
Velocidad [m/s]	Energía [J]
1	0,60745
2	2,4298
4	9,7192
6	21,8682
8,39	42,7596
10	60,745

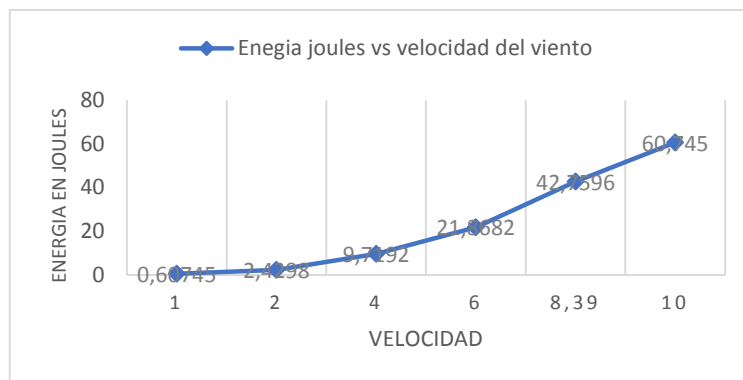


Figura 5.15. Energía vs velocidad del viento.

En la Figura 5.8 se puede ver los parámetros que se obtuvo en función de la velocidad del viento, los cuales servirán más adelante para el diseño de prototipo.

Tabla 5.8. Resultado de los parámetros del recurso eólico.

Velocidad del viento	8,39 $\left[\frac{m}{s}\right]$
Energía cinética	42,7596 $[kgm^2/s^2]$
Coefficiente de rugosidad de	0,20

5.7. DISEÑO Y CÁLCULOS DEL PROTOTIPO

Por medio de los datos obtenidos en el análisis del recurso eólico, se realiza el diseño del prototipo del aerogenerador tipo Savonius, donde se puede determinar las dimensiones que este tendrá, el proceso del diseño se llevará a cabo a partir de las condiciones ambientales que hay en el lugar.

Como objetivo principal es conocer las dimensiones de cada elemento del prototipo del aerogenerador, mediante una investigación bibliográfica y cálculos respectivos que servirán para determinar el funcionamiento adecuado del sistema eólico y así poder tener como resultado un prototipo óptimo para la generación de energía eléctrica que servirá para la iluminación exterior de un campo deportivo en el Barrio Simón Bolívar.

5.7.1. Consideraciones del diseño

Para crear prototipos, es importante tener en cuenta algunas de las características que se describen a continuación.

- (a) Los materiales livianos y económicos.
- (b) Fácil instalación.
- (c) Implementar en cualquier lugar.

Al diseñar una turbina eólica, es importante identificar las diversas condiciones externas e internas que pueden ocurrir durante la operación.

5.7.2. Altura del sitio del funcionamiento del aerogenerador

La altura para el funcionamiento del aerogenerador es de 3349 m.s.n.m. estos datos fue obtenido de la página de Google Eart el cual se puede ver en el Anexo B.3.

5.7.3. Condiciones externas

Las situaciones externas están llamadas a ser las que tienen relación directa con el generador y su fabricación como por ejemplo las que se pueden ver en el Anexo A, es decir uno de los parámetros más importantes es la velocidad del viento.

Las situaciones externas se designan como directamente relacionadas con el aerogenerador y su construcción, como se muestra en el Anexo A. Por lo tanto, uno de los parámetros más importantes es la corriente del viento.

5.7.4. Condiciones internas

La situación interna real se refiere al diseño, funcionamiento y sistema eléctrico del prototipo. Es un controlador de carga, un inversor o una batería cuyo funcionamiento se puede variar.

5.7.5. Temperatura de la parroquia el Chaupi

La temperatura máxima y mínima se puede observar en el Anexo B.2. donde se puede ver que se tiene un promedio de 18°C de durante un periodo de un año.

Tabla 5.9. Parámetros para el diseño del prototipo eólico.

Altura sobre el nivel del mar	3349 msnm
Presión atmosférica	71923 Pa
Promedio del viento	6,36 m/s
Temperatura Promedio	18°C
Densidad del aire	$287 \frac{J}{kg \cdot K}$

5.7.6. Cálculo de la densidad del viento

Para calcular la densidad del viento se utiliza la ecuación (3.18) y de acuerdo a la presión atmosférica se puede determinar de la siguiente manera.

$$\rho = \frac{71923 \text{ N/m}^3}{287 \text{ J/kg} \cdot \text{k} \cdot (18^\circ\text{C} + 273)\text{k}}$$

$$\rho = 0,8611 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

La densidad del viento depende de la zona en donde se realice el estudio, debido a que la temperatura disminuye con la humedad y por tanto influye en la energía cinética del viento.

5.7.7. Parámetros geométricos del prototipo

Los parámetros de diseño, permite conocer las características geométricas que debe de tener el prototipo de acuerdo a las condiciones ambientales que hay en la zona, en la Figura 3.13 se puede ver los diferentes tipos de configuraciones de rotores, por lo tanto, se escogió realizar un rotor de tipo Savonius “g” debido a que tiene un mayor rendimiento a bajas velocidades por minuto y su coeficiente de potencia es mínimo como se puede ver en la Figura 3.16. Dentro de estos están los parámetros geométricos que se debe diseñar para un rotor tipo Savonius, mismo que debe considerar lo siguiente como se puede ver en la En la Figura 3.22

5.7.8. Cálculo de la potencia extraída del sistema

Para determinar la potencia total extraída es necesario conocer la capacidad de almacenamiento de la batería del sistema eólico, en este caso se usará una batería con una capacidad de 100 amperios hora día para un sistema a 12 voltios, tiene una corriente de 10 amperios, con estos datos se calcula la potencia que debe entregar el aerogenerador.

$$P = V \cdot I$$

$$P = 12 \text{ V} \cdot 10 \text{ A}$$

$$P = 120 \text{ W}$$

Con una velocidad de $8,39 \text{ m/s}$ da como resultado una potencia total extradida de ciento veinte watts que se obtiene del prototipo.

5.7.9. Cálculo para el dimensionamiento del rotor eólico

El rotor se debe diseñar conforme a la velocidad del viento que hay la zona, para ello también es importante conocer la potencia eléctrica que se desea obtener para el sistema, esto se realiza mediante la ecuación (3.23). Para el determinar las dimensiones se debe conocer el rendimiento eléctrico, mecánico y el coeficiente de potencia del aerogenerador tipo Savonius. Según [16] en el caso del aerogenerador Savonius, la eficiencia mecánica del rodamiento es de 0,99 y la eficiencia de transmisión del generador es de 0,95 conocido estos datos con la ecuación (3.23) se obtiene la eficiencia mecánica.

$$\eta_m = 0,99 \cdot 0,95$$

$$\eta_m = 0,9405$$

Para la eficiencia eléctrica considerando que $\eta_{gen} = 0,85$ y $\eta_{con} = 0,85$ se determina de la siguiente manera.

$$\eta_e = 0,85 \cdot 0,85 = 0,7225$$

Con la ecuación (3.25) se procede a despejar el área total necesaria que servirá para obtener la potencia deseada, el coeficiente de potencia se obtiene de la Figura 3.26 el cual señala que un aerogenerador tipo Savonius tiene un coeficiente de potencia de 0,20 y un valor de *Tip Speed Ratio* o conocido como TSR con un valor de 0,8.

$$A = \frac{2 \cdot 120 \text{ w}}{0,9405 \cdot 0,7225 \cdot 0,20 \cdot 0,8611 \text{ kg/m}^3 \cdot \left(8,39 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3}$$

$$A = 3,4725 \text{ m}^2$$

Con esta área obtenida se va a generar una potencia de 120 watts, dado a una velocidad de 8,39 m/s.

5.7.10. Cálculo de la potencia nominal del viento

Toda la potencia que genera el viento es la potencia máxima que se genera, es aquí donde se considera las diferentes pérdidas que puede tener el sistema como tal, esto se logra calcular a través de la ecuación (3.13), además de eso se debe tener en cuenta la velocidad del viento a la altura que se va a colocar el aerogenerador.

$$P_n = \frac{1}{2} \cdot \left(0,8611 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \cdot \left(8,39 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 \cdot (3,4725 \text{ m}^2)$$

$$P_n = 882,9817 \text{ W}$$

Tabla 5.10. Potencia nominal a diferentes velocidades.

Velocidad m/s	Potencia [W]
1	1,495
2	11,9606
4	95,6854
6	322,938
8,39	882,9817
10	1495,0848

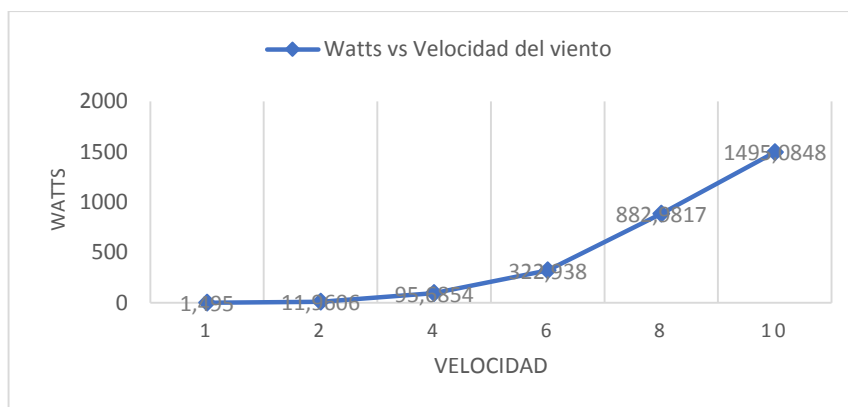


Figura 5.16. Representación de la potencia que se obtiene.

5.7.11. Cálculo del área del barrido del rotor

La parte de barrido del rotor es importante porque está relacionada con el área de barrido de la pala. Cuanto mayor sea el área, mayor será el barrido del alabe, en este caso, se calcula mediante la siguiente ecuación (3.27) [16].

A saber, que el diámetro dio como resultado 1,3176. Por lo tanto, la altura y el área del barrido se determina de la siguiente forma.

$$h = 2 \cdot 1,3176 \text{ m}$$

$$h = 2,6352 \text{ m}$$

$$A = 1,3176 \text{ m} \cdot 2,6352 \text{ m}$$

$$A = 3,4721 \text{ m}$$

Según [25] La mayoría de los estudios concluyen que las palas semicirculares requieren un espacio cero entre la cuchara. El valor óptimo para la tasa de superposición no está definido, pero según (Fujisawa, 1992) este valor es el ancho o el diámetro de una hoja, del alabe. Los investigadores (Blackwell, Sheldahl y Feltz, 1977) concluyeron que el valor de la tasa de superposición debería variar entre el 10 y el 15%. Por lo tanto, se define los parámetros geométricos de las aspas del aerogenerador de la siguiente manera como se puede ver en la Figura 5.17.

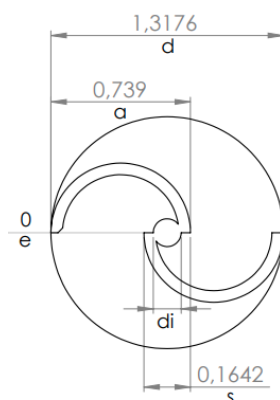


Figura 5.17. Parámetros geométricos de las aspas.

Según [26] dice que debe tener en cuenta algunos aspectos y relaciones dimensionales para obtener un diseño de rotor adecuado. Varios experimentos han demostrado que para alcanzar el coeficiente de potencia máximo la relación geométrica debe estar entre s/a a $1/6$, s/d entre $1/10$ y $1/20$ la interceccion es cero, la relación que hay entre la altura debe de ser de dos y debe cubrir ambos extremos del rotor y hacer simétrica la curvatura del rotor. En la Tabla 5.11 se tallan los parámetros geométricos del rotor del diseño y dimensiones del prototipo.

Tabla 5.11. Parámetros geométricos del rotor.

Nombre	[m]
Traslape (s)	0,1642
Diámetro del rotor (d)	1,3176
Ancho de cada alabe (a)	0,739
Distancia entre alabes (e)	0

5.7.12. Cálculo de la velocidad del alabe

Para conocer la eficiencia del aerogenerador, es importante conocer la velocidad del viento, está definida como la relación entre la velocidad lineal del extremo de las palas y la velocidad del viento, esto se consigue a través de la ecuación (3.14), de ahí que el resultado del TSR del aerogenerador debe ser aproximado al 0,8 para el tipo Savonius.

$$\omega = \frac{0,8 \cdot 8,39 \text{ m/s}}{0,6569 \text{ m}}$$

$$\omega = 10,2176 \text{ rad/s}$$

$$\text{TSR} = \frac{10,2176 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot 0,6569 \text{ m}}{8,39 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$\text{TSR} = 0,79$$

Una vez calculado el *Tip Speed Ratio*, se puede determinar que está bajo las condiciones de un aerogenerador tipo Savonius que esta entre 0,8. El número de revoluciones del rotor eólico se realiza bajo la ecuación (3.16), de modo que se multiplica por 60 cuando se está analizando los rpm reales, caso contrario para condiciones ideales, puesto que es imposible ya que no hay aerogeneradores de este tipo de características no se debe multiplicar por 60.

$$\eta = \frac{60 \cdot 10,2176 \text{ rad/s}}{2 \cdot \pi}$$

$$\eta = 97,5708 \text{ rev/min}$$

Entonces el nuestro aerogenerador girará a 97,5708 revoluciones por minuto.

5.7.13. Cálculo del torque del eje

Para determinar el torque se debe tener en cuenta la potencia total extraída por el prototipo y aplicar la ecuación (3.28) el cual se produce por la acción del viento y sufre una transformación de energía mecánica a energía eléctrica.

$$T = \frac{120 \text{ W}}{10,2176 \text{ rad/s}}$$

$$T = 11,7444 \text{ Nm}$$

5.7.14. Cálculo del dimensionamiento de las tapas del prototipo

Según [25] debería haber una diferencia de aproximadamente diez por ciento entre el diámetro del rotor y el diámetro de la tapa de la turbina eólica, como se muestra en la Figura 3.21. Por otra parte, el torque que se genera por la velocidad del viento que choca contra la pala de la turbina genera un movimiento resultante, entonces esta fuerza genera un torque en el eje de manera circular, es aquí donde el diámetro actúa, porque no es lo mismo tener una pala con una cierta distancia del eje del rotor, que una que está unida al eje, debido a que se puede tener la misma fuerza, pero diferente torque, por lo tanto, es importante que tan cerca o lejos este la pala al eje.

$$d_t = 1,1 \cdot 1,3138 \text{ m}$$

$$d_t = 1,4451 \text{ m}$$

El rotor eólico tendrá dos tapas de 1,4451 *m* de diámetro, es importante entender que, si se considera tapas con un diámetro muy grande provocara que aumente la inercia del rotor.

5.7.15. Materiales para el prototipo

Al momento de realizar el diseño de un prototipo para la generación de energía eólica, es necesario tener en cuenta el material con el que se vaya a ser construido, estos materiales deben ser livianos y adecuados para brindar una alta confiabilidad al momento de poner en funcionamiento, según las investigaciones realizadas de diferentes fuentes bibliográficas dan a comprender que el mejor material para el diseño de un prototipo es una lámina de acrílico entre 3 y 5 mm de espesor, debido a que este material es liviano y resistente el cual permite desempeñar el funcionamiento del prototipo de una mejor manera. Por lo tanto, para esta

investigación se va a usar una lámina de acrílico PMMA de 4 mm, mismo que está en el Anexo H.1 donde se puede ver las caracterizas de este elemento. En la Tabla 5.12 se puede ver las características de los datos obtenidos en el dimensionamiento y que posteriormente servirán para calcular las fuerzas que actúan.

Tabla 5.12. Parámetros obtenidos de diseño de las aspas del rotor.

Numero de aspas	2
Diámetro del alabe	1,3176 [m]
Altura del aerogenerador	2,6352 [m]
Lámina acrílica	4 [mm]
Densidad	1190 [kg/m^3]
Masa de alabes	4,665 [kg]

A continuación, se puede ver las dimensiones del diseño de las tapas, mismas que servirán para conocer y determinar las fuerzas actúan dentro del alabe y el eje del rotor en el prototipo.

Tabla 5.13. parámetros de diseño de las tapas del rotor.

Numero de tapas	2
Diámetro de las tapas	1,4451 [m]
Altura del aerogenerador	2,6352 [m]
Lámina acrílica	4 [mm]
Densidad	1190 [kg/m^3]
Masa de alabes	2,8132 [kg 93]

5.7.16. Cálculo de las fuerzas que trabajan sobre el alabe

Para analizar las fuerzas que actúan en el alabe, es necesario tomar en cuenta que será en las condiciones más críticas, es decir, se tomara la velocidad del viento del mes con mayor velocidad que se obtuvo en el análisis de datos como se puede ver en la Tabla 5.1 que se obtuvo un 7,66 m/s en el mes de agosto, mismo que se tomara para realizar el análisis de las fuerzas sobre el alabe. Para analizar la presión del viento se requiere encontrar la nueva velocidad a una altura de 8 metros.

$$v = 7,66 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \left(\frac{8 \text{ m}}{2 \text{ m}}\right)^{0,2}$$

$$v = 10,1074 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

En el análisis y estudio de la velocidad del viento del Barrio Simón Bolívar para condiciones extremas se tiene ahora una velocidad de 10,1074 m/s el cual servirá para determinar la presión del viento.

$$P_v = \frac{1}{2} \cdot 0,8611 \cdot \left(10,1074 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2$$

$$P_v = 43,9847 \text{ P}$$

Mediante la ecuación (3.14) se analiza la nueva velocidad angular en condiciones extremas, dado que para este cálculo se tiene el radio del alabe que se sacó anteriormente.

$$\omega = \frac{0,8 \cdot 10,1074 \text{ m/s}}{0,6569 \text{ m}}$$

$$\omega = 12,3059 \text{ rad/s}$$

La fuerza centrífuga se da mediante la ecuación (3.30), asimismo para esto se debe conocer la masa de los materiales que se está utilizando en el diseño.

$$F_c = \frac{(2,8132 \text{ kg} + 4,653 \text{ kg}) \cdot 12,3059 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot 1,3176 \text{ m}}{2}$$

$$F_c = 744,8691 \text{ N}$$

Para encontrar la fuerza de arrastre que genera las aspas del rotor se realiza mediante la ecuación (3.29), en tanto que el área total es 3,4721 m y un coeficiente de potencia de 0,2.

$$F_D = 0,2 \cdot \frac{\left(10,1074 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 \cdot 0,8611 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,4721 \text{ m}^2}{2}$$

$$F_D = 30,5439 \text{ N}$$

5.7.17. Cálculo para el eje del rotor

El tipo de material utilizado es importante al dimensionar el eje del rotor. Este elemento está sujeto al esfuerzo que genera el rotor del aerogenerador, por lo que lo importante son las características de los elementos que lo componen. Para un mejor efecto, debe tener un material delgado y liviano. El material elegido para dimensionar este elemento es AISI 4340, cuyas propiedades se muestran en el Anexo H.2.

Tabla 5.14. Características del acero AISI-SAE 4340.

Representación	Propiedades
Esfuerzo de tracción	745 Mpa
Esfuerzo de Fluencia	470 Mpa
Elasticidad	205 Gpa
Densidad	7850 kg/m ³
Masa de alabes	2,8132 kg

Al momento del diseño de eje es necesario conocer cuál es la fuerza del viento, por lo tanto, esto se conoce a través de la ecuación (3.31), al mismo tiempo el área a considerar es el mismo que se calculó anteriormente al igual que la presión del viento.

$$F_v = 43,9847 \text{ Pa} \cdot 3,4725 \text{ m}^2$$

$$F_v = 152,7368 \text{ N}$$

Según [22] sumando las fuerzas, la fuerza aplicada a los puntos A y B del eje se obtiene el esfuerzo que se realiza en R_{AB} es la reacción en el punto A, R_{BC} es la reacción producida en el punto B, L es la longitud entre el punto A y B y R_{BY} es la reacción en el punto B, pero en el eje Y.

$$\sum M_B = 0$$

$$L \cdot R_{BC} - \frac{L}{2} \cdot F_V = 0$$

$$R_{BC} = \frac{\frac{L}{2} \cdot F_V}{L}$$

$$R_{BC} = \frac{\frac{1,5084 \text{ m}}{2} \cdot 152,7368 \text{ N}}{1,5084 \text{ m}}$$

$$R_{BC} = 75,6741 \text{ N}$$

Por lo tanto R_{AB} se determina con la fuerza del viento y la fuerza que hay en R_{BC} de la siguiente manera:

$$R_{AB} = F_V \cdot R_{BC}$$

$$R_{AB} = 152,7368 \text{ N} \cdot 75,6741 \text{ N}$$

$$R_{AB} = 44,0627 \text{ N}$$

La fuerza R_{BA} es aquella que actúa en la parte superior del eje, de ahí que el momento del del flector en el punto B se calcula de la siguiente manera de acuerdo a la fuerza del viento y la distancia que hay en el eje del rotor:

$$M_B = F_V \cdot \frac{L}{2}$$

$$M_B = 152,7368 \text{ N} \cdot \frac{0,7017 \text{ m}}{2}$$

$$M_B = 53,5877 \text{ Nm}$$

Una vez determinado estos parámetros en condiciones críticas se puede determinar cuál es la potencia máxima que genera el aerogenerador en estas condiciones, mediante la ecuación (3.25), de la misma manera se considera una eficiencia mecánica y eléctrica, con el fin de que se pueda conocer la máxima capacidad del sistema eólico.

$$P_{max} = 0,94 \cdot 0,723 \cdot 0,2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 3,4725 \text{ m}^2 \cdot 0,8611 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(10,1074 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3$$

$$P_{max} = 208,8034 \text{ W}$$

Según [26] una vez determinada la potencia máxima en condiciones extremas, se puede determinar el par torsión que se determina por el eje del rotor eólico de la misma forma que se debe considerar la potencia máxima en condiciones extremas para la velocidad angular.

$$T_v = \frac{P_{max}}{\omega} \quad (49)$$

donde P_{max} es la potencia máxima y ω representa la velocidad angular.

$$T_v = \frac{208,8034 \text{ W}}{12,3059 \text{ rad/s}}$$

$$T_v = 16,9677 \text{ Nm}$$

El par torsión obtenido es de 16,9677 Nm, en tanto esta fuerza es la contraria a las fuerzas AB Y BC de eje del rotor.

5.7.18. Cálculo del análisis estático

El análisis estático lo que permite es que el eje del rotor no tenga ningún inconveniente al momento de su funcionamiento después de que recibe las cargas del viento en condiciones extremas, a fin de que mediante la ecuación (3.32) se determine el diámetro del eje, esto ya considerando para análisis turbulento en el sistema, principalmente en el eje del rotor.

$$d_e = \left[\frac{16 \cdot N}{\pi \cdot 470 \text{ MPa}} \cdot \sqrt{4(53,5877 \text{ Nm})^2 + 3(16,9677 \text{ Nm})^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$d_e = 0,006816 \text{ m}$$

Para un análisis estático en condiciones extremas se requiere un diámetro de 6,816 mm como mínimo, mismas que están analizadas para situaciones extremas que puede pasar.

