

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



**Diseño de un sistema de producción de energía eléctrica con aerogenerador
para iluminar en parques**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

AUTOR
Alex Chavez Silva

ASESOR
Lucio Antonio Llontop Mendoza
<https://orcid.org/0000-0002-2561-0126>

Chiclayo, 2024

**Diseño de un sistema de producción de energía eléctrica con
aerogenerador para iluminar en parques**

PRESENTADA POR

Alex Chavez Silva

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

APROBADA POR

Alexander Querebalu Morante

PRESIDENTE

Wilson Jimenez Zuloeta

SECRETARIO

Lucio Antonio Llontop Mendoza

VOCAL

Dedicatoria

A Dios por ser quien me guío y me fortaleció en todo momento, gracias por darme una familia maravillosa y amigos con quienes puedo confiar.

A la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, por brindarme una educación de calidad y por ser un pilar fundamental en mi formación académica y personal.

A mis docentes universitarios, por guiarme con sus enseñanzas y me ayudaron a crecer como profesional y como persona.

A mis padres por todos los consejos y por siempre estar pendientes de mí y apoyarme con tanto cariño.

A mi hijo por ser la mayor motivación en mi vida y me inspira a seguir adelante para culminar mi carrera profesional.

Agradecimientos

Un agradecimiento especial por todo el apoyo metodológico y profesional para la orientación en el desarrollo de esta tesis al Ing. Lucio Antonio Llontop Mendoza, esta tesis no hubiera sido posible sin su participación. Asimismo, gracias por la gran cantidad y calidad de saberes brindados en este tiempo.

Así mismo agradecemos a la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, a la Facultad de Ingeniería; y en especial, a nuestra querida Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica y a toda su plana docente, por los conocimientos y orientación impartidos durante nuestra formación profesional.

Diseño de un sistema de producción de energía eléctrica con aerogenerador para iluminar en parques

INFORME DE ORIGINALIDAD

17 %	15 %	3 %	9 %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	2 %
2	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	1 %
3	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	1 %
4	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
5	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
6	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
7	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
8	repository.uamerica.edu.co Fuente de Internet	<1 %
9	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
10	revista.gnerando.org Fuente de Internet	<1 %
11	Submitted to Universidad de Piura Trabajo del estudiante	<1 %

Índice

Dedicatoria	3
Agradecimientos.....	3
Listado de tablas.....	8
Listado de figuras	9
Resumen	10
Abstract	11
I. Introducción	12
1.1. Situación problemática	12
1.2. Formulación del problema.....	12
1.3. Justificaciones.....	13
1.3.1. Social.....	13
1.3.2. Económica.....	13
1.3.3. Tecnológica	13
1.3.4. Ambiental.....	13
1.4. Objetivos.....	14
1.4.1. Objetivo general	14
1.4.2. Objetivos específicos.....	14
II. Marco teórico	15
2.1. Antecedentes empíricos	15
2.1.1. Mundial	15
2.1.2. Nacional	17
2.2. Bases teóricas	18
2.2.1. Energía eólica.....	18
2.2.2. Energía del viento	18
2.2.3. Ley de Betz	19
2.2.4. Tratamiento estadístico de los datos del viento	20
2.2.5. Distribución de Weibull.....	22
2.2.6. Parámetros de Weibull.....	23
2.2.6. Aerogenerador.....	24
2.2.7. Rendimiento aerodinámico de aerogeneradores	25
2.2.8. Potencial eólico en el Perú´	25
2.3. Marco normativo	27
III. Hipótesis.....	28
IV. Materiales y métodos	29

4.1.	Tipo y nivel de investigación.....	29
4.1.1.	Tipo	29
4.1.2.	Nivel.....	29
4.2.	Población y muestra.....	29
4.3.	Operacionalización de las variables	29
4.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	30
V.	Resultados y discusión.....	31
5.1.	Evaluar el Recurso Eólico en la Estación Huarmaca para identificar las condiciones de viento en la zona	31
5.1.1.	Velocidad del Viento.....	31
5.1.2.	Dirección de la velocidad del viento	33
5.1.3.	Tratamiento estadístico de la velocidad de viento	34
5.1.4.	Descripción estadística del viento: Ley de Weibull	39
5.1.5.	Función de densidad de probabilidad de Weibull	40
5.1.6.	Densidad de energía eólica disponible	42
5.2.	Determinar y seleccionar los componentes mecánicos y eléctricos del sistema.	44
5.2.1.	Planteamiento de alternativas para el diseño.....	44
5.2.2.	Evaluación de alternativas para el diseño del aerogenerador.....	46
5.2.3.	Cálculo de la demanda	47
5.2.4.	Diseño del rotor	48
5.2.5.	Determinación de la velocidad de rotación	49
5.2.6.	Geometría del rotor Savonius.....	50
5.2.7.	Diseño del álabe	51
5.2.8.	Diseño de las tapas	54
5.2.9.	Diseño del eje	55
5.2.10.	Selección del generador eléctrico.....	61
5.2.11.	Selección de rodamientos.....	62
5.2.12.	Poste	63
5.2.13.	Selección del controlador de carga.....	63
5.2.14.	Selección de la batería.....	64
5.3.	Diseñar y simular un análisis estático del arogenerador y la estructura de soporte utilizando el software SolidWorks.	67
5.3.1.	Modelo 3D del sistema y diagrama unifilar	67
5.3.2.	Análisis estático.....	68
5.4.	Realizar un análisis económico del sistema propuesto y comparar con el sistema de iluminación convencional de un parque.	79

5.4.1.	Costos del sistema propuesto	79
5.4.2.	Análisis del consumo de energía	80
5.4.3.	Costos por consumo de energía.....	80
5.4.4.	Cálculo de VAN y TIR.....	81
5.4.5.	Reciclaje de las palas del aerogenerador	83
VI.	Conclusiones	84
VII.	Recomendaciones.....	85
VIII.	Bibliografía.....	86
IX.	Anexos.....	90

Listado de tablas

<i>Tabla 1. Operacionalización variable independiente</i>	29
<i>Tabla 2. Operacionalización variable dependiente</i>	30
<i>Tabla 3. Datos de la Estación Huarmaca</i>	31
<i>Tabla 4. Velocidad promedio del viento por día(m/s).</i>	32
<i>Tabla 5. Tabla de distribución de frecuencias de la velocidad del viento.</i>	35
<i>Tabla 6. Velocidades y frecuencia con que se presentan en horas al año</i>	37
<i>Tabla 7. Determinación de los parámetros de Weibull por ajuste de mínimos cuadrados</i>	40
<i>Tabla 8. Densidad de potencia eólica disponible</i>	43
<i>Tabla 9. Matriz morfológica</i>	44
<i>Tabla 10. Escala de puntos para cada criterio</i>	46
<i>Tabla 11. Temperaturas promedio en un año.</i>	48
<i>Tabla 12. Características técnicas del material seleccionado para el álabe. (Plasticbages Industrial, S.L., s.f.)</i>	51
<i>Tabla 13. Factores de confiabilidad CR. (Nisbett)</i>	57
<i>Tabla 14. Datos técnicos del generador de imán permanente de 300W 12V 300RPM</i>	61
<i>Tabla 15. Generador eléctrico de imanes permanentes sin núcleo de disco.</i>	62
<i>Tabla 16. Puntajes de ponderación</i>	64
<i>Tabla 17. Criterios de evaluación para las alternativas de baterías</i>	65
<i>Tabla 18. Matriz de ponderación para las baterías</i>	65
<i>Tabla 19. Resultados de la matriz de ponderación</i>	65
<i>Tabla 20. Costos de materiales y equipos</i>	79
<i>Tabla 21. Costos de mano de obra</i>	79
<i>Tabla 22. Costos de transporte</i>	79
<i>Tabla 23. Costo total</i>	80
<i>Tabla 24. Consumo de energía (kW.h) del sistema propuesto</i>	80
<i>Tabla 25. Consumo de energía (kW.h) del sistema convencional</i>	80
<i>Tabla 26. Tarifa BT5C</i>	81
<i>Tabla 27. Costo por consumo de energía de sistema convencional</i>	81
<i>Tabla 28. Comparación de costos</i>	81
<i>Tabla 29. Costos y recuperación de inversión</i>	82
<i>Tabla 30. VAN y TIR</i>	82
<i>Tabla 31. Datos metereológicos de la estación Huarmaca</i>	90
<i>Tabla 32. Dimensiones de la batería de GEL 12V 300Ah Tensite</i>	106
<i>Tabla 33. Dimensiones del rodamiento de bolas con pestaña cuadrada FY 12 TF</i>	109
<i>Tabla 34. Tabla de valores KALP s aprobados por la Resolución Ministerial N° 074-2009-MEM/DM</i>	110

Listado de figura

<u>Figura 1. Alumbrado para carreteras lanzado por estudio TAK.</u>	16
<u>Figura 2. Farola con aerogenerador híbrido de UGE en Busan, Corea.</u>	17
<u>Figura 3: Flujo de aire a través de un disco.</u>	18
<u>Figura 4: Energía que se puede extraer del viento.</u>	20
<u>Figura 5. Curva de frecuencias de la velocidad horaria del viento.</u>	21
<u>Figura 6. Frecuencias relativas acumuladas.</u>	21
<u>Figura 7. Curva de duración de la velocidad.</u>	22
<u>Figura 8. Distribución real de la velocidad del viento y su ajuste de Weibull. (MINAS, 2016).</u>	23
<u>Figura 9. Rendimiento aerodinámico de aerogeneradores.</u>	25
<u>Figura 10. Mapa de la velocidad promedio anual a 100 metros de altura</u>	26
<u>Figura 11. Gráfico de la velocidad del viento promedio durante un día.</u>	33
<u>Figura 12. Gráfico de la rosa de los vientos en Huarmaca. (Meteoblue, s.f.).</u>	33
<u>Figura 13. Histograma de frecuencias relativas</u>	36
<u>Figura 14. Gráfico de frecuencias relativas acumuladas "menor o igual que".</u>	36
<u>Figura 15. Gráfico de frecuencias relativas acumuladas "mayor que".</u>	37
<u>Figura 16. Curva de la duración de la velocidad</u>	39
<u>Figura 17. Función densidad de probabilidad de Weibull</u>	42
<u>Figura 18. Aerogenerador de eje vertical Savonius (energy, s.f.)</u>	45
<u>Figura 19. Aerogenerador de eje vertical Darrieus. (energy, s.f.)</u>	45
<u>Figura 20. Aerogenerador de eje horizontal tripala. (energy, s.f.)</u>	46
<u>Figura 21. Matriz de evaluación de criterios</u>	47
<u>Figura 22. Características de la lámpara LED 30W seleccionada.</u>	48
<u>Figura 23. Parámetros geométricos de un rotor Savonius.</u>	50
<u>Figura 24. Álabes</u>	52
<u>Figura 25. Distancia al centro de gravedad.</u>	53
<u>Figura 26. Rotor Savonius</u>	55
<u>Figura 27. Resistencia a la fatiga s_n en función de la resistencia a la tensión.</u>	56
<u>Figura 28. Factor por tamaño.</u>	57
<u>Figura 29. Diagrama de fuerzas del eje</u>	59
<u>Figura 30. Diagrama de fuerzas cortantes y momento del eje</u>	59
<u>Figura 31. Rodamiento de bolas con pestaña cuadrada SKF FY 12 TF.</u>	62
<u>Figura 32. Controlador de carga PWM LCD 20A 12/24V Must Solar</u>	64
<u>Figura 33. Batería seleccionada. (AutoSolar, s.f.)</u>	66
<u>Figura 34. Modelo 3D del sistema de alumbrado público</u>	67
<u>Figura 35. Esquema de conexión del sistema</u>	68
<u>Figura 36. Definiendo la parte fija del alabe anclado con las tapas.</u>	70
<u>Figura 37. La presión del viento que actúa en el alabe.</u>	70
<u>Figura 38. Resultados de las tensiones de Von Mises (N/m²)</u>	71
<u>Figura 39. Resultado de las deformaciones en el alabe</u>	72
<u>Figura 40. Resultado del factor de seguridad en el alabe</u>	72
<u>Figura 41. Resultado de tensión de Von Mises en el eje.</u>	74
<u>Figura 42. Resultado de deformación unitaria en el eje.</u>	74
<u>Figura 43. Resultado de factor de seguridad en el eje.</u>	75
<u>Figura 44. Fijación de la geometría fija que vendría a ser la base del poste</u>	75
<u>Figura 45. Fuerzas que se ejercen sobre el poste por el peso de los componentes del aerogenerador.</u>	76
<u>Figura 46. Presión del viento sobre el eje</u>	76
<u>Figura 47. Mallado del poste en solidworks.</u>	77
<u>Figura 48. Resultado de tensión de Von Mises en el poste.</u>	77
<u>Figura 49. Resultados de las deformaciones del poste</u>	78
<u>Figura 50. Resultados del factor de seguridad del poste.</u>	78
<u>Figura 51. Datos técnicos del Controlador Carga PWM LCD 20A 12/24V Must Solar</u>	106
<u>Figura 52. Especificación técnica de la batería de GEL 12V 300Ah Tensite</u>	107
<u>Figura 53. Características de carga flotante de la batería de GEL 12V 300Ah Tensite</u>	107
<u>Figura 54. Ciclo de vida en relación con la profundidad de descarga</u>	108
<u>Figura 55. Curva de RPM vs potencia y torque del generador de imanes permanentes 300W 12V</u>	110
<u>Figura 56. Tabla de dimensiones estándar para tubos de acero según ANSI B36.10 & 36.19</u>	111

Resumen

La iluminación de espacios públicos es un servicio que no se puede prescindir y que representa un 50-60% del consumo energético municipal. (GESTIÓN, gestión.pe) Hoy en día se siguen usando luminarias de vapor de mercurio y sodio a alta presión que son poco eficientes. La mejora de su eficiencia energética puede suponer un importante ahorro. (Borreguero, conama11.vsf.es)

Tomando en cuenta el último reporte del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), nos dice que hay un 17,8% de la población rural que no cuenta con una red de alumbrado público. (comexperu.org.pe)

Dada la situación de esta problemática que hay medios rurales que aún no cuentan con alumbrado público y que además en las zonas que ya hay el gasto para la Municipalidad por concepto de iluminación pública es elevado, se ha planteado desarrollar una solución para producir energía eléctrica con el uso de un aerogenerador y se hará la aplicación en un parque.

El desarrollo se inicia recopilando información climatológica de una comunidad rural que cuente con régimen de vientos adecuados para identificar las condiciones del viento en la zona, se dimensiona y selecciona los componentes mecánicos y eléctricos del sistema, se diseña y simula un análisis estático del aerogenerador y la estructura de soporte utilizando el software SolidWorks y finalmente se realiza un análisis económico del sistema propuesto y comparar con el sistema de iluminación convencional de un parque.

Palabras clave: eficiencia energética, aerogenerador

Abstract

Public lighting is a service that cannot be dispensed with and that represents 50-60% of municipal energy consumption. [1] Currently, high-pressure sodium and mercury vapor luminaires that are not very efficient are still used. Improving your energy efficiency can lead to significant savings. [two]

Taking into account the latest report from the National Institute of Statistics and Informatics (INEI), it tells us that there is 17.8% of the rural population that does not have a public lighting network. [4]

Given the situation of this problem that there are rural areas that still do not have public lighting and that also in areas where there is already a high cost for the Municipality for public lighting, it has been proposed to develop a solution to produce electricity with the use of a wind turbine and the application will be made in a park.

The development begins by collecting climatological information from a rural community that has an adequate wind regime to identify the wind conditions in the area, the mechanical and electrical components of the system are dimensioned and selected, a static analysis of the wind turbine is designed and simulated and the support structure using SolidWorks software and finally an economic analysis of the proposed system is carried out and compared with the conventional lighting system of a park.

Keywords: energy efficiency, wind turbine

I. Introducción

1.1. Situación problemática

La iluminación de espacios públicos es un servicio que no se puede prescindir y que representa un 50-60% del consumo energético municipal. (GESTIÓN, gestión.pe)

En la actualidad, la mayoría de las ciudades siguen utilizando luminarias de vapor de mercurio y sodio a alta presión que son poco eficientes. El resultado de estas ineficiencias son las emisiones de carbono y los elevados niveles de gasto para los gobiernos locales. La mejora de su eficiencia energética puede suponer un importante ahorro; además mejora la imagen pública de la municipalidad, ya que, sus políticas energéticas son percibidas muy de cerca por los ciudadanos. (Borreguero, conama11.vsf.es)

Según indica el artículo 184° del Reglamento de la Ley de Concesiones Eléctricas (Decreto Supremo N° 009-93-EM) el Alumbrado Público es un servicio que debe ser abonado por los usuarios de la ciudad. (osinergmin) Además, los costos del Alumbrado Ornamental los asumen las Municipalidades, así como los costos de consumo de energía, mantenimiento de las instalaciones y equipos y su operación. (osinergmin)

Tomando en cuenta el último reporte del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), nos dice que un 4,3% de los habitantes no tiene el servicio de energía eléctrica, y que hay un 17,8% de la población rural que no cuenta con una red de alumbrado público. (comexperu.org.pe)

Dada la situación de esta problemática que hay zonas rurales que aún no cuentan con alumbrado público y que además en las zonas que ya hay el gasto para la Municipalidad por concepto de iluminación pública es elevado, se ha planteado desarrollar una solución para producir energía eléctrica con el uso de un aerogenerador y se hará la aplicación en un parque.

1.2. Formulación del problema

¿Será factible diseñar un sistema de producción de energía con aerogenerador para iluminar en parques?

1.3. Justificaciones

1.3.1. Social

Los beneficiados serán los habitantes del lugar de instalación de estos sistemas de iluminación autónoma, ya que podrán pasear con mejor iluminación y seguridad por las noches.

1.3.2. Económica

La inversión en un sistema de alumbrado público con aerogenerador se verá reflejada en el ahorro presupuestal de la Municipalidad, ya que, no necesitará pagar a la empresa suministradora por servicio de alumbrado.

1.3.3. Tecnológica

El sistema de alumbrado público con aerogenerador constituye una alternativa 100 % eólica para iluminar en zonas rurales.

1.3.4. Ambiental

Se aporta a la conservación del medio ambiente, ya que se reduce las emisiones de GEI debido a la utilización de energía renovable, dejando de lado energías de combustible fósil que son contaminantes.

Promociona la cultura del cuidado al medio ambiente.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

✓ Diseñar un sistema de producción de energía eléctrica con aerogenerador para iluminar en parques.

1.4.2. Objetivos específicos

1. Evaluar el recurso eólico en la Estación Huarmaca para identificar las condiciones del viento en la zona.
2. Dimensionar y seleccionar los componentes mecánicos y eléctricos del sistema.
3. Diseñar y simular un análisis estático del aerogenerador y la estructura de soporte utilizando el software SolidWorks.
4. Realizar un análisis económico del sistema propuesto y comparar con el sistema de iluminación convencional de un parque.

II. Marco teórico

2.1. Antecedentes empíricos

2.1.1. Mundial

Gonzalo (Alonso) en su tesis “Diseño y análisis mecánico de estructuras-soporte para farolas solares” para obtener el título de Ingeniero Industrial en la Universidad Carlos III de Madrid, tuvo como objetivo dibujar y estudiar diferentes tipos de estructuras-soporte (con distintas alturas de montaje: 3m, 6m y 8m) de farolas solares para luminarias de diferentes potencias (30W, 40W y 70W) para su montaje en un país subsahariano posibilitando que el lugar donde se aspira llevar a cabo la instalación no necesite de una red de suministro de electricidad. Esto lo logra recopilando información climatológica de la zona donde se aspiran colocar las farolas solares, aplica las normas vigentes en España para su desarrollo, emplea el programa informático PVsyst para elegir el panel de la batería, realiza el diseño de la estructura-soporte en un diseño 3D hecho en el programa Solid Edge, simula por medio del módulo Workbench de Ansys y finalmente analiza sus resultados, concluyendo con éxito su proyecto.

Orellana (Chamba) en su investigación “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”, para obtener el título de Ingeniero Eléctrico en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, tuvo como objetivo realizar un estudio de la viabilidad técnica y económica para llevar a cabo el diseño de un sistema híbrido solar-eólico para el alumbrado público. Evalúa mediante modelos dinámicos, efectuando una evaluación entre la energía tradicional y la energía renovable. Encontró que el propósito de la investigación no es factible desde el aspecto financiero.

En el ámbito internacional, ha surgido un interés por el estudio de pequeñas turbinas eólicas con la finalidad de abastecer el consumo eléctrico en iluminación y consumo doméstico para comunidades alejadas, carreteras, ciudades. Tal es el caso de Turbine Light, un proyecto lanzado por Studio TAK para el alumbrado de autopistas y carreteras rápidas que tengan un importante paso de carros. Consiste en utilizar el desplazamiento de aire provocado por el paso de los carros para iluminar carreteras en todo el mundo. Las farolas están equipadas con una turbina de eje vertical especial, que convierte el viento producido por los carros en electricidad, alimenta dos lámparas LED, cuenta con una batería que acumula la energía mientras está apagada durante el día. Este proyecto ha sido presentado en la Conferencia de las Naciones

Unidas sobre el Clima (COP15) y en el Concurso de Gadgets Greener en Nueva York, un concurso patrocinado por CEA (Consumer Electronics Association) para crear conciencia acerca del ahorro energético. (THE PATENT Invention Magazine)

Figura 1. Alumbrado para carreteras lanzado por estudio TAK.



Fuente. [8]

En 2011, la segunda ciudad más grande de Corea, Busan, instaló farolas híbridas “Sanya”. Para probar su rendimiento antes de que se pusieran en marcha, las farolas híbridas se colocaron alrededor de la ciudad en una serie de topografías variables: la costa y las zonas altas y bajas, incluyendo el Observatorio Amisan, Hwamyung Arboretum, Busan Central Park y Taejongdae. La salida de potencia es de alrededor de 70W, sin embargo, los sitios en Busan tenían acceso a energía renovable fuerte (viento y sol) por lo que fueron capaces de utilizar una potencia más fuerte que aumentó la iluminación. (Forbes)

Figura 2. Farola con aerogenerador híbrido de UGE en Busan, Corea.



Fuente. [9]

2.1.2. Nacional

Alfaro (Herrera) en su tesis “Propuesta de prototipo de alumbrado inteligente y estudio lumínico en exteriores de la ermita de la Universidad de Piura, utilizando tecnología Light emitting diode (LED)” para obtener la titulación en Ingeniería Mecánica Eléctrica en la Universidad de Piura, tuvo el propósito de plantear una metodología para la creación de un sistema de iluminación exterior con tecnología LED y presentar un prototipo de un sistema inteligente de control. Utiliza tecnología LED, la cual tiene mayor eficiencia luminosa con menor consumo de potencia, y el dispositivo inteligente regula el flujo luminoso dependiendo la presencia de personas. Se encontró que se incrementa el rendimiento del sistema de alumbrado y disminuye el coste de la facturación por concepto de iluminación.

Estefanero (Usnayo) en sus tesis “Perfil de un aerogenerador tipo vertical en el edificio de 15 pisos de la Universidad Nacional del Altiplano Puno-2018” tuvo como objetivo elaborar un aerogenerador vertical para que se implemente en el edificio de 15 pisos de la Universidad Nacional del Altiplano Puno para que abastezca de energía para cubrir las necesidades energéticas, contribuyendo a rebaja de gastos por uso de energía eléctrica de la red, y evitar impactos ambientales negativos por el consumo de carbón y gas. Encontró que el sistema servirá como plan de contingencia, ya que el aerogenerador no genera toda la potencia que necesita la Universidad, el número de aerogeneradores a implementarse serían 5 para que produzcan una potencia total de 18,4 kW.

2.2. Bases teóricas

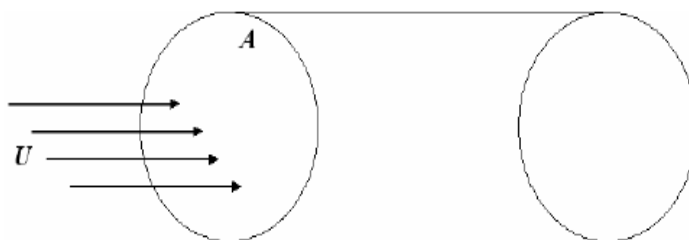
2.2.1. Energía eólica

La energía eólica es producida por el viento como energía cinética, la cual se puede convertir en electricidad mediante el uso de aerogeneradores. Es una fuente de energía inagotable, pero a la vez intermitente, ya que depende de la regularidad de los vientos, no contamina ya que no existe combustión, no aporta al incremento del efecto invernadero, no influye en la producción de lluvia ácida y no destruye la capa de ozono. (Renovable)

2.2.2. Energía del viento

Hay que tomar en consideración un flujo de viento de velocidad U que cruza un volumen de longitud diferencial y sección transversal A . (MINAS)

Figura 3: Flujo de aire a través de un disco.