5.7.19. Cálculo para el diseño de la estructura

En el diseño de la estructura del aerogenerador es importante y necesario conocer las características que tiene el material, por lo tanto, se debe calcular cual es la fuerza de rozamiento que tiene la estructura. En el Anexo H. 3 se puede observar las características técnicas de la materia que se utilizó para realizar este tipo de análisis. para poder determinarlo se suma el peso que tiene el sistema eólico y a partir de ello se conocerá cual es la fuerza de rozamiento.

$$F_r = 0,70 \cdot 346,90 \text{ N}$$

$$F_r = 242,83 \text{ N}$$

En resumen, en la fuerza de fricción es necesario un factor de seguridad para que la estructura no deslice, esto mediante la ecuación (3.35), igualmente se debe considerar de acuerdo a la fuerza de fricción.

$$FS_{des} = \frac{242,83 \text{ N}}{152,7368 \text{ N}}$$

$$FS_{des} = 1,5898$$

$$1,5898 > 1,5$$

Determinado esta fuerza se puede ver que la estructura no va a deslizarse, dado que 1,5898 es menor que 1,5 por lo tanto la estructura no sufre ningún daño. En síntesis, la construcción del diseño de los elementos estructurales es primordial tomar en cuenta la fuerzas que actúan sobre el sistema para al final obtener un diseño adecuado de acuerdo a los parámetros medio ambientales que hay en la zona, sumando a esto el dimensionamiento del sistema eléctrico requiere de equipos con una cierta característica.

5.8. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA ELÉCTRICO

5.8.1. Cálculo de la capacidad de almacenamiento de las baterías

En un sistema eólico es importante el equipo de almacenamiento, debido a las diferentes variaciones de velocidades del viento que hay, estos obviamente no son constante todo el tiempo y hay veces que se tendrá una mínima velocidad y esto no genera suficiente potencia para cubrir la demanda del sistema, es ahí donde entran a actuar las baterías y por medio de ello cubre la demanda que requiera el sistema y así evitar inconvenientes de funcionamiento. Para ello el rendimiento del inversor es de 93% por lo cual esto se puede determinar de la siguiente manera.

$$\begin{aligned} \text{CBB} &= \frac{80 \frac{\text{Ah}}{\text{día}} \cdot 1 \text{ día}}{0,93} \\ &= 86,021 \text{ Ah/día.} \end{aligned}$$

a) Baterías en paralelo

La profundidad de descarga es de un 90% y la capacidad de la batería es de 100 Ah/día.

$$B_P = \frac{\frac{86,021 \text{ Ah/día}}{0,90}}{100 \text{ Ah/día}}$$

$$B_P = 0,9557 \approx 1 \text{ batería en paralelo.}$$

b) Baterías en serie

Voltaje del sistema es de 12V y el voltaje de la batería de igual manera es 12V.

$$B_S = \frac{12 \text{ V}}{12 \text{ V}} = 1 \text{ batería en serie.}$$

El número total de baterías que se requiere para el prototipo del sistema de iluminación exterior del campo deportivo es 1 batería en total. La batería seleccionada es Monoblock placa tubular de 100 amperios hora a 12 voltios, esto debido a que este tipo de elementos tiene buenas características para este tipo de sistemas autónomos.

Para calcular el tiempo de descarga de la batería del sistema, se determina de la siguiente manera.

$$P = V \cdot I$$

$$I = \frac{P}{V} = \frac{200 \text{ W}}{12 \text{ V}}$$

$$I = 16,666 \text{ A}$$

La corriente de descarga será de 16,66 amperios, para una batería de una capacidad de 100 amperios hora, por lo tanto, el tiempo que tardará en descargarse la batería será:

$$t = \frac{100\text{Ah}}{16,666\text{h}} = 6 \text{ horas}$$

En la Tabla 5.15 se ve las características que tiene una batería y el tiempo de vida útil.

Tabla 5.15. Característica de las baterías [43].

Acumulador	Batería de plomo Acido Convencional	Batería de Plomo Acido Monoblock
Voltaje	12 V	24 V
Peso	57 kg	30 kg
Corriente	250 Ah	100 Ah
Garantía	1 año	1 año
Confiabilidad	99%	99%
Años de servicio	10 años	15 años

5.8.2. Cálculo del inversor de corriente

Para el cálculo del inversor, se requiere conocer la potencia máxima del sistema, en este caso se tienen una potencia de 200W para la iluminación.

$$P_{\text{Inversor}} = 1.25 \cdot 200 \text{ W}$$

$$P_{\text{Inversor}} = 250 \approx 300 \text{ W}$$

Este tipo de inversores son muy comunes en el mercado, para el sistema se seleccionó un inversor *PA1000-1131 Kinverch* de 500 watts idóneo para el diseño del sistema de iluminación.

Tabla 5.16. Características del inversor [30].

Modelo	SI612-624-648	SI812-824	SI1212-1224-1248	SI1624	SI2324-2348	SI3324	SI3548
Voltaje nominal (V)	12/24/48V	12/24V	12/24/48V	24V	24/48V	24V	48V
Potencia nominal (W)	600	800	1200	1600	2300	3300	3500
Potencia en vacío	-----	-----	< 0,50	< 0,50	< 0,60	< 0,70	< 0,80
Máxima eficiencia %	91	92	93-95	95	96	95	95
Peso [Kg]	6,90	10,40	13,20	15,20	27	30	38

5.8.3. Cálculo de potencia del aerogenerador

De acuerdo al potencial eólico que se obtuvo, se puede determinar la potencia del generador del sistema.

$$P_e = 1127,058W \cdot 0,45$$

$$P_e = 294,147 W$$

Se tiene una potencia de 294,147 watts que servirá para determinar el prototipo de una farola eólica por lo tanto se necesita un generador de 500 watts.

Tabla 5.17. Características del generador eólico para el sistema.

Modelo	B-100S	B-200S	B-300M	B-400M	B-500M2	B-600M2
Potencia nominal [W]	100W	200W	300W	400W	500W	600W
Potencia máxima [w]	130W	230W	350W	450W	550W	650W
Voltaje nominal ([V])	12/24V	12/24V	12/24V	12/24V	12/24/48V	12/24/48V
Velocidad nominal [r/m]	600r/m	700r/m	600r/m	700r/m	650r/m	650r/m
Peso neto [Kg]	2,8kg	3Kg	4Kg	4,3Kg	7Kg	7,5Kg
Peso bruto KGS	3,5KGS	4KGS	5KGS	5,2KGS	7,6KGS	8KGS
Lubricación	Grasa lubricante					
Rotor	Alternador de CA del generador del imán permanente					
Temperatura de trabajo	(-40°C-80°C)					

5.8.4. Cálculo del regulador de carga

El regulador de carga eólico se puede determinar mediante la ecuación 3.17.

$$I_R = 1,25 \cdot \frac{500 \text{ W} \cdot 1}{12 \text{ V}}$$

$$I_R = 52,0833 \text{ A}$$

Para el sistema de iluminación se va a utilizar un regulador de 50 amperios con el cual ayudara a tener una mejor confiabilidad y seguridad para el sistema.







Tabla 5.18. Características del regulador de carga

Modelo	SF-12-24-A
Tensión nominal [V]	12V /24V
Potencia nominal del aerogenerador	300W / 600W
Tipo de protección	IP67
Peso [Kg]	0,264
Temperatura de trabajo	(-35°C - 75°C)

5.8.5. Materiales

Para el diseño del prototipo se utilizó diferentes características de materiales que se detallan a continuación en la Tabla 5.19.

Tabla 5.19. Lista de materiales para el prototipo.

Material de construcción.		
Material	Característica	Densidad
Lamina acrílica (PMMA) de espesor 0,004 m	<ul style="list-style-type: none"> - Erogación 5% - Esfuerzo de fluencia =48 MPa 	1190 kg/m ³
Acero AISI-SAE 4340	<ul style="list-style-type: none"> - Resistencia de tracción de 75 kg/mm² - Esfuerzo de fluencia = 745 MPa - Reducción del área 30% 	7850 kg/m ³
Acero ASTM-A36	<ul style="list-style-type: none"> - Esfuerzo de fluencia mínimo = 250 MPa - Esfuerzo a la tensión = 400-550 MPa - Erogación mínima 50 mm 	7,885 g/cm ³
Elementos eléctricos.		
Equipo	Característica	Imagen
Regulador de carga	<ul style="list-style-type: none"> - Tensión nominal 12V /24V - Potencia nominal 300W / 600W - Peso 0,264 kg 	
Inversor	<ul style="list-style-type: none"> - Voltaje nominal 12/24/48V - Eficiencia 91% - Peso 6,90 kg 	
Generador	<ul style="list-style-type: none"> - Peso neto = 4 kg - Tensión nominal 12V - Modelo B300M 	
Batería Monoblock 100Ah	<ul style="list-style-type: none"> - Voltaje 12 V - Peso 30 kg 	
Arduino UNO	<ul style="list-style-type: none"> - Voltaje de entrada 12V - Voltaje límite 20V 	
Reflector LED JETA 200W DL	<ul style="list-style-type: none"> - Flujo luminoso 21000 lm - Vida útil 30000 h - Eficiencia 95 lm W 	

5.8.6. Esquema de conexión del sistema de iluminación

En la Figura 5.18 se observa la conexión de los diferentes elementos del sistema eólico, partiendo desde el sistema de generación hasta llegar a la iluminación exterior del campo deportivo. Esto ayuda a entender de una mejor manera como es la conexión del sistema total y permitirá un mejor entendimiento al momento de implementar el sistema.

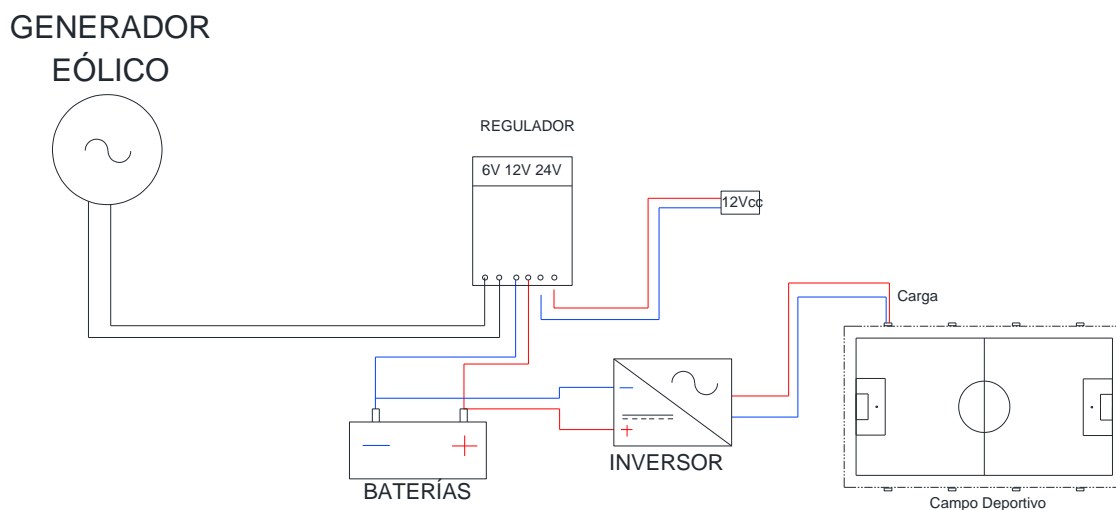


Figura 5.18. Esquema de conexión del sistema.

El regulador permite alimentar cualquier aparato eléctrico, en este caso es una lámpara de 200 W de potencia.

5.8.7. Diseño final de la luminaria eólica

Se presenta a continuación en la Figura 5.19 el diseño final del prototipo de la farola eólica de eje vertical, según los parámetros anteriormente descritas. Este diseño fue realizado en vista isométrica en el software *SolidWorks Premium 2021*, en el cual se pudo realizar en 3D, mismo que será utilizado para la simulación en Simulink.

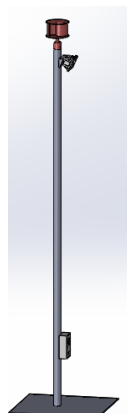


Figura 5.19. Diseño final en vista isométrica de la luminaria para el campo deportivo.

La Figura 5.20 muestra las vistas: frontal (a), lateral derecha (b), lateral izquierda (c) y superior del diseño final de la luminaria.



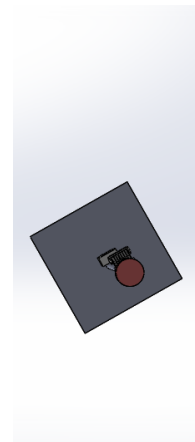
(a) Vista frontal.



(b) Vista lateral derecha.



(c) Vista lateral izquierda.



(d) Vista aérea vertical.

Figura 5.20. Vistas del diseño final de la luminaria.

Los detalles de mediciones del diseño de la luminaria se encuentran en el Anexo I del presente documento.

5.9. EVALUACIÓN DEL SISTEMA EÓLICA MEDIANTE SIMULINK

Con el software Matlab Simulink se demostrará el funcionamiento del sistema eólico de acuerdo con la velocidad del viento que hay en la zona, mediante el sistema presentado en la Figura 5.18 y los respectivos cálculos obtenidos en el dimensionamiento de cada elemento.

En *SolidWorks Premium 2021* lo primero que se realizó es ensamblar un diseño en 3D de un aerogenerador tipo Savonius como se puede observar en la Figura 5.21. Esta herramienta de SolidWorks tiene propiedades muy importantes como es el movimiento del aerogenerador, a través de este movimiento se puede dimensionar el sistema de control, es importante que se debe ver que este bien ensamblado cada una de las partes del prototipo, para que no presente ningún error al momento de su funcionamiento en Simulink.

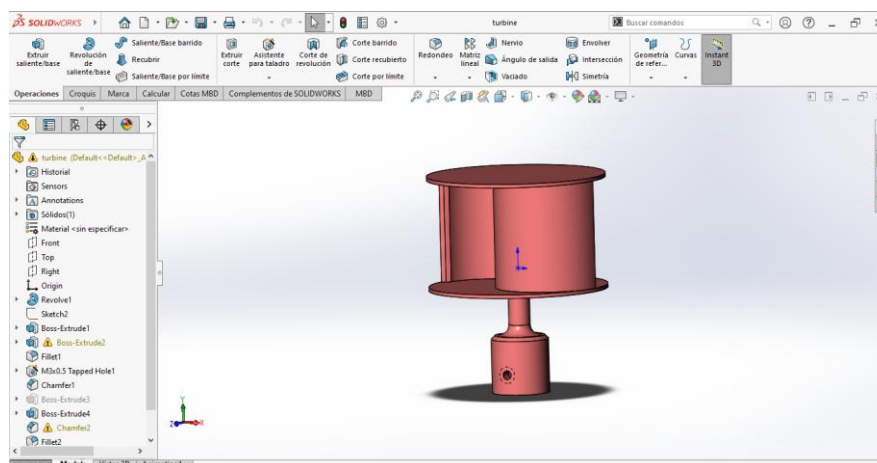


Figura 5.21. Rotor del aerogenerador tipo Savonius.

Los proyectos creados en SolidWorks se guardan como archivos XML y se cargan en Simulink, lo que le permite verificar el movimiento de las palas de las turbinas eólicas en 3D generado por los sensores de velocidad del viento.

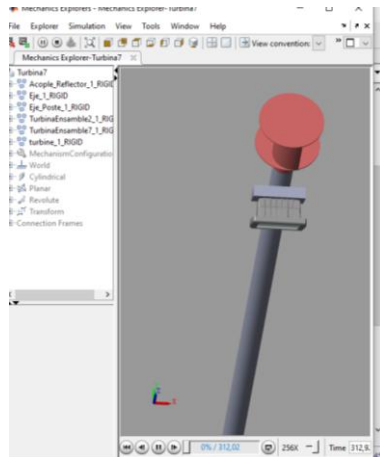


Figura 5.24. Diseño del erogenerador en 3D.

El sistema de control tiene un sensor de velocidad, como se puede ver en la Figura 5.25 el cual permite variar la velocidad del rotor del aerogenerador.

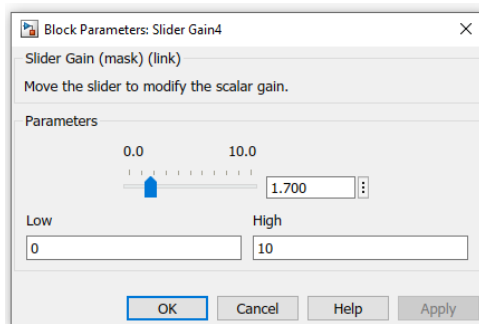


Figura 5.25. Sensor de velocidad.

Por medio del sensor se puede determinar el potencial eólico que se obtiene a partir de los datos que se ingresa, en este caso se tiene una velocidad de 8,39 m/s, por lo cual se obtiene un potencial eólico de 882,9817 Watts, este potencial eólico puede ir variando dependiendo de la velocidad que vaya ir obteniendo el sensor como se puede ver en la Figura 5.26 una vez determinado esto se puede tener un voltaje en la salida de 120 W de potencia.

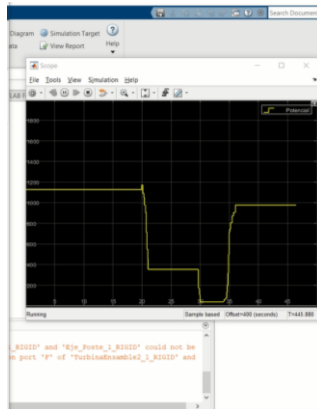


Figura 5.26. Variación del potencial eólico por medio del sensor.

Los datos de generación que se obtuvo en la simulación fueron capturados a través de una tarjeta de adquisición de datos Arduino UNO, por medio de sus entradas analógicas, mismas que estarán conectadas a una lámpara, el cual tomara como referencia la corriente que se genera a través del aerogenerador como se puede ver en la Figura 5.27 donde se determina la conexión.

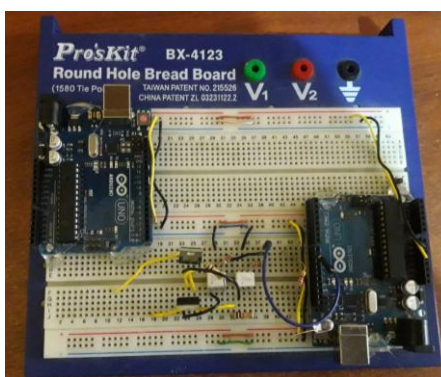


Figura 5.27. Comunicación entre Matlab y Arduino.

El diagrama de flujos de la comunicación del Arduino con Matlab se puede ver en el Anexo J, donde se debe primero realizar una configuración de algunos parámetros, estos son velocidad de transmisión y los puertos COM los cuales son de comunicación. En la Figura 5.28 lo que hace es básicamente una lectura de estado del puerto serial y por medio de ellas se dirige a la salida y da una orden para encender o apagar una lámpara.

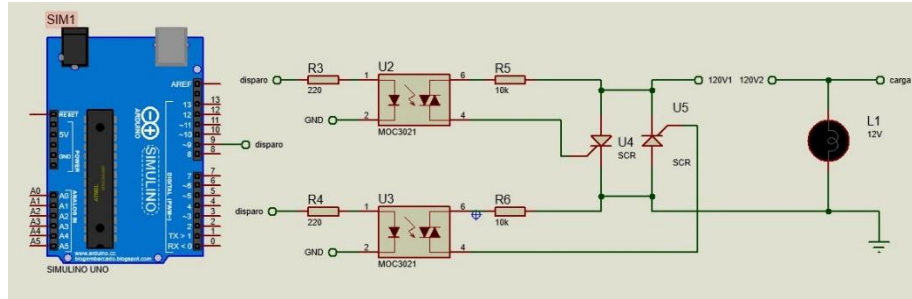


Figura 5.28. Diagrama de conexión de la tarjeta de datos del Arduino UNO.

Mediante un disparo de una señal se va a un MOC3021 aquí es donde se puede realizar un control de la corriente, pasa por una resistencia y va a un SCR, básicamente es un rectificador controlado, este tiene tres conexiones lo que es ánodo, cátodo y puerta, a partir de esto nos da una entrada de 120/110V salida que está conectado a una lámpara como se puede ver en la Figura 5.29.

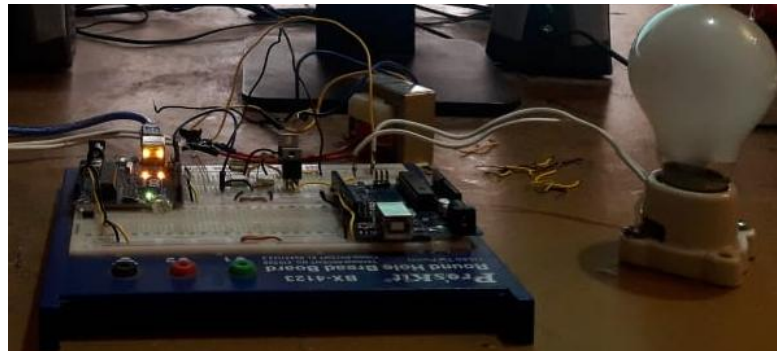


Figura 5.29. Conexión de los elementos.

5.9.1. Funcionamiento del sistema eólico

Los sensores de velocidad se pueden utilizar para determinar el potencial de vientos generados a diferentes velocidades. El análisis de datos proporciona una velocidad de 8,39 m/s con un potencial eólico de 877,5 W, como se muestra en la Figura 5.30.

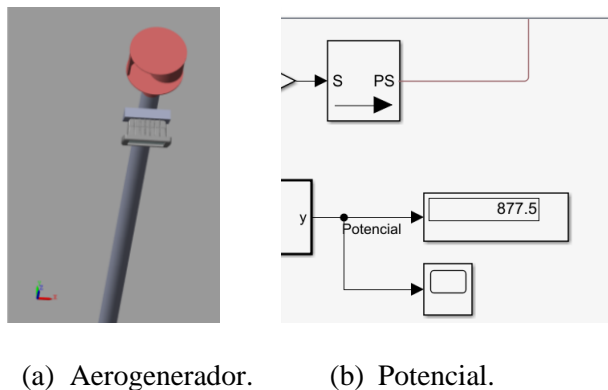


Figura 5.30. Potencial eólico que se está generado.

El sistema de control de generación eólica permite como su nombre lo dice controlar la potencia eólica que se tenga en el sistema, esto mediante una serie de condiciones que se puede ver en el diagrama de flujos que se encuentra en el Anexo J, una vez que el sensor capte la velocidad del viento, este va a hacer una comparación por medio de condiciones creados en el sistema eléctrico de los elementos del prototipo, para posteriormente realizar una comunicación al Arduino donde va a hacer una lectura del estado del puerto serial para encender una lampara como se puede ver en la Figura 5.31.

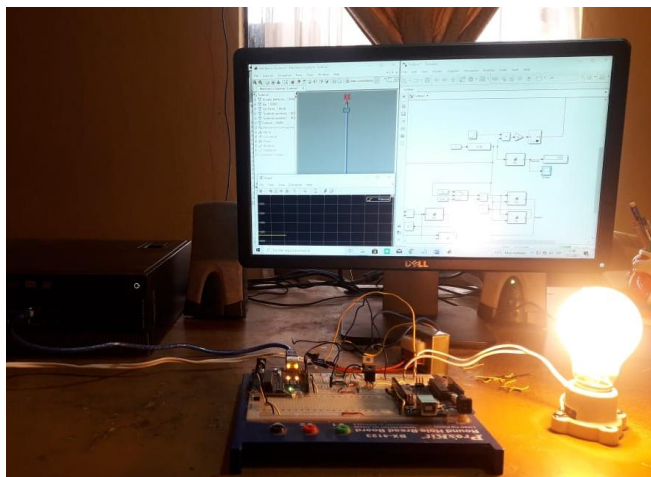


Figura 5.31. Sistema con potencial eólico.

En la Figura 5.32 se puede ver que el sistema se encuentra apagado debido a que no existe potencial eólico, por ende, no hay velocidad del viento y esto hace que el rotor del aerogenerador no se encuentre en movimiento.

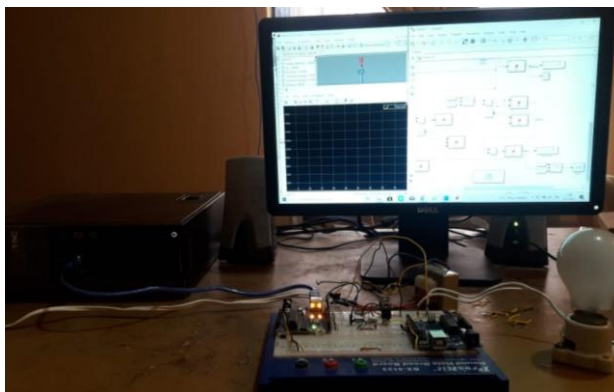


Figura 5.32. Sistema sin potencial eólico.

En la Tabla 5.20 se puede observar la variación de potencia que se puede generar, esto depende mucho de la velocidad que se tenga en cuanto mayor sea la velocidad del viento mayor será la potencia que se obtenga.

Tabla 5.20. Potencia que puede entregar el prototipo.

Velocidad m/s	Watts
1	1,486
2	11,89
4	95,09
6	320,09
8,39	877,5
10	1486

5.10. ANÁLISIS DEL MODELO MATEMÁTICO

El conocimiento de la mecánica de fluidos es importante y necesario, principalmente en las ecuaciones de Navier-Stokes, para realizar este tipo de modelado matemático. El fluido es incompresible. Se puede determinar un valor para la relación de esfuerzo cortos de tensiones proporcionales y una velocidad de deformación) [45].

Para poder determinar el comportamiento hidrodinámico y térmico. Para los sistemas, es obvio utilizar modelos matemáticos que permitan generar ideas cercanas al comportamiento del flujo. Incluye la formulación de ecuaciones de gobernantes generarles. La formulación de las ecuaciones que describen el proceso, también conocido como gobernantes, tiene en cuenta una serie de consideraciones a criterio del autor. Las ecuaciones para el flujo de fluidos, la transferencia de calor y la conservación de la masa se basan en la fórmula Euleriana. Por lo tanto, la ecuación de flujo dominante representa el principio matemático de la ley de conservación en física, las cuales son:

- La masa de un fluido se conserva.
- La razón de cambio de momentum corresponde a la suma de las fuerzas sobre una partícula del fluido.
- La razón de cambio de energía es igual a la suma de la razón de calor adicional y la razón de trabajo realizado sobre una partícula del fluido.

5.10.1. Ecuación de masa

La ecuación que expresa la ley de conservación de la masa, determina que el flujo de salida neto masico en el volumen de control debe ser igual al otro lado al incremento en el tiempo de la masa interior.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (5.2)$$

para $i = x, y, z$

donde $\frac{\partial \rho}{\partial t}$ representa la variación de la densidad respecto al tiempo, $\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i}$ es el flujo neto de masa que sale del volumen de control a través de sus fronteras.

5.10.2. Ecuación de momentum

Esta ecuación es una representación matemática de la segunda ley de Newton, que muestra que las partículas de masa que se mueven con un fluido, son aceleradas por las fuerzas que actúan sobre ellas. Es decir que la masa por la aceleración es igual a la suma de las fuerzas.

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_i} = \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial(\tau_u)}{\partial x_j} + G_i \quad (5.3)$$

donde $\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t}$ representa la velocidad de cambio de movimiento, $\frac{\partial(\rho u_i \cdot u_j)}{\partial x_i}$ viene siendo el incremento de movimiento por convección, $\frac{\partial P}{\partial x_i}$ son las fuerzas de presión el volumen de control, $\frac{\partial(\tau_u)}{\partial x_j}$ es la ganancia de movimiento por transporte viscoso y G_i es la fuerza de gravedad.

La expresión en notación tensorial de cantidad de momentum para fluidos Newtonianos se obtiene de la siguiente manera.

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_i} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[u \cdot \left(\frac{\partial \rho u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} u \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \cdot \delta_v \right] + F_i \quad (5.4)$$

5.10.3. Ecuación de la energía

La ecuación de energía se deriva de la primera ley de la termodinámica. De acuerdo con esta ley, la cantidad de cambio de energía en una partícula es igual a la cantidad de calor agregado a ese elemento más la cantidad de trabajo realizado en la partícula. La ecuación de la energía específica se determina de la siguiente manera.

$$E = e_{int} + e_{cin} \quad (5.5)$$

$$\frac{\partial(\rho E)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho E u_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial(P u_j)}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} [\tau_{jx} \cdot u] + \frac{\partial}{\partial x_j} \cdot \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) + S_E + \sum_{i=1}^3 F_i U_i \quad (5.6)$$

donde E representa la energía específica, e_{int} expresa la energía interna y por último e_{cin} viene siendo la energía cinética.

Para el flujo incomprensible, detalla que la energía interna se puede obtener mediante el calor específico del fluido a presión por la temperatura.

Partiendo de estos conceptos se puede encontrar una ecuación de continuidad en el sistema de coordenadas cartesianas, es posible escribir cualquier tipo de vector en los ejes (x), (y) y (z). En este caso, se pueden especificar u, v y w para nombrar los ejes alternos. Por lo tanto, partiendo de un tipo de flujo se tiene la siguiente ecuación de la densidad de flujo [16].

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (5.7)$$

donde $\frac{\partial \rho}{\partial t}$ representa la acumulación de flujo, $(\rho u, \rho v, \rho w)$ representa la densidad de los flujos.

Una vez que tenga esta ecuación, se puede factorar la densidad de flujo, c asumiendo que la densidad es constante y el flujo es estable o estacionario se obtiene la ecuación de continuidad de un fluido incompresible [16]:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (5.8)$$

donde $\frac{\partial u}{\partial x}$ representa la derivada parcial de la velocidad del flujo en el eje x , $\frac{\partial v}{\partial y}$ es la derivada parcial de la velocidad del flujo en el eje y , $\frac{\partial w}{\partial z}$ representa la derivada parcial de la velocidad del flujo en el eje z . Donde cada uno representa la velocidad de cambio o la velocidad de flujo.

Una vez que tenga una ecuación de continuidad para el modelo matemático, también debe considerar la cantidad de momentos. Esta es una ecuación física porque la cantidad de torque es igual a su masa multiplicada por la velocidad de cambio del flujo. Pero cuando se trata de mecánica de fluidos, tenemos que dividirlo por la densidad del flujo.

Entonces nuestra ecuación de cantidad de movimiento lo que nos quiere decir es que es igual a la densidad de flujo multiplicada por la velocidad y este es igual a la sumatoria de todas las fuerzas externas, por lo tanto, se tienen las ecuaciones de momentos respecto a los tres ejes en el espacio. Según [16] la cantidad de momento en el eje (x) es:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial u}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial u}{\partial y} + w \cdot \frac{\partial u}{\partial z} = \\ & -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P_d}{\partial x} + \frac{\mu}{\rho} \cdot \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right] + g_x [\beta \cdot (T - T_x) + \beta_c \cdot (C - C_x)] \end{aligned} \quad (5.9)$$

En este caso se debe considerar que nuestro flujo no es estacionario, por eso tenemos una constante de acumulación, como es la derivada parcial de w respecto al tiempo para ahí tener lo que nosotros mencionamos que es la velocidad u , v y w las cuales van a ser velocidades de

cambio en el eje (x), (y) y (z), esto a su vez esta multiplicada a la masa para cumplir la ecuación del momento que es igual a la masa por la velocidad.

Entonces la cantidad de momento en eje (y) es el mismo que en el eje (x), solo que ahora va a tener un coeficiente de almacenamiento o una constante de acumulación respecto a la derivada parcial de v . Según [16] la cantidad de momento en el eje (y) es:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial v}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial v}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial v}{\partial y} + w \cdot \frac{\partial v}{\partial z} = \\ & -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P_d}{\partial x} + \frac{\mu}{\rho} \cdot \left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right] + g_y [\beta \cdot (T - T_x) + \beta_c \cdot (C - C_x)] \end{aligned} \quad (5.10)$$

En ese caso, las ecuaciones son las mismas. Solo cambia la gravedad en el eje (z), por ende, la cantidad de momento es igual a la suma de las fuerzas externas que actúan sobre el eje (y). Por lo tanto, el eje (z) se analiza de manera similar y la fuerza de la gravedad es la que cambia. Según [16] la cantidad de momento en el eje (z) es:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial w}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial w}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial w}{\partial y} + w \cdot \frac{\partial w}{\partial z} = \\ & -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P_d}{\partial x} + \frac{\mu}{\rho} \cdot \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right] + g_z [\beta \cdot (T - T_x) + \beta_c \cdot (C - C_x)] \end{aligned} \quad (5.11)$$

Una vez que tenga estas ecuaciones, puede describir lo que representa cada variable, como se muestra a continuación. Cada una de las ecuaciones representan cantidades de momentos del flujo que pasan por los ejes del espacio.

donde [u, v, w] son las velocidades de cambio del flujo en los ejes x, y, z , ρ es la densidad de flujo, μ es la viscosidad del flujo, P_d viene siendo la presión diferencial, β es el coeficiente de expansión volumétrica, β_c representa el coeficiente de expansión calorífica, $(C - C_x)$ viene siendo la variación del coeficiente de momento, $(T - T_x)$ expresa la variación de la temperatura, g_x, g_y, g_z representan la gravedad en los ejes x, y, z respectivamente.

Entonces, una vez que tenga eso, se puede pasar a la siguiente ecuación. donde se conoce que el principio de la conservación de la energía, dice que toda la energía no se pierde solo se transforma [16].

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial T}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial T}{\partial y} + w \cdot \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\lambda}{\rho C_p} \cdot \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] \quad (5.12)$$

donde T representa la temperatura en grados Kelvin del regenerador, λ es el coeficiente de fricción y C_p expresa el calor específico.

Para esto, hay una derivada parcial respecto al tiempo multiplicada por la velocidad, y esta que es la diferencia de temperatura parcial en los ejes (x), (y) y (z). Finalmente se tiene la energía cinética turbulenta, Considerando que la densidad de flujo, en un flujo turbulento nunca será contante, por lo tanto, se tiene la siguiente ecuación [16].

$$\frac{\partial(\rho uk)}{\partial x} + u \cdot \frac{\partial(\rho vk)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu t}{\sigma_k} \right) \cdot \frac{\partial k}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\left(\mu + \frac{\mu t}{\sigma_k} \right) \cdot \frac{\partial k}{\partial y} \right] + P_k + G_k - \rho \varepsilon - Y_M \quad (5.13)$$

donde uk, vk son las velocidades de cambio del flujo turbulento en los ejes, k representa la velocidad de cambio del flujo turbulento, σ_k es la viscosidad cinemática, P_k es la presión del flujo turbulento, G_k viene siendo la eficiencia del generador, ε representa la permeabilidad del flujo turbulento o del flujo masico y Y_M es la eficiencia eléctrica.

5.11. VIABILIDAD DEL PROYECTO

5.11.1. Viabilidad económica

Para el diseño de un prototipo eólico es importante tener presente aspectos técnicos y económicos, con el fin de evaluar la viabilidad del diseño del prototipo eólico. Para ello se realiza un estudio de análisis de costo de los materiales que se vaya a utilizar, así como los equipos de sistema eléctrico y el costo total que tendrá el proyecto.

Tabla 5.21. Costo de construcción.

Descripción	Descripción de materiales	Unidad	Cantidad	Costo Unitario [\$]	Costo Total [\$]
Elementos eléctricos	Generador eléctrico	Unid.	1	220,00	220,00
	Batería Monoblock placa tubular GEL DE 100Ah a 12V	Unid.	1	242,82	242,82
	Inversor PA1000-1131 Kinverch de 500W	Unid.	1	54,98	54,98
	Regulador de carga SF-12-24-A	Unid.	1	26,89	26,89
Varios elementos	Reflector Led 200W IP65	Unid.	1	45,99	45,99
	Cable THW # 10 (Blanco)	m	5	0,60	3,00
	Cable THW # 10 (Verde)	m	5	0,60	3,00
	Cable THW # 10 (Rojo)	m	5	0,60	3,00
	Cable THW # 12	m	5	0,50	2,50
	Tubería 1/2"	m	1	15,00	15,00
	Cinta aislante 3 metros	Unid.	1	0,75	0,75
Materiales de construcción	Eje	m	1	45,00	45,00
	Lamina de acrílico	m	1	175,00	175,00
	Tubo	m	1	120,00	120,00
Mano de obra	Salario del albañil	Días	2	24,00	48,00
	Salario del soldador	Días	2	26,66	53,32
	Total				1.059,25

La viabilidad del proyecto está determinada en el tiempo de vida útil del generador eólico que es para 10 años, por lo tanto, es necesario determinar el periodo de recuperación de la inversión que se hizo en la construcción del prototipo.

El costo total de la inversión inicial se puede observar en la Tabla 5.21 que tiene un valor de 1.059,25 dólares, para lo cual se debe conocer cuál es el consumo que tiene las lámparas. Las luminarias del prototipo eólico se encenderán los 7 días de la semana en un periodo de 4 horas diarias con una potencia de 1600 W, este tiempo puede variar dependiendo de la actividad que se esté realizando en el escenario deportivo. Según pliego tarifario de las Empresas Eléctricas de distribución el costo de la KWh es de 10,47 centavos, Una vez conocido estos datos se procede a calcular el consumo diario, semanal y anual.

$$E = 1,6 \text{ kw} \cdot 4 \text{ h} = 6,4 \text{ kw}$$

Tabla 5.22. Consumo por año.

Consumo diario [KWh]	Consumo mensual [KWh]	Consumo anual [KWh]	Costo anual de las luminarias KWh [\$]
6,40	192,00	2.304,00	241,92

Una vez determinado el costo anual que es de 241,92 dólares anual, es necesario conocer cuál es el tiempo de recuperación de la inversión que se hizo para la construcción del prototipo.

$$T_{\text{recup}} = \frac{\text{Costo total}}{C_{\text{anual}}}$$

$$T_{\text{recuperacion}} = \frac{1.059,25 \text{ dolares}}{241,92 \text{ dolares}}$$

$$T_{\text{recup}} = 4,3774$$

Determinado el tiempo de recuperación, se puede decir que la construcción del aerogenerador eólico es viable debido que tiene un tiempo de 4 años. Para conocer cuál es el valor de la energía producida cada año y el valor que tendrá en los 10 años de vida útil del aerogenerador se toma una inflación del 90%, en la Tabla 5.23.

Tabla 5.23. Valor de la energía en los 10 años.

Año	Energía eólica producida [KWh/Año]	Valor por [KWh]	Valor de la Energía [KWh/Año]
1	2.340,00	0,10	245,70
2	2.316,60	0,10	250,54
3	2.293,43	0,11	255,48
4	2.270,50	0,11	260,51
5	2.247,79	0,11	265,64
6	2.225,32	0,12	270,87
7	2.203,06	0,12	276,21
8	2.181,03	0,12	281,65
9	2.159,22	0,13	287,20
10	2.137,63	0,13	292,86

En este tipo de análisis es necesario tener en cuenta los ingresos tanto como los egresos que se tiene cada año, los ingresos se refieren al valor de la energía en Kwh que se genera, para ello es importante también tener en cuenta otros aspectos como es el Costo de mantenimiento y el costo de operación, en la Tabla 5.23 se puede ver el Flujo de caja y el periodo de retorno que se obtiene.

Tabla 5.24. Periodo de Retorno.

Año	INGRESOS	EGRESOS			Flujo de Caja	Período de Retorno (PRI)
	Precio Energía	costo de operación	Costo de mantenimiento	Sumatoria Egresos		
0					-1.059,25	
1	245,70	12,00	5,00	17,00	228,70	-830,55
2	250,54	12,36	5,15	17,51	233,03	-597,52
3	255,48	12,73	5,30	18,04	237,44	-360,08
4	260,51	13,11	5,46	18,58	241,93	-118,15
5	265,64	13,51	5,63	19,13	246,51	128,36
6	270,87	13,91	5,80	19,71	251,17	379,53
7	276,21	14,33	5,97	20,30	255,91	635,44
8	281,65	14,76	6,15	20,91	260,74	896,18
9	287,20	15,20	6,33	21,54	265,66	1.161,85
10	292,86	15,66	6,52	22,18	270,68	1.432,52
Total Ingresos	2.687,00					2.491,77

El análisis del período de recuperación obtenido en el pasado muestra que es de cuatro años, por lo que existe la posibilidad de que el próximo año sea rentable. El valor actual neto de un proyecto es el valor actual sobre el valor presente del flujo de efectivo neto de la propuesta, que se interpreta como la diferencia entre la ganancia recurrente y el costo recurrente en términos de flujo de efectivo neto [46].

$$VAN = \left[\sum_{t=1}^n FE(t) \cdot (1+i)^{(0-t)} + I_0 \right] \quad (5.14)$$

$$TIR = \left[\sum_{t=0}^n \frac{FE}{(1+TIR)^t} = VAN = 0 \right] \quad (5.15)$$

donde VAN es el valor actual neto, $FE(t)$ es el flujo neto del periodo, i representa la tasa de expectativa, n viene siendo el número de periodos de vida útil del proyecto, I_0 es la inversión inicial y TIR es la tasa de retorno

Tabla 5.25. Valor actual neto.

Total	2.491,77
Tasa de descuento (k)	9,60%
Tasa interna de retorno (TIR)	18,85 %
Valor Actual Neto	476,82
(VAN)	\$0,00

5.11.2. Viabilidad técnica

La viabilidad técnica del prototipo, básicamente depende de las velocidades del viento que se tenga en la zona de estudio. A partir de este estudio se puede determinar que durante el año de análisis que se realizó tiene velocidades mínimas de 4,09 y una máxima de 7,66 m/s respectivamente, esta energía puede ser aprovechada directamente por el prototipo debido a que este depende del flujo de aire, por consiguiente, es adecuado este tipo de proyectos para aprovechar todo este recurso natural.

Según el ministerio de electricidad y energías renovables, en este tipo de zonas ubicadas alrededor de las montañas, como es el caso de Barrio Simón Bolívar Canto Mejía, dado que tiene velocidades superiores a 7 m/s, este tipo de proyectos permiten aprovechar al máximo estas energías renovables.

El generador eólico tipo Savonius permite aprovechar este tipo de velocidades de viento que hay, por lo tanto, es factible la construcción de este tipo de prototipos, debido a que es de eje vertical y por lo tanto permite aprovechar el flujo del viento que viene de cualquier dirección, sin tener que orientarlo.

En el análisis y estudio que se realizó se obtuvo un promedio de 6,66 m/s, mismo que sirve para fundamentar la decisión de diseñar el prototipo para generar energía eléctrica, esto con el propósito de contribuir con el medio ambiente, sabiendo que la generación eléctrica que se tiene de la farola eólica es cien por ciento amigable, este tipo de sistemas utiliza energía limpia y no genera ninguna emisión dañina, tales como emanaciones de gases, derrames, manipulaciones de sustancias, etc. Por lo tanto, es un gran aporte que se le puede dar a nuestro planeta con este tipo de sistemas de generación que son muy importantes para ayudar al medio ambiente.

Este tipo de sistemas de iluminación en exteriores, permite mejorar la calidad de vida de los habitantes del sector, debido a que pueden contar con energía eléctrica para realizar cualquier actividad deportiva en las noches, sin tener ningún problema en cuanto a la iluminación, ya que cuenta con todos los parámetros que dictan las normas internacionales y así evitar cualquier accidente que se pueda dar por la falta de iluminación.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

Las características y requisitos necesarios para definir un sistema de energía eólica de eje vertical pueden determinarse mediante la eficiencia aerodinámica y el Tip Speed Ration que es igual a 0,8 y a través del coeficiente de potencia, este permite aprovechar el 20% de la generación nominal del viento y de acuerdo a ello se puede conocer el comportamiento del aerogenerador eólico.

A través de la investigación y el análisis del potencial eólico realizado en la región, se ha determinado que el diseño de una farola eólica de eje vertical es óptimo, dado que según los criterios establecidos y los parámetros físicos fundamentales como es la dirección y la velocidad del viento admite diseñar un aerogenerador tipo Savonius para trabajar a una velocidad de 8,39 m/s.

Debido al diseño de la turbina eólica Savonius, se determinó que el diámetro del barrido de las aspas del rotor es de 1,3179 metros, esto permite una potencia de salida máxima de 208.803 W. Por lo tanto, cuanto mayor es el diámetro, mayor es la potencia suministrada por el sistema de energía eólica.

El diseño del prototipo trabaja con una velocidad de 8,39 m/s en la Parroquia el Chaupi y tiene un costo de consumo de luz anual de 241,92 dólares, de forma que el capital que se invierte en el prototipo tiene un beneficio a partir del cuarto año de su vida útil.

6.2. RECOMENDACIONES

Realizar estudios de proyectos que permitan aprovechar al máximo los recursos renovables para generar electricidad y en base a estos desarrollar sistemas adecuados para el abastecimiento de demandas de energía, ya sea esto para residencial, comercial o industrial.

Tener conocimiento en el manejo del software SolidWorks Premium 2021 para crear diseños en 3D y en base a esto se puede realizar la conexión con el sistema de Simulink, cabe recalcar que para este tipo de diseños se debe tener un computador con una memoria Ram muy buena, debido a que consume muchos recursos del PC para crear este tipo de diseños.

Determinar parámetros que permitan mejorar la eficiencia del prototipo de la farola eólica de eje vertical para una futura implementación, para esto es necesario tener en cuenta las dimensiones y capacidades de cada uno de los elementos del sistema eólico.

Tomar en cuenta los parámetros físicos que se tienen en una determinada área de estudio en particular, ya que están en constante variación debido a las condiciones climáticas existentes en el medio ambiente, por lo tanto, se debe tener un cuidado especial al momento de realizar un análisis de datos para no tener ningún inconveniente a futuro en su funcionamiento.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] J. Alba Pacheco, DISEÑO DE UNA RED POSIBLE, Quito: ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA, 2007.
- [2] R. D. Vaca Viracucha y C. E. Serrano Moya, Agua a La Base Ecuatoriana Pedro Vicente Maldonado De La Antártica Para La Construcción De Un Prototipo Para El Ceinci-Espe”, Sangolqui: DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO SANGOLQUI – ECUADOR.
- [3] B. A. CABRERA CALLADO y D. A. BERNAL PICHARDO, Proyecto de alumbrado para un campo de futbol soccer, México: INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LOPEZ MATEOS", 2013.
- [4] P. Salazar y J. F. Borja Dousdebés, Diseño de Aerogeneradores Savonius de Diferente Perfil, para Determinar su Eficiencia en Vientos de Baja Velocidad, en Quito, Quito: Universidad Internacional SEK, 2014.
- [5] A. G. ORELLANA LALANGUI y J. F. SARANGO CHAMBA, Estudio de factibilidad para el uso de energía solar y eólica en sistemas de alumbrado público para la vía de integración barrial, sector el plateado servido por Empresa Eléctrica Regional Del Sur, Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador, 2015.
- [6] L. V. Cueva Barrazueta, Diseño y construcción de un generador eólico de eje vertical tipo Savonius para producir 20 Watts, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2015.
- [7] S. Dávila Urrutia, M. Gordon Sánchez y R. Ramírez Ramírez, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE LUMINARIA ALIMENTADA POR ENERGÍA EÓLICA - SOLAR, México: Universidad Autónoma Metropolitana, 2018.
- [8] G. Párraga Palacios, A. Intriago Rodríguez, D. Velasco Fuentes, M. Cedeño Quinto, L. Murillo Párraga y E. Zambrano Gavilanes, «Producción de energía eólica en Ecuador,» *Ciencia Digital*, vol. 3, nº 3, pp. 22-32, 2019.
- [9] D. Rodrigo González, Diseño preliminar de un aerogenerador de 4,5 MW de potencia, Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2011.
- [10] J. A. Carta González, R. Calero Pérez, A. Colmenar Santos y M. A. Castro Gil, Centrales de energías renovables, Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A., 2009, 2009.
- [11] D. Corte, F. Sierra y G. Valencia, «Validación del modelo matemático “Función de Densidad de Probabilidad (PDF) de Weibull”, evaluando el recurso eólico en la zona del Caribe colombiano: caso estudio,» *PROSPECTIVA una nueva vision para la ingenieria*, vol. 13, nº 2, pp. 38-46, 2015.
- [12] C. A. Fuentes Lobos, METODOLOGÍAS DE SISTEMAS ELÉCTRICOS DE ABASTECIMIENTOS EN ZONAS INSULARES, Valparaíso: PONTIFICIA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO – CHILE ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, 2017.