Fuente. [13]

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot U^3 \quad (\text{Ecuación 1.1})$$

Donde:

P = Potencia del viento

U = Flujo de viento de velocidad

A = Volumen de longitud diferencial y sección transversal

ρ = Densidad de aire

La potencia por unidad de la sección transversal, o también conocida como la densidad de potencia, y que estará enunciada por:

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho \cdot U^3 \quad (\text{Ecuación 1.2})$$

Se pueden sacar las próximas deducciones:

- ✓ La densidad de potencia es proporcional a la densidad del aire. En otras palabras, a superior altitud, menor la energía aprovechable a la misma velocidad del viento.
- ✓ La energía que se consigue sacar del viento es proporcional al área barrida por el rotor.
- ✓ La densidad de potencia del viento es proporcional al cubo de su velocidad. (MINAS)

2.2.3. Ley de Betz

Si se trata de sacar con un aerogenerador la energía del viento, se contemplará que su velocidad se minora al cruzar la máquina, puesto que el rotor de la turbina eólica frena el viento para convertir su energía cinética en energía rotacional. (MINAS)

Potencia extraída del rotor

$$P = \frac{1}{4} \rho \cdot A \cdot (v_1^2 - v_2^2) \cdot (v_1 + v_2) \quad (\text{Ecuación 1.3})$$

La potencia del viento que extrae el rotor, a la que se le conoce como P_0 sería:

$$P_0 = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v_1^3 \quad (\text{Ecuación 1.4})$$

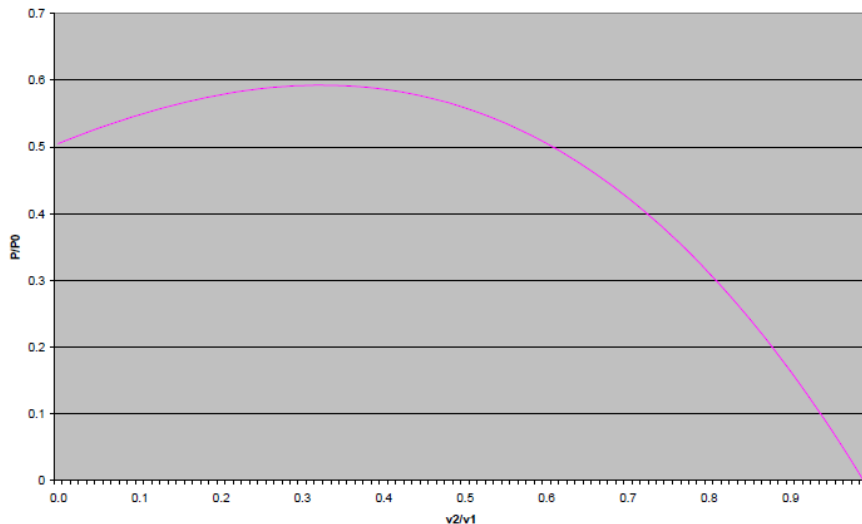
Si se comparan los dos valores, se obtiene la siguiente función:

$$\frac{P}{P_0} = \frac{1}{2} \left(1 - \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^2 \right) \left(1 + \frac{v_2}{v_1} \right) \quad (\text{Ecuación 1.5})$$

Dicha función tiene un máximo para $v_2/v_1 = 1/3$.

El máximo valor de la potencia extraída del viento es entonces de $16/27$, es decir, 0,59 veces la potencia del viento.

Figura 4: Energía que se puede extraer del viento.



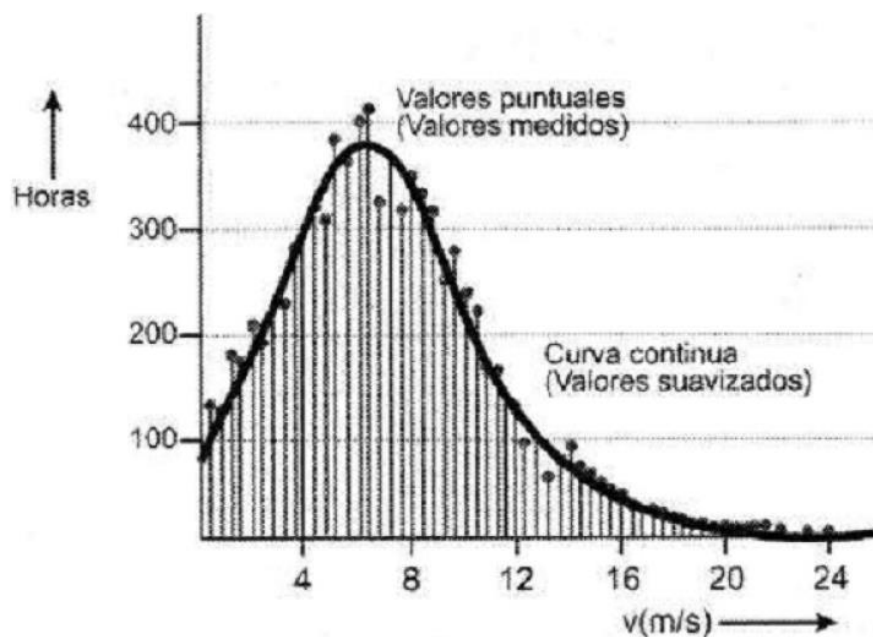
Fuente. [13]

2.2.4. Tratamiento estadístico de los datos del viento

Para estudios energéticos, las velocidades del viento deben ser datos a partir de 25 a 30 años para que proporcionen resultados significativos. Además, es recomendable realizar mediciones de al menos un año en el lugar donde se proyecta colocar el aerogenerador para poder comparar las medidas encontradas con los resultados del tratamiento estadístico y los estudios de modelización numérica de predicción del viento. (López)

Los histogramas de frecuencia de la velocidad del viento corresponden a la figura de la distribución de Weibull. (López)

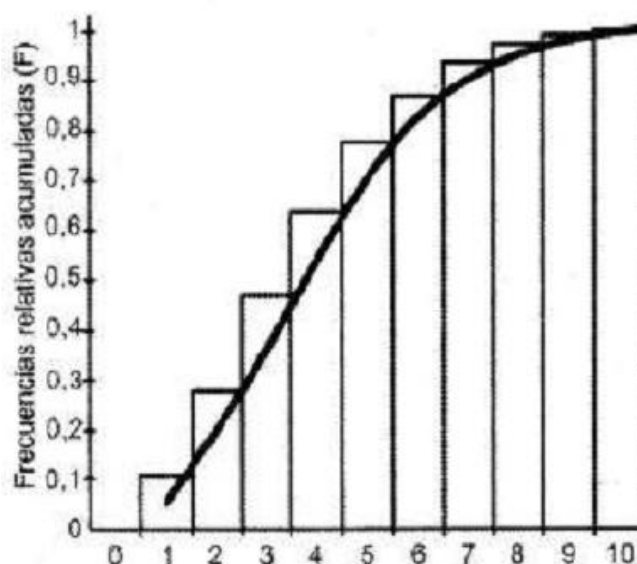
Figura 5. Curva de frecuencias de la velocidad horaria del viento.



Fuente. [14]

El gráfico de frecuencias relativas acumuladas indica el porcentaje menor o igual que para las velocidades horarias del año tipo. (López)

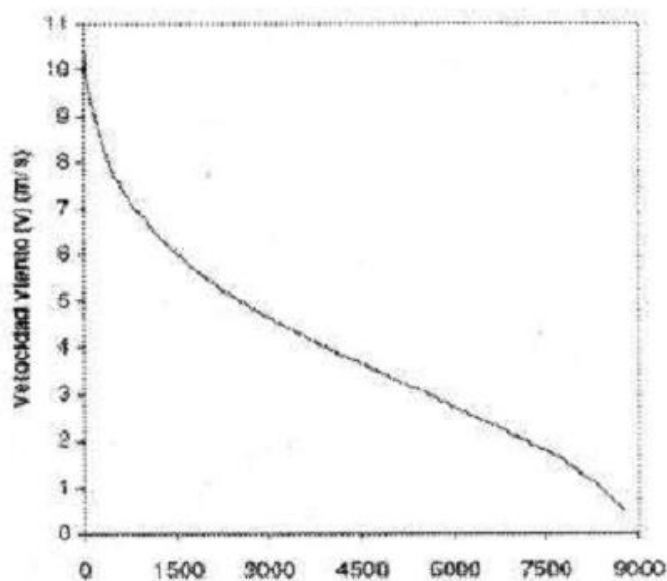
Figura 6. Frecuencias relativas acumuladas.



Fuente. [14]

Las curvas de frecuencias acumuladas permiten trazar la curva de duración de la velocidad. La curva de duración de velocidad del viento muestra el número de horas anuales para las que la velocidad es mayor que un determinado valor. (López)

Figura 7. Curva de duración de la velocidad.



Fuente. [14]

2.2.5. Distribución de Weibull

La distribución de frecuencias de una serie de vientos se consigue adaptar a una distribución de densidad de probabilidad de uno o dos parámetros. La distribución que representa es la función densidad de probabilidad de Weibull, cuya ecuación es: (MINAS)

$$p(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (\text{Ecuación 1.6})$$

Donde:

$P(v)$ =función densidad de probabilidad de Weibull

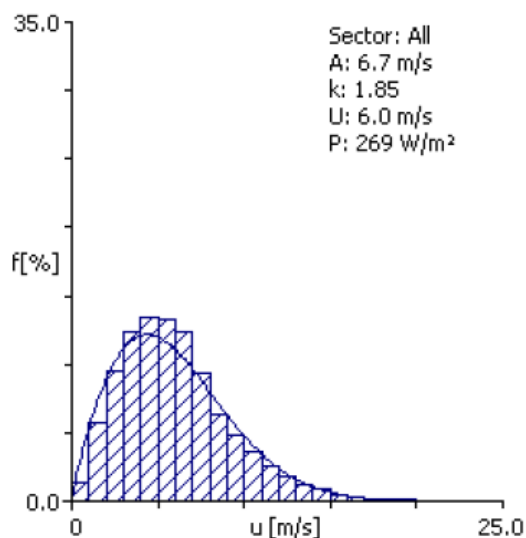
v =módulo de la velocidad del viento (m/s). También se suele designar por la letra U .

c =factor de escala (m/s), da un valor cercano a la velocidad promedio anual.

k =factor de forma, da una idea de la anchura de la distribución, determina la asimetría de la función $p(v)$.

En la Figura 8 se logra observar el modelo de una distribución real de viento y su respectivo ajuste de Weibull.

Figura 8. Distribución real de la velocidad del viento y su ajuste de Weibull.



Fuente. [13]

2.2.6. Parámetros de Weibull

Para calcular los parámetros de Weibull (c,k) se puede distinguir los siguientes casos que dependen de los datos con los que se cuenta: (López)

- a) Se conocen las velocidades medias diezminutales, semihorarias y horarias para un año.

Los parámetros c y k logran calcularse a través de un ajuste por mínimos cuadrados mediante la distribución acumulada $F(v)$:

$$F(v) = 1 - e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (\text{Ecuación 1.7})$$

Aplicando dos veces el logaritmo neperiano a la ecuación 1.7, se tiene:

$$\ln(1 - F(v)) = -\left(\frac{v}{c}\right)^k \rightarrow \ln[-\ln(1 - F(v))] = k \ln(v) - k \ln(c) \quad (\text{Ecuación 1.8})$$

Luego, se sigue con el ajuste por mínimos cuadrados a la recta: $y = kx + B$, en dónde:

$$y = \ln[-\ln(1 - F(v))] ; \quad (\text{Ecuación 1.9})$$

$$x = \ln(v) \ ; \ B = -k \ln(c)$$

Las ecuaciones usadas para determinar los coeficientes de la recta de regresión lineal son:

$$A = \frac{\sum f_i x_i y_i - (\sum f_i x_i)(\sum f_i y_i)}{\sum f_i x_i^2 - (\sum f_i x_i)^2} \quad (\text{Ecuación 1.10})$$

$$B = \sum f_i y_i - A \sum f_i x_i \quad (\text{Ecuación 1.11})$$

El valor de c se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$c = e^{-\left(\frac{B}{k}\right)} \quad (\text{Ecuación 1.12})$$

Una vez determinados los parámetros c y k, se puede calcular la función densidad de probabilidad p(v).

2.2.6. Aerogenerador

Equipo especialmente diseñado para generar electricidad. Un aerogenerador está compuesto por un rotor, un eje, las palas y un generador que se mueve por arrastre del rotor. En las máquinas pequeñas el generador suele ser un alternador conectado directamente al eje de rotación. (Renovable)

Existen dos grandes grupos de clasificación según la posición del eje de rotación: (Renovable)

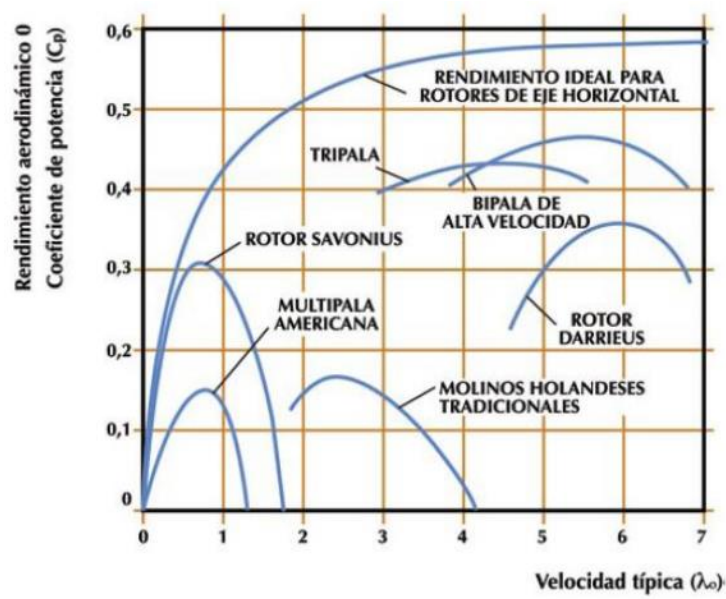
- **De eje vertical:** no necesitan orientación respecto a la dirección de donde viene el viento. Además, los equipos de generación y control se encuentran debajo de la estructura, lo cual hace más fácil la entrada a los mismos y disminuyendo el mantenimiento. También presentan una resistencia destacable y pueden ser utilizados en lugares de vientos fuertes y direcciones cambiantes. Como desventaja, el rendimiento de conversión energética es un poco menor a los del tipo horizontal. (Renovable)

- **De eje horizontal:** la rotación debe mantenerse perpendicular a la dirección del viento para lograr capturar la mayor energía posible. Para adecuarse a las variaciones de dirección, debe montarse un mecanismo que ayude a orientar la posición del rotor. (Renovable)

2.2.7. Rendimiento aerodinámico de aerogeneradores

En la siguiente figura se puede apreciar los rendimientos aerodinámicos de los diversos modelos de aerogeneradores.

Figura 9. Rendimiento aerodinámico de aerogeneradores.



Fuente. [15]

2.2.8. Potencial eólico en el Perú

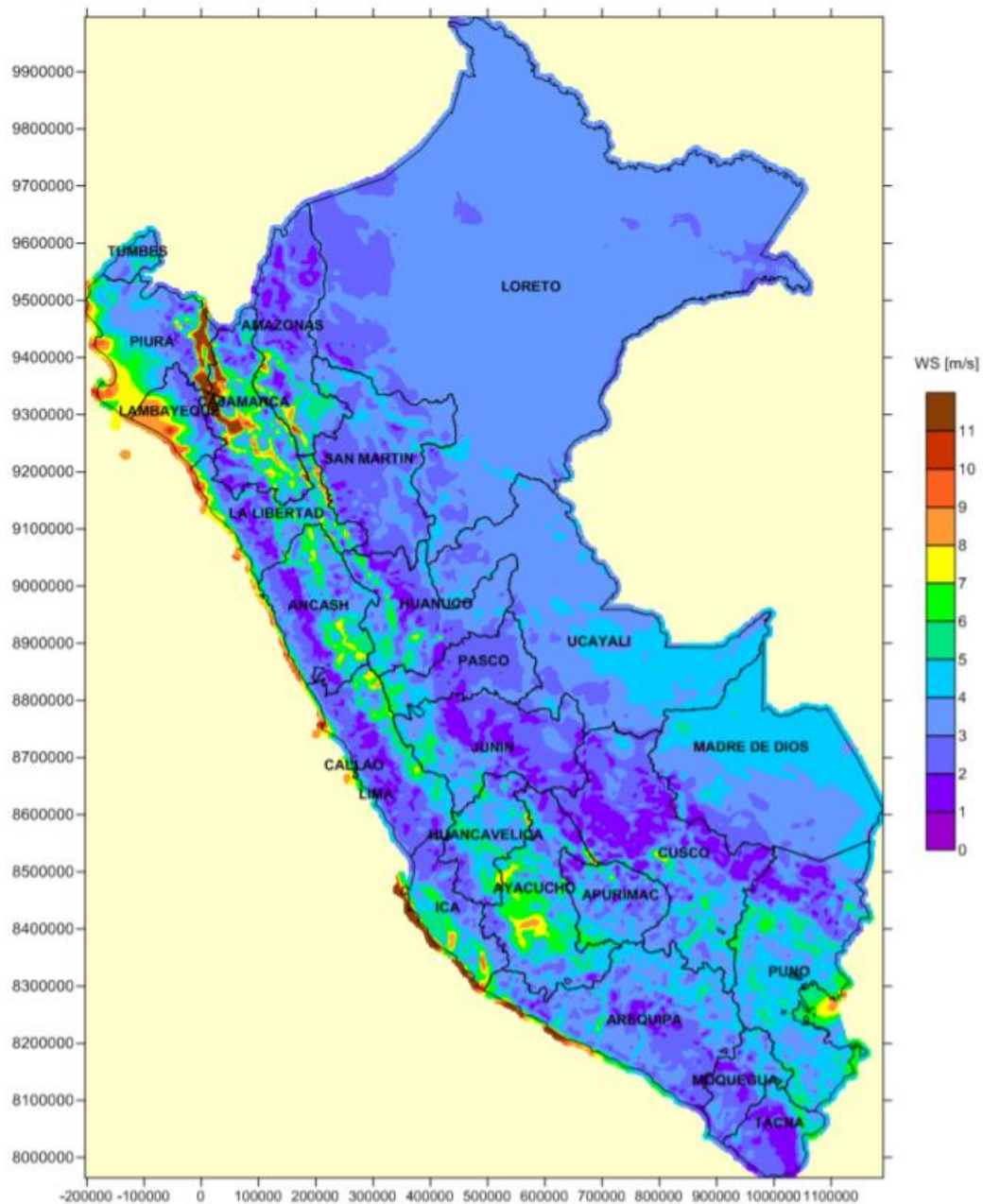
En el Perú se tiene excelentes recursos eólicos que se concentran principalmente en los departamentos de Lambayeque, Cajamarca, La Libertad, Piura, Ica, Ancash, Lima y Arequipa. (mocicc)

En el 2016 se promulgó la versión más reciente del Atlas Eólico del Perú que posibilitó medir el potencial eólico aprovechable a 100 metros de altura, en el cual se encontró que en el Perú se encuentran 20.493 MW de recursos eólicos utilizables sobre un total de 28.395 MW, aptos para la generación eléctrica por medio de la construcción de sistemas eólicos. (mocicc)

En este documento se aprecia que las zonas más favorables para un proyecto eólico son las Regiones de Lambayeque, 7.017 MW y Piura, 7.098 MW y las velocidades promedio a la altura

de 100 metros en estos departamentos sobrepasan los 12 m/seg., como se puede observar en la Figura 10. (mocicc)

Figura 10. Mapa de la velocidad promedio anual a 100 metros de altura



Fuente. [13]

2.3. Marco normativo

- **R.M. N° 013-2003-EM/DM.- Norma Técnica de Alumbrado de Vías Públicas en zonas de concesión de distribución.** Su finalidad es disponer los requerimientos lumínicos que tienen que cumplir las instalaciones de alumbrado en vías públicas a partir de su etapa de diseño.

- **Código Nacional de Electricidad Suministro 2001.** Es un conjunto de reglas que tiene como objetivo proteger a las personas y las instalaciones mientras se lleva a cabo la construcción, operación y mantenimiento de las líneas eléctricas relacionadas al suministro eléctrico.

- **NTP 370.301 2002. Instalaciones eléctricas en edificios. Selección e instalación de equipos eléctricos. Capacidad nominal de conductores en canalizaciones.**

Es una pauta que tiene como objetivo establecer las exigencias técnicas para brindar una vida conveniente a los conductores y su aislamiento amarrados a las consecuencias térmicas del transporte de corriente.

- **Norma DGE “Alumbrado de vías públicas en áreas rurales 2011”.** La cual tiene el propósito de decretar los requerimientos mínimos que tienen que desempeñar las instalaciones de alumbrado público de vías públicas.

III. Hipótesis

TEMA:	
DISEÑO DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA CON AEROGENERADOR PARA ILUMINAR EN PARQUES	
OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL
Diseñar un sistema de producción de energía eléctrica con aerogenerador para iluminar en parques.	Si se diseña un sistema de producción de energía eléctrica con aerogenerador, entonces se podrá iluminar en parques con energía eólica.
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS
1.Evaluar el recurso eólico en la Estación Huarmaca para identificar las condiciones del viento en la zona.	1. Si se evalúa el recurso eólico de la zona, entonces se obtendrá información de la velocidad del viento.
2.Dimensionar y seleccionar los componentes mecánicos y eléctricos del sistema.	2.Si se determina las dimensiones del aerogenerador y se selecciona los componentes mecánicos y eléctricos, entonces se tendría el diseño del sistema.
3.Diseñar y simular un análisis estático del aerogenerador y la estructura de soporte utilizando el software SolidWorks.	3.Si se diseña y simula un análisis estático del aerogenerador y la estructura de soporte en el software SolidWorks, entonces es posible evaluar las tensiones, deformaciones y garantizar la seguridad del diseño a través del factor de seguridad.
4.Realizar un análisis económico del sistema propuesto y comparar con el sistema de iluminación convencional de un parque.	4. Si se realiza un análisis económico del sistema propuesto y se compara con el sistema convencional en un parque, entonces se podrá saber si es viable o no la propuesta.

IV. Materiales y métodos

4.1. Tipo y nivel de investigación

4.1.1. Tipo

Por el tipo de investigación agrupa la naturaleza metodológica de una investigación aplicada, ya que se trata de diseñar un sistema de producción de energía para iluminar en un parque.

4.1.2. Nivel

Por el nivel de investigación, agrupa las características de un estudio correlacionado.

4.2. Población y muestra

La unidad de estudio es el sistema de producción de energía con aerogenerador.

La población son los sistemas de alumbrado de parque existentes en el Perú.

4.3. Operacionalización de las variables

Tabla 1. Operacionalización variable independiente

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS
Variable independiente	Sistema de producción de energía autónomo que funciona con energía eólica para iluminar espacios públicos.	El diseño del sistema de producción de energía con aerogenerador permitirá iluminar un parque con menor costo.	Recurso eólico Aerogenerador Estabilidad por rigidez	Velocidad del viento Potencia eléctrica Tensión Deformación Seguridad del diseño	m/s Watt N/m ²

Fuente. Elaboración propia

Tabla 2. Operacionalización variable dependiente

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS
<p>Variable dependiente</p> <p>Iluminar en parques</p>	Iluminación de parques, con el fin de reducir costos para la Municipalidad.	La iluminación de la ciudad de un parque utilizando energía eólica permitirá reducir costos por este servicio y también contribuye al cuidado del medio ambiente.	Iluminación	<p>Nivel de iluminación</p> <p>Rendimiento lumínico</p>	<p>Lux</p> <p>η</p>

Fuente. Elaboración propia

4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En este estudio de investigación, se usará la observación, con la cual verificamos que la iluminación actual en el alumbrado se hace con tecnología poco eficiente y contaminante. Además, se hará un análisis documental de investigaciones relacionadas con el tema que nos servirán de guía.

V. Resultados y discusión

5.1. Evaluar el Recurso Eólico en la Estación Huarmaca para identificar las condiciones de viento en la zona

En Perú, las fuentes de datos eólicos más utilizadas son:

✓ SENAMHI: El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) es la entidad encargada de recopilar información climática y meteorológica en el país. SENAMHI cuenta con una red de estaciones meteorológicas y ofrece datos históricos de velocidad del viento en diferentes ubicaciones del país.

✓ NASA: La Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA) ofrece datos satelitales de velocidad del viento en todo el mundo a través de su plataforma Power Project. Estos datos pueden ser útiles para complementar la información obtenida de estaciones meteorológicas terrestres.

✓ Empresas de consultoría: Muchas empresas de consultoría en energía eólica en Perú realizan mediciones de velocidad del viento en campo utilizando equipos especializados, como anemómetros y torres meteorológicas. Estos datos se utilizan para validar y calibrar modelos de simulación y para estimar la producción de energía esperada de un parque eólico.

La selección de la Estación Meteorológica Huarmaca se eligió porque esta zona tiene buenos valores de velocidad de viento y además es una zona rural.