- [13] C. ENERGÍA, «SISTEMAS EÓLICOS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA,» Lima.
- [14] A. Alcalde Paredes y R. Apablaza González, VALPARAÍSO EN SU CONTRUCCIÓN ORGÁNICA, Valparaíso: Escuela de arquitectura y diseño, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, 2012.
- [15] O. L. D. E. olade, AEROGENERACIÓN DE ENERGIA, Quito: olade, 1981.
- [16] A. L. DEFAZ VIZCAINO y M. A. PALLASCO YUGSI, ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE UN PROTOTIPO DE GENERADOR EÓLICO DE EJE VERTICAL TIPO SAVONIUS PARA VELOCIDADES ENTRE 5 Km/h Y 20 Km/h, Quito: Universidad Politécnica Salesiana SEDE-QUITO, 2017.
- [17] D. A. HERNÁNDEZ ZÚÑIGA, ANÁLISIS TÉRMICO Y SELECCIÓN DE UN AEROGENERADOR PARA SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA PAZ, BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO: INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA UNIDAD AZCAPOTZALCO, 2012.
- [18] C. Diago Vidal, Diseño de un aerogenerador Savonius para uso doméstico, Valencia: Universidad Politécnica de València, 2019.
- [19] A. F. Mallaguari Barros y F. R. Shicay Arias, Determinación de parámetros para obtener valores de eficiencia representativos para la enseñanza de las energías renovables (solar, eólica, hidrógeno-electrólisis y pilas de combustible) utilizando el equipo de laboratorio Clean Energy Trainer, Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, 2015.
- [20] S. G. Méndez Urgiles, Análisis técnico del mini-parque eólico de la Universidad de Cuenca: comparación de aerogeneradores de eje horizontal y vertical, Cuenca: Universidad de Cuenca Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Eléctrica, 2018.
- [21] D. H. Rojas Becerra, Estudio , construcción e integración de un sistema eólico para complementar energéticamente una casa Escuela de Ingeniería Eléctrica Facultad de Ingeniería, Valparaíso: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, 2019.
- [22] M. Villarrubia López, Ingeniería de la Energía Eólica, Madrid: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., 2011.
- [23] A. Palencia Díaz, G. Jiménez Pajaro y K. Utria Salas, «Computational model of Savonius turbine,» *Revista chilena de ingeniería*, vol. 23, n° 3, pp. 406-412, 2014.
- [24] O. I. ORDUZ BERDUGO y J. E. SUÁREZ PEREZ, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE TURBINA EÓLICA DE EJE VERTICAL PARA GENERACIÓN A BAJA POTENCIA, BUCARAMANGA: Universidad Industrial de Santander, 2011.

- [25] M. S. WONG GARCIA, Diseño de un aerogenerador vertical Savonius-curvado para ensayos experimentales con velocidades de 4 m/s a 8 m/s, Lima: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ, 2015.
- [26] J. D. ORJUELA FRANCO y S. A. PERDOMO SALAS, IMPLEMENTACIÓN DE UN GENERADOR EÓLICO TIPO SAVONIUS HELICOIDAL EN LA EMPRESA CYGNI INGENIERÍA SAS, Bogotá: UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS, 2018.
- [27] B. Rabbat y H. Russell, «Coeficiente de fricción del acero sobre hormigón o lechada,» *Ingenieria Estructural*, vol. 3, nº 111, pp. 505-515, 1985.
- [28] I. E. d. Normalizacion, CÓDIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN., Quito: ECUADORIAN BUILDING CODE. GENERAL DESIGN SPECIFICATIONS, 2001.
- [29] J. I. Andrade Estévez y W. P. Andrango Quisaguano, Estudio para la obtención de la energía eólica para el sistema de comunicación del CALE.F.T., Latacunga: ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO SEDE LATACUNGA, 2009.
- [30] C. G. Días T., «Componentes de una instalación solar fotovoltaica 1».
- [31] S. Ramos Munté, Cálculo luminotécnico del alumbrado público de una calle en zona urbana, Tarragona: UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI, 2016.
- [32] U. N. D. CALLAO, INGENIERIA DE ILUMINACIÓN.
- [33] J. Ballester-Olmos, Iluminación artificial de las zonas verdes, Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2016.
- [34] J. D. Sandoval, Iluminación de Espacios Exteriores Privados, 2006.
- [35] J. Rodriguez, C. Llano, I. Lema, Á. Miguel, O. Espinoza y H. Santiago, «Un Sistema Fotovoltaico Para El Alumbrado Vial De La Avenida De Las Américas " Universidad Politécnica Salesiana,» vol. 5, pp. 116-199, 2010.
- [36] T. Ii, Rden Circular 36/2015 Sobre Criterios a Aplicar En La Iluminación De Carreteras a Cielo Abierto Y Túneles, Madrid: Gobierno de España, 2015.
- [37] C. T. C. 72, «Une 12.193 Iluminación de instalaciones deportivas,» pp. 1-5, 2020.
- [38] (. I. d. F. A. FIFA, «Estadios de fútbol - Recomendaciones técnicas y Requisitos,» *FIFA*, vol. 5, p. 233, 2011.
- [39] Luxlife, «Iluminacion deportiva,» *Luxlife*, p. 22, 2016.
- [40] W. R. Haro Sánchez y W. M. Ocampo Taco, DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN, ALIMENTADO MEDIANTE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA PARA EL COMPLEJO DEPORTIVO “LA BOMBONERITA”, Latacunga:

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, 2019.

- [41] A. Berges, «Led en el Alumbrado.,» *Depósito Legal: M*, p. 440, 2015.
- [42] N. Castilla Cabanes, V. Blanca Gimenez y A. P. V. R. M. Martínez Antón, «LUMINOTECNIA: Cálculo según el método de los lúmenes,» *Construcciones Arquitectónicas*, vol. 1, p. 10, 2007.
- [43] M. Alonso Abella, Dimensionado de Sistemas Fotovoltaicos autónomos - Master en Energías Renovables y Mercado Energético Escuela de Organización Industrial, MADRID : Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, 2011.
- [44] S. FEILO, LED REFLECTOR JETA 200W DL P23641, 2020.
- [45] R. J. PALAGUACHI CALLE, ANÁLISIS DE FENÓMENOS EN EL FLUJO DE FLUIDOS EN LOS ACCESORIOS (TE, CODO, BIFURCADOR) EN LAS INSTALACIONES HIDRÁULICAS DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS DE MEDIANA POTENCIA APLICANDO LA DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL, Riobamba: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DECHIMBORAZO, 2016.
- [46] M. R. Mete, «Valor Actual Neto Y Tasa De Retorno: Su Utilidad Como Herramientas Para El Análisis Y Evaluación De Proyectos De Inversión,» *Fides et Ratio - Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia*, vol. 7, pp. 67-85, 2014.
- [47] E. Menéndez, Las energías renovables un enfoque político-ecológico, Madrid, España: Madrid España los libros de la catarata, 1997.
- [48] Á. Román y S. Lucas, Diseño de un aerogenerador para uso particular, Madrid-España: Universidad Carlos III de Madrid, 2012.
- [49] R. Merino, EVALUACIÓN DE LA DISPERSIÓN DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS CO, SO₂ Y NO_x PRODUCTO DEL DESARROLLO DE ACTIVIDADES INDUSTRIALES DEL CANTÓN RUMIÑAHUI PROVINCIA DE PICHINCHA, Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas, 2014.
- [50] R. E. Alarcón Heredia y L. E. Jácome Toca, IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE AEROGENERACIÓN TIPO VERTICAL DE BAJA VELOCIDAD DE VIENTO PARA GENERACIÓN ELÉCTRICA, Ecuador-Latacunga: Primera Edición, 2017.
- [51] R. RUIZ NIETO, DISEÑO MECÁNICO DE UN AEROGENERADOR EÓLICO, BILBAO: ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL DE BILBAO, 2015.
- [52] M. MOLINA GALINDO, DISEÑO DE UN AEROGENERADOR QUE PERMITA GENERAR ENERGIA ELECTRICA EN EL COLEGIO OFELIA URIBE DE ACOSTA

COMUNIDAD DE YOMASA AÑO 2016 - 3, Bogota: Universidad Católica de Colombia, 2016.

8. ANEXOS

Anexo A. Tablas de los estudios eólicos

Tabla A.1. Estudio eólico del mes de junio.

Junio del 2020		
Día	Velocidad mínima del viento (m/s)	Velocidad máxima del viento (m/s)
1	0,04	3,36
2	0,41	3,07
3	0,28	2,47
4	0,23	4,39
5	0,74	4,26
6	0,27	5,32
7	0,72	3,98
8	1,06	5,4
9	0,5	3,65
10	0,32	3,61
11	0,55	2,33
12	0,5	1,88
13	0,17	3,39
14	1,56	4,3
15	0,4	5,37
16	0,36	4,29
17	0,35	2,77
18	0,55	3,14
19	0,34	3,78
20	0,85	4,28
21	1,64	6,13
22	0,49	5,94
23	0,2	4,84
24	0,37	3,5
25	0,13	4,32
26	0,22	4,97
27	0,39	4,56
28	0,15	3,68
29	0,44	3,29
30	0,51	2,64
Valor mínimo	0,04	1,88
Valor máximo	1,64	6,13
Promedio	0,49	3,96

Tabla A.2. Estudio eólico del mes de julio.

Julio del 2020		
Día	Velocidad mínima del viento (m/s)	Velocidad máxima del viento (m/s)
1	0,27	2,2
2	0,39	4,03
3	0,04	4,48
4	0,24	3,48
5	0,19	3,94
6	0,25	3,4
7	0,46	2,76
8	0,04	3,08
9	0,3	4,74
10	0,8	4,59
11	0,06	2,6
12	0,22	3,37
13	1,14	4,97
14	3,49	6,52
15	3,02	6,53
16	0,4	6,85
17	0,34	6,5
18	0,46	6,69
19	0,54	6,34
20	0,52	5,34
21	0,38	4,18
22	0,27	2,59
23	0,4	2,78
24	0,36	2,52
25	0,59	3,92
26	1,23	6,35
27	0,14	5,91
28	0,27	3,55
29	0,81	4,73
30	0,52	7,3
31	0,69	5,93
Valor mínimo	0,04	2,20
Valor máximo	3,49	7,30
Promedio	0,61	4,59

Tabla A.3. Estudio eólico del mes de agosto.

Agosto del 2020		
Día	Velocidad mínima del viento (m/s)	Velocidad máxima del viento (m/s)
1	0,69	4,97
2	0,04	5,95
3	0,55	5,14
4	0,85	7,66
5	0,89	6,42
6	0,16	6,38
7	2,15	7,12
8	0,47	6,71
9	0,59	7,08
10	0,39	5,28
11	0,6	3,2
12	0,51	3,23
13	0,67	3,28
14	0,1	2,68
15	0,12	5,14
16	0,6	6,79
17	1,09	2,24
18	0,39	2,86
19	0,43	2,91
20	0,02	3,51
21	1,14	5,35
22	0,61	5,81
23	0,33	4,67
24	0,74	3,28
25	0,95	3,11
26	0,09	3,68
27	0,51	5,33
28	0,18	3,72
29	0,16	4,16
30	0,08	4,4
31	0,42	4,34
Valor mínimo	0,02	2,24
Valor máximo	2,15	7,66
Promedio	0,53	4,72

Tabla A.4. Estudio eólico del mes de septiembre.

Septiembre del 2020		
Día	Velocidad mínima del viento (m/s)	Velocidad máxima del viento (m/s)
1	0,88	6,21
2	0,55	4,58
3	0,2	4,41
4	0,31	5,08
5	0,55	7,24
6	0,53	6,1
7	0,44	3,03
8	0,23	3,87
9	0,19	5,36
10	0,14	5,7
11	0,2	3,99
12	0,02	4,44
13	0,36	6,47
14	0,16	5,43
15	0,36	3,53
16	1,36	2,64
17	0,54	3,36
18	0,22	2,52
19	0,25	4,16
20	0,02	3,82
21	0,31	4,16
22	0,33	3
23	0,32	4,47
24	0,52	4,62
25	0,21	6,43
26	0,34	4,87
27	0,51	3,68
28	1,05	4,79
29	0,12	3,68
30	0,36	3,39
Valor mínimo	0,02	2,52
Valor máximo	1,36	7,24
Promedio	0,39	4,50

Tabla A.5. Estudio eólico del mes de octubre.

Octubre del 2020		
Día	Velocidad mínima del viento (m/s)	Velocidad máxima del viento (m/s)
1	0,71	4,41
2	0,28	2,88
3	0,09	4,82
4	0,49	5,3
5	0,51	4,62
6	0,04	4,31
7	0,12	5,52
8	0,74	5,12
9	0,81	4,51
10	0,77	5,57
11	0,08	5,31
12	0,37	4,22
13	0,41	4,12
14	0,32	3,41
15	0,43	3,04
16	0,81	3,85
17	0,28	3,84
18	0,56	3,1
19	0,33	2,97
20	0,19	2,14
21	0,48	3,96
22	0,89	5,76
23	0,42	3,69
24	0,57	2,64
25	0,13	2,45
26	0,39	2,53
27	0,44	4,21
28	0,21	6,86
29	0,25	6,15
30	0,38	5,7
31	0,2	4,48
Valor mínimo	0,04	2,14
Valor máximo	0,89	6,86
Promedio	0,41	4,24

Tabla A.6. Estudio eólico del mes de noviembre.

Noviembre del 2020		
Día	Velocidad mínima del viento (m/s)	Velocidad máxima del viento (m/s)
1	0,21	6,04
2	0,26	5
3	0,33	5,34
4	0,34	4,64
5	0,4	3,86
6	0,26	2,38
7	0,16	3,03
8	0,05	4,76
9	0,42	2,72
10	0,3	3,28
11	0,37	3,03
12	0,17	3,98
13	0,42	2,95
14	0,46	3,02
15	0,42	3,32
16	0,24	2,8
17	0,1	3,58
18	0,78	3,59
19	0,26	2,87
20	0,38	3,8
21	0,28	3,67
22	0,19	2,42
23	0,23	3,47
24	0,1	3,49
25	0,84	3,12
26	0,47	4,13
27	0,37	3,23
28	0,24	2,56
29	0,12	2,92
30	0,37	2,94
Valor mínimo	0,05	2,38
Valor máximo	0,84	6,04
Promedio	0,32	3,53

Tabla A.7. Estudio eólico del mes de diciembre.

Diciembre del 2020		
Día	Velocidad mínima del viento (m/s)	Velocidad máxima del viento (m/s)
1	0,06	2,82
2	0,3	2,94
3	0,23	3,55
4	0,32	2,88
5	0,11	2,7
6	0,44	3,99
7	0,45	4,02
8	0,33	3,07
9	0,15	2,65
10	0,35	4,09
11	0,67	2,43
12	0,26	2,79
13	0,32	2,42
14	0,71	2,48
15	0,13	2,94
16	0,09	2,97
17	0,16	2,59
18	0,32	2,68
19	0,5	2,21
20	0,52	3,11
21	0,14	2,68
22	0,35	2,59
23	0,25	1,55
24	0,98	2,6
25	0,32	6,22
26	1,26	7,05
27	1,27	6,13
28	0,27	4,91
29	0,24	3,21
30	0,17	3,11
31	0,49	3,96
Valor mínimo	0,06	1,55
Valor máximo	1,27	7,05
Promedio	0,39	3,33

Tabla A.8. Estudio eólico del mes de enero.

Enero del 2021		
Día	Velocidad mínima del viento (m/s)	Velocidad máxima del viento (m/s)
1	0,23	2,68
2	0,58	3,21
3	0,21	3,23
4	1,05	5,29
5	1,02	4,75
6	0,66	4,94
7	0,35	2,89
8	0,1	2,4
9	0,14	1,55
10	0,07	4,01
11	0,13	3,61
12	0,13	2,85
13	0,02	3,13
14	0,31	2,92
15	0,25	2,83
16	0,53	2,45
17	0,24	2,14
18	0,05	2,53
19	0,56	3,5
20	0,19	3,74
21	0,28	2,65
22	0,46	3,11
23	0,59	2,36
24	0,35	2,36
25	0,24	2,65
26	0,38	1,37
27	0,37	2,95
28	0,66	3,19
29	0,12	2,52
30	0,11	2,89
31	0,12	3,53
Valor mínimo	0,02	1,37
Valor máximo	1,05	5,29
Promedio	0,34	3,04

Tabla A.9. Estudio eólico del mes de febrero.

Febrero del 2021		
Día	Velocidad mínima del viento (m/s)	Velocidad máxima del viento (m/s)
1	0,26	3,91
2	0,63	2,44
3	0,13	2,84
4	0,24	1,95
5	0,4	2,41
6	0,19	2,37
7	0,35	3,25
8	0,59	2,51
9	0,54	4,32
10	0,29	5,63
11	0,66	4,29
12	0,29	2,86
13	0,23	3,17
14	0,11	3,44
15	0,31	4,18
16	0,32	5,12
17	2,51	5,71
18	0,47	5
19	0,05	4,97
20	0,86	4,04
21	0,44	4,99
22	0,3	1,79
23	0,33	1,43
24	0,43	3,48
25	0,26	3,33
26	0,79	2,24
27	0,15	1,49
28	0,35	1,4
Valor mínimo	0,05	1,40
Valor máximo	2,51	5,71
Promedio	0,45	3,38

Tabla A.10. Estudio eólico del mes de marzo.

Marzo del 2021		
Día	Velocidad mínima del viento (m/s)	Velocidad máxima del viento (m/s)
1	0,36	5,07
2	0,23	3,61
3	0,22	4,32
4	1,19	3,53
5	0,37	2,42
6	0,24	1,97
7	0,45	2,19
8	0,57	1,69
9	0,12	3,06
10	0,68	4,4
11	0,46	3,82
12	0,7	4,2
13	0,52	3,98
14	0,11	4,69
15	1,21	3,4
16	0,39	2,26
17	0,46	2,29
18	0,1	3
19	0,86	4,22
20	1,31	4,63
21	0,78	4,35
22	0,63	2,06
23	0,33	3,12
24	0,17	1,99
25	0,16	2,51
26	0,22	1,74
27	0,1	3,12
28	0,44	3,14
29	0,87	2,67
30	1,08	5,26
31	0,62	5,53
Valor mínimo	0,10	1,69
Valor máximo	1,31	5,53
Promedio	0,51	3,36

Tabla A.11. Estudio eólico del mes de abril.

Abril del 2021		
Día	Velocidad mínima del viento (m/s)	Velocidad máxima del viento (m/s)
1	0,2	3,6
2	0,52	3,03
3	0,1	2,94
4	0,55	2,9
5	0,11	2,97
6	0,12	3,5
7	0,05	3,03
8	0,16	2,93
9	0,22	3,39
10	0,35	2,02
11	0,19	3,13
12	0,96	4,09
13	0,5	3,63
14	0,44	3,83
15	0,83	1,52
16	0,41	2,42
17	0,05	3,31
18	0,05	1,86
19	0,05	1,93
20	0,9	2,85
21	0,32	2,5
22	0,22	3
23	0,2	2,86
24	0,28	3,22
25	0,18	2,81
26	0,07	2,25
27	0,15	2,6
28	0,04	2,87
29	0,35	2,19
30	0,51	2,35
Valor mínimo	0,04	1,52
Valor máximo	0,96	4,09
Promedio	0,30	2,85

Tabla A.12. Estudio eólico del mes de mayo.

Mayo del 2021		
Día	Velocidad mínima del viento (m/s)	Velocidad máxima del viento (m/s)
1	0,63	2
2	0,71	3,21
3	0,8	4,43
4	0,51	4,3
5	0,67	2,33
6	0,11	2,5
7	0,07	2,49
8	0,21	3,87
9	0,54	4,57
10	1,14	6,2
11	0,54	7,47
12	0,48	5,01
13	0,29	4,74
14	0,32	4,69
15	0,86	3,89
16	0,08	3,71
17	0,38	4,25
18	0,07	3,12
19	0,49	4,05
20	0,07	2,45
21	0,39	3,14
22	0,87	4,36
23	1,14	7,2
24	1,24	4,55
25	0,33	5,25
26	0,12	4,15
27	0,1	5,07
28	1,14	4,41
29	0,39	3,31
30	1,14	4,55
31	1,14	4,05
Valor mínimo	0,07	2,00
Valor máximo	1,24	7,47
Promedio	0,55	4,17

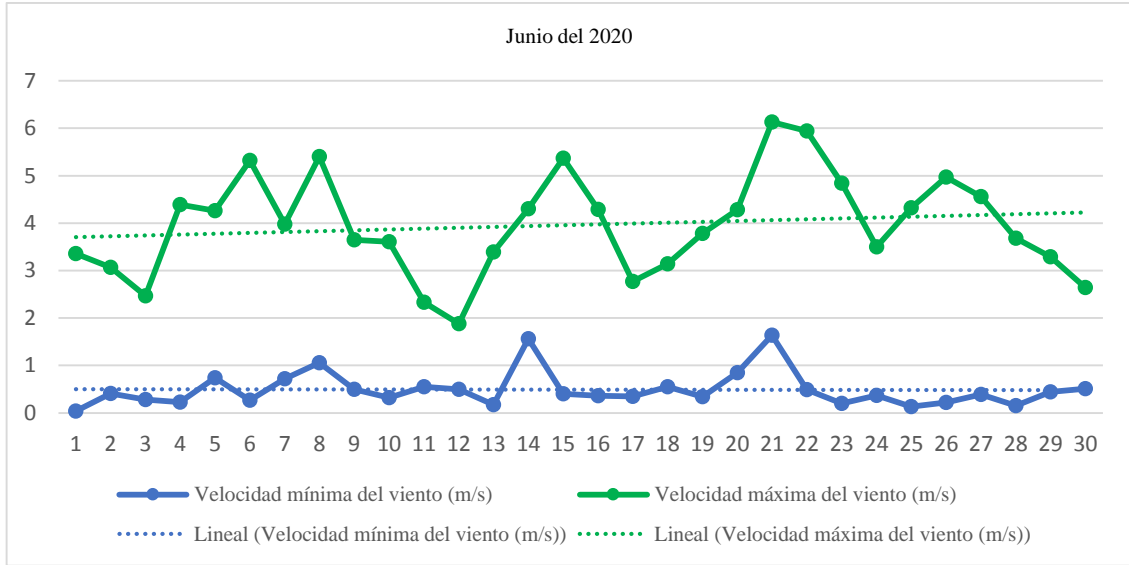


Figura A.1. Representación de velocidades mínimas y máximas del viento en (m/s) de junio.