5.1.1. Velocidad del Viento

El cálculo del recurso eólico se efectuó buscando los datos de la velocidad del viento en la página web del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

Tabla 3. Datos de la Estación Huarmaca

Estación : HUARMACA					
Departamento :	PIURA	Provincia :	HUANCABAMBA	Distrito :	HUARMACA
Latitud :	5°33'57.1"	Longitud :	79°31'31.6"	Altitud :	2171 msnm.
Tipo :	EMA - Meteorológica	Código :	4.73E+11		

Fuente. [17]

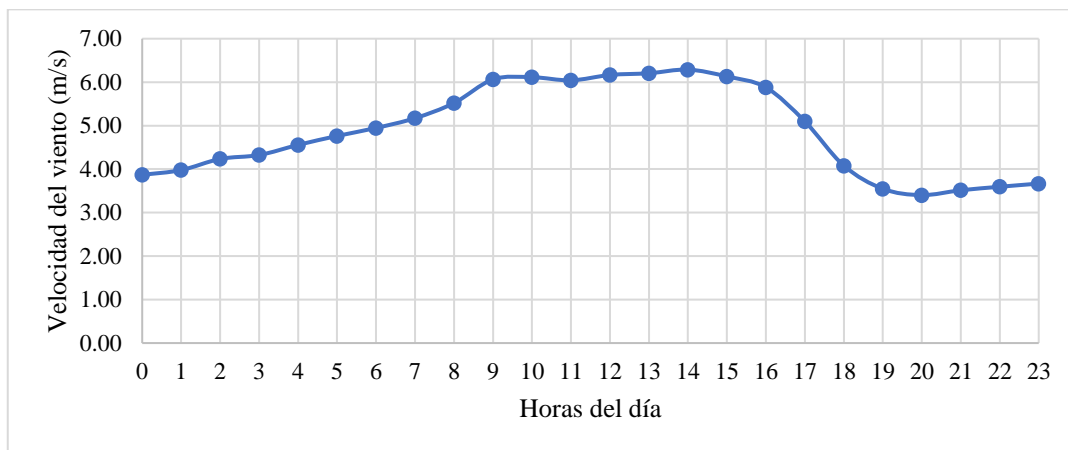
El rango de datos tomados fue de 7727 horas del año 2020. Los valores promedios de velocidad durante las 24 horas del día fueron procesados en la Tabla 4.

Tabla 4. Velocidad promedio del viento por día(m/s).

Hora	Velocidad (m/s)
00:00	3,87
01:00	3,98
02:00	4,24
03:00	4,32
04:00	4,56
05:00	4,76
06:00	4,95
07:00	5,17
08:00	5,52
09:00	6,06
10:00	6,11
11:00	6,04
12:00	6,17
13:00	6,21
14:00	6,29
15:00	6,13
16:00	5,88
17:00	5,10
18:00	4,08
19:00	3,55
20:00	3,40
21:00	3,51
22:00	3,59
23:00	3,67
Promedio	4,88

Fuente. Elaboración propia

Figura 11. Gráfico de la velocidad del viento promedio durante un día



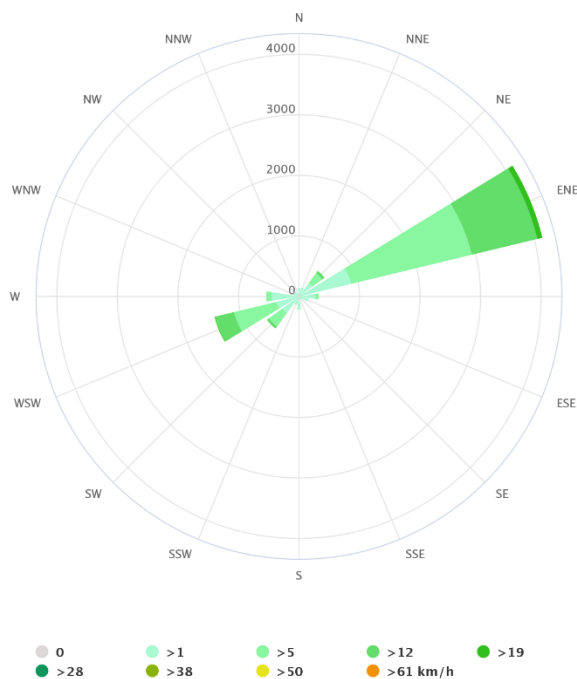
Fuente. Elaboración propia

5.1.2. Dirección de la velocidad del viento

Para representar la dirección de la velocidad del viento, el gráfico más usado es la rosa de los vientos, que es un diagrama polar en el cual se indican para diversas direcciones los datos involucrados con la velocidad y dirección del viento.

En la rosa de los vientos se puede observar la dirección dominante de los vientos. Sin embargo, no quiere decir que la dirección dominante sea la que tiene la mayor intensidad, ya que, generalmente, los vientos más intensos no son los que soplan por más tiempo en una determinada dirección.

Figura 12. Gráfico de la rosa de los vientos en Huarmaca. (Meteoblue)



Fuente. [18]

En el gráfico observamos que la dirección dominante de los vientos es del este-noreste con magnitud del viento >19 km/hora o lo que es similar a 5,3 m/s.

5.1.3. Tratamiento estadístico de la velocidad de viento

Debido a que la energía eólica es una fuente de energía renovable que puede ser bastante dispersa y aleatoria, es necesario utilizar técnicas estadísticas para evaluar si una ubicación es adecuada para la instalación de turbinas eólicas. Una manera común de hacer esto es representando la velocidad del viento en un lugar determinado como una variable aleatoria con una función de distribución correspondiente. Esto permite a los ingenieros y científicos evaluar la disponibilidad y consistencia del recurso eólico en una ubicación determinada, lo que a su vez ayuda a determinar la viabilidad económica y técnica de un proyecto eólico en ese sitio.

Es común utilizar la distribución de Weibull para representar la velocidad del viento como una variable aleatoria en la evaluación de recursos eólicos. La distribución de Weibull es una función matemática que describe la probabilidad de que ocurran diferentes velocidades del viento en una ubicación determinada. Esta distribución se caracteriza por dos parámetros: el parámetro de escala "c" y el parámetro de forma "k".

El parámetro de escala "c" representa la velocidad del viento a la que la distribución alcanza su valor máximo, es decir, la velocidad más frecuente en la ubicación considerada. Por otro lado, el parámetro de forma "k" describe la forma de la distribución de probabilidad de la velocidad del viento. Un valor de "k" menor que 1 indica que la distribución es más plana y ancha, mientras que un valor de "k" mayor que 1 indica que la distribución es más puntiaguda y estrecha.

Se trata la variable velocidad de viento con herramientas estadísticas para organizarla mediante histogramas. Para ello, hacemos uso de las tablas de distribución.

A partir de las velocidades del viento se procede a la agrupación y clasificación de los datos según las clases, también hallamos las frecuencias relativas y acumuladas, los resultados se muestran en la tabla 5:

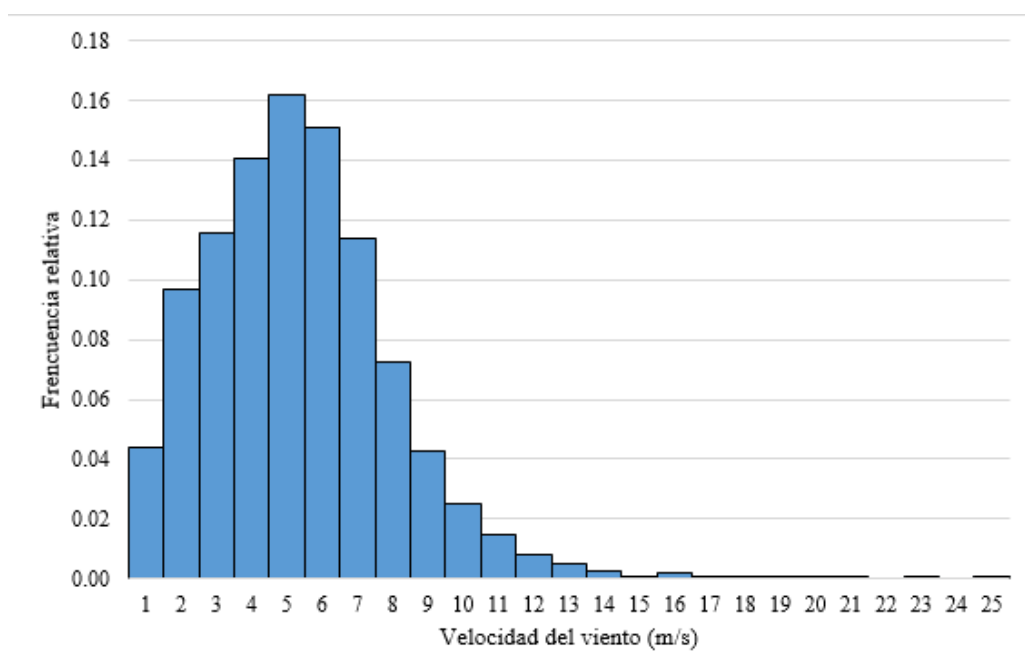
Tabla 5. Tabla de distribución de frecuencias de la velocidad del viento.

Intervalo de la clase (m/s)			Frecuencia de la clase	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada "menor o igual que"	Frecuencia relativa acumulada "mayor que"
0	$\leq v \leq$	1	341	0,0441	0,0441	0,9559
1	$< v \leq$	2	747	0,0967	0,1408	0,8592
2	$< v \leq$	3	893	0,1156	0,2564	0,7436
3	$< v \leq$	4	1085	0,1404	0,3968	0,6032
4	$< v \leq$	5	1253	0,1622	0,5589	0,4411
5	$< v \leq$	6	1165	0,1508	0,7097	0,2903
6	$< v \leq$	7	879	0,1138	0,8235	0,1765
7	$< v \leq$	8	562	0,0727	0,8962	0,1038
8	$< v \leq$	9	331	0,0428	0,9390	0,0610
9	$< v \leq$	10	192	0,0248	0,9639	0,0361
10	$< v \leq$	11	112	0,0145	0,9784	0,0216
11	$< v \leq$	12	64	0,0083	0,9867	0,0133
12	$< v \leq$	13	37	0,0048	0,9915	0,0085
13	$< v \leq$	14	21	0,0027	0,9942	0,0058
14	$< v \leq$	15	6	0,0008	0,9950	0,0050
15	$< v \leq$	16	14	0,0018	0,9968	0,0032
16	$< v \leq$	17	5	0,0006	0,9974	0,0026
17	$< v \leq$	18	3	0,0004	0,9978	0,0022
18	$< v \leq$	19	8	0,0010	0,9988	0,0012
19	$< v \leq$	20	3	0,0004	0,9992	0,0008
20	$< v \leq$	21	3	0,0004	0,9996	0,0004
21	$< v \leq$	22	0	0,0000	0,9996	0,0004
22	$< v \leq$	23	2	0,0003	0,9999	0,0001
23	$< v \leq$	24	0	0,0000	0,9999	0,0001
24	$< v \leq$	25	1	0,0001	1,0000	0,0000
N=			7727			

Fuente. Elaboración propia

Con los datos de frecuencia relativa, se elaboró un histograma de frecuencia que muestra información sobre el tanto por ciento de tiempo en que la velocidad del viento se mueve a una determinada magnitud.

Figura 13. Histograma de frecuencias relativas

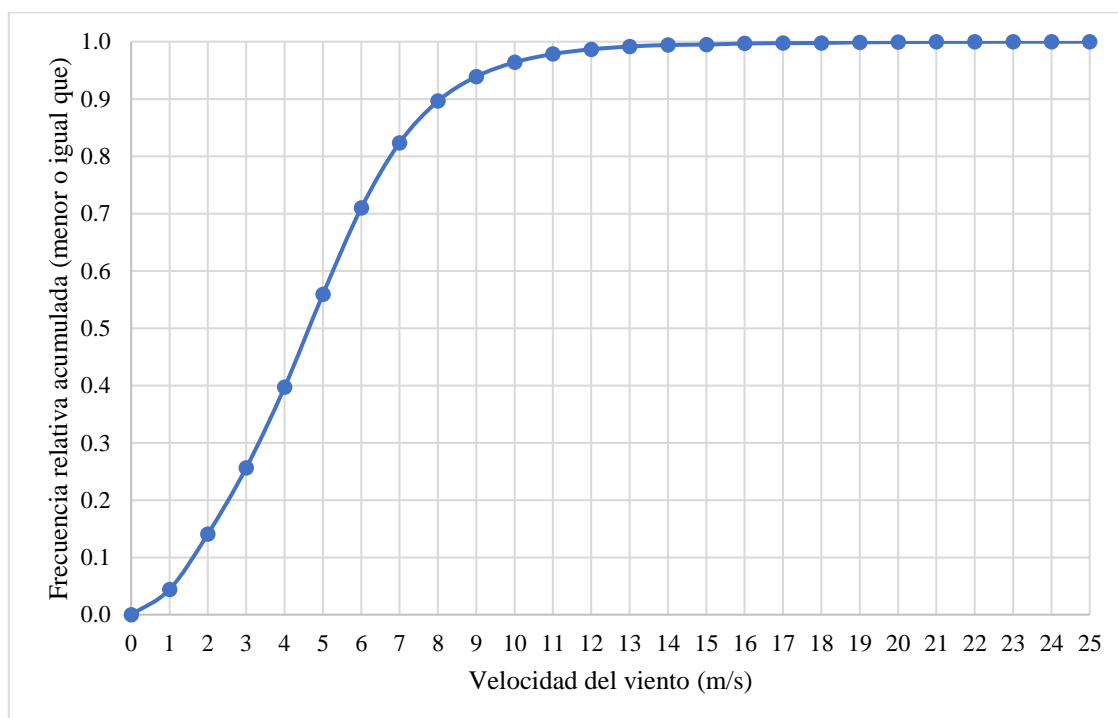


Fuente. Elaboración propia

Luego, hemos construido un gráfico donde podemos consultar la probabilidad de que la velocidad de viento sea menor o igual que un cierto valor.

Por ejemplo, el 70,97% de las horas, 1165 días de los 7727 días considerados, en los que es menor o igual a 5 m/s.

Figura 14. Gráfico de frecuencias relativas acumuladas “menor o igual que”.

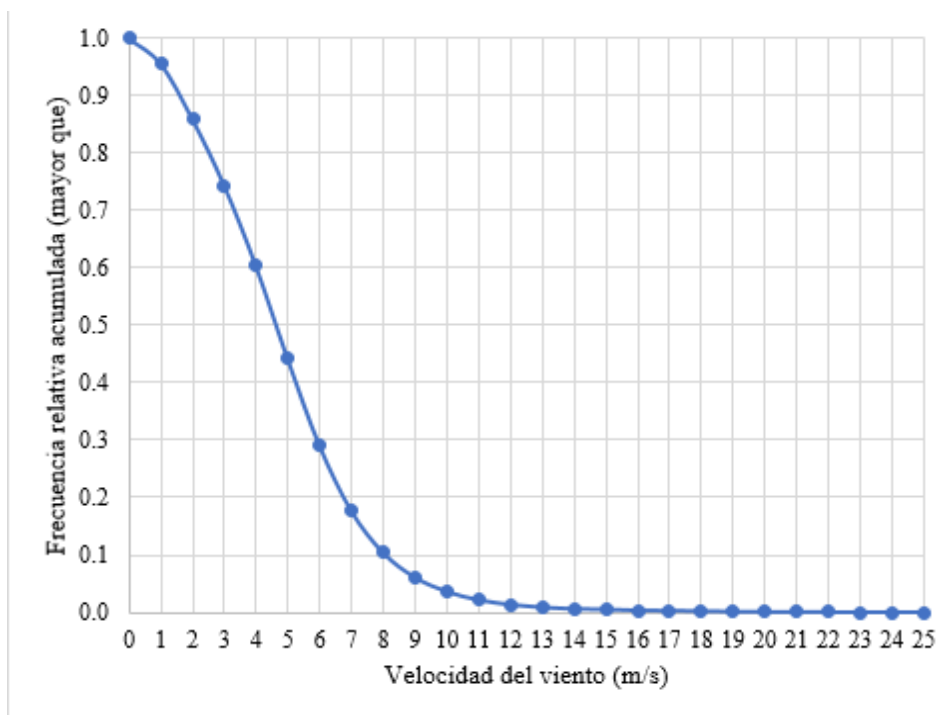


Fuente. Elaboración propia

En el siguiente gráfico se puede leer la fracción de horas del periodo considerado para los que la velocidad media por horas es mayor que un cierto valor.

Por ejemplo, el 29,03% de las horas consideradas, en los que la velocidad es mayor que 5 m/s.

Figura 15. Gráfico de frecuencias relativas acumuladas "mayor que"



Fuente. Elaboración propia

La curva de duración de la velocidad del viento muestra cuantas horas al año el viento sopla a una velocidad determinada.

Este diagrama es muy importante ya que permite cuantificar el viento en el lugar de influencia, y luego nos permitirá dimensionar el sistema de autogeneración.

Tabla 6. Velocidades y frecuencia con que se presentan en horas al año

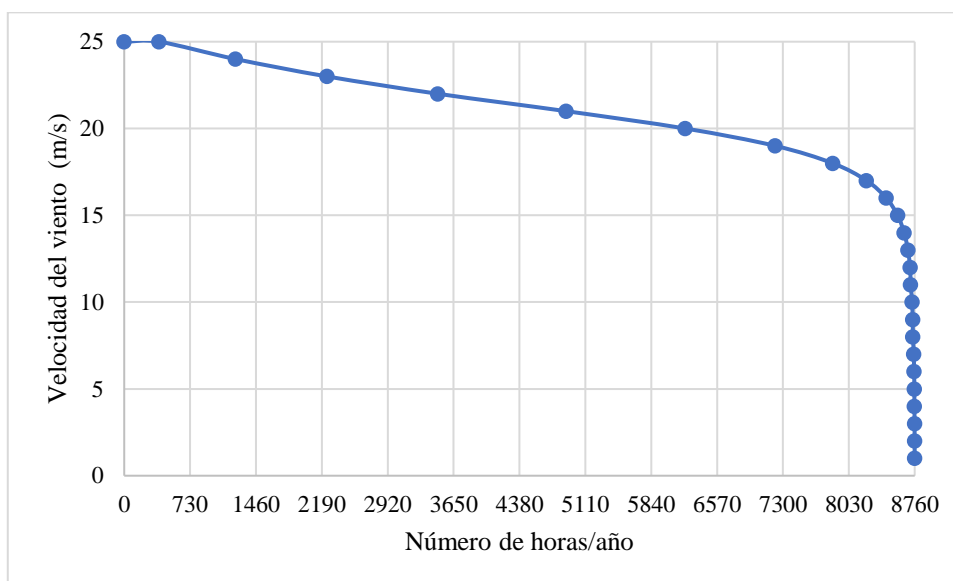
Velocidad (m/s)	Horas/año
1	387
2	847
3	1012
4	1230

5	1421
6	1321
7	997
8	637
9	375
10	218
11	127
12	73
13	42
14	24
15	7
16	16
17	6
18	3
19	9
20	3
21	3
22	0
23	2
24	0
25	1
	8760

Fuente. Elaboración propia

En la siguiente figura se puede leer el número de horas para los que la velocidad media por hora es mayor a un cierto valor.

Figura 16. Curva de la duración de la velocidad



Fuente. Elaboración propia

5.1.4. Descripción estadística del viento: Ley de Weibull

La ley de Weibull es la ley de distribución de la velocidad del viento, con la cual podemos calcular el potencial energético y la energía anual que puede generarse mediante un aerogenerador.

Aplicando el método de ajuste por mínimos cuadrados se van a conocer los parámetros de Weibull de la función de densidad de probabilidad correspondiente a los valores de las velocidades horarias del viento.

La muestra cómo se aplicó este método a los datos de la distribución de velocidades del viento:

Tabla 7. Determinación de los parámetros de Weibull por ajuste de mínimos cuadrados

Intervalo de la clase (m/s)			Frecuencia de la clase	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada	xi	yi	fixi	fixi ²	fiyi	fixiyi
	<v≤					ln(vi)	ln(-ln(1-Fi))				
0	<v≤	1	341	0,0441	0,0441	0,0000	-3,0981	0,0000	0,0000	-0,1367	0,0000
1	<v≤	2	747	0,0967	0,1408	0,6931	-1,8855	0,0670	0,0464	-0,1823	-0,1263
2	<v≤	3	893	0,1156	0,2564	1,0986	-1,2167	0,1270	0,1395	-0,1406	-0,1545
3	<v≤	4	1085	0,1404	0,3968	1,3863	-0,6822	0,1947	0,2699	-0,0958	-0,1328
4	<v≤	5	1253	0,1622	0,5589	1,6094	-0,2002	0,2610	0,4200	-0,0325	-0,0522
5	<v≤	6	1165	0,1508	0,7097	1,7918	0,2126	0,2701	0,4840	0,0321	0,0574
6	<v≤	7	879	0,1138	0,8235	1,9459	0,5506	0,2214	0,4307	0,0626	0,1219
7	<v≤	8	562	0,0727	0,8962	2,0794	0,8177	0,1512	0,3145	0,0595	0,1237
8	<v≤	9	331	0,0428	0,9390	2,1972	1,0288	0,0941	0,2068	0,0441	0,0968
9	<v≤	10	192	0,0248	0,9639	2,3026	1,2003	0,0572	0,1317	0,0298	0,0687
10	<v≤	11	112	0,0145	0,9784	2,3979	1,3440	0,0348	0,0833	0,0195	0,0467
11	<v≤	12	64	0,0083	0,9867	2,4849	1,4627	0,0206	0,0511	0,0121	0,0301
12	<v≤	13	37	0,0048	0,9915	2,5649	1,5608	0,0123	0,0315	0,0075	0,0192
13	<v≤	14	21	0,0027	0,9942	2,6391	1,6382	0,0072	0,0189	0,0045	0,0117
14	<v≤	15	6	0,0008	0,9950	2,7081	1,6656	0,0021	0,0057	0,0013	0,0035
15	<v≤	16	14	0,0018	0,9968	2,7726	1,7463	0,0050	0,0139	0,0032	0,0088
16	<v≤	17	5	0,0006	0,9974	2,8332	1,7845	0,0018	0,0052	0,0012	0,0033
17	<v≤	18	3	0,0004	0,9978	2,8904	1,8114	0,0011	0,0032	0,0007	0,0020
18	<v≤	19	8	0,0010	0,9988	2,9444	1,9103	0,0030	0,0090	0,0020	0,0058
19	<v≤	20	3	0,0004	0,9992	2,9957	1,9686	0,0012	0,0035	0,0008	0,0023
20	<v≤	21	3	0,0004	0,9996	3,0445	2,0610	0,0012	0,0036	0,0008	0,0024
21	<v≤	22	0	0,0000	0,9996	3,0910	2,0610	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
22	<v≤	23	2	0,0003	0,9999	3,1355	2,1919	0,0008	0,0025	0,0006	0,0018
23	<v≤	24	0	0,0000	0,9999	3,1781	2,1919	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
24	<v≤	25	1	0,0001	1,0000	3,2189	3,5734	0,0004	0,0013	0,0005	0,0015
Total			7727			58,0036	25,6994	1,5352	2,6766	-0,3054	0,1418

Fuente. Elaboración propia

Reemplazando los valores se tiene:

$$A = \frac{\sum f_i x_i y_i - (\sum f_i x_i)(\sum f_i y_i)}{\sum f_i x_i^2 - (\sum f_i x_i)^2} = \frac{0,1418 - (1,5352)(-0,3054)}{2,6766 - 1,5352^2} = 1,91$$

$$B = \sum f_i y_i - A \sum f_i x_i = -0,3054 - (1,9)(1,5352) = -3,24$$

$$k = A = 1,9$$

Con la ecuación, el valor de C es:

$$C = e^{-\left(\frac{-3,22}{1,9}\right)} = 5,45$$

Entonces, la ecuación lineal queda:

$$y = 1,91x - 3,24$$

5.1.5. Función de densidad de probabilidad de Weibull

Obtenidos los parámetros “k” y “C”, se reemplaza en la ecuación 4.1 para conseguir la función densidad de probabilidad de Weibull, entonces:

$$C = 5,45$$

$$k = 10,5897$$

$$f_v = \frac{k}{C} * \left(\frac{v}{C}\right)^{k-1} * e\left[-\left(\frac{v}{C}\right)^k\right]$$

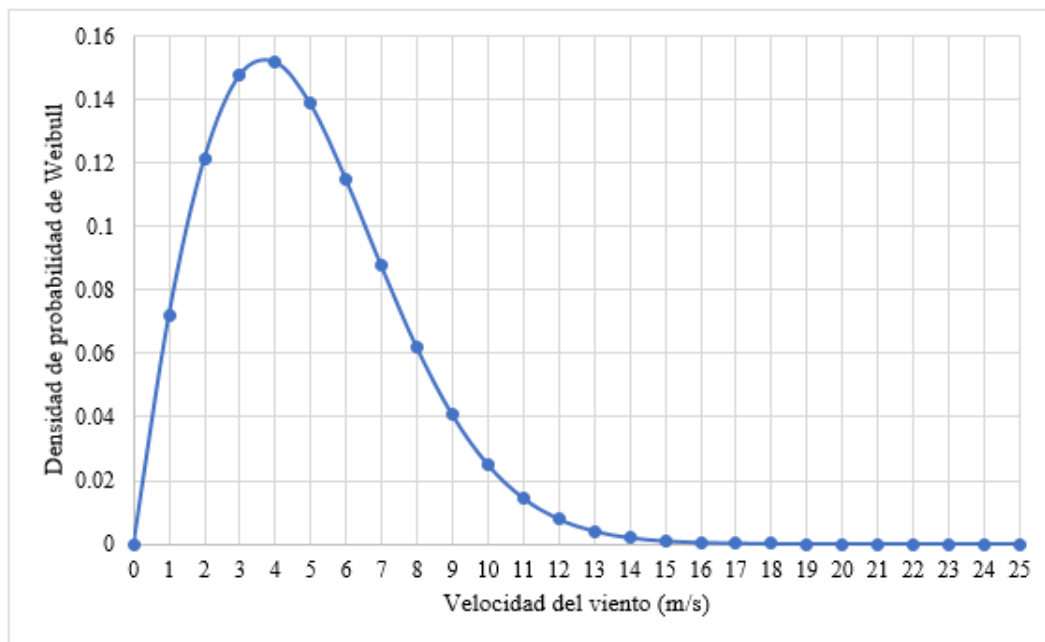
En donde v corresponde a cada una de las velocidades.