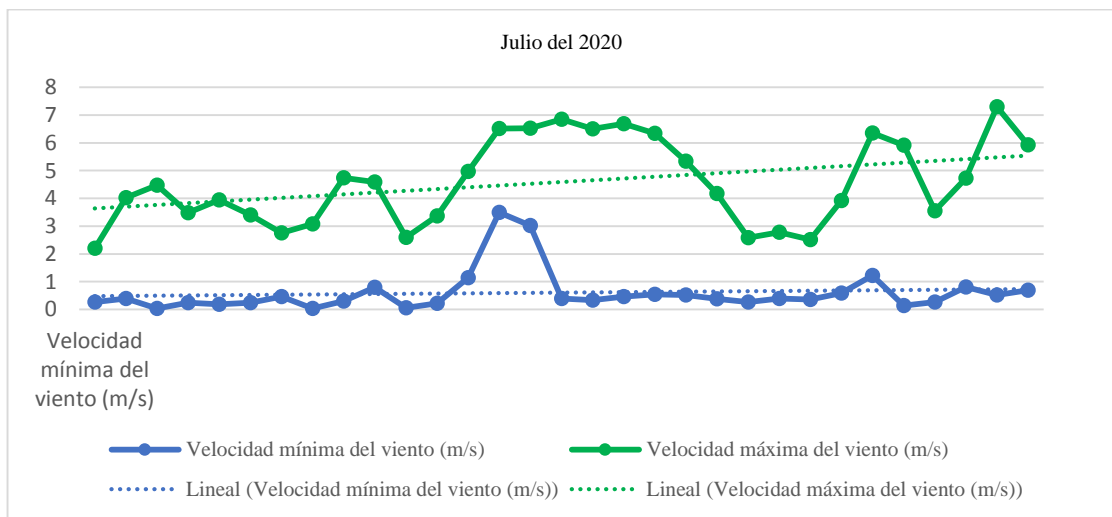


Figura A.2. Representación de velocidades mínimas y máximas del viento en (m/s) de julio.

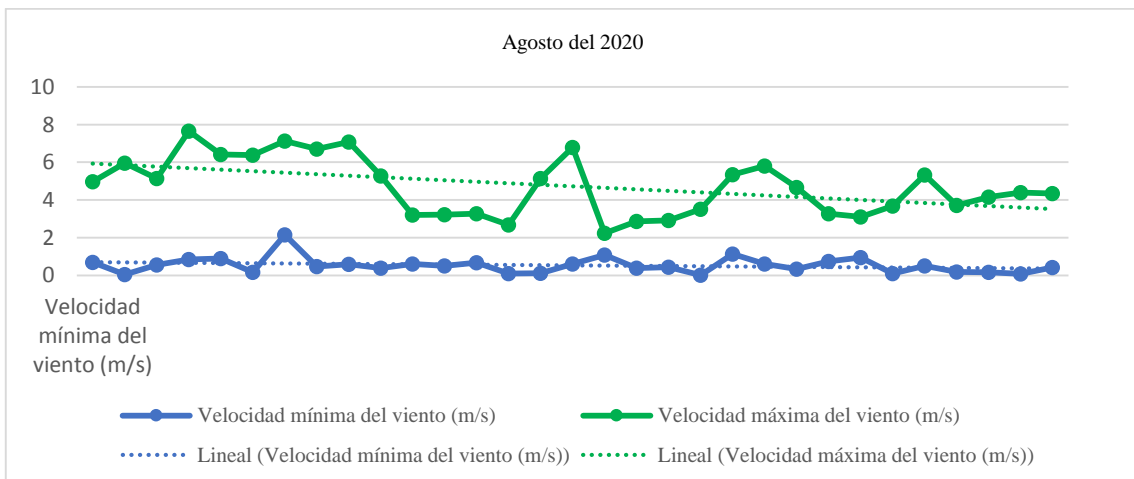


Figura A.3. Representación de velocidades mínimas y máximas del viento en (m/s) de agosto.

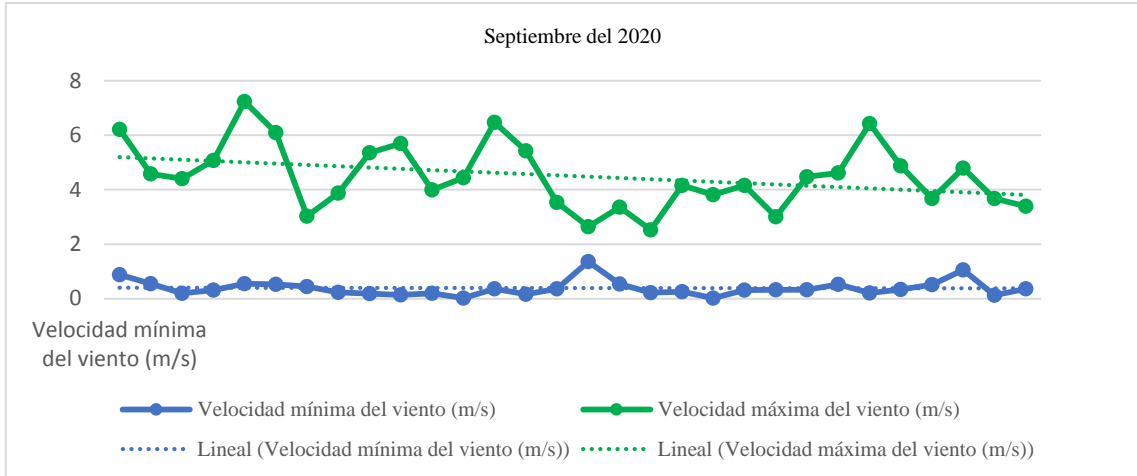


Figura A.4. Representación de velocidades mínimas y máximas del viento en (m/s) de septiembre.

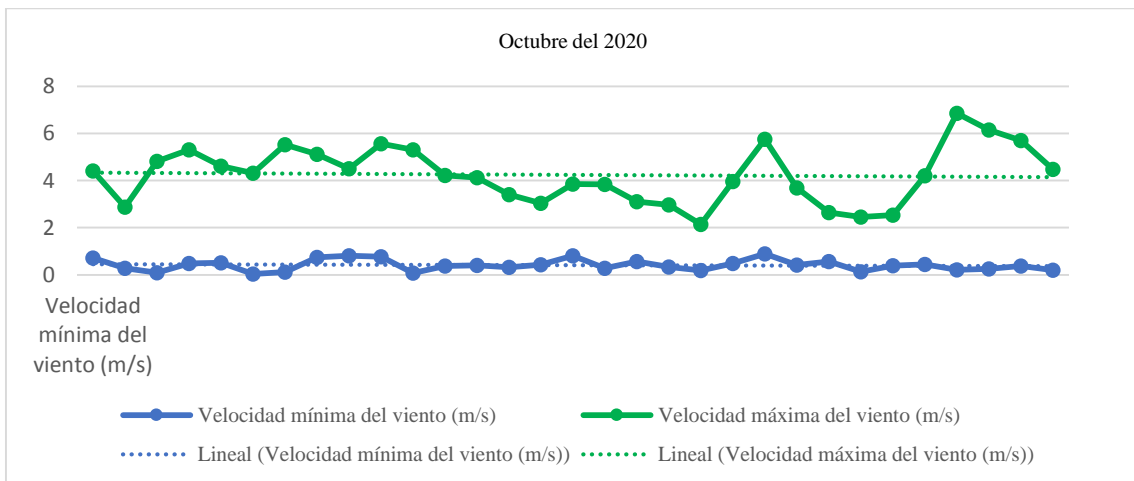


Figura A.5. Representación de velocidades mínimas y máximas del viento en (m/s) de octubre.

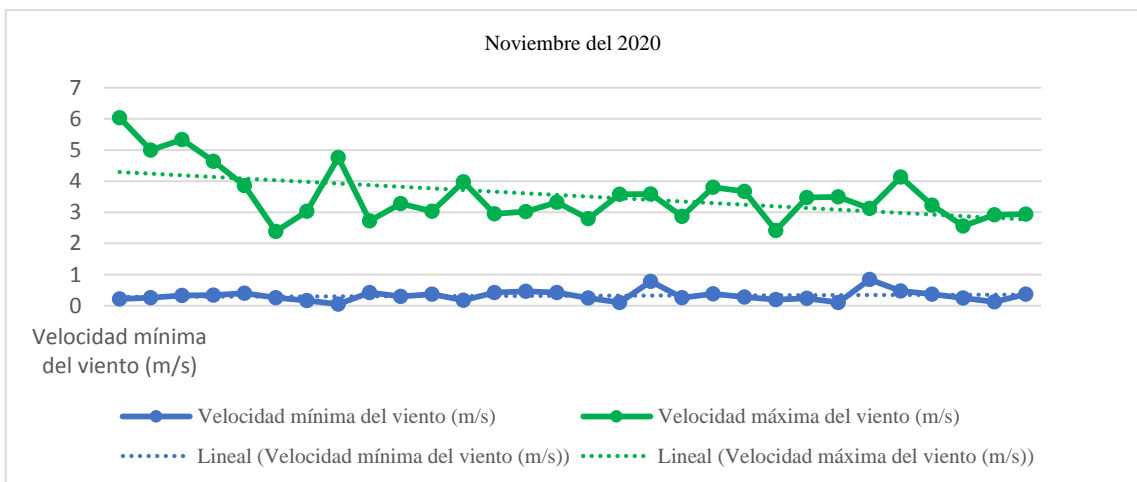


Figura A.6. Representación de velocidades mínimas y máximas del viento en (m/s) de noviembre.

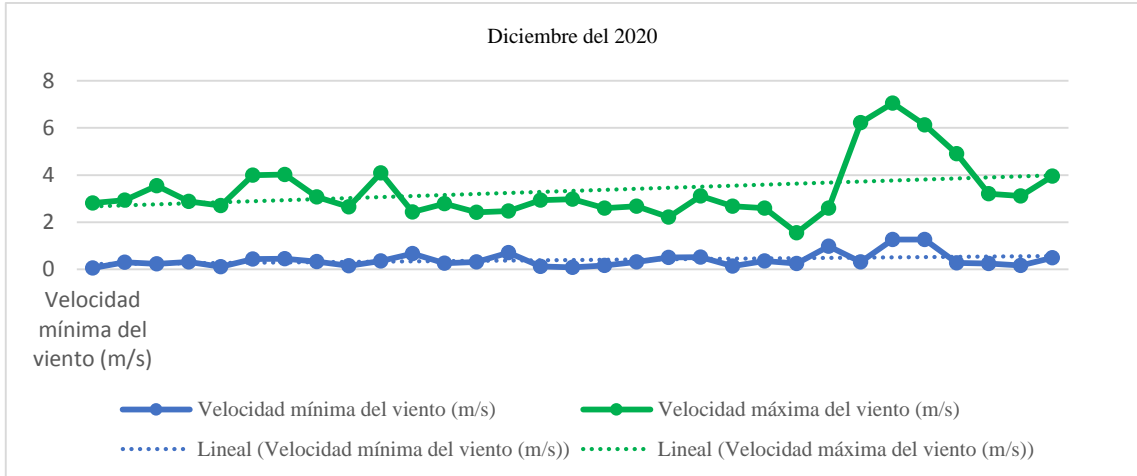


Figura A.7. Representación de velocidades mínimas y máximas del viento en (m/s) de diciembre.

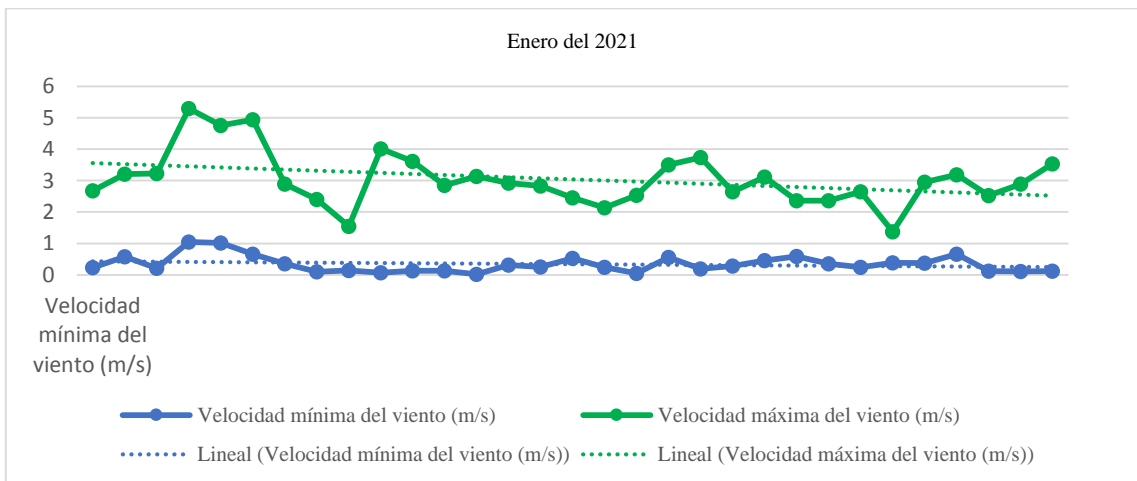


Figura A.8. Representación de velocidades mínimas y máximas del viento en (m/s) de enero.

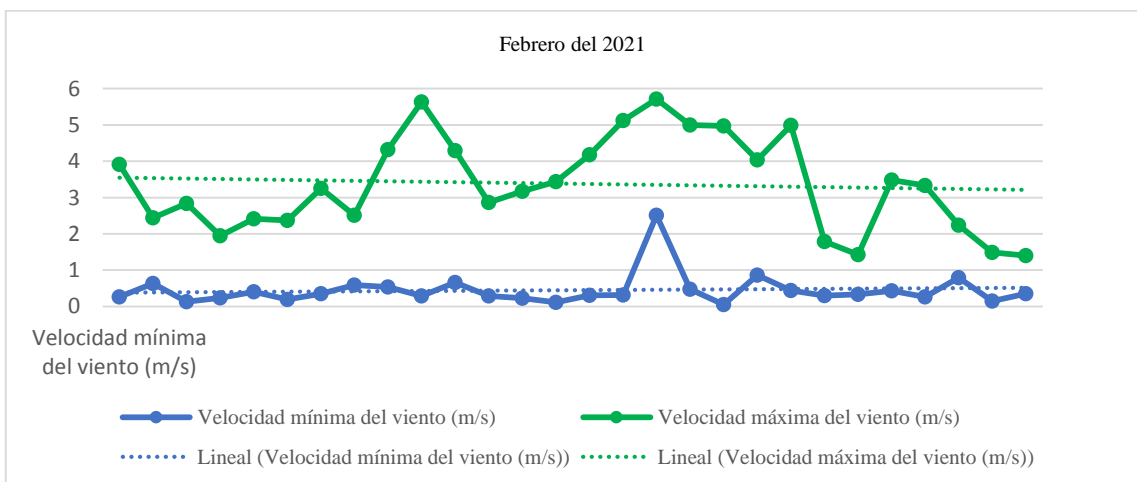


Figura A.9. Representación de velocidades mínimas y máximas del viento en (m/s) de febrero.

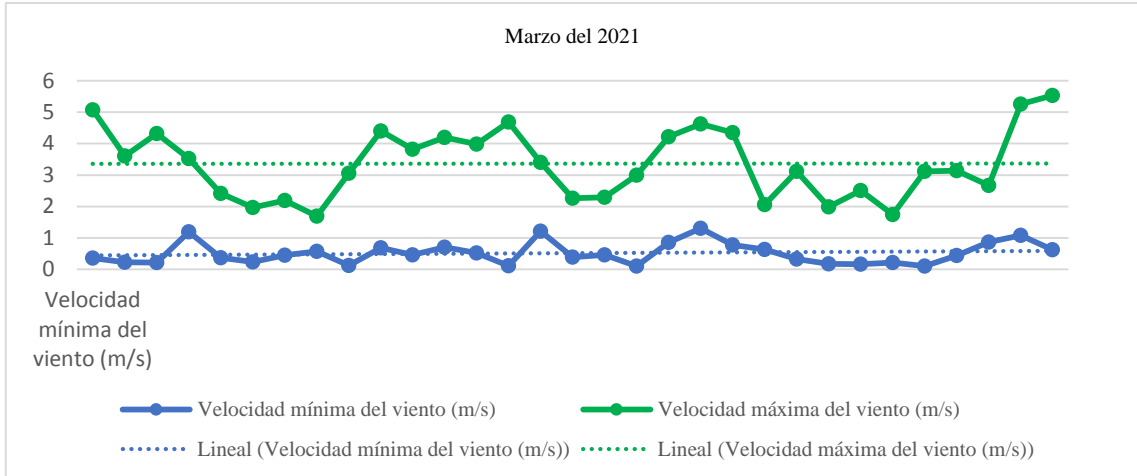


Figura A.10. Representación de velocidades mínimas y máximas del viento en (m/s) de marzo.

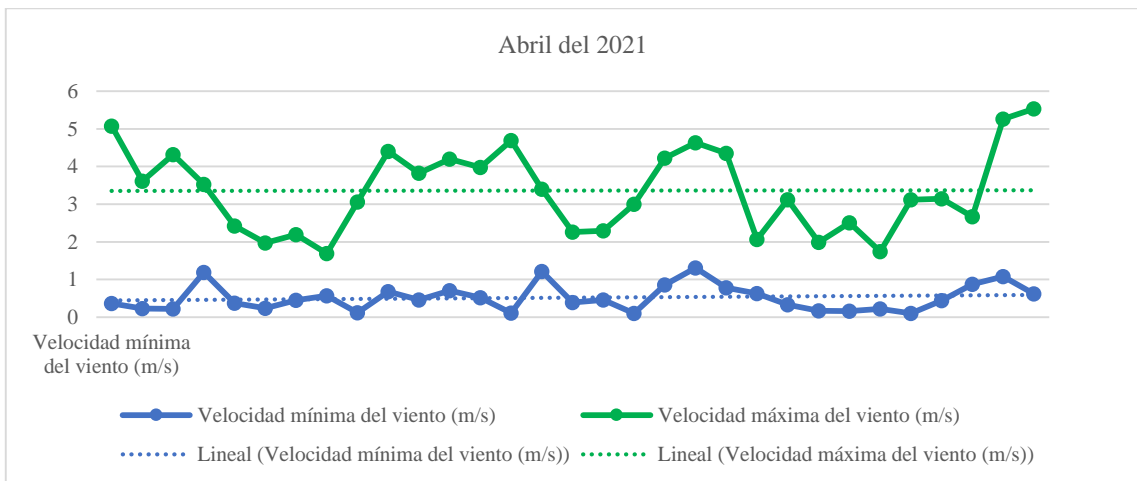


Figura A.11. Representación de velocidades mínimas y máximas del viento en (m/s) de abril.

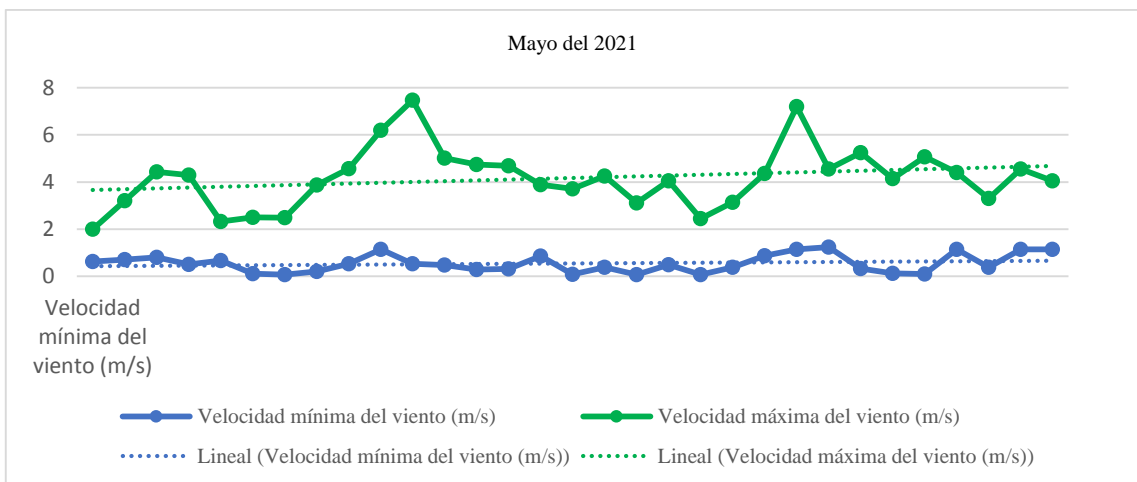


Figura A.12. Representación de velocidades mínimas y máximas del viento en (m/s) de mayo.

Anexo B. Condiciones Ambientales

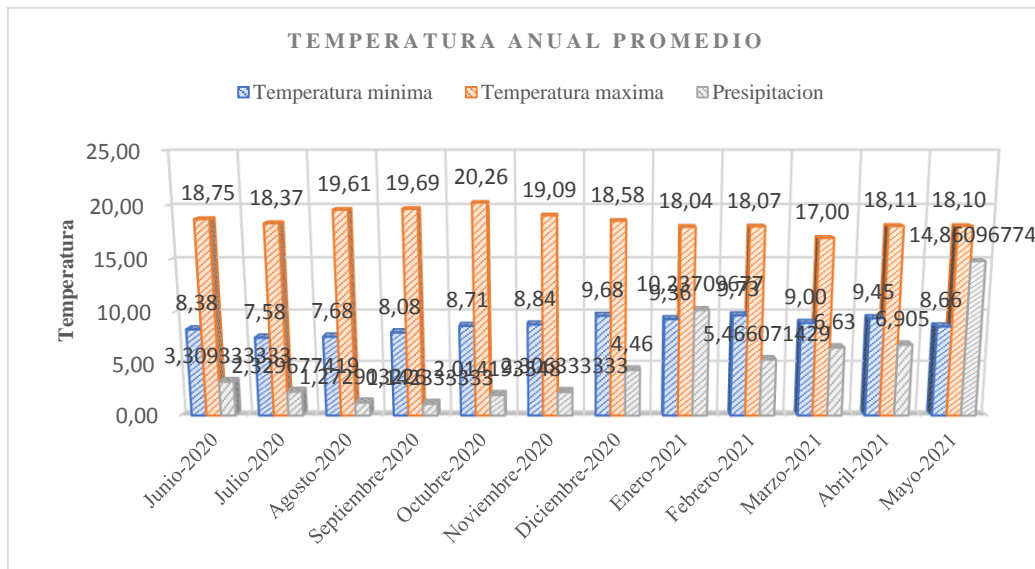


Figura B.1. Temperatura promedio en la zona de estudio.

Tabla B.2. tabla de la temperatura promedio.