Velocidad (m/s)	Densidad de probabilidad de Weibull
1	0,0721
2	0,1216
3	0,1479
4	0,1520
5	0,1387
6	0,1150
7	0,0877
8	0,0619
9	0,0408
10	0,0251
11	0,0145
12	0,0078
13	0,0040
14	0,0019
15	0,0009
16	0,0004
17	0,0002
18	0,0001
19	0,0000
20	0,0000
21	0,0000
22	0,0000
23	0,0000
24	0,0000

25	0,0000
----	--------

Fuente. Elaboración propia

Figura 17. Función densidad de probabilidad de Weibull



Fuente. Elaboración propia

5.1.6. Densidad de energía eólica disponible

La densidad de energía eólica disponible se define como la energía total del viento por unidad de área durante un tiempo determinado.

Tabla 8. Densidad de potencia eólica disponible

Intervalo de la clase (m/s)		Frecuencia de la clase (horas)	Frecuencia relativa	Densidad de potencia eólica disponible (W/m ²)	
0	<v<	1	341	0,0441	0,0269
1	<v<	2	747	0,0967	0,4718
2	<v<	3	893	0,1156	1,9034
3	<v<	4	1085	0,1404	5,4819
4	<v<	5	1253	0,1622	12,3646
5	<v<	6	1165	0,1508	19,8655
6	<v<	7	879	0,1138	23,8014
7	<v<	8	562	0,0727	22,7157
8	<v<	9	331	0,0428	19,0491
9	<v<	10	192	0,0248	15,1572
10	<v<	11	112	0,0145	11,7683
11	<v<	12	64	0,0083	8,7306
12	<v<	13	37	0,0048	6,4173
13	<v<	14	21	0,0027	4,5491
14	<v<	15	6	0,0008	1,5986
15	<v<	16	14	0,0018	4,5270
16	<v<	17	5	0,0006	1,9393
17	<v<	18	3	0,0004	1,3812
18	<v<	19	8	0,0010	4,3318
19	<v<	20	3	0,0004	1,8947
20	<v<	21	3	0,0004	2,1933
21	<v<	22	0	0,0000	0,0000
22	<v<	23	2	0,0003	1,9210
23	<v<	24	0	0,0000	0,0000
24	<v<	25	1	0,0001	1,2335
Total		N=	7727	1	173,3230

Fuente. Elaboración propia

La densidad media de potencia eólica disponible es:

$$\frac{P_d}{A} = 173,323 \text{ W/m}^2$$

La densidad de energía disponible en las 7727 horas consideradas sería:

$$\frac{E_d}{A} = 173,323 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} * 7727 \text{ horas} = 1.339,266 \text{ kWh/m}^2$$


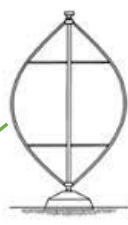




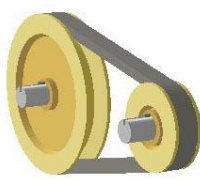

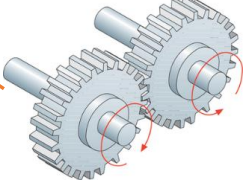
La densidad de energía disponible en las 8760 horas consideradas sería:

$$\frac{E_d}{A} = 173,323 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} * 8760 \text{ horas} = 1518309,48 \text{ kWh/m}^2$$

5.2. Determinar y seleccionar los componentes mecánicos y eléctricos del sistema.

5.2.1. Planteamiento de alternativas para el diseño

Tabla 9. Matriz morfológica

Características	Tipos		
	Rotor Savonius	Rotor Darrieus	Tripala
Tipo de diseño			
Tipo de orientación	Vertical	Horizontal	
Número de palas	1	2	3
Generador	Inducción 	Síncrono imanes permanentes 	Síncrono rotor bobinado 
Transmisión de potencia	Correas y poleas 	Cadenas y piñones 	Engranajes 

Fuente. Elaboración propia

Donde la línea naranja representa a la alternativa 1, la línea verde representa la alternativa 2 la línea roja representa la alternativa 3.

5.2.1.1. Alternativas para el rotor

- **Alternativa N° 1. Aerogenerador de eje vertical savonius**

Es un modelo que se aproxima a los rendimientos de los aerogeneradores de eje horizontal. Es un modelo que arranca a bajas velocidades de viento 1 m/s. Son fáciles de construir, tienen pocas partes en movimiento y baja velocidad de rotación, generan poco ruido. Son de fácil mantenimiento. Tiene una eficiencia de 33%.

Figura 18. Aerogenerador de eje vertical Savonius (energy)



Fuente. [19]

- **Alternativa N° 2. Aerogenerador de eje vertical Darrieus**

Permite mayores velocidades que el rotor savonius, tiene una alta eficiencia, también tiene pocas partes en movimiento, pero su principal inconveniente es la necesidad de monitorización debida a que no arranca por sí mismo. Son de fácil mantenimiento. Tiene una eficiencia de 40%.

Figura 19. Aerogenerador de eje vertical Darrieus. (energy)



Fuente. [19]

- **Alternativa N° 3. Aerogenerador de eje horizontal Tripala**

Conta de tres palas separas 120° entre sí. Tienen una alta eficiencia. Pero el alternador se ubica al interior del rotor, lo cual dificulta el mantenimiento. Alcanza una eficiencia de 50%.

Figura 20. Aerogenerador de eje horizontal tripala. (energy)



Fuente. [19]

5.2.2. Evaluación de alternativas para el diseño del aerogenerador

La ponderación para criterio se hace a través de una escala de 5 puntos.

Tabla 10. Escala de puntos para cada criterio

Ponderación	Significado
1	Muy poco importante
2	Poco importante
3	Importancia media
4	Algo importante
5	Muy importante

- **Criterios de evaluación**

- **Funcionalidad:** Se requiere que puedan cumplir con las funciones que se necesitan y satisfacer las necesidades según las condiciones que tenemos.

- **Mantenimiento:** Se requiere que el mantenimiento sea insignificante para evitar costos por esta actividad.

- **Montaje:** Se tendrá en cuenta cuál de los modelos de aerogeneradores son más fáciles de instalar.

- **Ruido:** Es importante que genere el menor ruido posible, ya que, va a estar ubicado en las calles, cerca de las viviendas y transeúntes.

- **Eficiencia:** Se requiere que el sistema sea eficiente, que transforme la mayor cantidad de energía del viento extraíble en potencia.

Figura 21. Matriz de evaluación de criterios

Criterios	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Funcionalidad	4	4	3
Mantenimiento	4	3	2
Montaje	3	2	1
Ruido	3	2	1
Eficiencia	2	3	4
Puntaje	16	14	11

Fuente. Elaboración propia

Según los resultados, la alternativa 1 es la mejor considerando tiene la mayor puntuación.

El aerogenerador a diseñar tendrá una potencia de 300 W para así suministre la energía necesaria para energizar la farola.

La velocidad de diseño es de **7 m/s**.

Se considera las diferentes pérdidas de energía que se dan en el sistema:

- ✓ Rendimiento mecánico: Se estima un 95%.
- ✓ Coeficiente de potencia: $C_p=0,33$.

5.2.3. Cálculo de la demanda

Se va a considerar un parque que cuente con 10 luminarias, por lo tanto, vamos a elegir una luminaria LED para que ilumine.

Es necesario regirnos a la norma DGE “Alumbrado de vías públicas en áreas rurales 2011” y así elegir una luminaria que esté dentro de los requerimientos que establece dicha norma.

Se seleccionó la luminaria LED 30W para alumbrado público de la empresa natura energy. Los datos técnicos se muestran a continuación.

Figura 22. Características de la lámpara LED 30W seleccionada.

Potencia	30W
Voltaje	12V
Eficiencia	130 Lm/W
Temperatura	6000-6500°K
Toma de instalación	60mm Ø
Altura recomendada	4 - 6 mts
Temperatura de operación	-40 a 50°C
Vida útil	>50 000 hrs
Tamaño	390x165x70mm
Peso	1,14 kg
Grado de protección	IP65
Certificaciones	UL(for driver), CE

Fuente. [20]

Como ya se mencionó, se utilizará 10 luminarias, por lo tanto, la potencia total que se necesita son 300W. Por lo tanto, esta será la potencia de diseño para el aerogenerador.

5.2.4. Diseño del rotor

Primero hay que obtener la densidad del aire en la zona. Se reemplaza en la ecuación:

Tabla 11. Temperaturas promedio en un año.

	Temperatura °C
Enero	15,10
Febrero	15,35
Marzo	15,43
Abril	15,30
Mayo	15,36
Junio	16,32
Julio	15,81
Agosto	16,99
Septiembre	16,64
Octubre	15,08
Noviembre	15,16
Diciembre	14,71
Promedio	15,61

Fuente. Elaboración propia

$$\rho = 1,225 \left(\frac{288}{15,61 + 273} \right) e^{-\left(\frac{6}{8435}\right)}$$

$$\rho = 1,22 \text{ kg/m}^3$$

Se halla el área del rotor:

$$A = \frac{2(300)}{(0,95)(0,33)(1,22)(7)^3}$$

$$A = 4,57 \text{ m}^2$$

Cómo es un rotor tipo Savonius, el área de barrido del rotor es la altura por la anchura.

$$A = H * D$$

Además, por experiencias empíricas, la relación óptima entre la altura y el diámetro es $H = 2D$.

Con lo cual las dimensiones del rotor son:

$$D = 0,4782 \text{ m}$$

$$H = 0,9564 \text{ m}$$

5.2.5. Determinación de la velocidad de rotación

Los rpm esperados del rotor savonius se calculan con la siguiente expresión:

$$\lambda = \frac{\omega R}{v}$$

Dónde:

λ : velocidad específica del rotor

ω : velocidad angular (rad/s)

R : Ratio del rotor del aerogenerador (m)

v : velocidad del viento (m/s)

Tomamos el TSR=1, ya que es el valor óptimo del C_p .

$$\omega = \frac{\lambda v}{R} = \frac{1 * 7}{(0,4782/2)}$$

$$\omega = 29,2765 \frac{rad}{s}$$

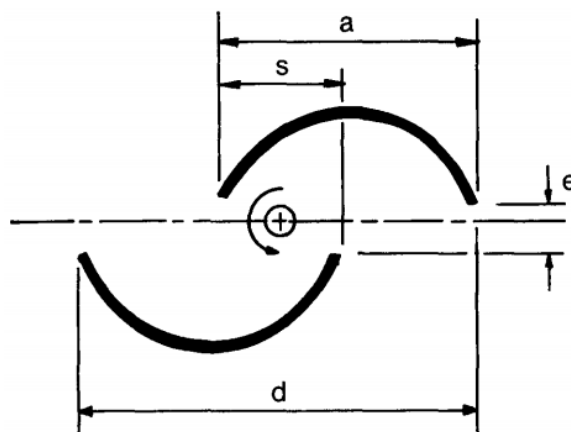
$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

$$n = 279,5695 \text{ rpm} \approx 280 \text{ rpm}$$

5.2.6. Geometría del rotor Savonius

Dimensiones más importantes del rotor Savonius:

Figura 23. Parámetros geométricos de un rotor Savonius



Donde:

a: ancho del álabe

s: traslapo

e: distancia entre álabes

d: distancia comprendida entre los puntos externos de los álabes

Para nuestro diseño, tomaremos las siguientes dimensiones:

$$e = 0 \text{ m}$$

$$s/d = 0,1 \rightarrow s = 0,04782 \text{ m}$$

$$a = 0,26301 \text{ m}$$

$$h/d = 2$$

5.2.7. Diseño del álabe

Los álabes son importantes en el diseño del aerogenerador, ya que este elemento transmite la energía que produce el viento a energía mecánica.

- **Selección del material**

Considerando que los álabes deben ser livianos, se selecciona el nylon técnico 6 o también conocido PA6.

El nylon 6 es el más utilizado de los plásticos técnicos, ya que tiene buenas propiedades mecánicas, térmicas, eléctricas y químicas. Entre sus características principales tenemos que poseen alta resistencia mecánica, rigidez, a la dureza, tenacidad, a la fatiga y alta resistencia al desgaste.

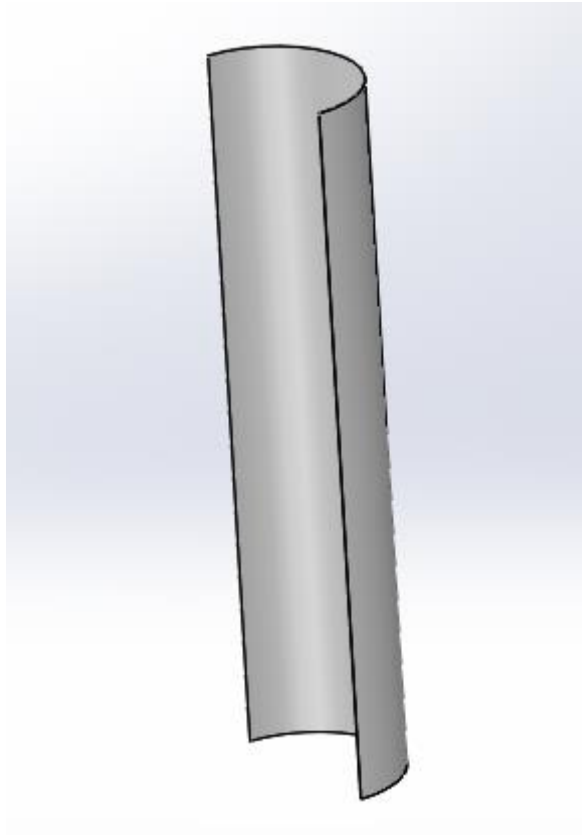
En la siguiente tabla se muestra las características técnicas del material.

Tabla 12. Características técnicas del material seleccionado para el álabe. (Plasticbages Industrial, S.L.)

Características técnicas del nylon PA6			
Propiedad	Unidad	Norma	Valores
Alargamiento a la rotura	%	DIN 53455	>50
Conductividad térmica	W/Km	DIN 53456	0,28
Coefficiente de dilatación Térmica de 20°C a 50°C	m/mK		85*10-6
Coefficiente de fricción			0,3
Densidad	g/cm2	DIN 53459	1,14
Dureza a la bola	N/mm2	DIN 53460	136
Dureza "Shore"		DIN 53461	D75
Módulo de elasticidad	N/mm2	DIN 53462	2.850
Punto de fusión	°C	ASTM D789	220
Resistencia superficial		DIN 53464	5*1010
Resistencia al impacto	KH/m2	DIN 53465	3,8
Resistencia a la tracción	N/mm2	DIN 53466	78
Temperatura máxima de utilización	°C		90
Temperatura mínima de uso	°C		-40

Fuente. [21]

Figura 24. Álabe



Fuente. Elaboración propia

- **Cálculo de las fuerzas que actúan en el alabe**

Las fuerzas se determinarán teniendo en cuenta la condición crítica, es decir, cuando la velocidad del viento es más alta, en nuestro caso $V=25$ m/s. Esto para que el rotor Savonius debe estar diseñado para que pueda soportar estas velocidades.

Las fuerzas que actúan sobre un álabe son la fuerza del viento y la fuerza centrífuga.

La fuerza que ejerce el viento al chocar el álabe se determina mediante la siguiente expresión:

$$P_v = \frac{1}{2} \rho V^2$$

$$P_v = \frac{1}{2}(1,22 \text{ kg/m}^3)(25 \text{ m/s})^2$$

$$P_v = 381,25 \text{ Pa}$$

La fuerza centrífuga se da debido a la rotación del aerogenerador, y trata de separar a los álabes del eje de rotación y se calcula mediante la siguiente expresión:

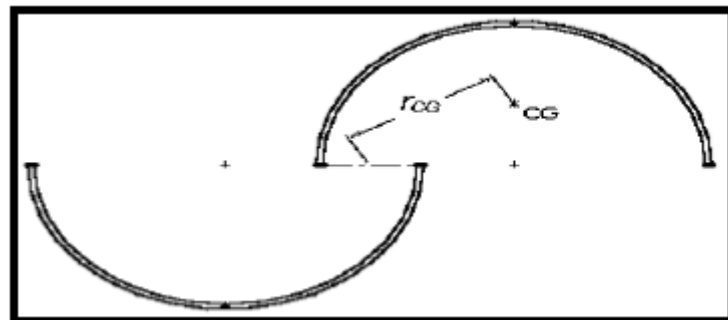
$$F_c = m * \omega^2 r_{GG}$$

Donde:

m : masa (kg)

r_{GG} : radio de rotación (m)

Figura 25. Distancia al centro de gravedad.



Para calcular el radio de rotación de cada álabes r_{GG} se halla X_{GG} y Y_{GG} desde la distancia del dentro de giro al centro de masa del álabes.

Donde el radio del álabes es $r_a = 0,131505 \text{ m}$

$$X_{GG} = r_a - \frac{S}{2} = 0,131505 \text{ m} - \frac{0,04782 \text{ m}}{2} = 0,107595 \text{ m}$$

$$Y_{GG} = \frac{4r_a}{3\pi} = \frac{4(0,131505 \text{ m})}{3\pi} = 0,0558 \text{ m}$$

Entonces:

$$r_{GG} = \sqrt{X_{GG}^2 + Y_{GG}^2} = \sqrt{(0,107595)^2 + (0,0558)^2} = 0,1212 \text{ m}$$

La masa de cada álabe será $m = 6323,5 \text{ gr} = 6,3235 \text{ kg}$

La velocidad de rotación se considera similar a la velocidad de rotación del rotor, es decir,
 $\omega = 29,2765 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$.

Luego, reemplazando podemos encontrar la fuerza centrífuga en el álabe:

$$F_c = 6,3235 \text{ kg} * \left(29,2765 \frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)^2 (0,1212 \text{ m})$$

$$F_c = 656,8988 \text{ N}$$

- **Determinación del torque**

Para el cálculo del torque se emplea la siguiente ecuación:

$$T = \frac{P}{\omega}$$

$$T = \frac{30 \text{ W}}{29,2765 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}$$

$$T = 1,0247 \text{ N.m}$$

5.2.8. Diseño de las tapas

Según la experiencia empírica en el diseño de las tapas, la relación del diámetro de la tapa es mayor en un 10% que el diámetro del rotor para conseguir un buen rendimiento aerodinámico. Entonces:

$$d_t = 1,1D$$

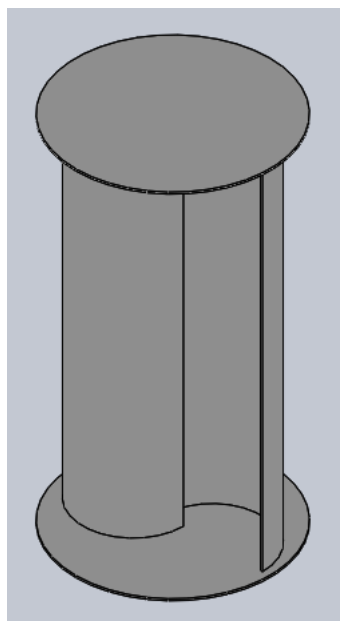
$$d_t = 1,1 * (0,4782 \text{ m})$$

$$d_t = 0,52602 \text{ m}$$

El rotor tendrá dos tapas con un diámetro de 0,52602 m. Estas servirán de unión entre el eje del rotor con los álabes.

El material de las tapas será el mismo que el de los álabes.

Figura 26. Rotor Savonius



Fuente. Elaboración propia

5.2.9. Diseño del eje

El eje funciona de unión entre el rotor y el generador de imanes permanentes.

Para el diseño del eje se considera como una viga, la cual se va a encontrar apoyada en dos puntos mediante rodamientos. Está sometida a flexión debido a la presión del viento.

Hay que tener en cuenta que la velocidad de diseño es:

$$n = 280 \text{ rpm}$$

Y la potencia es de 300 W.

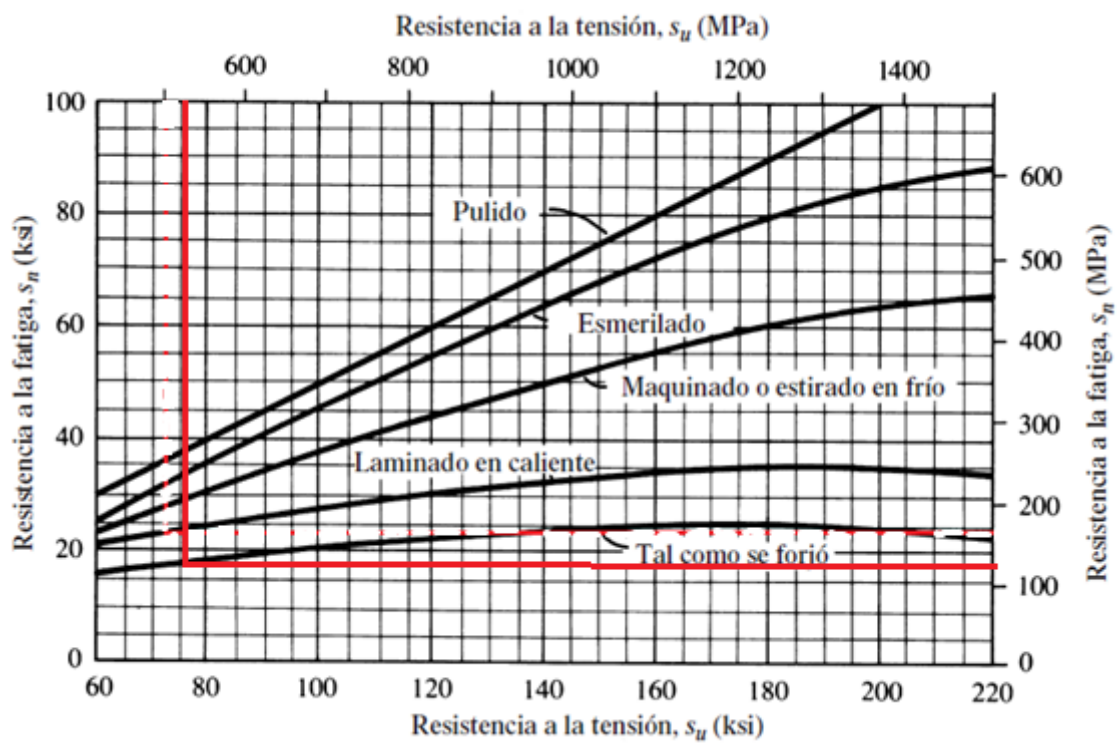
Se usará acero inoxidable al cromo, del cual sacamos su resistencia a la tensión:

$$S_u = 413,613 \text{ MPa}$$

Y su resistencia a la fluencia es:

$$S_y = 172,339 \text{ MPa}$$

Figura 27. Resistencia a la fatiga s_n en función de la resistencia a la tensión.



Fuente. (Nisbett).