Promedio de medición de temperatura durante el año			
Mes	Temperatura mínima	Temperatura máxima	Precipitación
Junio-2020	8,38	18,75	3,309333333
Julio-2020	7,58	18,37	2,329677419
Agosto-2020	7,68	19,61	1,272903226
Septiembre-2020	8,08	19,69	1,142333333
Octubre-2020	8,71	20,26	2,014193548
Noviembre-2020	8,84	19,09	2,306333333
Diciembre-2020	9,68	18,58	4,46
Enero-2021	9,36	18,04	10,23709677
Febrero-2021	9,73	18,07	5,466071429
Marzo-2021	9,00	17,00	6,63
Abril-2021	9,45	18,11	6,905
Mayo-2021	8,66	18,10	14,86096774
Valor mínimo	7,58	17,00	1,142333333
Valor máximo	9,73	20,26	14,86096774
Promedio	8,76	18,64	5,077825845

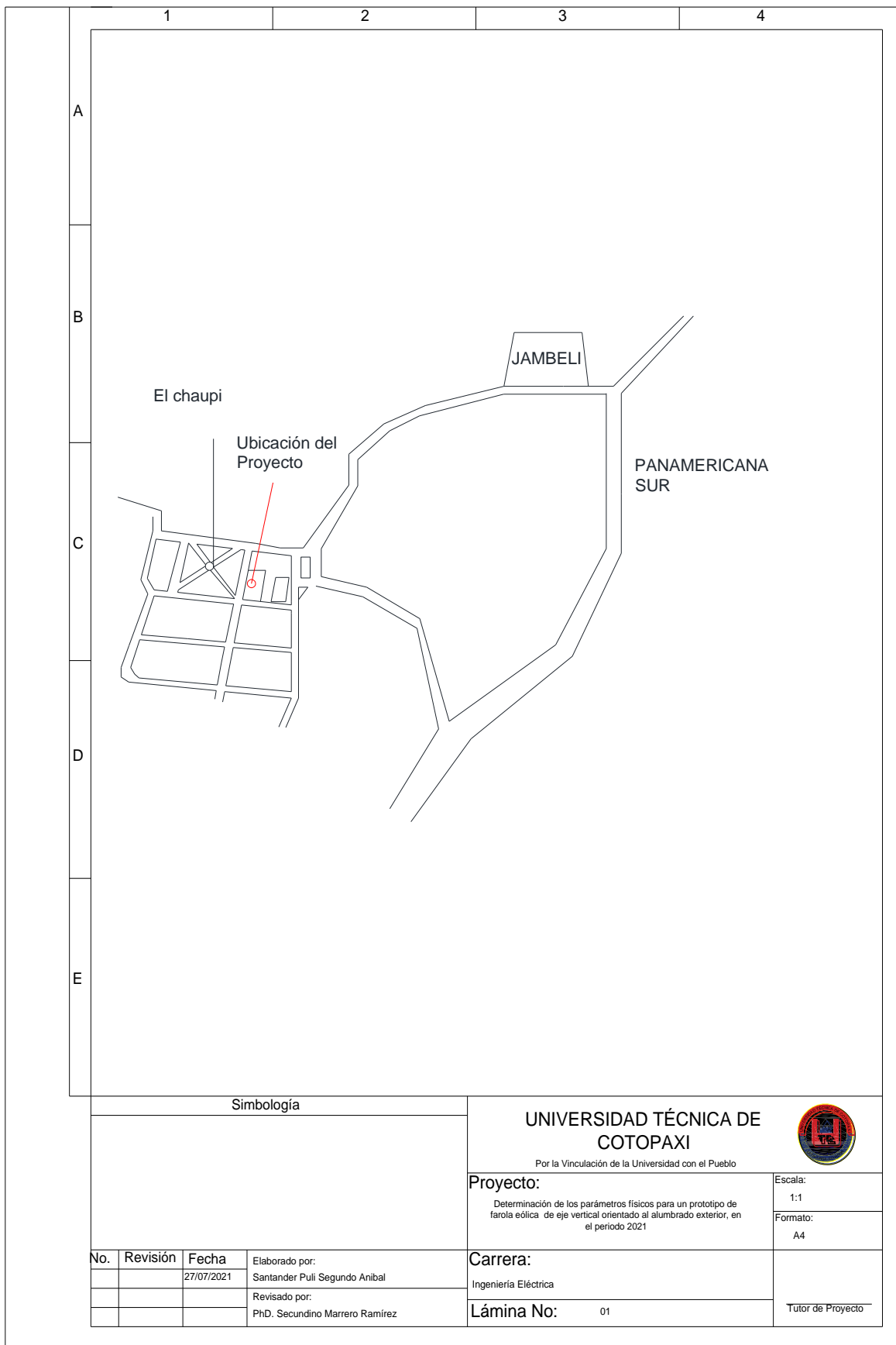


Figura B.3. Altura en m.s.n.m para el funcionamiento del prototipo.

Anexo C. Planos

1. Ubicación del Proyecto
2. Iluminación exterior

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD



Simbología

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

Por la Vinculación de la Universidad con el Pueblo



Proyecto:
Determinación de los parámetros físicos para un prototipo de farola eólica de eje vertical orientado al alumbrado exterior, en el periodo 2021

Escala:
1:1

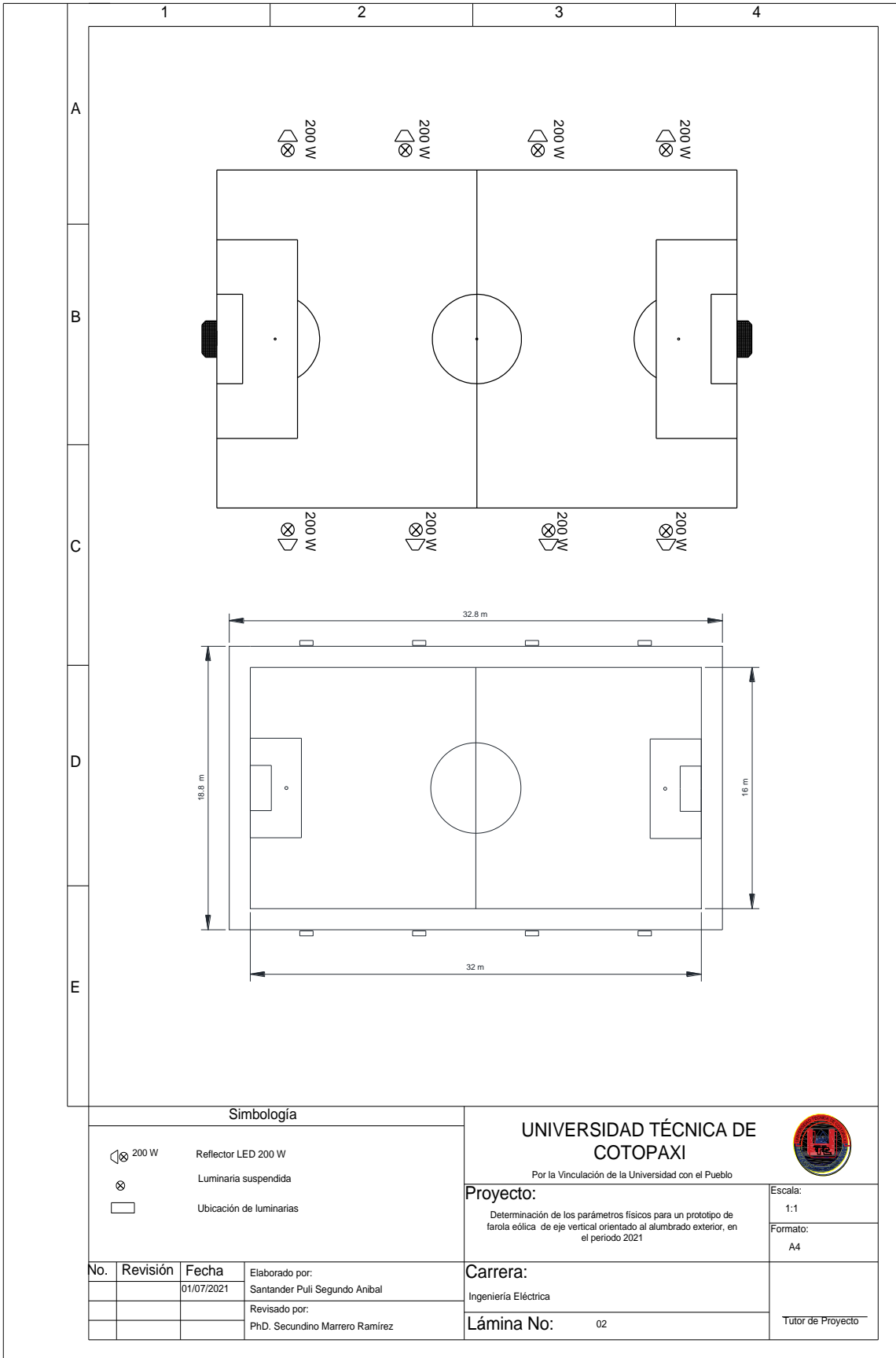
Formato:
A4

No.	Revisión	Fecha	Elaborado por:
		27/07/2021	Santander Puli Segundo Anibal
			Revisado por:
			PhD. Secundino Marrero Ramírez




Carrera:
Ingeniería Eléctrica

Lámina No: 01

Tutor de Proyecto



Simbología

-  200 W Reflector LED 200 W
-  Luminaria suspendida
-  Ubicación de luminarias

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

Por la Vinculación de la Universidad con el Pueblo



Proyecto:

Determinación de los parámetros físicos para un prototipo de farola eólica de eje vertical orientado al alumbrado exterior, en el periodo 2021

Escala:

1:1

Formato:

A4

No.	Revisión	Fecha
		01/07/2021

Elaborado por:	Santander Puli Segundo Anibal
Revisado por:	PhD. Secundino Marrero Ramirez

Carrera:

Ingeniería Eléctrica

Lámina No:

02

Tutor de Proyecto

Anexo D. Especificaciones técnicas del reflector de 200W

SYLVANIA

LED Reflector

LED REFLECTOR JETA 200W DL
P23641



Luminaria LED tipo reflector para interiores o exteriores, diseño delgado y liviano con driver integrado en la luminaria. Instalación sobrepuesto con soporte metálico. Proyección uniforme de la luz, reduce los costos de consumo de energía y mantenimiento.

CARACTERÍSTICAS

Diseño delgado, moderno y robusto, resistente a la humedad
Chasis en aluminio extruido
Conector para garantizar la hermeticidad de la acometida IP65.

APLICACIONES

Iluminación exterior decorativa, fachadas, jardines.
Iluminación de senderos y áreas de circulación en exteriores

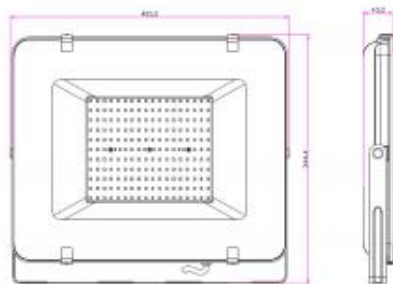


Ultra Delgado

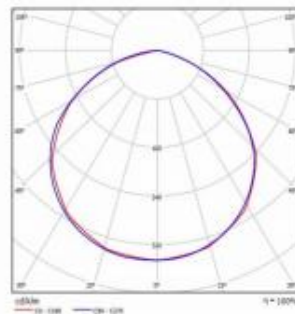


DATOS ÓPTICOS		DATOS FÍSICOS		DATOS ELÉCTRICOS	
Temperatura de color	6500K (DL)	Acabado	Negro	Potencia de entrada	200 W
Flujo luminoso	21000 lm	Grado de protección IP	IP65/IK05	Tensión de operación	100-240 V 50/60 Hz
Ángulo de apertura	100°	Dimensiones (LxWxH)	405x344x43 mm	Corriente de entrada	1.667 A @ 120 V
Tipo de distribución	Directa simétrica	Tipo de montaje	Sobreponer	Factor de potencia	0.9
Reproducción de color (IRC)	>70	Chasis	Aluminio extruido	Distorsión armónica (THD)	<20%
Vida útil	30000 h L70	Óptica	Semiespecular	Tipo de driver	Independiente CC
Eficacia	95 lm/W	Temperatura de operación Ta	-20°C ~ +35°C	Atenuable	NO

DIMENSIONES



FOTOMETRÍA



Las características de los productos pueden ser modificadas sin previo aviso según la evolución de la tecnología LED. 02/20.

Producto ecológico: Permite ahorrar energía comparado con productos tradicionales. Libre de mercurio.

by FEILO SYLVANIA

Anexo E. Características técnicas de las baterías monoblock de 100Ah

TAB MOTION TUBULAR
es una batería de semitracción MONOBLOCK con placas positivas tubulares.

Las baterías de semitracción monoblock TAB MOTION TUBULARES son fiables y duraderas. Este tipo de baterías están diseñadas para sistemas solares, sistemas de bombeo y riego, instalaciones fotovoltaicas y eólicas de baja potencia, barcos, sillas de ruedas, aplicaciones en camiones, máquinas de limpieza, caravanas y autocaravanas, en aplicaciones en ambientes hostiles, máquinas de limpieza, plataformas elevadoras móviles, camiones de plataforma elevadora eléctrica y también es la solución perfecta para el almacenamiento de energía.

VENTAJAS:


- + Construcción de la placa tubular con electrolitos que aseguran una larga vida de funcionamiento.
- + Alta Capacidad de descarga.
- + Solución perfecta para aplicaciones que se utilizan en condiciones de trabajo difíciles.
- + Fiable y duradera - 1.200 ciclos.

APLICACIONES:

- + Carros de golf.
- + Máquinas de limpieza.
- + Sillas de ruedas.
- + Plataformas elevadoras móviles.
- + Camiones plataforma con elevador eléctrico.
- + Sistemas solares.

CARGA:


- + TAB Motio baterías pueden ser recargadas con 50 Hz o cargador HF. El perfil de carga es Iw, WoVa, IUIa, Acc. WUIa. DIN 41773 y 41774.



Número de ciclos: 1200 (IEC / EN 60254-1 / 25 °C)

TIPO de Batería	VOLTAGE (V)	L*W*H (mm)	PESO (kg)	C5 (Ah)	C100 (Ah)
55T	12	278x175x190	18,2	55	65
90T	12	303x175x228	28,7	90	115
95T	12	344x172x234	30,0	95	130
120T	12	344x172x262/284	37,3	120	155
145T	12	512x223x194/220	47,3	145	180
Golf Cart T	6	244x190x270/281	30,5	180	240
Golf Cart TS	6	244x190x270/281	31,5	210	270

Anexo F. Características técnicas Del generador de 300W



Tech Parameter	B-100S	B-200S	B-300M	B-400M	B-500M2B	B-600M2
Modelo	B-100S	B-200S	B-300M	B-400M	B-500M2B	B-600M2
Potencia nominal (w)	100w	200w	300w	400w	500w	600w
Max. Potencia (w)	130w	230w	350w	450w	550w	650w
Tensión nominal (v)	12 v/24v	12 v/24v	12 v/24v	12 v/24v	12 v/24v/48v	24v/48v
Velocidad nominal (r/m)	600r/m	600r/m	600r/m	700r/m	600 r/m	600 r/m
Peso neto (kg)	2,8 kg	3kg	4kg	4,3 kg	7kg	7,5 kg
Peso bruto KGs	3,5KGs	4KGs	5KGs	5,2KGs	7,6KGs	8KGs
Tamaño (mm)	65*153*45mm 81*153*15mm 100*185*70mm					
(Generador de altura * generador de ancho * altura del eje)						
Lubricación	Grasa lubricante					
Rotor	Imán permanente generador AC alternador					
Temperatura de trabajo	-40 °C - 80 °C					

Anexo G. Resultados de la simulación en Dialux 13.4.

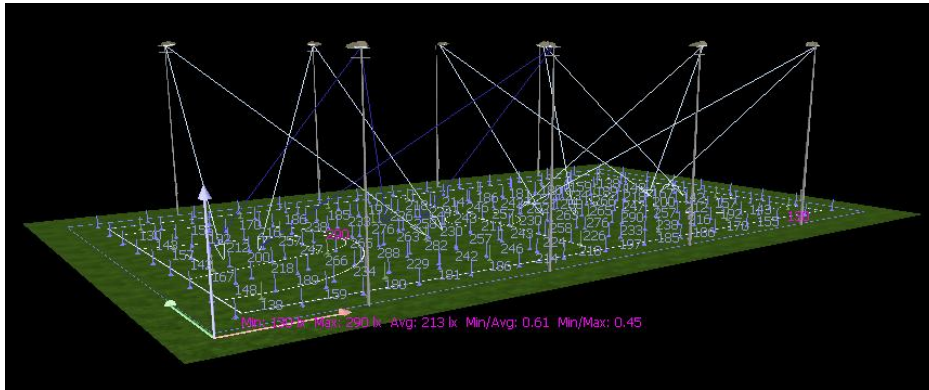


Figura G.1. Ubicación de Luminarias en 3D.

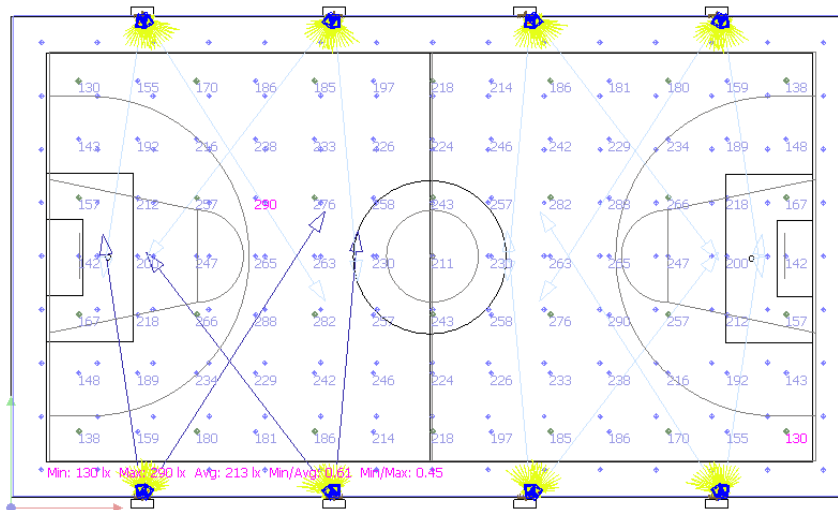


Figura G.2. Luminosidad mínima y máxima.

Simulación del Campo deportivo

Universidad Técnica de Cotopaxi
Carrera de Ingeniería Eléctrica
Latacunga

Proyecto elaborado por: Santander Puli Segundo Anibal
Teléfono: 0968625766
Fax:
e-Mail: segundo.santander1980@utc.edu.ec

DIALux
02.07.2021

Simulación del Campo deportivo / Lista de luminarias

16 Pieza SAUDILIGHTING A6TG/3-250QP.GL.AA
Trunnion / Post Top Mounted Asymmetrical HID
Floodlight Outdoor Luminaire (Tipo 1)
N° de artículo: A6TG/3-250QP.GL.AA
Flujo luminoso (Luminaria): 16197 lm
Flujo luminoso (Lámparas): 21000 lm
Potencia de las luminarias: 200.0 W
Clasificación luminarias según CIE: 100
Código CIE Flux: 54 92 100 100 77
Lámpara: 1 x Definido por el usuario (Factor de corrección 0.900).




Figura G.3. Características de las luminarias.

Anexo G.4. Nivel de Lux en el campo deportivo.

Simulación del Campo deportivo



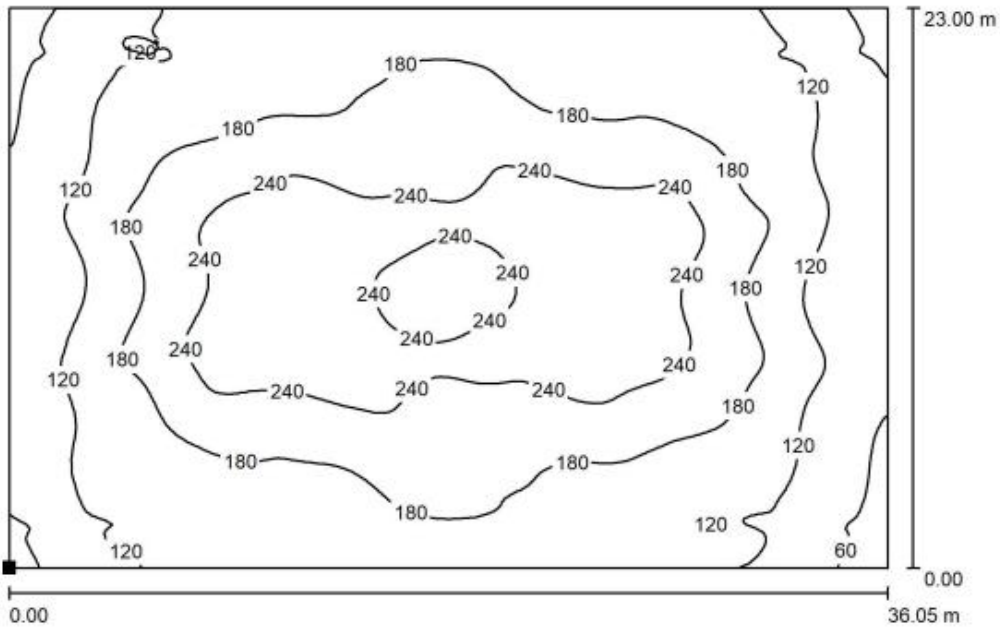
DIALux

02.07.2021

Universidad Técnica de Cotopaxi
Carrera de Ingeniería Eléctrica
Latacunga

Proyecto elaborado por Santander Puli Segundo Anibal
Teléfono 0968825766
Fax
e-Mail segundo.santander1980@utc.edu.ec

Escena exterior del campo deportivo / Elemento del suelo 1 / Superficie 1 / Isolíneas (E)



Valores en Lux, Escala 1 : 258

Situación de la superficie en la escena exterior:
Punto marcado:
(-1.369 m, -1.600 m, 0.000 m)



Trama: 128 x 128 Puntos

E_m [lx]
175

E_{min} [lx]
30

E_{max} [lx]
292

E_{min} / E_m
0.170

E_{min} / E_{max}
0.102

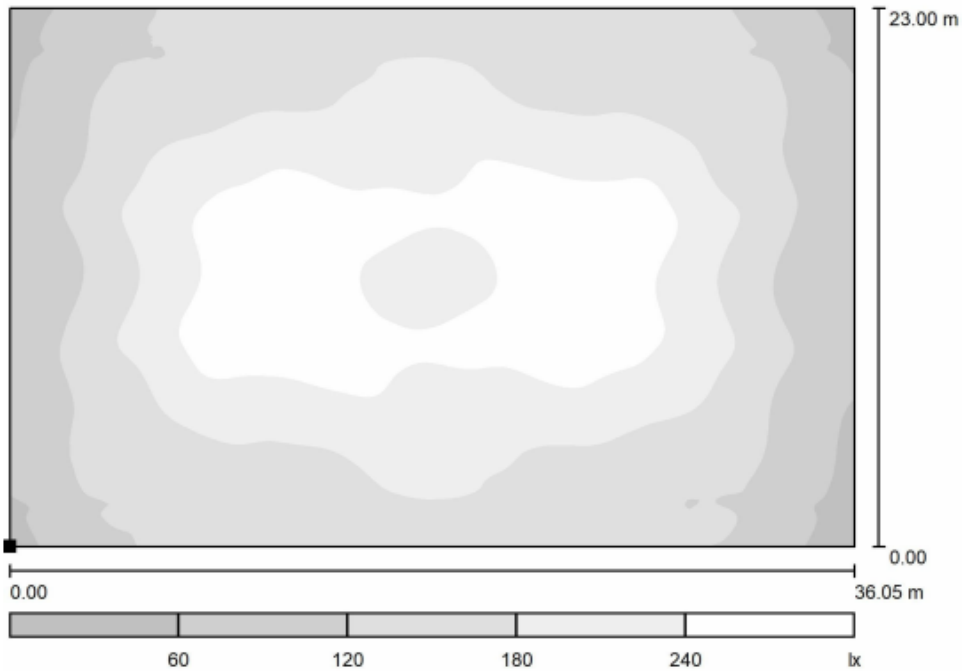
Simulación del Campo deportivo



Universidad Técnica de Cotopaxi
Carrera de Ingeniería Eléctrica
Latacunga

Proyecto elaborado por Santander Pulí Segundo Anibal
Teléfono 0968825766
Fax
e-Mail segundo.santander1980@utc.edu.ec

Escena exterior del campo deportivo / Elemento del suelo 1 / Superficie 1 / Gama de grises (E)