La resistencia a la fatiga sería:

$$S_n = 120 \text{ MPa}$$

Se desea una confiabilidad del 99%, así que:

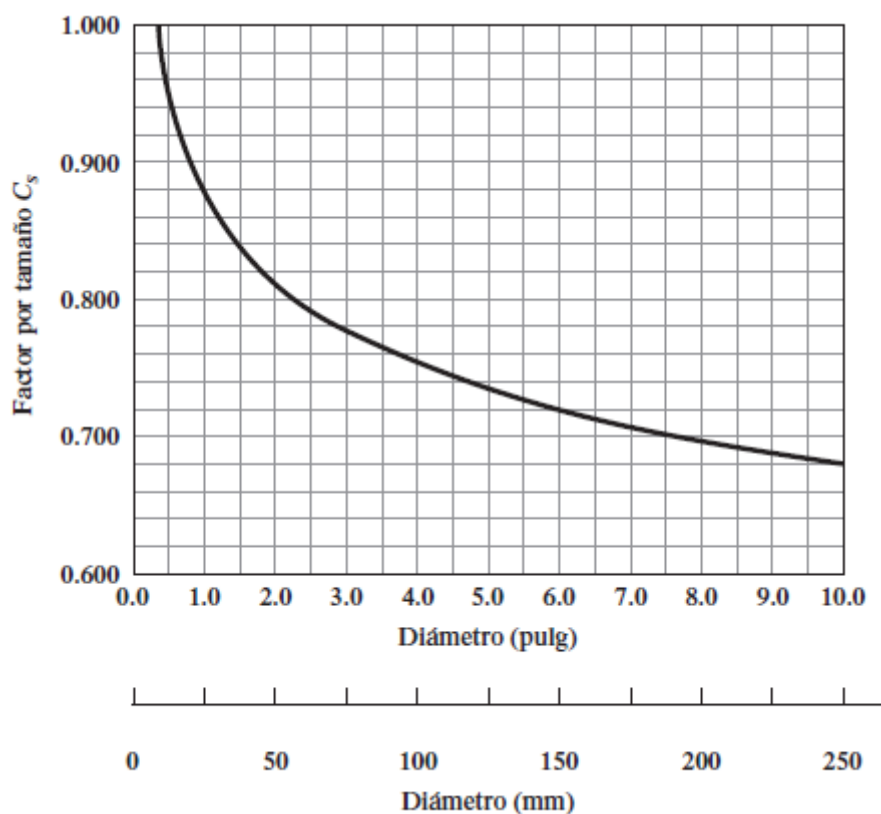
Tabla 13. Factores de confiabilidad C_R . (Nisbett)

Confiabilidad deseada C_R	
0.50	1.0
0.90	0.90
0.99	0.81
0.999	0.75

$$C_R = 0,81$$

Como aún no se conoce el tamaño real del diámetro del eje, se va a seleccionar un factor por tamaño $C_S = 0,9$ según la siguiente figura:

Figura 28. Factor por tamaño.



Fuente. (Nisbett).

Luego, calculamos la resistencia a la fatiga S_n' modificada, la cual está dada por la siguiente expresión:

$$S'_n = S_n * C_s * C_R$$

$$S'_n = 120 \text{ MPa} * 0,9 * 0,81$$

$$S'_n = 87,48 \text{ MPa}$$

El par torsional T correspondiente a la potencia en watts, se calcula con la siguiente expresión:

$$T = 9,55 \frac{P}{n}$$

Reemplazando:

$$T = 9,55 \frac{30 \text{ W}}{280 \text{ rpm}}$$

$$T = 1,0232 \text{ N.m}$$

La presión del viento que actúa sobre el eje se puede considerar una fuerza repartida a lo largo de toda su longitud donde se ubican los álabes del rotor. Por tanto, se tiene que:

La potencia del viento es:

$$P_v = \frac{1}{2} (1,22)(0,4574)(25)^3$$

$$P_v = 4359,59375 \text{ W}$$

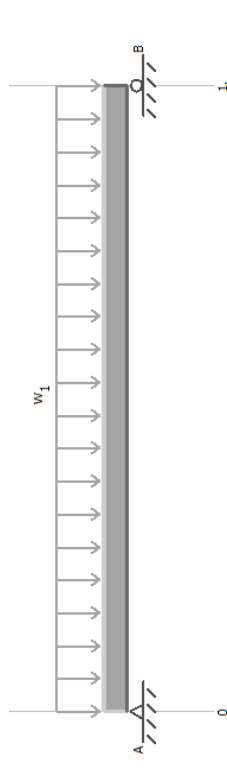
Por lo tanto, la fuerza del viento queda:

$$F_v = P_v * A$$

$$F_v = 4359,59375 * 0,4574$$

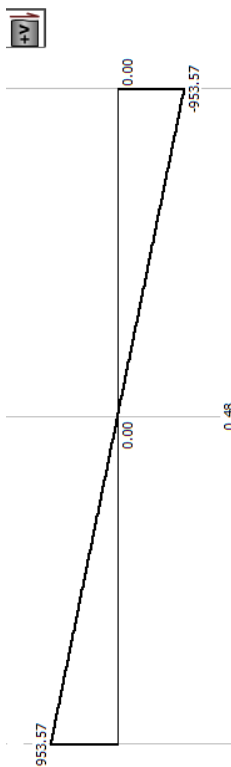
$$F_v = 1994,0782 \text{ N}$$

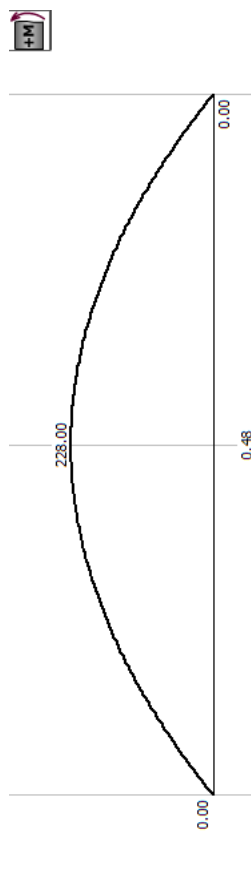
Figura 29. Diagrama de fuerzas del eje



Fuente. Elaboración propia

Figura 30. Diagrama de fuerzas cortantes y momento del eje





Fuente. Elaboración propia

El momento flector máximo tiene un valor de 288 N.m.

Para determinar el diámetro del eje se utiliza la siguiente expresión:

$$D = \left[\frac{32 * N}{\pi} \sqrt{\left(\frac{K * M}{S'_n}\right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{S_y}\right)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

N : Factor de seguridad

M : Momento flector (N.m)

S'_n : Resistencia a la fatiga (MPa)

T : Par torsional (N.m)

S_y : Resistencia a la fluencia (MPa)

Como el eje debe asegurar la polea, debe tener una ranura con chaflán, donde $K=1$.

Se considera un factor de seguridad $N=2$.

Reemplazando:

$$D = \left[\frac{32 * 2}{\pi} \sqrt{\left(\frac{1 * 228}{87,48 * 10^6} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{1,0232}{172,339 * 10^6} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D = 12 \text{ mm}$$

El diámetro del eje será de 2 cm.

5.2.10. Selección del generador eléctrico

Se va a seleccionar un generador eléctrico de imanes permanentes ya que no necesitan mantenimiento debido a que no tiene escobillas y no necesita un sistema para su excitación.

Un generador eléctrico de imanes permanentes es conveniente para usos de generación eólica, ya que se usa en casos en los que no importa en qué tensión disminuya, cuando hay menos cantidad de viento.

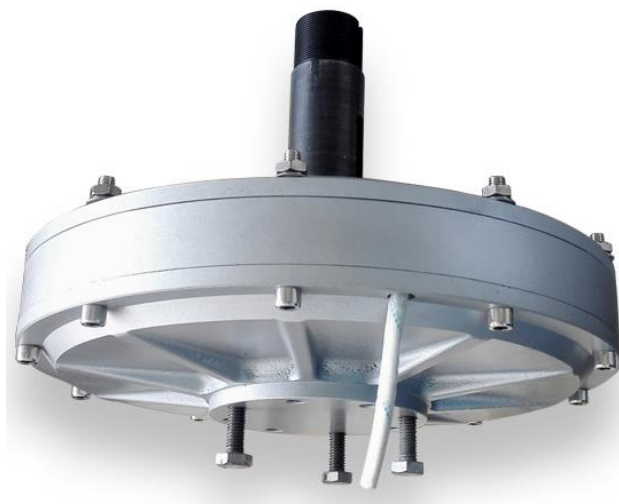
El generador seleccionado es el siguiente:

Tabla 14. Datos técnicos del generador de imán permanente de 300W 12V 300RPM

Parámetro	Unidad	Datos
Potencia nominal	KW	300W
Velocidad nominal	RPM	200RPM-300RPM
Rectificado Tensión nominal	VDC	12VDC
Rectificado corriente nominal	Un	14.43A
La eficiencia		> 95%
Automático tipo		Y
Resistencia de aislamiento		100M ohm Min V DC (500V DC)
Corriente de fuga	Ma	<5 ma
Aislamiento		De la clase H
A par	Nm	<0,3
El aumento de la temperatura	°C	<80
Max temperatura de trabajo	°C	<120
Generador de diámetro	mm	285
Diámetro del eje	mm	12
Fase		Tres fase
Estructura		Rotor interior
Estator del tipo		Sin núcleo
Material de la carcasa		De aleación de aluminio
Material del eje		Acero o acero inoxidable
Rodamiento		NSK o SKF
Peso	Kg	24
Diseño de la vida	Año	> 20

Fuente. (htt)

Tabla 15. Generador eléctrico de imanes permanentes sin núcleo de disco.



Fuente. (htt)

5.2.11. Selección de rodamientos

Los rodamientos son los elementos que acoplan el eje con las tapas del rotor Savonius y también en la estructura de soporte y el eje del generador.

En nuestro caso tenemos un rodamiento de apoyo en la parte superior del rotor y en la parte inferior, los cuales están sometido a una carga radial, por lo cual se escogerá rodamiento de bolas ya que estos están diseñados para soportar este tipo de cargas.

Para la selección se empleará el catálogo de SKF.

Para la sujeción del eje a las tapas del rotor Savonius y del eje del generador hacia el poste se selecciona el rodamiento FY 12 TF, que tiene un diámetro interior de 12 mm igual que el eje del rotor y del generador.

Figura 31. Rodamiento de bolas con pestaña cuadrada SKF FY 12 TF.



Fuente. SKF (skf)

5.2.12. Poste

La estructura de soporte será del material de acero galvanizado.

Este material tiene unas excelentes características, ya que tiene una buena resistencia a la corrosión, al impacto y a la fatiga, aislante.

De la figura [49] en la cual se encuentra la tabla con las dimensiones de tubos de acero galvanizado, se selecciona un tubo galvanizado con diámetro exterior de 150mm.

Las fuerzas a las que está expuesta la estructura del poste son el peso propio, el peso del aerogenerador, el peso de la luminaria, el peso del generador eléctrico, la batería y el controlador de carga.

La representación de las cargas aplicadas a la estructura de la farola y los resultados de tensión y desplazamientos que se obtengan se van a desarrollar más adelante a partir del diseño realizado en el programa SolidWorks.

5.2.13. Selección del controlador de carga

Es necesario utilizar un controlador en un sistema eólico para los casos de sobrecarga, y así proteger a las baterías y toda la instalación.

Los parámetros a tener en cuenta para la selección del controlador es la tensión que entrega el generador eléctrico, en este caso 12 V, y la corriente:

$$I = 14,43 A$$

Pero, considerando que tengan un coeficiente de seguridad de 25%.

$$I_{max} = 14,43 A * (1,25)$$

$$I_{max\ entrada} = 18,0375$$

$$I_{max\ salida} = 18,0375A$$

El controlador de carga seleccionado es el modelo PWM LCD 20A 12/24V Must Solar de la empresa AutoSolar del Perú.

Figura 32. Controlador de carga PWM LCD 20A 12/24V Must Solar



Fuente. AutoSolar (AutoSolar)

5.2.14. Selección de la batería

La batería es importante ya que garantiza la disponibilidad de energía para la farola en caso de ausencia de viento.

Se determina la cantidad de energía que consume la luminaria por día:

$$\text{Consumo} = 300 \text{ W} * 12\text{h} = 3600 \text{ W.h}$$

La capacidad de corriente que necesita:

$$I_{\text{batería}} = \frac{3600 \text{ Wh}}{12 \text{ V}} = 300 \text{ Ah}$$

$$V_{\text{batería}} = 12 \text{ V}$$

Para seleccionar la batería de mejor calidad, emplearemos una matriz de ponderación. Para la cual se asigna criterios y se les dará un puntaje a cada alternativa que van del 1 al 5.

Tabla 16. Puntajes de ponderación

Ponderación	Significado
5	Muy bueno
4	Bueno
3	Regular
2	Malo
1	Muy malo

Fuente. Elaboración propia

Se ha seleccionado tres alternativas para evaluar:

Tabla 17. Criterios de evaluación para las alternativas de baterías

Baterías	Densidad de energía	Eficiencia carga/descarga	Durabilidad	Precio
Plomo ácido	60-110 Wh/L ²	50-95%	Baja	Económico
Iones de litio	250-730 Wh/L ²	80-90%	Media	Costoso
Gel	300-400 kWh/m	100%	Alta	Costoso

Fuente. Elaboración propia

Con la información anterior, se les va asignando un puntaje para cada alternativa.

Tabla 18. Matriz de ponderación para las baterías

Baterías	Densidad de energía	Eficiencia carga/descarga	Durabilidad	Precio
Plomo ácido	2	2	3	5
Iones de litio	4	4	4	4
Gel	5	5	5	4

Fuente. Elaboración propia

Luego, se suma los puntajes de cada alternativa. Teniendo los siguientes resultados.

Tabla 19. Resultados de la matriz de ponderación

Baterías	Puntaje total
Plomo ácido	12
Iones de litio	16
Gel	19

Fuente. Elaboración propia

La alternativa que más puntaje obtuvo es la batería de gel, por lo cual se seleccionará una batería de ese tipo.

Se selecciona la batería GEL 12V 300Ah Tensite de la empresa AutoSolar.

Figura 33. Batería seleccionada. (AutoSolar)



Fuente. AutoSolar (AutoSolar)

La batería GEL 12V 300Ah Tensite no necesita de mantenimiento ni emiten gases, es una batería resistente y con una larga vida útil.

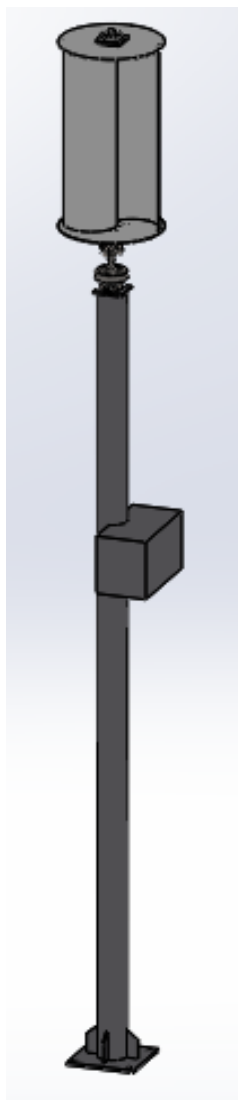
5.3. Diseñar y simular un análisis estático del arogenerador y la estructura de soporte utilizando el software SolidWorks.

5.3.1. Modelo 3D del sistema y diagrama unifilar

El proceso para diseñar los componentes es en primer lugar determinar las dimensiones y relaciones geométricas de las piezas, luego ya se procede a la creación de las piezas en 3D en el software SolidWorks.

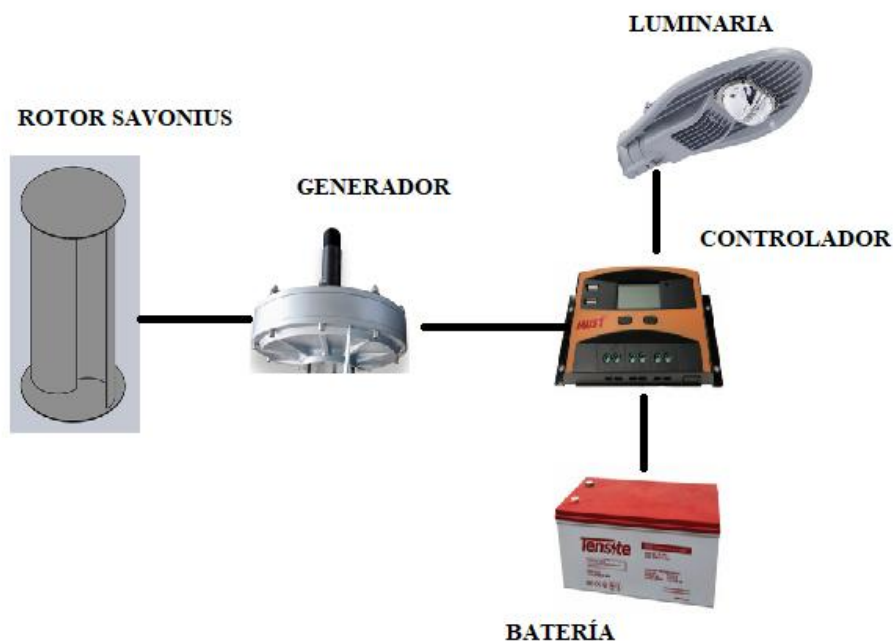
A partir de tener las piezas creadas se puede crear el ensamblaje, Solidworks tiene un espacio para integrar todos los componentes y obtener el modelo que queremos.

Figura 34. Modelo 3D del sistema de alumbrado público



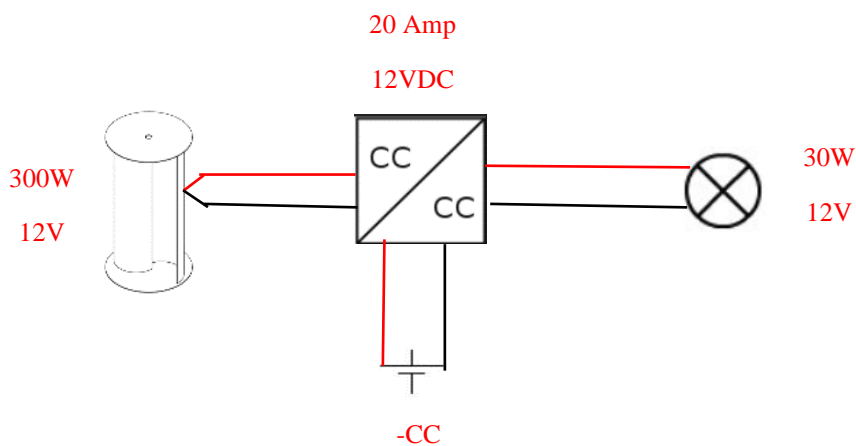
Fuente. Elaboración propia

Figura 35. Esquema de conexión del sistema



Fuente. Elaboración propia

El diagrama unifilar muestra los elementos que componen la instalación. Cada componente muestra las capacidades a las que opera. Este diagrama tiene el propósito de ser una referencia para acciones de mantenimiento u modificaciones.



5.3.2. Análisis estático

El software Solidworks nos permite simular un análisis estático de los componentes o de todo el ensamblaje por medio de un análisis por elementos finitos, y se puede calcular tensiones, desplazamientos, deformaciones y factor de seguridad.

Realizando un análisis estático se puede determinar la resistencia a las cargas a las que están sometidas las piezas y averiguar qué tan confiable es el diseño por medio del factor de seguridad, o si están sobredimensionados y podemos optimizarlos.

Realizaremos un análisis estático en el software Solidworks al poste, al eje del rotor y al álabe. Para ello, primero debemos hallar las cargas a las que están sometidos dichos elementos.

Para calcular la fuerza que tiene cada elemento debido a su peso, primero procedemos a calcular la masa de cada elemento con la ayuda del software viendo su peso en propiedades físicas.

Las masas de cada elemento son las siguientes:

$$m_{rotor} = 6,3235 \text{ kg}$$

$$m_{eje} = 22,67368 \text{ kg}$$

$$m_{rodamiento \text{ F4BESS FY 12 TF}} = 0,37 \text{ kg}$$

$$m_{generador \text{ de imanes permanentes}} = 24 \text{ kg}$$

$$m_{caja} = 13,21596 \text{ kg}$$

$$m_{poste} = 483,22394 \text{ kg}$$

Luego, multiplicamos por la aceleración de la gravedad $9,81 \text{ m/s}^2$, y tendremos la fuerza en N:

$$W_{rotor} = 62,0335 \text{ N}$$

$$W_{eje} = 222,4288 \text{ N}$$

$$W_{rodamiento \text{ F4BESS FY 12 TF}} = 3,6 \text{ N}$$

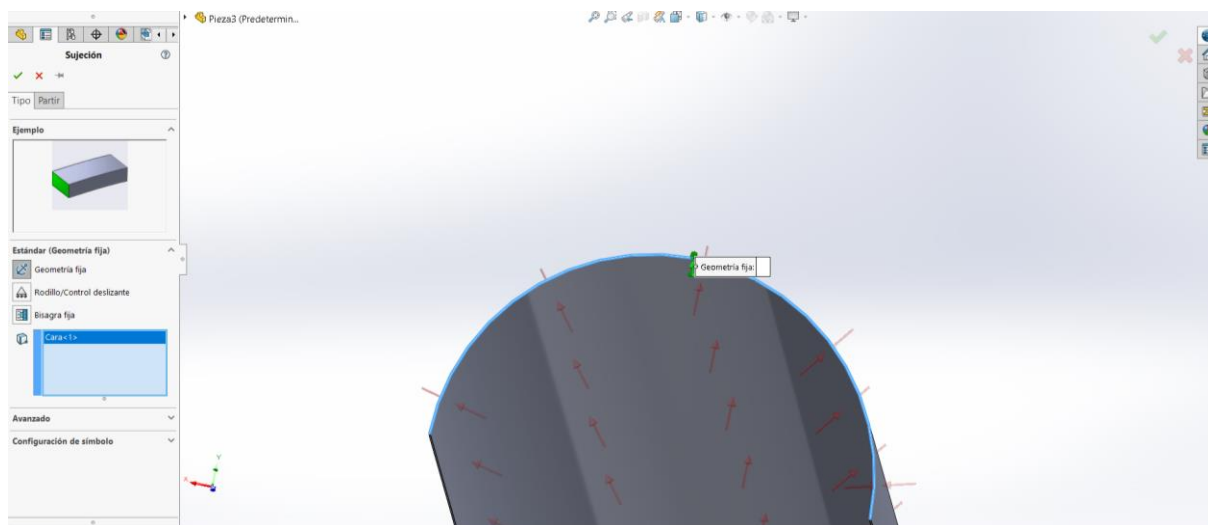
$$W_{generador \text{ de imanes permanentes}} = 235,44 \text{ N}$$

$$W_{caja} = 129,6486 \text{ N}$$

$$W_{poste} = 4740,4269 \text{ N}$$

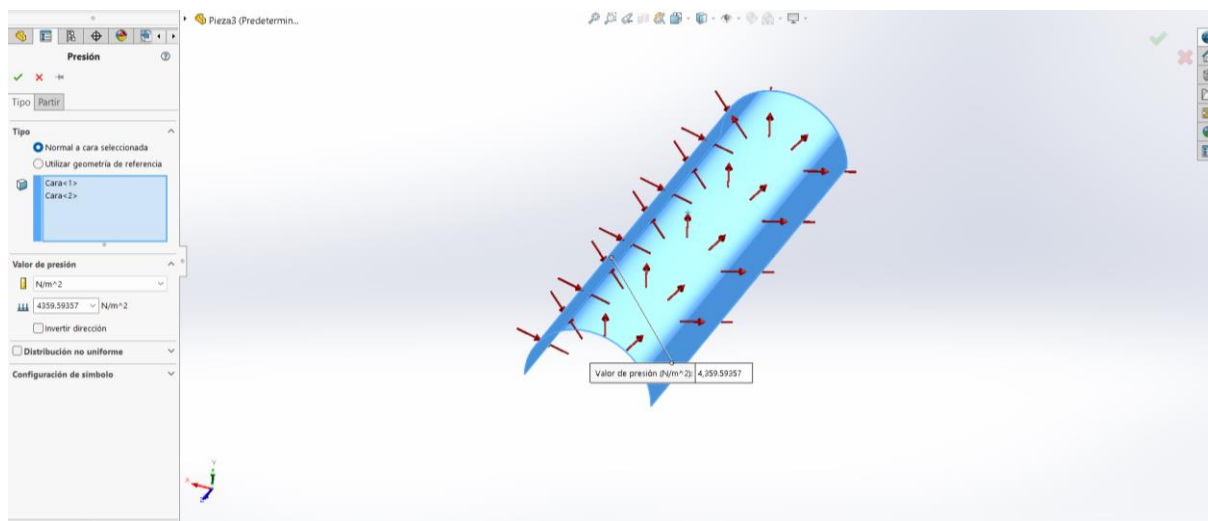
Primero, realizamos un análisis estático en el álabe, mediante el uso de a continuación se muestra los resultados:

Figura 36. Definiendo la parte fija del alabe anclado con las tapas

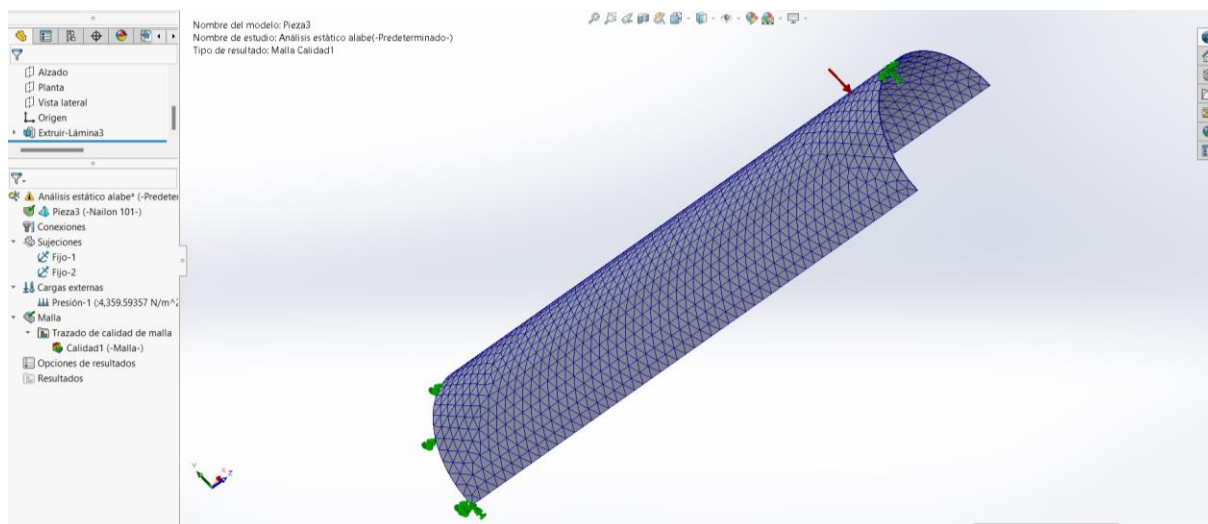


Fuente. Elaboración propia en Solidworks

Figura 37. La presión del viento que actúa en el álabe

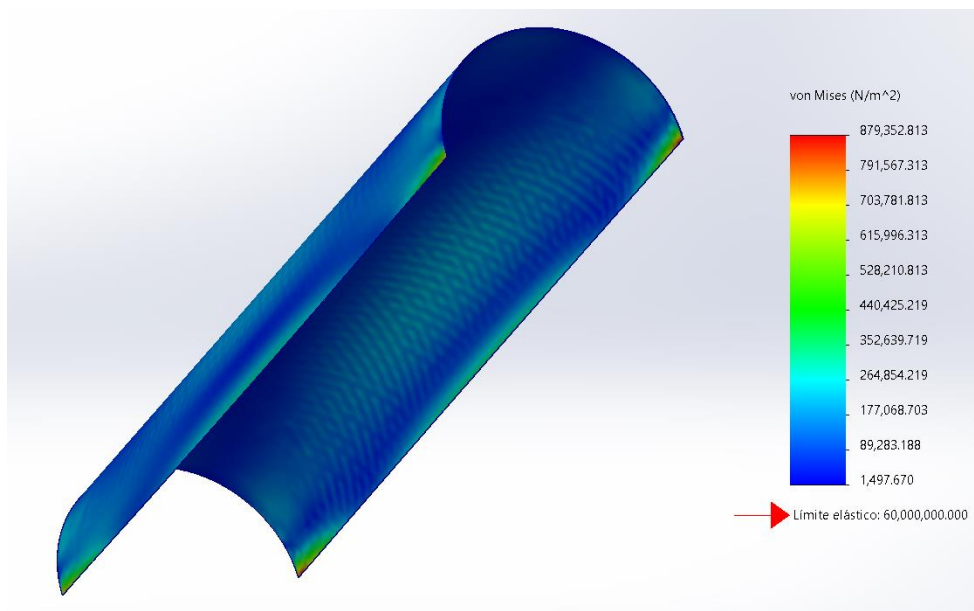


Fuente. Elaboración propia en Solidworks



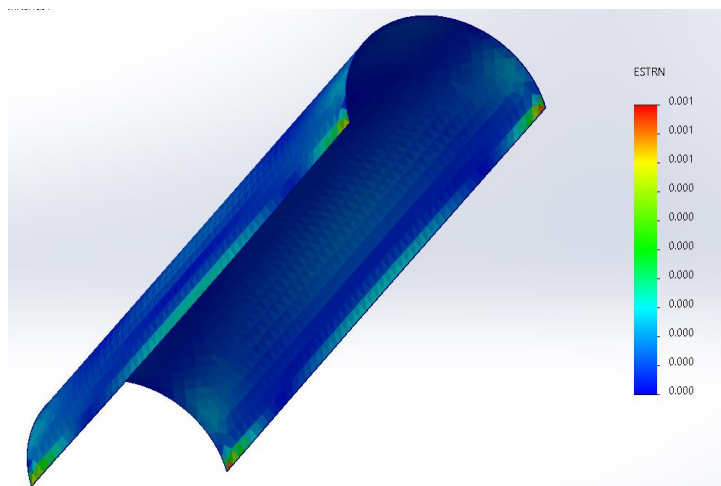
Fuente. Elaboración propia en Solidworks

Figura 38. Resultados de las tensiones de Von Mises (N/m²)



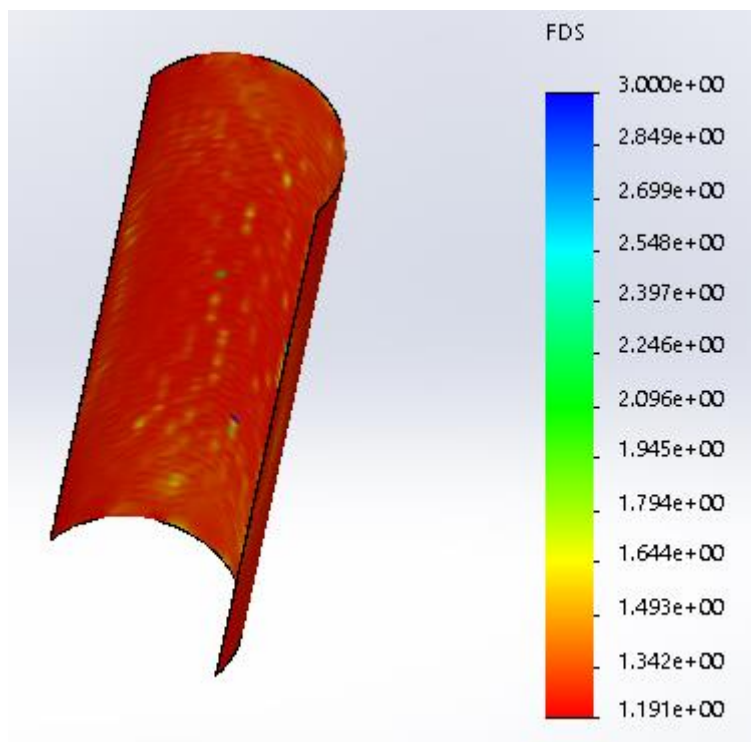
Fuente. Elaboración propia en Solidworks

Figura 39. Resultado de las deformaciones en el álabe



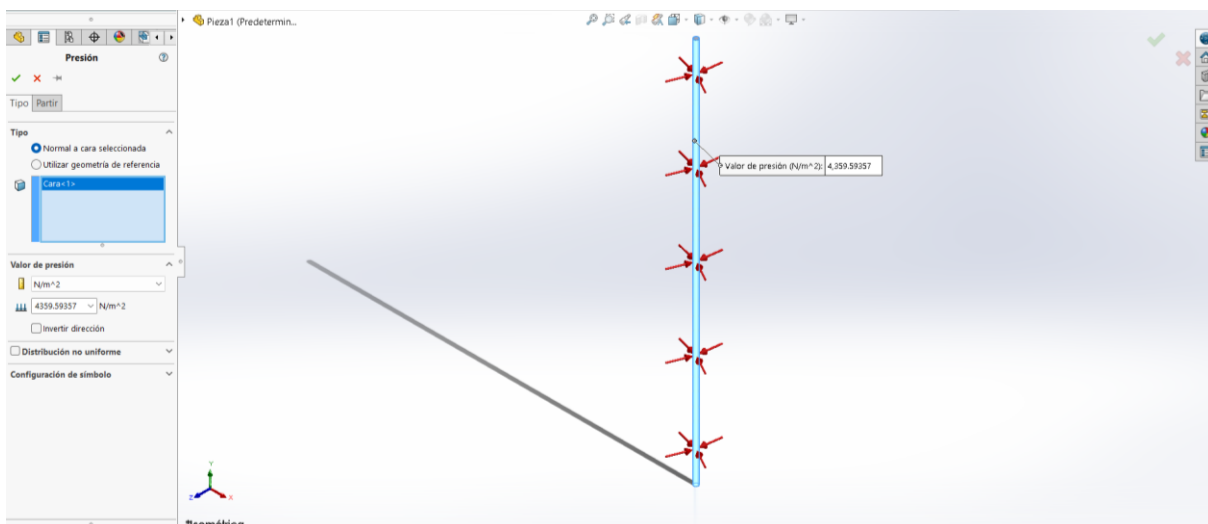
Fuente. Elaboración propia en Solidworks

Figura 40. Resultado del factor de seguridad en el álabe

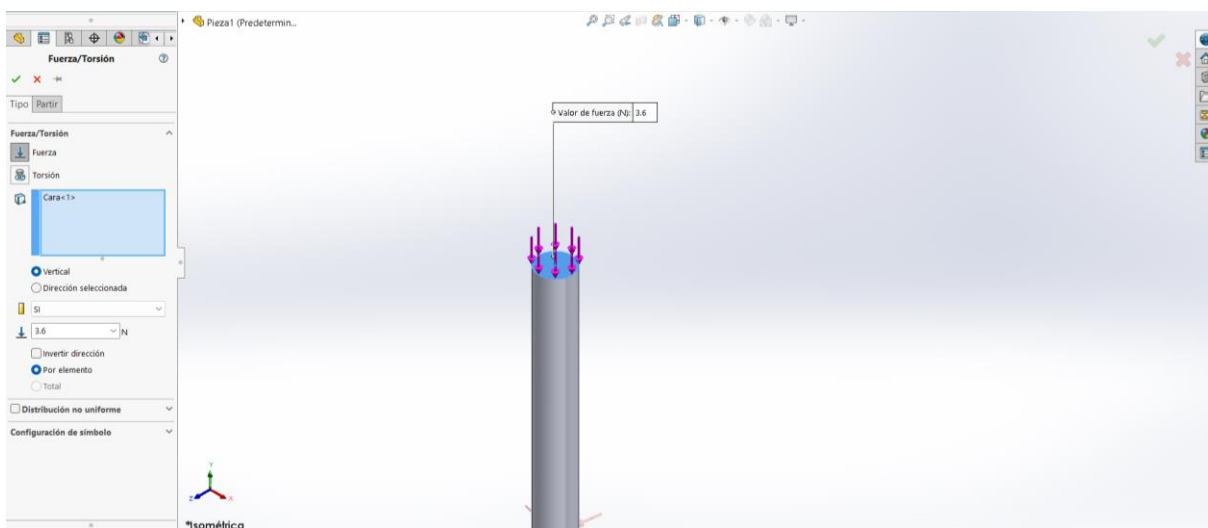


Fuente. Elaboración propia en Solidworks

Análisis estático en el eje:



Fuente. Elaboración propia en Solidworks



Fuente. Elaboración propia en Solidworks

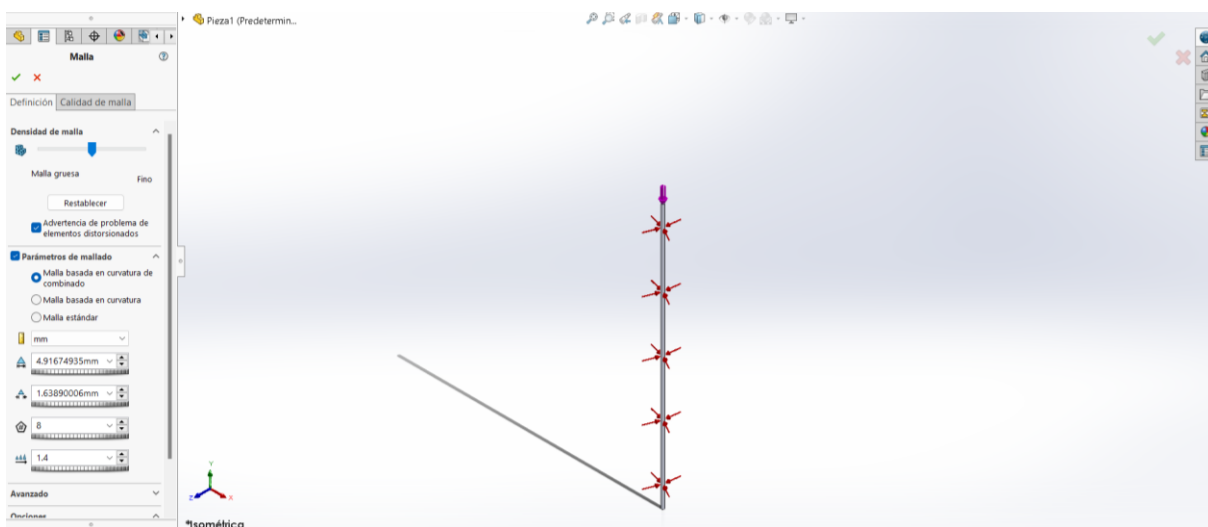
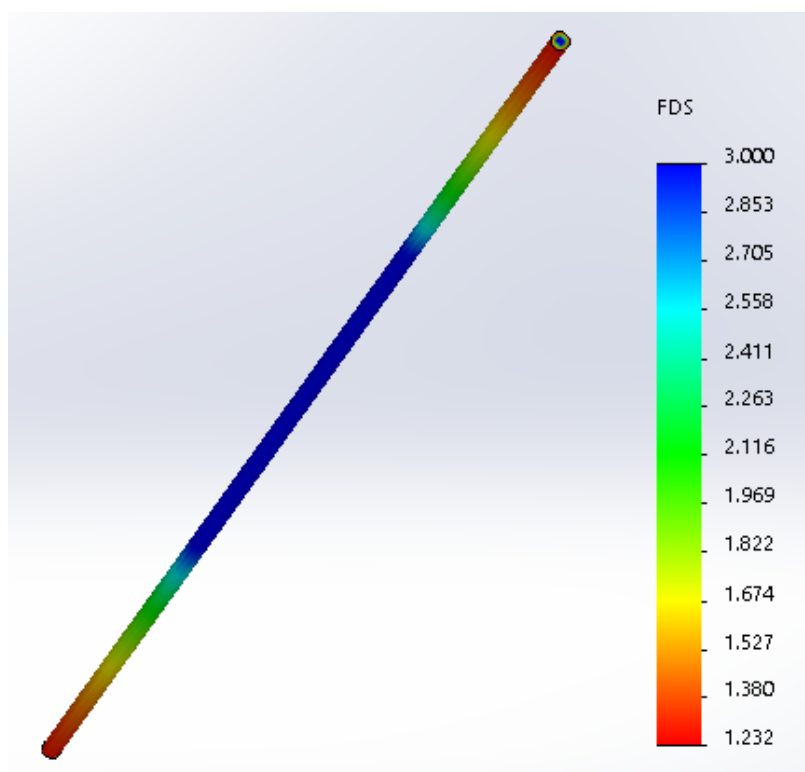


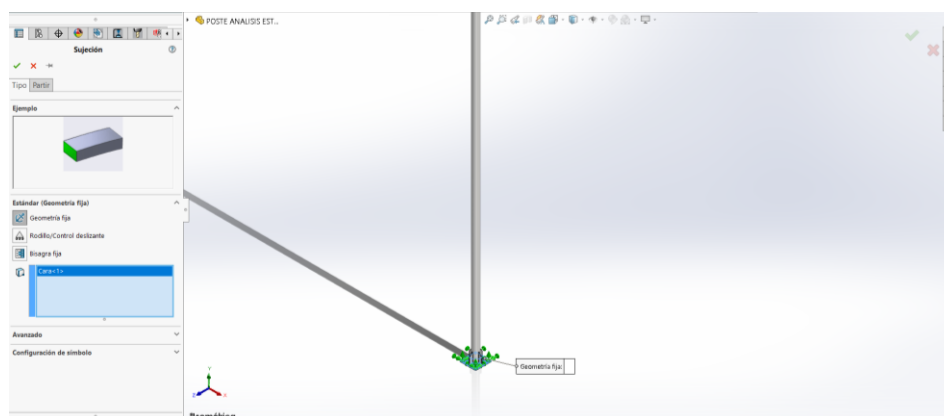
Figura 43. Resultado de factor de seguridad en el eje.



Fuente. Elaboración propia en Solidworks

Luego procedemos con el análisis estático del poste.

Figura 44. Fijación de la geometría fija que vendría a ser la base del poste



Fuente. Elaboración propia en Solidworks

Luego procedemos a colocar las fuerzas que actúan en el poste:

W_{total} que se ejerce sobre el poste =

$W_{rotor} + W_{eje} + W_{rodamiento F4BESS FY 12 TF} + W_{generador de imanes permanentes} + W_{caja} +$

$W_{rotor} = 62,0335 N$

$$W_{eje} = 222,4288 \text{ N}$$

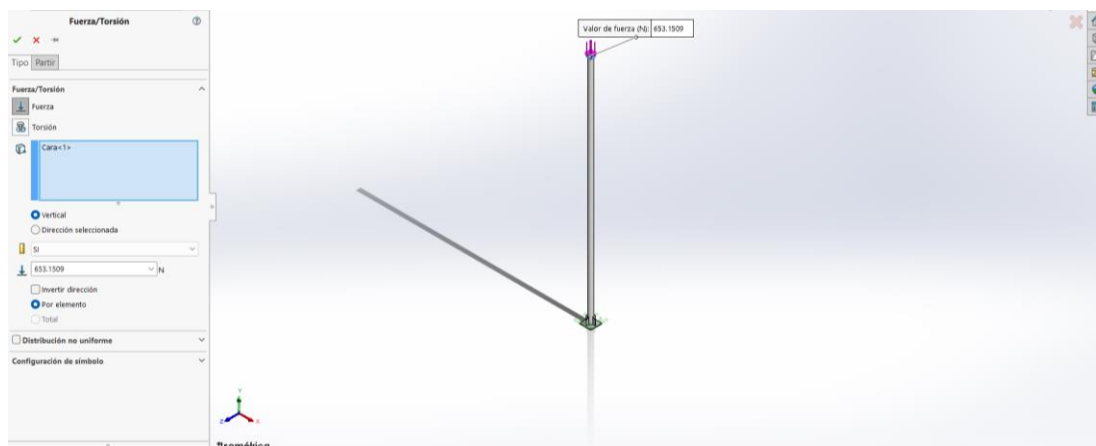
$$W_{\text{rodamiento F4BESS FY 12 TF}} = 3,6 \text{ N}$$

$$W_{\text{generador de imanes permanentes}} = 235,44 \text{ N}$$

$$W_{\text{caja}} = 129,6486 \text{ N}$$

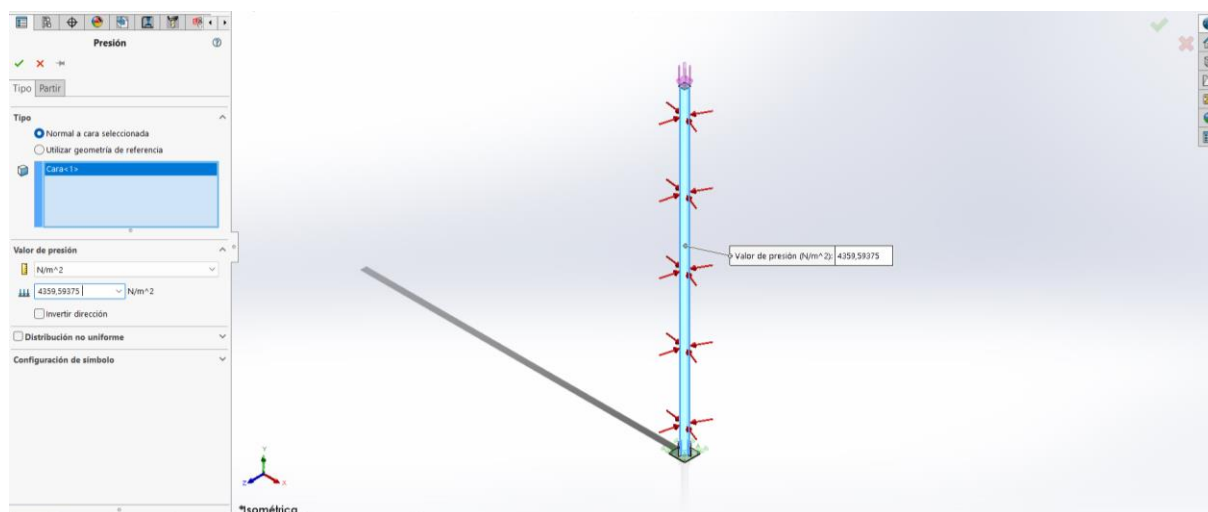
$$W_{\text{total que se ejerce sobre el poste}} = 653.1509 \text{ N}$$

Figura 45. Fuerzas que se ejercen sobre el poste por el peso de los componentes del aerogenerador



Fuente. Elaboración propia en Solidworks

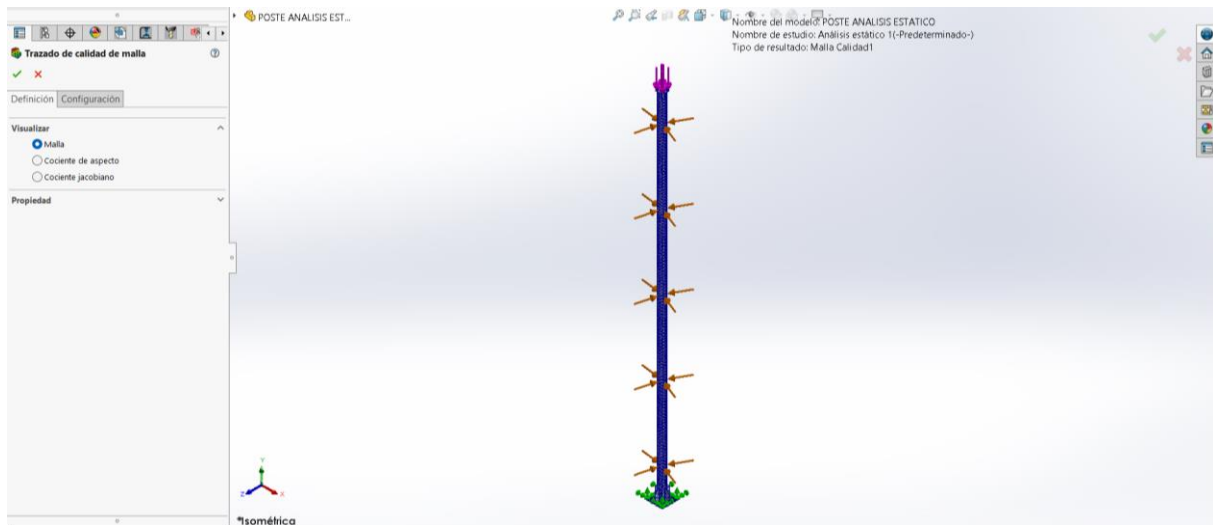
Figura 46. Presión del viento sobre el eje



Fuente. Elaboración propia en Solidworks

Realizamos el mallado:

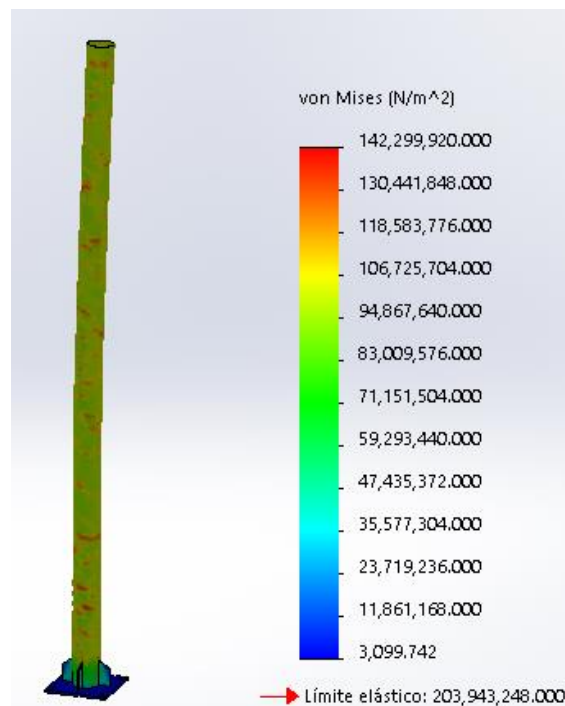
Figura 47. Mallado del poste en solidworks



Fuente. Elaboración propia en Solidworks

Luego ejecutamos el análisis estático y tenemos los siguientes resultados.