Escala 1 : 258

Situación de la superficie en la escena exterior:
Punto marcado:
(-1.369 m, -1.600 m, 0.000 m)



Trama: 128 x 128 Puntos

E_m [lx]
175

E_{min} [lx]
30

E_{max} [lx]
292

E_{min} / E_m
0.170

E_{min} / E_{max}
0.102

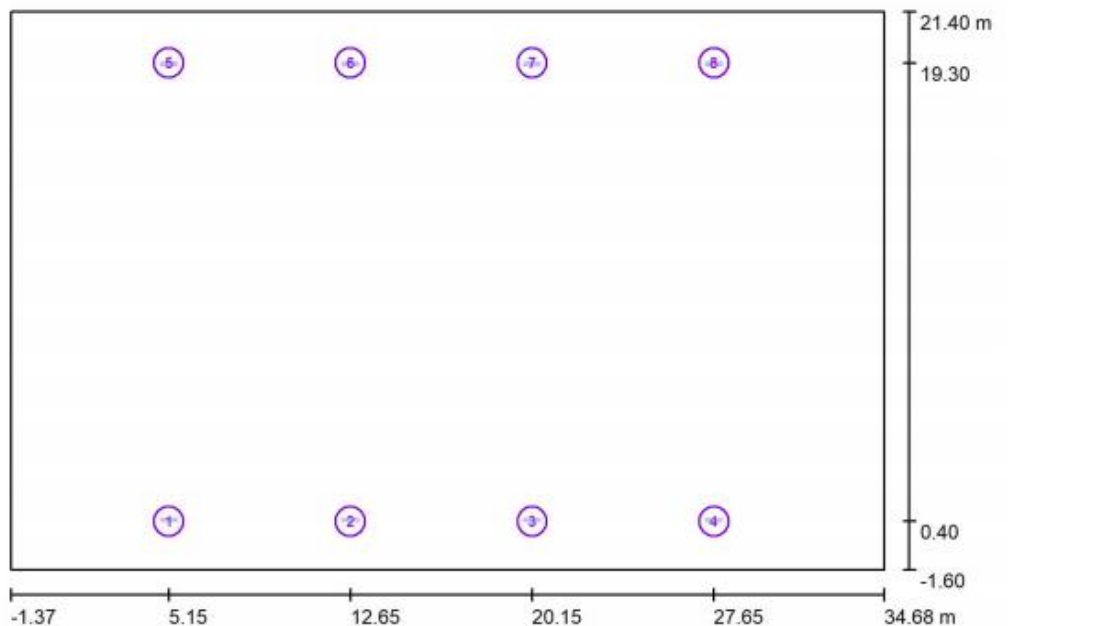
Simulación del Campo deportivo



Universidad Técnica de Cotopaxi
Carrera de Ingeniería Eléctrica
Latacunga

Proyecto elaborado por Santander Pulí Segundo Anibal
Teléfono 0968825766
Fax
e-Mail segundo.santander1980@utc.edu.ec

Escena exterior del campo deportivo / Objetos (plano de situación)



Escala 1 : 258

Objeto-Lista de piezas

Nº	Pieza	Designación
1	1	columna1.3ds
2	1	columna2.3ds
3	1	columna3.3ds
4	1	columna4.3ds
5	1	columna5.3ds
6	1	columna6.3ds
7	1	columna7.3ds
8	1	columna8.3ds

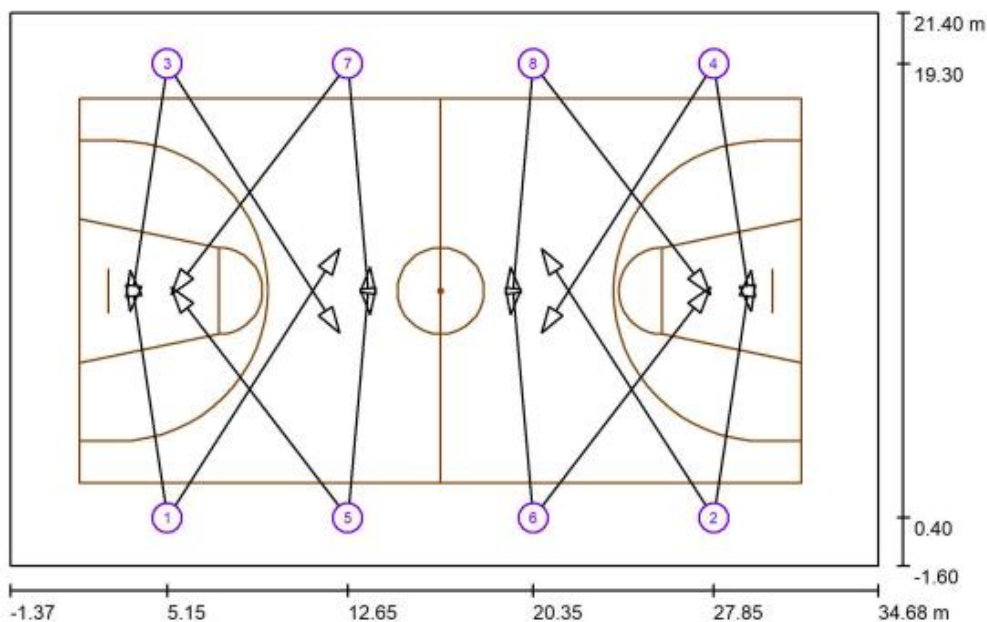
Simulación del Campo deportivo



Universidad Técnica de Cotopaxi
Carrera de Ingeniería Eléctrica
Latacunga

Proyecto elaborado por Santander Pulí Segundo Anibal
Teléfono 0968625766
Fax
e-Mail segundo.santander1980@utc.edu.ec

Escena exterior del campo deportivo / Luminarias de deporte (lista de coordenadas)



Escala 1 : 258

Lista de zonas luminarias deportivas

Luminaria	Índice	Posición [m]			Punto de irradiación [m]			Ángulo de irradiación [°]	Orientación	Mástil
		X	Y	Z	X	Y	Z			
SAUDILIGHTING A6TG/3-250QP.GL.AA Trunnion / Post Top Mounted Asymmetrical HID Floodlight Outdoor Luminaire	1	5.150	0.400	8.000	12.300	11.600	0.000	31.1	(C 90, G IMax)	/
SAUDILIGHTING A6TG/3-250QP.GL.AA Trunnion / Post Top Mounted Asymmetrical HID Floodlight Outdoor Luminaire	1	5.150	0.400	8.000	3.600	10.700	0.000	37.5	(C 90, G IMax)	/
SAUDILIGHTING A6TG/3-250QP.GL.AA Trunnion / Post Top Mounted Asymmetrical HID Floodlight Outdoor Luminaire	2	27.850	0.400	8.000	20.700	11.600	0.000	31.1	(C 90, G IMax)	/
SAUDILIGHTING A6TG/3-250QP.GL.AA Trunnion / Post Top Mounted Asymmetrical HID Floodlight Outdoor Luminaire	2	27.850	0.400	8.000	29.400	10.700	0.000	37.5	(C 90, G IMax)	/

Anexo H. Característica de materiales

Anexo H.1. Características de lámina del acrílico PMMA.

FICHA TÉCNICA LAMINA PMMA (ACRILICO)



Propiedades Térmicas					
Coefficiente de dilatación lineal	cm/cm°C	D-696	6,0 X 10A LA MENOS 5	1,3 X 10A LA MENOS 5	
Temperatura de deflexión bajo carga	18'6kg/cm2	D-648	86°C	68-96°C	
Conductividad Térmica	10 A LA MENOS 4 cal cm/sec cm2 °C	C-177	4,0-6,0	4,0-6,0	
Calor específico	cal/g/°C		0,35	0,3	
Propiedades físicas					
Peso específico	g/cm3	D-792	1,19-1,20	1,19-1,20	1,15
Absorción de agua	%	D-570	0,2-0,4	0,1-0,4	0,4
Propiedades eléctricas					
Resistencia eléctrica	ohm/cm	D-257	>10 A LA SEXTA	>10 A LA SEXTA	
Rigidez dieléctrica	Kv/mm	D-149	19	17	
Propiedades ópticas					
Índice de refracción		D-542	1,49	1,49	1,49
Transmitancia	%	D-791	92	92	90
Nubosidad (Haze)	%	D-1003	1	1	4
Propiedades químicas					
Resistencia a la intemperie			Excelente	Excelente	Excelente
Resistencia a los ácidos débiles			No es atacado	No es atacado	No es atacado
Resistencia a los ácidos fuertes			No es atacado	No es atacado	No es atacado
Resistencia a los álcalis débiles			No es atacado	No es atacado	No es atacado
Resistencia a los álcalis fuertes			Es atacado	Es atacado	Es atacado
Ácidos Oxidantes			Es	Es atacado	Es

Anexo H.2. Características del acero AISI-SAE 4340.

ACEROS ESPECIALES
Para aplicaciones Industriales

GGA Cía. General de Aceros

Acero Grado Ingeniería

Referencia:
Aceros Aleados



AISI / SAE: 4340

Composición química (%)

C	0.38 - 0.43	S	0.04 Max.
Mn	0.60 - 0.80	Cr	0.70 - 0.90
Si	0.15 - 0.35	Ni	1.65 - 2.00
P	0.035 Max.	Mo	0.20 - 0.30

Dureza de suministro 28 - 32 HRC.

EQUIVALENCIAS EN OTRAS NORMAS

NORMAS	NOMBRE
AISI SAE	4340
DIN	40NiCrMo6
AFNOR	38NC D6
UNI	40NiCrMo7
BS	3595

Características:

Acero de medio carbono aleado con Cr-Ni-Mo. Posee buena resistencia a la fatiga, alta templabilidad, excelente tenacidad, regular maquinabilidad y baja soldabilidad.

Usos: Piezas y herramientas sometidas a las más grandes exigencias y a los más altos esfuerzos estáticos y dinámicos. Cigüeñales, piñones, pernos y tornillos de alta resistencia, engranajes para máquinas, discos para frenos, barras de torsión y árboles de transmisión.

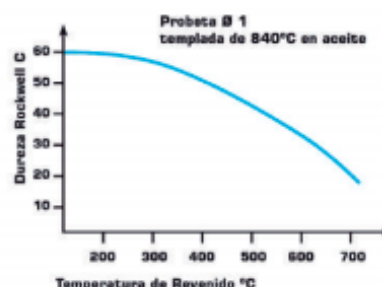


Estado de Suministro	Resistencia tracción kg/mm ²	Límite elástico kg/mm ²	Alargamiento %	Reducción de área %	Dureza brinell HB
Laminado en Caliente	65/75	44	20	50	210/240
Calibrado	75/85	63	10	30	240/260
Bonificado	85/110	78	16	45	260/320

TRATAMIENTO TÉRMICO	TEMPERATURA °C	MEDIO DE ENFRIAMIENTO
Forja	850/1100	Ceniza o arena
Temple	820/850	Aceite
Normalizado	850/870	Aire
Recocido	680/720	Horno
Revenido	540/650	Aire

* Tener presente que los tratamientos térmicos modifican las propiedades mecánicas de origen del material.

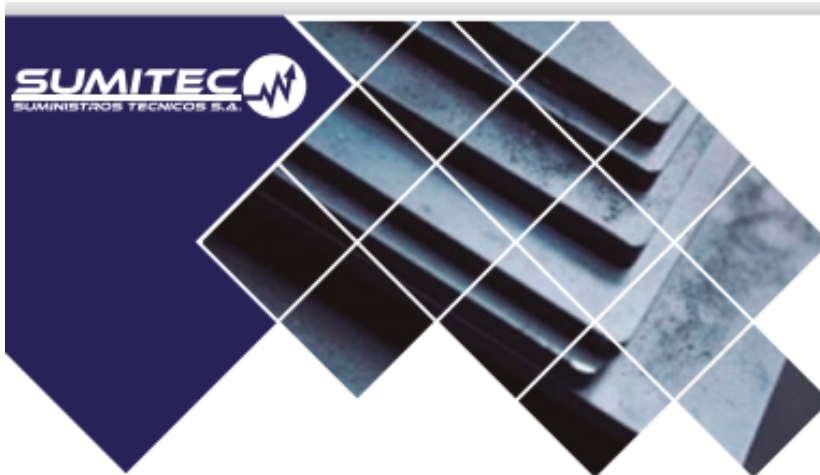
Diagrama de Revenido



Observaciones: Toda la información técnica es solo de referencia.

Los suministros están dentro de los rangos promedio de lo exigido por norma o la calidad asociada y no corresponden a los valores exactos para cada material.

Anexo H.3. Características del acero ASTM-A36



ACERO ESTRUCTURAL
ACERO ASTM A36



1. Descripción: Acero al carbono estructural conocido como hierro negro, de calidad estructural para el uso en puentes y edificaciones remachadas, atornilladas o soldadas.

2. Normas involucradas: ASTM A 36/A 36M - 04

3. Propiedades mecánicas: Esfuerzo a la fluencia mínimo: 250 MPa (36300 PSI)
Esfuerzo a la tensión: 400 – 550 MPa (58000 – 79800 PSI)
Elongación mínima en 50 mm (2"): 23%
Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 KSI)

4. Propiedades físicas: Densidad 7.85 g/cm³ (0.284 lb/in³)

5. Propiedades químicas: 0.25 – 0.29 % C
0.60 – 1.20 % Mn
0.15 – 0.40 % Si
0.04 % P máx
0.05 % S máx

6. Usos: Para componentes estructurales en general.

7. Tratamientos térmicos: Usualmente a este material no se le da tratamiento térmico debido a que son parte estructural. Puede ser cementado para aumentar la dureza superficial mientras mantiene su núcleo tenaz.

NOTA:

Los valores expresados en las propiedades mecánicas y físicas corresponden a los valores promedio que se espera cumpla el material. Tales valores son para orientar a aquella persona que debe diseñar o construir algún componente o estructura pero en ningún momento se deben considerar como valores estrictamente exactos para su uso en el diseño.

(506) 2591-7514 ☎

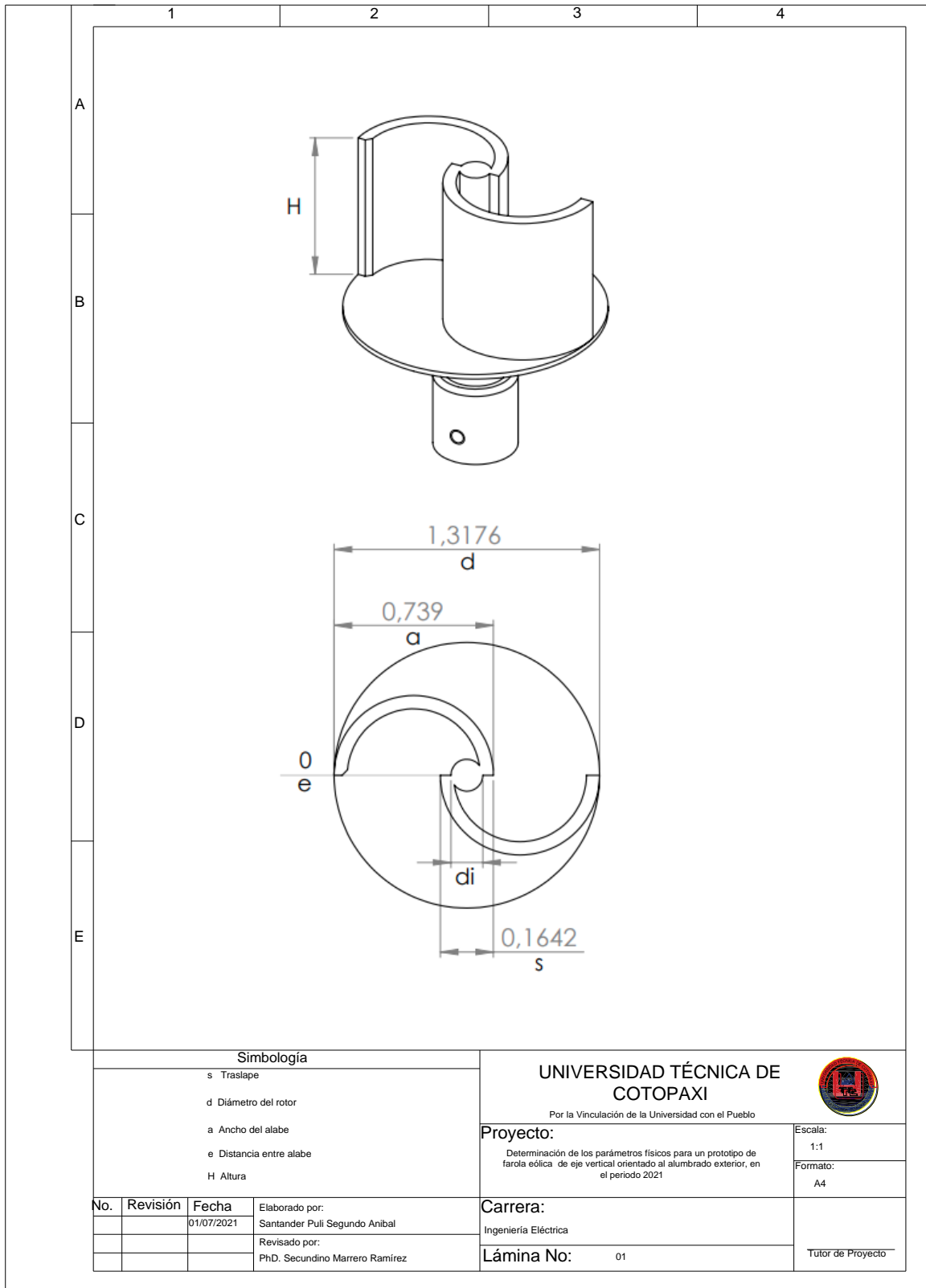
(506) 2551-4169 📠

info.clientes@sumiteccr.com 📧

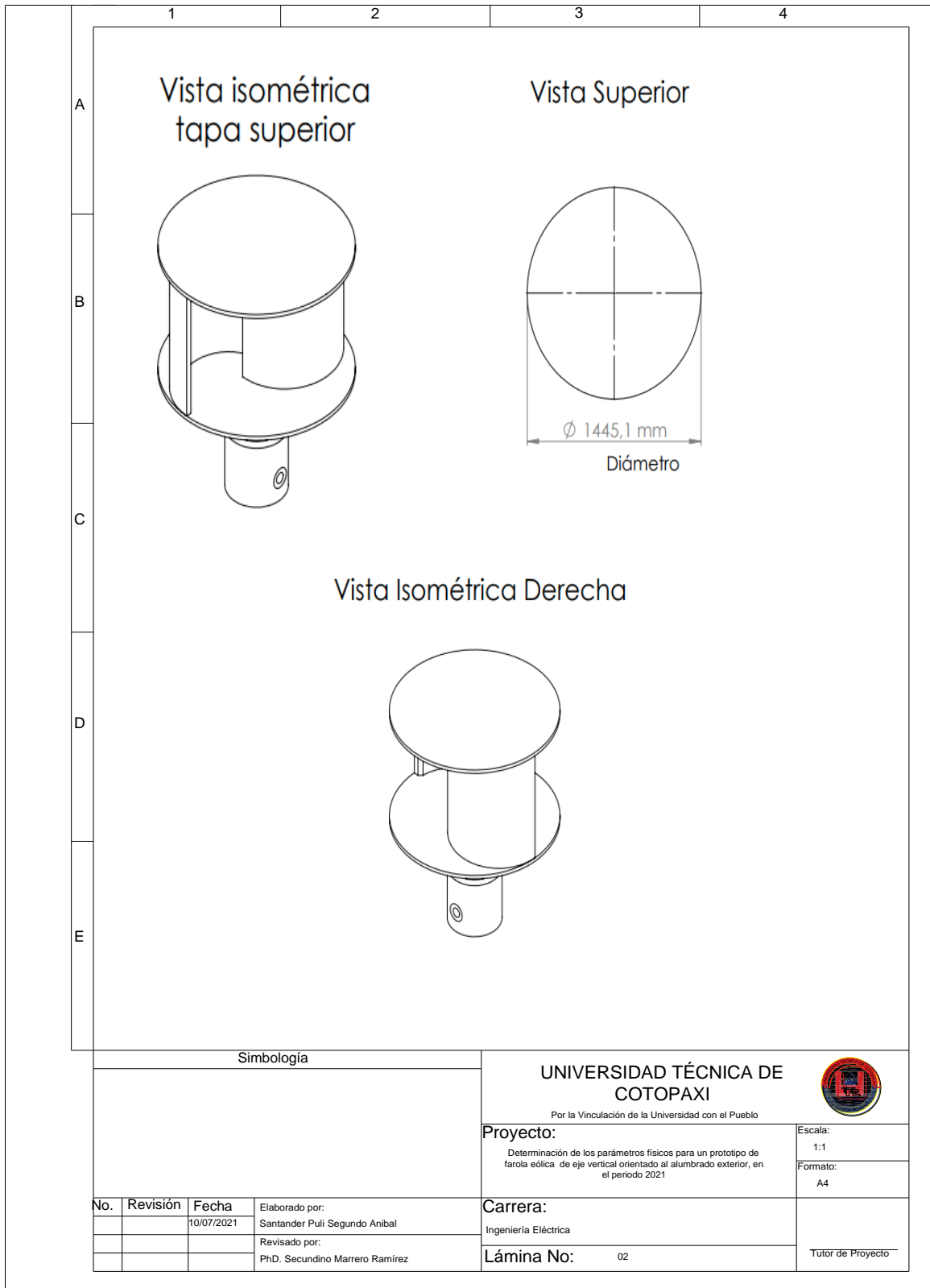


Anexo I. Diseño del aerogenerador tipo Savonius

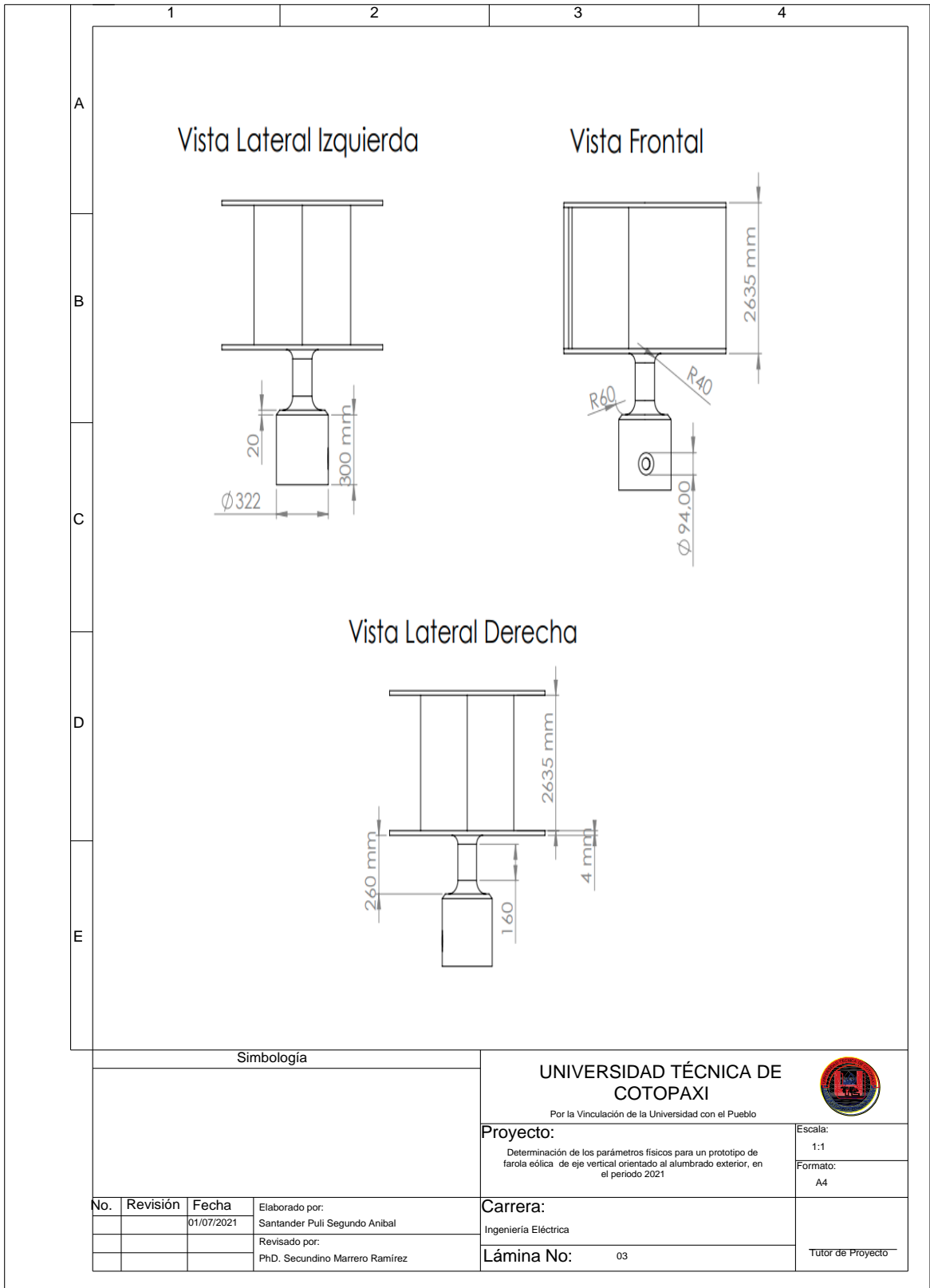
Anexo I.1. Características de diseño del aerogenerador.