Figura 48. Resultado de tensión de Von Mises en el poste



Fuente. Elaboración propia en Solidworks

Figura 49. Resultados de las deformaciones del poste

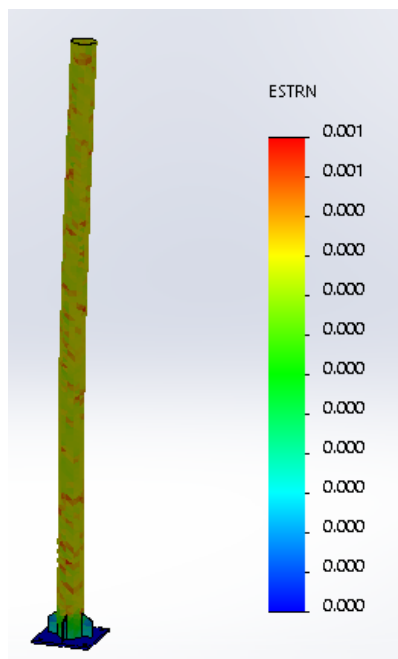
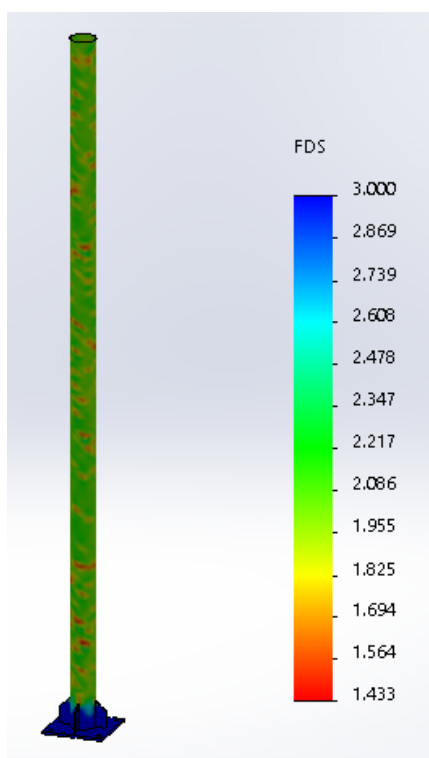


Figura 50. Resultados del factor de seguridad del poste



La mejor manera de garantizar el modelo es con el gráfico del factor de seguridad, en donde vemos que el modelo soporta las cargas con un factor mínimo de 1,433.

5.4. Realizar un análisis económico del sistema propuesto y comparar con el sistema de iluminación convencional de un parque.

A continuación, se procede a desarrollar un análisis económico referencial de los costos para la implementación del sistema.

5.4.1. Costos del sistema propuesto

Se elaboró la tabla con los cotos de materiales y equipos para el sistema:

Tabla 20. Costos de materiales y equipos

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total (S/)
1	Batería	Und	1	1605,17	S/1.605,17
2	Controlador	Und	1	108,51	S/108,51
3	Rodamientos	Und	3	20	S/60,00
4	Generador de imanes permanentes	Und	1	381,25	S/381,25
5	Poste de acero galvanizado 5m	Und	1	700	S/700,00
6	Eje de acero inoxidable al cromo 12mm	Und	1	73,81	S/73,81
7	Alabes	Und	2	200	S/400,00
8	Luminara	Und	10	213,64	S/2.136,40
9	Acople	Und	1	349,65	S/349,65
10	Pernos y arandelas	Und	1	100	S/100,00
Total					S/5.914,79

Fuente. Elaboración propia

Se elaboró la tabla con los costos de mano de obra:

Tabla 21. Costos de mano de obra

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total (S/)
1	Especialista	h-h	48	15	720,00
2	Operario	h-h	48	12	576,00
3	Ayudante	h-h	48	10	480,00
Total					1776,00

Fuente. Elaboración propia

Se considera también los costos indirectos como el traslado de materiales:

Tabla 22. Costos de transporte

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total (S/)
1	Traslado de materiales	Und	1	200	S/200,00
Total					S/200,00

Fuente. Elaboración propia

Costo total del sistema:

Tabla 23. Costo total

Item	Descripción	Costo total (/S)
1	Costo de materiales	S/5.914,79
2	Costo de mano de obra	S/1.776,00
3	Costo de transporte	S/200,00
Total		S/7.890,79

Fuente. Elaboración propia

5.4.2. Análisis del consumo de energía

En las siguientes gráficas se muestra el consumo anual de energía del sistema propuesto y del sistema convencional:

Tabla 24. Consumo de energía (kW.h) del sistema propuesto

Item	Luminaria	Cantidad	Potencia unitaria(W)	Potencia total (W)	Consumo de energía (kW.h)		
					Día (12h)	Mensual (360h)	Anual (4380)
1	Luminaria Led 30W naturaenergy	10	30	300	3,6	108	1290

Fuente. Elaboración propia

Tabla 25. Consumo de energía (kW.h) del sistema convencional

Item	Luminaria	Cantidad	Potencia unitaria(W)	Potencia total (W)	Consumo de energía (kW.h)		
					Día (12h)	Mensual (360h)	Anual (4380)
1	Luminaria Led 50W vapor de sodio	10	70	700	8,4	252	3010

Fuente. Elaboración propia

5.4.3. Costos por consumo de energía

Según la Norma de Opciones Tarifarias y Condiciones de Aplicación de las Tarifas a Usuario Final del Osinergmin nos indica que para el alumbrado público la opción tarifaria es Tarifa BT5C: Tarifa con simple medición de energía 1E.

En la siguiente tabla se muestra el pliego tarifario para Piura sector típico 2 con vigencia del 4 de junio 2021.

Tabla 26. Tarifa BT5C

TARIFA BT5C: TARIFA CON SIMPLE MEDICIÓN DE ENERGÍA 1E-Alumbrado Público		
	Unidad	Tarifa sin IGV
Cargo fijo mensual	S./mes	4,75
Cargo por energía activa	ctm. S./kW.h	65,05

Fuente. OSINERGMIN (osinergmin)

Aplicando la tarifa para un sistema convencional

Tabla 27. Costo por consumo de energía de sistema convencional

	Energía consumida (kW.h)	Cargo por energía	Cargo fijo (S/mes)	Total (S/)
Diario	8,4	0,6505	0,158333333	5,62
Mensual	252	0,6505	4,75	168,68
Anual	3010	0,6505	57	2015,01

Fuente. Elaboración propia

El costo del consumo de energía anual del sistema que se está proponiendo es cero, porque se está generando la propia energía.

Luego, realizando una comparación de costos por consumo de energía anual, se tiene lo siguiente:

Tabla 28. Comparación de costos

Costo anual con sistema convencional (S/)	Costo anual con sistema propuesto (S/)	Ahorro (S/)
S/2.015,01	S/0,00	S/2.015,01

Fuente. Elaboración propia

5.4.4. Cálculo de VAN y TIR

Se calcula el VAN (Valor Actual Neto) y TIR (Tasa Interna de Retorno) que nos servirán de ayuda para analizar la viabilidad de la propuesta a nivel económico.

De los datos anteriores encontrados se tiene:

Costo del consumo anual del sistema convencional: S/ 2015,01

Costo de consumo anual del sistema propuesto: S/ 0

Ahorro anual en consumo: S/ 2015,01

Costo anual de mantenimiento en sistema convencional: S/ 500

Costo anual de mantenimiento en sistema propuesto: S/789,079

Inversión requerida para la implementación del sistema (Costo promedio): S/

Tabla 29. Costos y recuperación de inversión

Año	Parámetro	Costo consumo anual de energía (S/)	Costo anual por mantenimiento (S/)	Costo total (S/)	Ahorro	Retorno de inversión
1	Sistema convencional	S/2.015,01	S/500,00	S/2.515,01	S/1.725,93	-S/6.164,86
	Sistema propuesto	S/0,00	S/789,08	S/789,08		
2	Sistema convencional	S/2.015,01	S/500,00	S/2.515,01	S/3.451,85	-S/4.438,94
	Sistema propuesto	S/0,00	S/789,08	S/789,08		
3	Sistema convencional	S/2.015,01	S/500,00	S/2.515,01	S/5.177,78	-S/2.713,01
	Sistema propuesto	S/0,00	S/789,08	S/789,08		
4	Sistema convencional	S/2.015,01	S/500,00	S/2.515,01	S/6.903,70	-S/987,09
	Sistema propuesto	S/0,00	S/789,08	S/789,08		
5	Sistema convencional	S/2.015,01	S/500,00	S/2.515,01	S/8.629,63	S/738,84
	Sistema propuesto	S/0,00	S/789,08	S/789,08		
6	Sistema convencional	S/2.015,01	S/500,00	S/2.515,01	S/10.355,56	S/2.464,77
	Sistema propuesto	S/0,00	S/789,08	S/789,08		
7	Sistema convencional	S/2.015,01	S/500,00	S/2.515,01	S/12.081,48	S/4.190,69
	Sistema propuesto	S/0,00	S/789,08	S/789,08		
8	Sistema convencional	S/2.015,01	S/500,00	S/2.515,01	S/13.807,41	S/5.916,62
	Sistema propuesto	S/0,00	S/789,08	S/789,08		
9	Sistema convencional	S/2.015,01	S/500,00	S/2.515,01	S/15.533,33	S/7.642,54
	Sistema propuesto	S/0,00	S/789,08	S/789,08		
10	Sistema convencional	S/2.015,01	S/500,00	S/2.515,01	S/17.259,26	S/9.368,47
	Sistema propuesto	S/0,00	S/789,08	S/789,08		
11	Sistema convencional	S/2.015,01	S/500,00	S/2.515,01	S/18.985,19	S/11.094,40
	Sistema propuesto	S/0,00	S/789,08	S/789,08		
12	Sistema convencional	S/2.015,01	S/500,00	S/2.515,01	S/20.711,11	S/12.820,32
	Sistema propuesto	S/0,00	S/789,08	S/789,08		
13	Sistema convencional	S/2.015,01	S/500,00	S/2.515,01	S/22.437,04	S/14.546,25
	Sistema propuesto	S/0,00	S/789,08	S/789,08		
14	Sistema convencional	S/2.015,01	S/500,00	S/2.515,01	S/24.162,96	S/16.272,17
	Sistema propuesto	S/0,00	S/789,08	S/789,08		
15	Sistema convencional	S/2.015,01	S/500,00	S/2.515,01	S/25.888,89	S/17.998,10
	Sistema propuesto	S/0,00	S/789,08	S/789,08		

Fuente. Elaboración propia

El valor actual neto y la tasa interna de retorno lo hallamos con la fórmula VNA y TIR en Excel respectivamente, se considera una tasa de interés del 12% y N=15.

Tabla 30. VAN y TIR

VAN	S/3.489,97
TIR	14%

Fuente. Elaboración propia

Como el VAN>0, quiere decir que obtendremos un resultado positivo en dicha inversión, por lo cual es proyecto es viable.

El valor de TIR de un 13% quiere decir que se trata de una propuesta atractiva, pues se esperaba una tasa de 12%.

Luego calculamos el plazo de recuperación de la inversión:

Plazo de recuperación= Periodo último retorno de inversión acumulado - (último retorno de inversión acumulado negativo/ Valor del ahorro anual en el siguiente periodo)

$$\text{Plazo de recuperación} = 5 - (| - 1739,45 | / 1799,89)$$

$$\text{Plazo de recuperación} = 4,03 \text{ años}$$

5.4.5. Reciclaje de las palas del aerogenerador

Las palas del aerogenerador están fabricadas con materiales compuestos como el nailon PA 6, que son resistentes y ligeros, pero se desechan al final de su vida útil.

Esto plantea varios problemas relacionados con la gestión de residuos, sin un tratamiento adecuado, los residuos pueden terminar en vertederos, donde pueden tardar cientos de años en descomponerse, y pueden causar un impacto negativo en la percepción pública y la sostenibilidad de la energía eólica, ya que ésta se considera una fuente de energía limpia; si no se gestiona adecuadamente, puede disminuir su atractivo desde el punto de vista medioambiental, convirtiéndose en símbolo de contaminación lo que va en contra de principios de sostenibilidad.

El reciclaje del nylon procedente de las palas de aerogeneradores abre muchas posibilidades, el enfoque principal debe ser aprovechar su durabilidad y versatilidad, transformándolo en productos de alto valor y contribuyendo a una economía circular sostenible, a continuación, se describen algunas aplicaciones para el nylon reciclado.

- El nylon reciclado puede ser reintroducido en el proceso de producción de nuevas palas mediante un proceso químico de despolimerización para obtener los monómeros originales los cuales pueden ser reutilizados para fabricar nuevo nylon.
- Piezas mecánicas como engranajes con aplicaciones para juguetes y dispositivos electrónicos.
- Debido a la alta resistencia y bajo peso del nylon reciclado, puede ser utilizado en componentes de vehículos y aeronaves en la industria automotriz.
- El nylon reciclado también es ideal para fabricar textiles técnicos, que se utilizan en aplicaciones como equipos de protección y ropa deportiva.

VI. Conclusiones

1. Se evaluó el recurso eólico mediante un análisis estadístico para encontrar el potencial eólico con la distribución de Weibull a partir de los datos obtenidos del Senamhi. Se encontró que el potencial eólico disponible para todo un año es de $1\,518\,309,48\text{ kWh/m}^2$.

2. Se dimensionó y calculó los componentes del aerogenerador a partir de una matriz morfológica. La mejor alternativa para el rotor fue el modelo Savonius, según criterios de que arranque a velocidades bajas, es de fácil montaje, no necesite mantenimiento, poco ruido y es eficiente. El material que se va a usar para los álabes y tapas es de Nylon técnico 6, para el eje un acero inoxidable al cromo de 12mm de espesor. Se seleccionó el generador de imanes permanentes quien será el encargado de transformar la energía obtenida del viento en eléctrica y los rodamientos que servirán de sujeción entre el eje y los álabes y entre el generador y el poste; la luminaria LED de 30W, el controlador de carga PWM LCD 20A 12/24V Must Solar, la batería GEL 12V 300Ah Tensite. Y el poste tendrá una altura de 5m y el material acero galvanizado.

3. Se diseñó el modelo 3D del sistema de producción de energía eléctrica mediante un aerogenerador en el software Solidworks, y también se realizó un análisis estático-estructural del álabes, el eje del rotor y el poste, donde se determinó las tensiones von Mises a las que están sometidos, las deformaciones unitarias y su factor de seguridad, en general, se encontró que las tensiones estaban por debajo del límite elástico del material, las deformaciones son pequeñas y el factor de seguridad mínimo está entre 1 y 1,5, lo que quiere decir que se tiene una buena confiabilidad en el diseño.

4. Se realizó un análisis económico del sistema propuesto, para el cual la inversión requerida para la implementación del sistema (Costo promedio) es de S/ 7890,79; y se comparó con un sistema convencional para iluminar un parque, considerando 10 lámparas con potencias de 30W y 70W respectivamente, y se encontró que el costo del consumo anual del sistema convencional S/ 2015,01. El plazo de recuperación de la inversión es de 4,43 años. Se calculó el VAN y TIR y los resultados nos indican que el proyecto es viable

VII.Recomendaciones

Para la parte de la recolección de datos del viento es preferible tomar los datos de la velocidad del viento en el mismo lugar de instalación con un anemómetro, con lo cual se tendría información más confiable, ya que las estaciones meteorológicas no son tan exactas y además se encuentran a una distancia del lugar de instalación del sistema que se quiera llevar a cabo.

Se recomienda realizar un análisis de flujo al rotor del aerogenerador para conocer el comportamiento que presenta ante las diversas velocidades.

VIII. Bibliografía

- [1] GESTIÓN, «gestión.pe,» 1 junio 2016. [En línea]: www.google.com/amp/s/gestion.pe/v/s/gestion.pe/economia/mem-iluminacion-representa-19-facturación-eléctrica-hogar-146276-noticia/%3foutputType=amp&_js_v=0.1&usqp=mp331AQFKAGwASA%253D#ampf=. [Último acceso: 21 mayo 2020].
- [2] C. d. I. F. Borreguero, «conama11.vsf.es,» [En línea]. Available: <http://www.conama11.vsf.es/conama10/download/files/conama2014/CT%202014/1896711490.pdf>. [Último acceso: 18 mayo 2020].
- [3] osinergmin, «osinergmin.gob.pe,» [En línea]. Available: <https://www.osinergmin.gob.pe/SitePages/default.aspx>.
- [4] «comexperu.org.pe,» [En línea]: <https://www.comexperu.org.pe/articulo/electrificacion-rural-no-perdamos-las-energias>.
- [5] G. current, «www.gecurrent.com,» [En línea]. Available: <https://www.gecurrent.com/ideas/la-es/la-importancia-del-alumbrado-publico-y-la-tecnologia-led>. [Último acceso: 19 mayo 2020].
- [6] G. C. Alonso, DISEÑO Y ANÁLISIS MECÁNICO DE ESTRUCTURAS-SOPORTE PARA FAROLAS SOLARES, Leganés: Universidad Carlos III de Madrid, 2015.
- [7] A. G. O. L. y. J. F. S. 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 Sede Cuenca, 2015.
- [8] «THE PATENT Invention Magazine,» [En línea]. Available: <https://www.thepatent.news/2019/12/19/turbine-light-wind/>.
- [9] «Forbes,» [En línea]. Available: <https://www.forbes.com/sites/jenniferhicks/2012/05/17/small-wind-energy-goes-urban-in-italy-korea-brazil-and-texas-yes-texas/#62fd88bd2af3>. [Último acceso: 24 Septiembre 2020].
- [10] C. A. Herrera, «Propuesta de prototipo de alumbrado inteligente y estudio lumínico en exteriores de la ermita de la Universidad de Piura, utilizando tecnología Light emitting diode (LED),» Universidad de Piura, Piura, 2018.
- [11] C. E. E. Usnayo, «Perfil de un aerogenerador tipo vertical en el edificio de 15 pisos de la Universidad Nacional del Altiplano Puno-2018,» Universidad Nacional del Altiplano Puno, Puno, 2018.
- [12] C. d. E. Renovable, «energia.gov.ar,» [En línea]. Available: http://www.energia.gov.ar/contenidos/archivos/publicaciones/libro_energia_eolica.pdf. [Último acceso: 29 mayo 2020].

- [13] M. D. E. Y. MINAS, ATLAS EÓLICO DEL PERÚ, Lima, 2016.
- [14] M. V. López, Ingeniería de la Energía Eólica, Marcona.
- [15] sistemamid, «sistemamid.com,» [En línea]. Available: https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2016-07-09_10-20-31135426.pdf. [Último acceso: 14 Mayo 2021].
- [16] mocicc, «www.mocicc.org,» [En línea]. Available: <https://www.mocicc.org/noticias/potencial-energetico-del-peru/>. [Último acceso: 14 05 2021].
- [17] «Senamhi.gob.pe,» [En línea].: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>.
- [18] «Meteoblue,» [En línea]. Available: https://www.meteoblue.com/es/tiempo/archive/windrose/eten_per%c3%ba_3697083?daterange=2020-09-24%20to%202020-10-01&domain=NEMSAUTO¶ms=wind%2Bdir10m&windRoseDegreeResolution=22.5&windRoseValueResolution=3&velocityunit=METER_PER_SECOND. [Último acceso: 1 10 2020].
- [19] O. energy. [En línea]. Available: http://opex-energy.com/eolica/tipos_aerogeneradores.html#1._SEGUN_EL_EJE_DE_GIRO_DEL_ROTOR..
- [20] naturaenergy.cl. [En línea]. Available: <https://www.naturaenergy.cl/product/luminaria-led-30w-12v-para-alumbrado-publico>. [Último acceso: 19 5 2021].
- [21] «Plasticbages Industrial, S.L.,» [En línea]. Available: <http://www.plasticbages.com/caracteristicasnylon.html>.
- [22] R. G. B. y. J. K. Nisbett, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley.
- [23] [En línea]. Available: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/disc-coreless-permanent-magnet-generator-coreless-wind-generator-60835833810.html?spm=a2700.details.0.0.2add439ar2Nio9>.
- [24] «skf,» [En línea]. Available: <https://www.skf.com/pe>. [Último acceso: 24 Noviembre 2020].
- [25] «AutoSolar,» [En línea]. Available: <https://autosolar.pe/controladores-de-carga-pwm/controlador-carga-steca-6a-solsum-12v-24v>. [Último acceso: 24 Noviembre 2020].
- [26] J. F. M. Díaz, Desarrollo de un Sistema de Iluminación Solar Para el Ahorro de Energía Eléctrica en el Alumbrado Público de México, Tarragona: Universidad Rovira i Virgili., 2018.

- [27] J. A. P. Zuloeta, «Diseño de un sistema de iluminación fotovoltaico mediante tecnología LED para el parque central de la provincia de Jaén-Cajamarca,» Universidad Nacional de Jaén, Jaén, 2019.
- [28] P. F. Diez, Energía eólica, España: Servicio Publicaciones E.T.S.I. Industriales y T..
- [29] «Teoría y cálculo de estructuras,» Escuela Politécnica Superior de Ávila.
- [30] L. R. H. Bravo, Diseño de un aerogenerador vertical modelo darrius para ensayos en el túnel de viento del laboratorio de energía de la PUCP, Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2016.
- [31] O. I. G. Torres, Análisis, diseño, construcción y optimización de aerogenerador para micro generación eléctrica, Tijuana: Instituto Tecnológico de Tijuana, 2016.
- [32] C. M.-B. H. A.-B. Rodolfo Chacón-Avilés, Proceso de diseño de sistemas de iluminación LED energéticamente autónomos, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería en Electrónica. , 2017.
- [33] M. Á. M. Bayonas, Medidas de eficiencia energética en alumbrado exterior., Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena, 2013.
- [34] J. F. Q. JORGE VÉLEZ SARMIENTO, DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO CON SUMINISTRO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA URBANIZACIÓN VALLE DEL SOL GIRARDOT – CUNDINAMARCA., Bogotá: CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS, 2015.
- [35] NASA, «NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources,» [En línea]. Available: <https://power.larc.nasa.gov/>. [Último acceso: Septiembre 2020].
- [36] J. Z. G. Lorena Arbeloa Sola, «Diseño de un aerogenerador vertical tipo savonius para electrificación rural,» Universidad Pública de Navarra, Pamplona, 2012.
- [37] R. L. Mott, Diseño de elementos de máquinas.
- [38] M. d. E. y. Minas, «R.M. N° 013-2003-EM/DM.- Norma técnica de alumbrado de vías públicas en zonas de concesión de distribución.».
- [39] G. J. P. y. K. U. S. Argemiro Palencia Díaz, «Modelado computacional de turbina Savonius,» Universidad Autónoma del Caribe, Barranquilla, Colombia, 2015.
- [40] J. M. Rodriguez Devis. [En línea]. Available: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ingainv/article/view/19535/20560>.
- [41] «emaxtienda.com,» [En línea]. Available: <https://www.emaxtienda.com/producto/lampara-led-solar-de-calle-para-alumbrado-publico-de-20-watts-nwn-20w-s5/>. [Último acceso: 28 Octubre 2020].