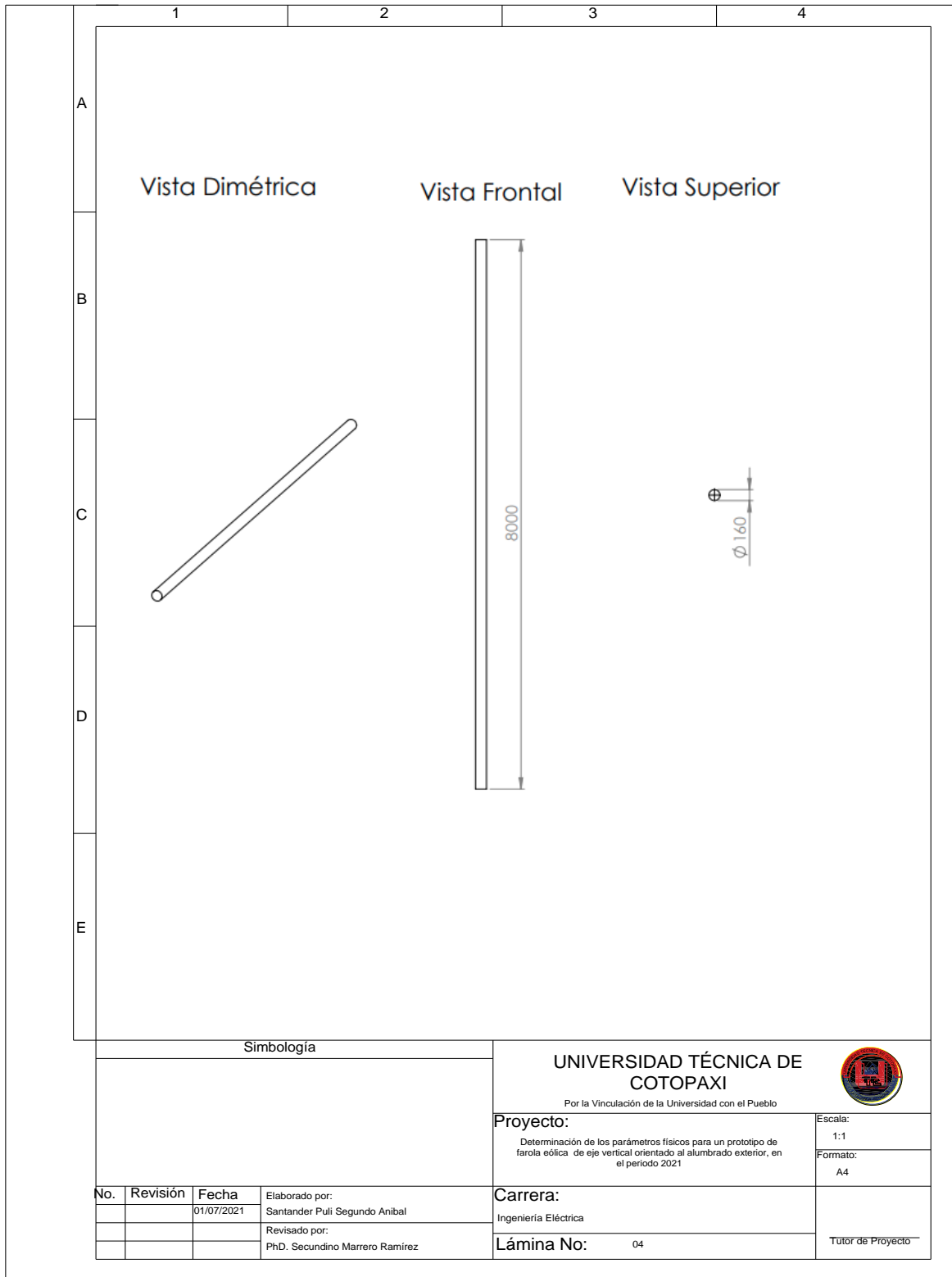
Anexo I.2. Vista frontal de las tapas del aerogenerador.



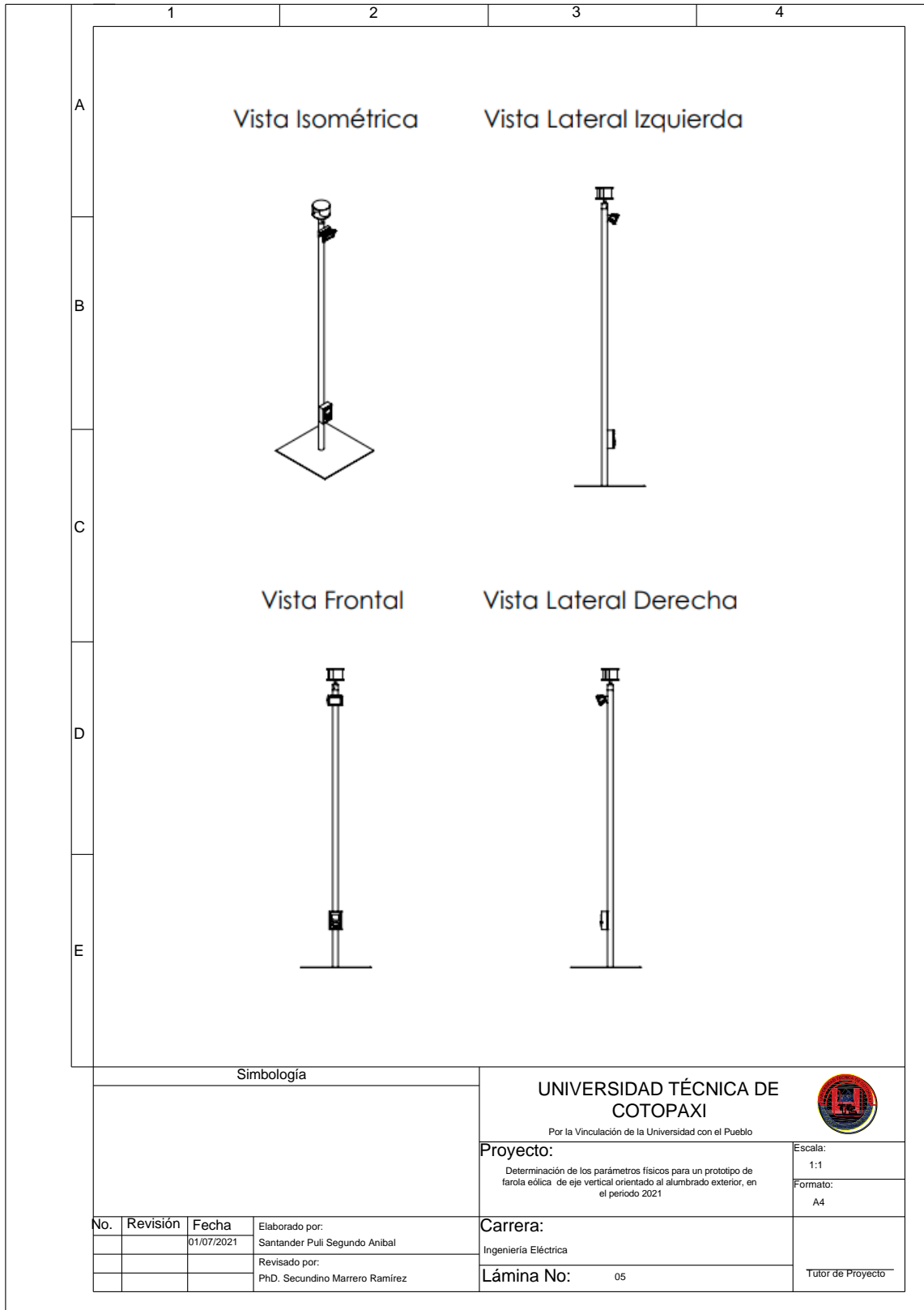
Anexo I.3. Vista frontal del generador Savonius.



Anexo I.4. Vista del poste del generador Savonius.



Anexo I.5. Diseño final del Sistema eólico.



Anexo J. Diagramas de flujo

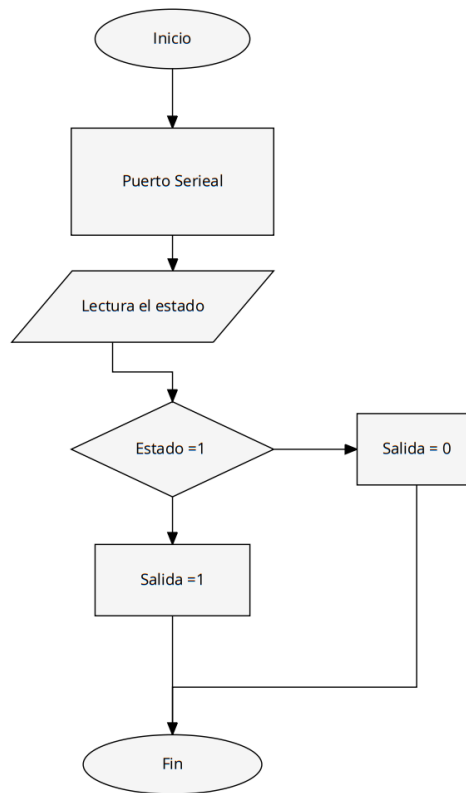


Figura J.1. Diagrama de flujo del Arduino UNO

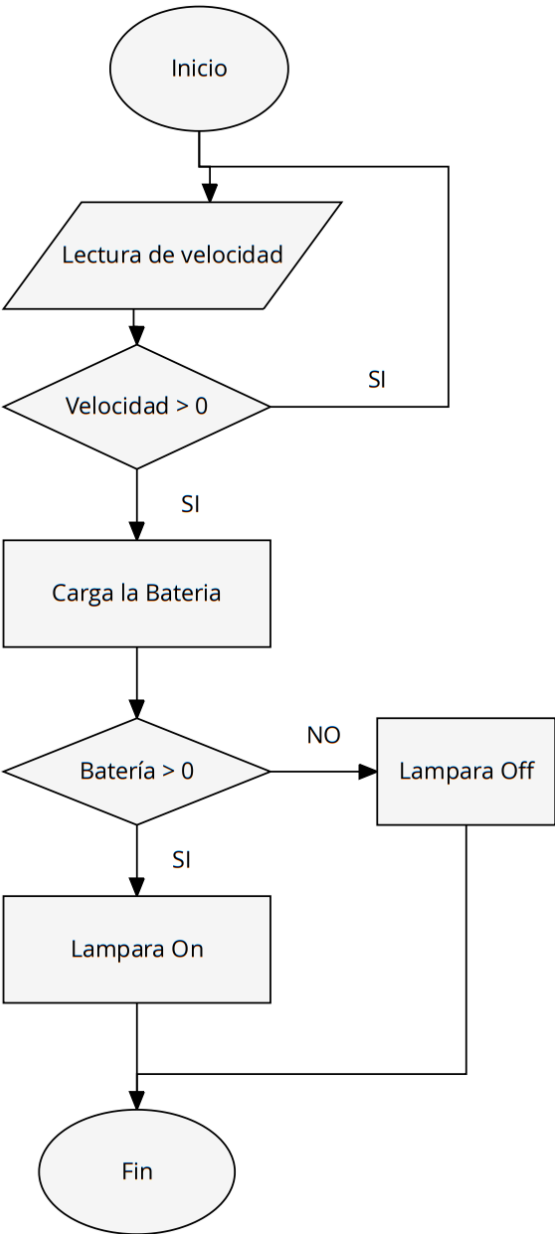


Figura J.1. Diagrama de flujo del encendido del sistema

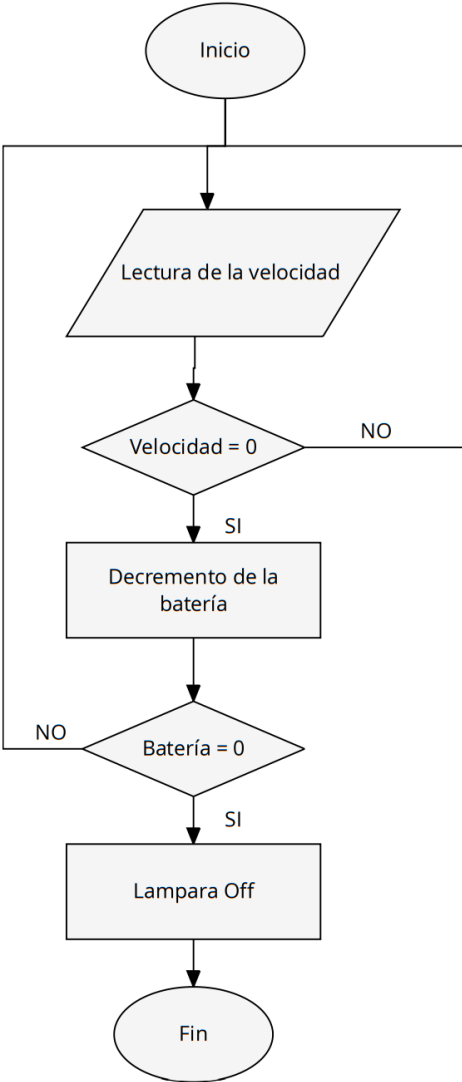


Figura J.1. Diagrama de flujo del apagado del sistema

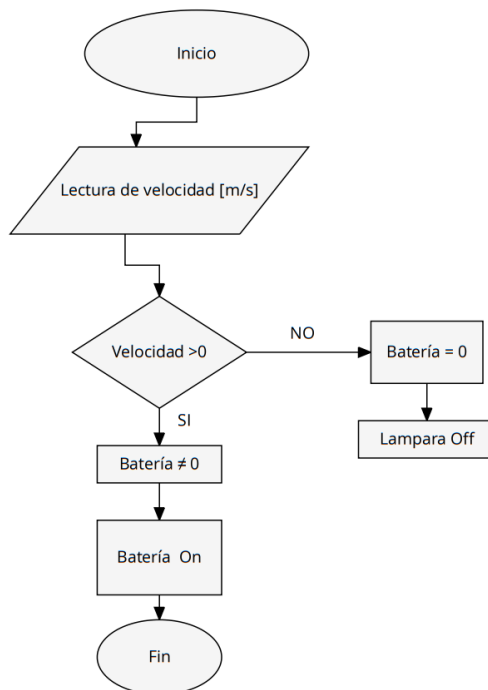


Figura J.1. Diagrama de flujos correspondientes al funcionamiento general.

Anexo K. Simulación del sistema generación eólico en Simulink

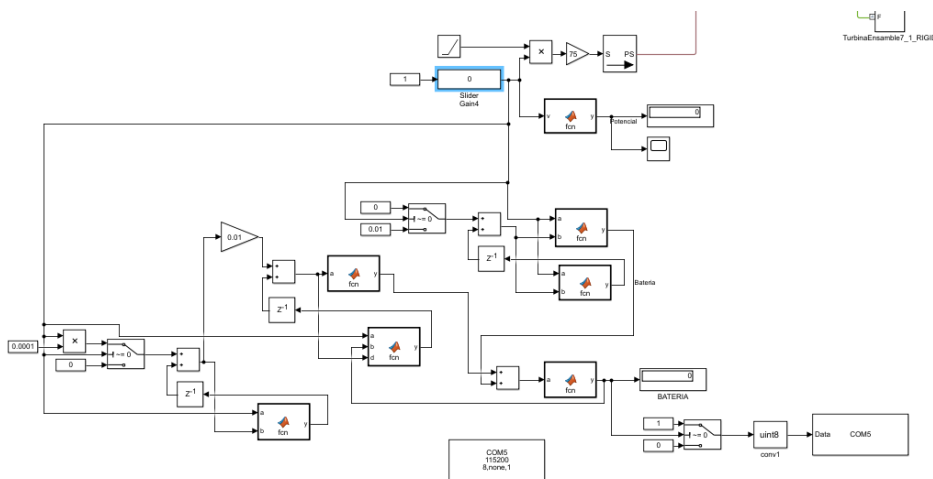


Figura K.1. Esquema del sistema de simulación.

Anexo K.2. Características del Arduino UNO.

1) MODULOS ARDUINO



Características:

Arduino UNO Rev3 es la última versión disponible de la tarjeta Arduino original.

Es una tarjeta electrónica basada en el microcontrolador Atmega328.

Dispone de 14 entradas/salidas digitales, 6 de las cuales se pueden emplear como salidas PWM (modulación de anchura de pulsos).

Dispone también de 6 entradas analógicas, un oscilador de 16MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un conector ICSP y un pulsador para el reset.

Para empezar a utilizar la placa sólo es necesario conectarla al ordenador a través de un cable USB (no incluido), o bien alimentarla con un adaptador de corriente AC/DC (no incluido).

En esta versión de la tarjeta Arduino UNO, una de las diferencias más importante respecto a sus predecesoras, es que no utiliza el convertidor USB-serie de la empresa FTDI. Por lo contrario, integra un microcontrolador Atmega16U2 (Atmega8U2 version R2) programado como un convertidor USB a serie

* Revisión 2 de Arduino Uno tiene una resistencia tirando de la línea HWB 8U2 a tierra, haciéndolo más fácil de poner en modo DFU.

* Revisión 3 de Arduino Uno tiene las siguientes características nuevas:
- I.0 pinout: añadido a pines SDA y SCL que se colocan cerca del pin AREF y pasadores nuevos cerca el pin RESET, el IOREF que permiten los escudos para adaptarse a la tensión de la tarjeta. En el futuro, los escudos serán compatibles con ambos, la tarjeta que utiliza el AVR, que opera con 5V y con Arduino Due que opera con 3.3V. El segundo es un pin no conectado, que está reservado para los propósitos futuros.

- El circuito de RESET más consistente.

- Atmega 16U2 reemplaza el 8U2.

Microcontroller: ATmega328

* Operating Voltage: 5V

* Input Voltage (recommended): 7 - 12V

* Input Voltage (limits): 6 - 20V

* Digital I/O Pins: 14 (of which 6 provide PWM output)

* Analog Input Pins: 6

* DC Current per I/O Pin: 40 mA

* DC Current for 3.3V Pin: 50 mA

* Flash Memory: 32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB used by bootloader

* SRAM: 2 KB (ATmega328)

* EEPROM: 1 KB (ATmega328)

* Clock Speed: 16 MHz

REFERENCIA: LCA1001

www.electronicaembajadores.com

Telefono de contacto: 91473 74 82

Mail: web@electronicaembajadores.com

Horario de atención al cliente: De 9:00 a 14:00 y de 16:30 a 20:00

Sabados de 10:00 a 14:00

Agosto de 8:00 a 14:30

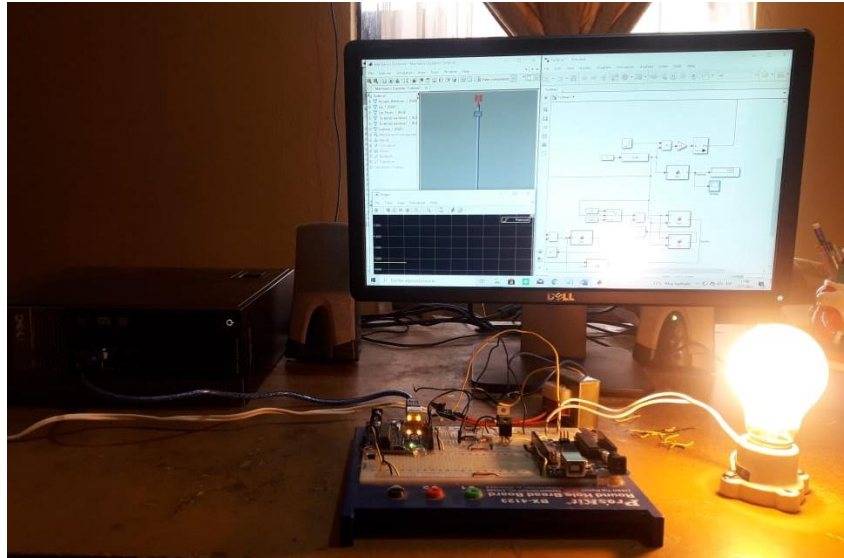


Figura K.3. Simulación del prototipo con potencial eólico.

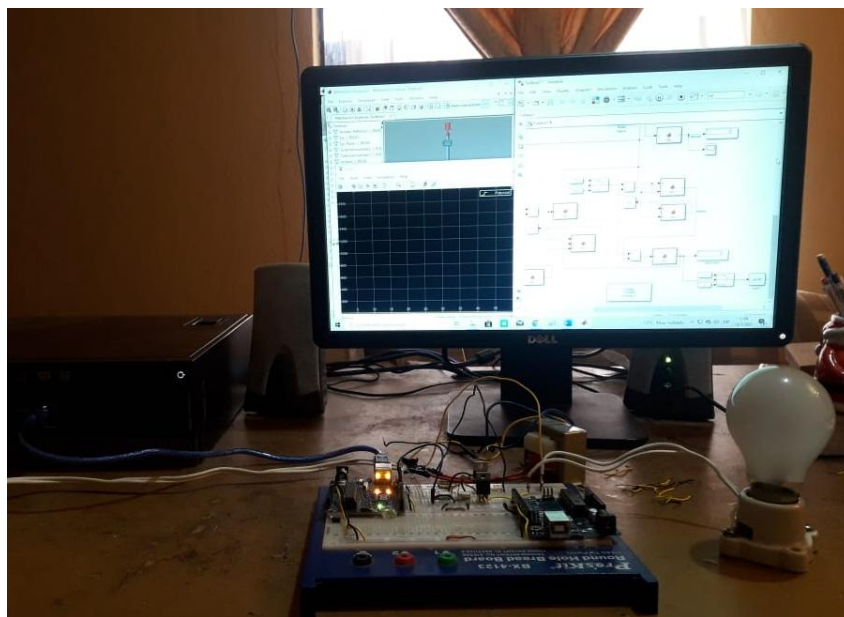


Figura K.3. Simulación del sistema sin potencial eólico.