- [42] C. C.-M. A. M.-P. Mauricio Carrillo-Rosero, «Caracterización de un generador de flujo axial para aplicaciones en energía eólica,» Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, 2018.
- [43] T. composites. [En línea]. Available: <http://www.tecnipul.com/es/caracteristicas-tecnicas.php>.
- [44] [En línea]. https://spanish.alibaba.com/product-detail/0-1nm-start-torque-30w-vertical-wind-turbine-permanent-magnet-alternator-coreless-disc-generator-1600074612581.html?spm=a2700.7724857.normal_offer.d_title.faf24b6cKdrzTI. [Último acceso: 19 05 2021].
- [45] «<http://ikastaroak.ulhi.net/>,» [En línea].: http://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/ISF/ISF06/es_IEA_ISF06_Contentidos/website_12_rendimiento_global_y_energa_requerida.html. [Último acceso: 26 Mayo 2021].
- [46] B. A. Kramer, C.-C. Chen, M. Lee y J. L. Volakis, «Fundamental Limits and Design Guidelines for Miniaturizing Ultra-Wideband Antennas,» IEEE Antennas and Propagation Magazine, 2009.
- [47] GESTIÓN, «gestion.pe,» 1 junio 2016. [En línea]. www.google.com/amp/s/gestion.pe/v/s/gestion.pe/economia/mem-iluminacion-representa-19-facturación-eléctrica-hogar-146276-noticia/%3foutputType=amp&_js_v=0.1&usqp=mp331AQFKAGwASA%253D#a%26ampf=. [Último acceso: 21 mayo 2020].
- [48] C. d. I. F. Borreguero, «conama11.vsf.es,» [En línea]. <http://www.conama11.vsf.es/conama10/download/files/conama2014/CT%202014/1896711490.pdf>. [Último acceso: 18 mayo 2020].
- [49] OCTAL, , «<https://www.octalacero.com/dimensiones-de-tubos-cedula-40-80>» 1 junio 2020. [En línea]. <https://www.octalacero.com/dimensiones-de-tubos-cedula-40-80>

IX. Anexos

Tabla 31. Datos meteorológicos de la estación Huarmaca

Estación : HUARMACA						
Departamento:	PIURA	Provincia :	HUANCABAMBA	Distrito :	HUARMACA	
Latitud :	5°33'57,1"	Longitud :	79°31'31,6"	Altitud :	2171 msnm,	
Tipo :	EMA - Meteorológica	Código :	4.73E+11			
AÑO / MES / DÍA	HORA	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITACIÓN (mm/hora)	HUMEDAD (%)	DIRECCION DEL VIENTO (°)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)
1/09/2016	00:00	12	0	90	93	0.5
1/09/2016	01:00	11.8	0	89	89	3.2
1/09/2016	02:00	11.2	0	99	149	4
1/09/2016	03:00	11.7	0	93	158	3.1
1/09/2016	04:00	12.3	0	70	137	3.3
1/09/2016	05:00	12.1	0.1	70	75	8.5
1/09/2016	06:00	12.4	0	84	28	1.2
1/09/2016	07:00	13.6	0	69	92	5.9
1/09/2016	08:00	14.2	0	73	97	3
1/09/2016	09:00	14.8	0	68	89	7
1/09/2016	10:00	17.1	0	57	82	3.9
1/09/2016	11:00	16.1	0	74	157	8.8
1/09/2016	12:00	15.8	0	70	155	9.1
1/09/2016	13:00	16.2	0	68	150	4.5
1/09/2016	14:00	16.8	0	66	101	5
1/09/2016	15:00	19.2	0	68	277	1.4
1/09/2016	16:00	17.7	0	73	289	3.5
1/09/2016	17:00	16.1	0	81	299	4.5
1/09/2016	18:00	14.6	0.6	91	149	0.3
1/09/2016	19:00	15.5	0	70	149	0.5
1/09/2016	20:00	14	0.3	82	104	2.1
1/09/2016	21:00	14.4	0	79	94	3.7
1/09/2016	22:00	13.2	0	84	270	0
1/09/2016	23:00	12.7	0	89	270	0
2/09/2016	00:00	12.1	0	88	270	0
2/09/2016	01:00	12.6	0	89	270	0
2/09/2016	02:00	12.6	0	93	181	3.2
2/09/2016	03:00	12.7	0	90	145	3.8
2/09/2016	04:00	12.7	0	89	151	6.6
2/09/2016	05:00	12.2	0	96	137	3.5
2/09/2016	06:00	12.2	0	95	128	5.6
2/09/2016	07:00	12.6	0	95	117	6

2/09/2016	08:00	14.1	0	88	140	5.9
2/09/2016	09:00	15.4	0	79	150	10.2
2/09/2016	10:00	17.2	0	68	169	11.6
2/09/2016	11:00	17.7	0	76	297	3
2/09/2016	12:00	16.4	0	80	304	3.5
2/09/2016	13:00	17.1	0	77	300	4.2
2/09/2016	14:00	16.7	0	79	300	4.3
2/09/2016	15:00	17.2	0	77	309	6.7
2/09/2016	16:00	13.8	0	91	300	5.8
2/09/2016	17:00	13.1	0	96	306	5.1
2/09/2016	18:00	12	0	99	297	2.3
2/09/2016	19:00	12.2	0	95	150	6.3
2/09/2016	20:00	14.8	0	68	81	5
2/09/2016	21:00	14.6	0	72	74	4.3
2/09/2016	22:00	15.5	0	70	93	4.6
2/09/2016	23:00	14.5	0	67	107	5
3/09/2016	00:00	13.8	0	82	154	4.2
3/09/2016	01:00	13.4	0	84	149	4.3
3/09/2016	02:00	13.3	0	81	138	3.1
3/09/2016	03:00	12.1	0	85	143	1.9
3/09/2016	04:00	12.1	0	92	150	3.6
3/09/2016	05:00	11.2	0	95	148	4.4
3/09/2016	06:00	12.3	0	87	150	2.9
3/09/2016	07:00	15.2	0	62	66	6.1
3/09/2016	08:00	14.7	0	77	148	4.7
3/09/2016	09:00	16.7	0	67	178	8
3/09/2016	10:00	19.1	0	64	11	4.5
3/09/2016	11:00	18	0	69	310	3.1
3/09/2016	12:00	16.1	0	79	271	5.3
3/09/2016	13:00	17.7	0	72	295	4
3/09/2016	14:00	18.6	0	67	303	7.3
3/09/2016	15:00	16.1	0	79	306	5.7
3/09/2016	16:00	14	0	89	293	4.1
3/09/2016	17:00	12.7	0	96	298	3.7
3/09/2016	18:00	11.5	0	99	307	2.8
3/09/2016	19:00	10.7	0	99	270	0
3/09/2016	20:00	12.3	0	79	74	3.6
3/09/2016	21:00	11.5	0	86	312	1.3
3/09/2016	22:00	13.5	0	75	115	0.3
3/09/2016	23:00	13.4	0	75	69	2.1
4/09/2016	00:00	14.2	0	71	86	4.6
4/09/2016	01:00	13	0	78	113	0.6
4/09/2016	02:00	12.7	0	78	270	0
4/09/2016	03:00	12.4	0	78	78	1.5
4/09/2016	04:00	12.1	0	78	100	3.1
4/09/2016	05:00	12.4	0	86	179	0.8

4/09/2016	06:00	11.9	0	83	270	0
4/09/2016	07:00	12.2	0	80	119	3.8
4/09/2016	08:00	14.2	0	77	134	5.9
4/09/2016	09:00	16.7	0	64	143	7.1
4/09/2016	10:00	19.3	0	44	70	3.7
4/09/2016	11:00	18.3	0	69	292	5.4
4/09/2016	12:00	17.4	0	73	296	6.6
4/09/2016	13:00	19.2	0	65	300	7.9
4/09/2016	14:00	19.2	0	64	299	7.2
4/09/2016	15:00	15.1	0	81	304	7
4/09/2016	16:00	13.1	0	91	295	6.2
4/09/2016	17:00	12.1	0	98	287	5.3
4/09/2016	18:00	11.8	0	99	270	0
4/09/2016	19:00	11.9	0	99	270	0
4/09/2016	20:00	11.2	0	100	314	0.4
4/09/2016	21:00	11.9	0	99	143	4.2
4/09/2016	22:00	14.2	0	73	86	4.3
4/09/2016	23:00	13	0	83	13	0.4
5/09/2016	00:00	14.2	0	77	88	5.9
5/09/2016	01:00	14.5	0	75	120	4.2
5/09/2016	02:00	11.5	0	90	165	3.9
5/09/2016	03:00	12.6	0	89	143	5.4
5/09/2016	04:00	12.7	0	85	126	6.5
5/09/2016	05:00	13.5	0	84	138	5.2
5/09/2016	06:00	12.3	0	89	157	6.8
5/09/2016	07:00	12.4	0	89	155	5.9
5/09/2016	08:00	15	0	75	193	9.5
5/09/2016	09:00	15.5	0	73	170	11.2
5/09/2016	10:00	17.1	0	66	157	10.7
5/09/2016	11:00	19.1	0	52	143	4.9
5/09/2016	12:00	20.3	0	46	124	5.1
5/09/2016	13:00	22.3	0	56	278	2
5/09/2016	14:00	19.7	0	63	304	6.4
5/09/2016	15:00	19.7	0	63	305	5.2
5/09/2016	16:00	18.5	0	69	306	5.5
5/09/2016	17:00	18.2	0	70	309	5
5/09/2016	18:00	12.7	0	96	300	2.1
5/09/2016	19:00	13.1	0	94	137	1.8
5/09/2016	20:00	17.1	0	52	120	2.7
5/09/2016	21:00	16.4	0	59	166	1.2
5/09/2016	22:00	16.1	0	64	122	5.4
5/09/2016	23:00	15.6	0	63	116	1.5
6/09/2016	00:00	15.6	0	60	59	2.7
6/09/2016	01:00	15.1	0	67	232	2.7
6/09/2016	02:00	14.2	0	74	171	5.3
6/09/2016	03:00	13.8	0	79	140	7

6/09/2016	04:00	14	0	75	164	6.9
6/09/2016	05:00	12.9	0	84	142	5.2
6/09/2016	06:00	12.4	0	89	143	6.8
6/09/2016	07:00	12.9	0	86	147	7.4
6/09/2016	08:00	14.8	0	78	158	7.4
6/09/2016	09:00	15.4	0	72	168	6.9
6/09/2016	10:00	19.4	0	52	301	0.6
6/09/2016	11:00	19	0	53	139	6
6/09/2016	12:00	18.4	0	68	291	3.7
6/09/2016	13:00	18.1	0	70	303	4.8
6/09/2016	14:00	17.2	0	73	298	5.1
6/09/2016	15:00	21.2	0	57	295	4.1
6/09/2016	16:00	18.2	0	69	297	5.8
6/09/2016	17:00	19.1	0	64	300	4.5
6/09/2016	18:00	17.1	0	54	34	11.1
6/09/2016	19:00	15.8	0	59	80	2.8
6/09/2016	20:00	15.6	0	56	96	1.9
6/09/2016	21:00	15.1	0	59	104	5.6
6/09/2016	22:00	14.5	0	59	99	4.8
6/09/2016	23:00	14.2	0	60	68	2.4
7/09/2016	00:00	14.2	0	67	153	3.8
7/09/2016	01:00	15	0	58	141	5
7/09/2016	02:00	14.1	0	66	132	3.1
7/09/2016	03:00	13.5	0	60	114	4.9
7/09/2016	04:00	12.7	0	77	151	2.8
7/09/2016	05:00	12.9	0	77	141	4.2
7/09/2016	06:00	13.2	0	75	161	2.5
7/09/2016	07:00	13.3	0	72	161	3.1
7/09/2016	08:00	16.7	0	47	38	1.3
7/09/2016	09:00	18.5	0	41	51	1.7
7/09/2016	10:00	19.4	0	35	27	5.7
7/09/2016	11:00	20.9	0	31	77	4.9
7/09/2016	12:00	19.7	0	33	68	8.7
7/09/2016	13:00	19.8	0	35	27	3.9
7/09/2016	14:00	19.3	0	62	303	7.8
7/09/2016	15:00	18.5	0	66	293	7.4
7/09/2016	16:00	18.2	0	66	307	7
7/09/2016	17:00	15.3	0	79	294	4.8
7/09/2016	18:00	13.7	0	87	305	3.2
7/09/2016	19:00	11.3	0	99	110	0.6
7/09/2016	20:00	14	0	63	99	0.5
7/09/2016	21:00	15.9	0	54	50	8.6
7/09/2016	22:00	14.4	0	55	10	6.4
7/09/2016	23:00	14	0	62	55	4
8/09/2016	00:00	12.7	0	69	101	1.6
8/09/2016	01:00	13.2	0	67	80	6.4

8/09/2016	02:00	13.2	0	69	82	4.6
8/09/2016	03:00	13.1	0	68	79	3.4
8/09/2016	04:00	13.3	0	71	113	5.9
8/09/2016	05:00	12.2	0	79	121	5.2
8/09/2016	06:00	11.5	0	85	139	5
8/09/2016	07:00	11.9	0	85	147	6.8
8/09/2016	08:00	14.2	0	72	144	8.6
8/09/2016	09:00	15.8	0	60	146	10.4
8/09/2016	10:00	18	0	48	147	6.4
8/09/2016	11:00	20.3	0	38	41	5.7
8/09/2016	12:00	20.1	0	38	33	8.1
8/09/2016	13:00	20.4	0	37	30	10.9
8/09/2016	14:00	20.2	0	57	353	5.7
8/09/2016	15:00	19.5	0	62	305	9.5
8/09/2016	16:00	19.8	0	60	308	8.1
8/09/2016	17:00	18	0	68	306	6.6
8/09/2016	18:00	15	0	80	300	5.6
8/09/2016	19:00	17.1	0	50	38	7
8/09/2016	20:00	15.9	0	53	54	5.5
8/09/2016	21:00	16.5	0	55	59	6.8
8/09/2016	22:00	15.8	0	58	23	5.3
8/09/2016	23:00	15.1	0	56	32	7.1
9/09/2016	00:00	15.8	0	57	43	6.3
9/09/2016	01:00	16	0	53	63	3.6
9/09/2016	02:00	14.3	0	53	69	0.9
9/09/2016	03:00	14.5	0	52	76	5.4
9/09/2016	04:00	15	0	54	85	5.6
9/09/2016	05:00	14.5	0	51	83	7.1
9/09/2016	06:00	14.4	0	53	87	6.9
9/09/2016	07:00	13.3	0	60	140	4.4
9/09/2016	08:00	16	0	56	146	3.5
9/09/2016	09:00	17.9	0	48	118	5.5
9/09/2016	10:00	19.9	0	42	144	3
9/09/2016	11:00	20.9	0	36	37	6.2
9/09/2016	12:00	18.9	0	65	288	5.9
9/09/2016	13:00	20.8	0	58	296	7.7
9/09/2016	14:00	19.1	0	64	301	9.7
9/09/2016	15:00	17.7	0	70	296	6.3
9/09/2016	16:00	15	0	81	293	6.6
9/09/2016	17:00	12.9	0	90	297	4.8
9/09/2016	18:00	11.5	0	99	309	3
9/09/2016	19:00	10.6	0	99	44	1.1
9/09/2016	20:00	10.8	0	100	307	1.4
9/09/2016	21:00	11.2	0	93	38	2.7
9/09/2016	22:00	16.2	0	60	38	7.5
9/09/2016	23:00	16.5	0	59	38	9.8

10/09/2016	00:00	14.9	0	66	92	1
10/09/2016	01:00	12.8	0	84	270	0
10/09/2016	02:00	15	0	68	54	3.5
10/09/2016	03:00	14.5	0	70	132	0.9
10/09/2016	04:00	14.2	0	73	118	3.5
10/09/2016	05:00	14.6	0	65	58	5.5
10/09/2016	06:00	13.8	0	70	80	5.3
10/09/2016	07:00	14.7	0	63	87	4.9
10/09/2016	08:00	15.9	0	58	128	6.6
10/09/2016	09:00	18.3	0	43	90	8.1
10/09/2016	10:00	20.1	0	37	85	8.4
10/09/2016	11:00	20	0	33	84	8.4
10/09/2016	12:00	21.1	0	30	69	5
10/09/2016	13:00	22	0	29	18	4.7
10/09/2016	14:00	21.3	0	33	315	5.2
10/09/2016	15:00	20.3	0	58	308	8.8
10/09/2016	16:00	17.8	0	68	303	7.1
10/09/2016	17:00	17.8	0	67	324	8.9
10/09/2016	18:00	17.7	0	47	65	13
10/09/2016	19:00	17.1	0	48	71	13.8
10/09/2016	20:00	16.9	0	48	72	11.1
10/09/2016	21:00	16.1	0	54	56	2
10/09/2016	22:00	15.1	0	55	64	5
10/09/2016	23:00	16.3	0	52	67	3.8
11/09/2016	00:00	15	0	56	107	2.8
11/09/2016	01:00	14.1	0	60	270	0
11/09/2016	02:00	13.2	0	66	137	3.9
11/09/2016	03:00	13.3	0	67	97	5.2
11/09/2016	04:00	12.4	0	74	98	5.6
11/09/2016	05:00	12.7	0	76	109	5.1
11/09/2016	06:00	11.9	0	80	114	4.8
11/09/2016	07:00	12.6	0	76	102	5.2
11/09/2016	08:00	15.8	0	65	128	4.1
11/09/2016	09:00	18	0	51	146	3.8
11/09/2016	10:00	18.9	0	43	153	4.2
11/09/2016	11:00	22.9	0	30	289	3.8
11/09/2016	12:00	22	0	27	321	1
11/09/2016	13:00	22	0	45	20	3.2
11/09/2016	14:00	21.6	0	51	306	6.1
11/09/2016	15:00	22	0	52	301	7.2
11/09/2016	16:00	20	0	60	304	6.9
11/09/2016	17:00	17.3	0	71	288	7.4
11/09/2016	18:00	13.7	0	88	295	3.8
11/09/2016	19:00	12.2	0	99	134	1.9
11/09/2016	20:00	15.7	0	56	46	3.2
11/09/2016	21:00	15	0	60	32	0

11/09/2016	22:00	16.6	0	52	52	7.7
11/09/2016	23:00	15.3	0	59	68	5.6
12/09/2016	00:00	14.4	0	62	83	6.6
12/09/2016	01:00	14.6	0	62	70	8.3
12/09/2016	02:00	13.4	0	71	270	0
12/09/2016	03:00	13.9	0	72	118	5.4
12/09/2016	04:00	13.4	0	69	104	2.4
12/09/2016	05:00	13.5	0	74	123	1.3
12/09/2016	06:00	14.1	0	65	80	4.9
12/09/2016	07:00	13.6	0	78	135	5.4
12/09/2016	08:00	15.6	0	70	184	7.3
12/09/2016	09:00	19.1	0	59	302	1.8
12/09/2016	10:00	19.9	0	52	286	1.3
12/09/2016	11:00	17.8	0	69	308	6
12/09/2016	12:00	18.9	0	66	303	6.2
12/09/2016	13:00	18.3	0	67	299	7.1
12/09/2016	14:00	18.2	0	68	304	7.8
12/09/2016	15:00	16.3	0	77	303	7.6
12/09/2016	16:00	13.2	0	90	296	7
12/09/2016	17:00	11.9	0	99	295	5.7
12/09/2016	18:00	11.2	0	100	289	5.2
12/09/2016	19:00	10.7	0	100	306	3
12/09/2016	20:00	10.4	0	100	273	1.6
12/09/2016	21:00	10	0	100	243	0.5
12/09/2016	22:00	9.7	0	100	26	4.4
12/09/2016	23:00	11	0	91	22	4.3
13/09/2016	00:00	10.8	0	91	356	5.4
13/09/2016	01:00	10	0	96	16	3.5
13/09/2016	02:00	10.3	0	84	90	1.1
13/09/2016	03:00	10.3	0	91	58	0.9
13/09/2016	04:00	10	0	91	88	2.9
13/09/2016	05:00	10.3	0	76	75	2.4
13/09/2016	06:00	10.8	0	74	84	3.5
13/09/2016	07:00	11.1	0	77	132	2.9
13/09/2016	08:00	14.4	0	67	162	0.4
13/09/2016	09:00	18.2	0	60	307	3.8
13/09/2016	10:00	17.7	0	63	304	4.9
13/09/2016	11:00	19.4	0	58	306	7.1
13/09/2016	12:00	18.5	0	64	291	7.3
13/09/2016	13:00	19.3	0	61	297	7.1
13/09/2016	14:00	16.3	0	72	297	8.1
13/09/2016	15:00	14.7	0	82	293	5.9
13/09/2016	16:00	13.8	0	86	296	5.8
13/09/2016	17:00	13.4	0	89	296	5.1
13/09/2016	18:00	12.7	0	92	297	4.4
13/09/2016	19:00	12.3	0	95	287	3.5

13/09/2016	20:00	12	0	93	142	1.5
13/09/2016	21:00	11.2	0	93	270	0
13/09/2016	22:00	12.2	0	84	61	0.4
13/09/2016	23:00	11.3	0	91	270	0
14/09/2016	00:00	12.1	0	83	70	0.7
14/09/2016	01:00	12.6	0	79	96	3.8
14/09/2016	02:00	12.3	0	83	136	4.3
14/09/2016	03:00	12.2	0	82	98	1
14/09/2016	04:00	12.4	0	79	104	3.8
14/09/2016	05:00	11.9	0	85	131	3.9
14/09/2016	06:00	11.2	0	88	144	6.8
14/09/2016	07:00	11.7	0	83	123	3.9
14/09/2016	08:00	14.6	0	77	159	5
14/09/2016	09:00	18.2	0	62	307	1.7
14/09/2016	10:00	18.2	0	65	286	4.2
14/09/2016	11:00	18.5	0	64	304	4.6
14/09/2016	12:00	18.6	0	66	306	6.1
14/09/2016	13:00	17.5	0	71	295	5.9
14/09/2016	14:00	20.3	0	60	299	8.1
14/09/2016	15:00	14.1	0	82	289	6.1
14/09/2016	16:00	13.6	0	88	295	5.3
14/09/2016	17:00	11.7	0	95	298	4.1
14/09/2016	18:00	12.1	0	99	297	3.1
14/09/2016	19:00	11.3	0	100	261	0.5
14/09/2016	20:00	11.8	3.4	100	78	5.8
14/09/2016	21:00	12.2	5.5	99	93	4.2
14/09/2016	22:00	11.8	3.7	100	154	5.1
14/09/2016	23:00	11.8	1.5	100	135	3.5
15/09/2016	00:00	11.7	1.2	100	149	6.6
15/09/2016	01:00	11.9	0.3	100	120	4.9
15/09/2016	02:00	11.8	0.4	100	146	8.8
15/09/2016	03:00	12.1	0.1	94	127	6.9
15/09/2016	04:00	14.2	0	73	75	7.4
15/09/2016	05:00	13.9	0	75	89	15.2
15/09/2016	06:00	12.9	0.2	84	88	13.9
15/09/2016	07:00	13.3	0.3	77	94	14.2
15/09/2016	08:00	14.8	0.1	66	102	12.2
15/09/2016	09:00	15.3	0	71	107	8.5
15/09/2016	10:00	14.2	0	88	164	10.4
15/09/2016	11:00	16.7	0	80	167	7.9
15/09/2016	12:00	19.3	0	68	176	10.5
15/09/2016	13:00	18.8	0	64	135	10
15/09/2016	14:00	19.3	0	61	138	5.7
15/09/2016	15:00	20.9	0	73	299	3.6
15/09/2016	16:00	21	0	68	293	3.3
15/09/2016	17:00	15	0	100	305	2.1

15/09/2016	18:00	19.1	0	50	50	7.3
15/09/2016	19:00	17.7	0	55	65	3.6
15/09/2016	20:00	16.6	0	64	35	5.6
15/09/2016	21:00	16.7	0	63	62	5.9
15/09/2016	22:00	16.8	0	60	44	9
15/09/2016	23:00	16.6	0	60	28	10.6
16/09/2016	00:00	15.9	0	62	57	5.1
16/09/2016	01:00	14.8	0	72	134	6.5
16/09/2016	02:00	13.7	0	81	137	5.9
16/09/2016	03:00	13.5	0	81	156	9.7
16/09/2016	04:00	13.5	0	86	151	8.3
16/09/2016	05:00	14.2	0	76	139	3.5
16/09/2016	06:00	14.6	0	73	198	2.8
16/09/2016	07:00	16.4	0	60	48	7.1
16/09/2016	08:00	16.7	0	61	36	4
16/09/2016	09:00	16.4	0	66	150	7.6
16/09/2016	10:00	18.8	0	54	112	9
16/09/2016	11:00	19.9	0	56	128	5.1
16/09/2016	12:00	20.9	0	45	65	6.2
16/09/2016	13:00	21.4	0	44	90	7.6
16/09/2016	14:00	19	0	73	306	9.1
16/09/2016	15:00	19.6	0	65	296	7
16/09/2016	16:00	18.9	0	68	302	5.8
16/09/2016	17:00	17.1	0	75	290	5.4
16/09/2016	18:00	15.5	0	85	298	3.4
16/09/2016	19:00	17.2	0	60	62	6.9
16/09/2016	20:00	17.2	0	60	67	3.4
16/09/2016	21:00	16.5	0	62	104	1.5
16/09/2016	22:00	14.5	0	77	290	1.8
16/09/2016	23:00	16.1	0	61	73	6.7
17/09/2016	00:00	15.7	0	63	78	3.8
17/09/2016	01:00	15.3	0	67	101	4.6
17/09/2016	02:00	15.3	0	65	58	3.8
17/09/2016	03:00	15.4	0	66	66	6.6
17/09/2016	04:00	15.3	0	64	78	6.3
17/09/2016	05:00	14.6	0	69	92	4.5
17/09/2016	06:00	13.7	0	78	128	4.4
17/09/2016	07:00	15	0	68	94	5.7
17/09/2016	08:00	17.4	0	60	87	3.9
17/09/2016	09:00	18.3	0	53	109	9.7
17/09/2016	10:00	19.9	0	49	107	6.3
17/09/2016	11:00	20.1	0	45	107	9.4
17/09/2016	12:00	21.7	0	40	63	6.4
17/09/2016	13:00	20.7	0	42	106	4.1
17/09/2016	14:00	20.5	0	66	291	5.8
17/09/2016	15:00	21	0	66	298	8.3

17/09/2016	16:00	20.4	0	66	292	7.4
17/09/2016	17:00	16.9	0	82	301	7.5
17/09/2016	18:00	14.1	0	96	309	4.5
17/09/2016	19:00	13	0	100	307	3
17/09/2016	20:00	12.7	0	100	317	4
17/09/2016	21:00	11.8	0	100	320	0.3
17/09/2016	22:00	10.8	0	99	46	1.2
17/09/2016	23:00	13.4	0	78	196	1
18/09/2016	00:00	14.6	0	71	85	0.7
18/09/2016	01:00	15.1	0	64	65	2
18/09/2016	02:00	14.6	0	70	132	4.5
18/09/2016	03:00	13.2	0	86	156	4.8
18/09/2016	04:00	14.7	0	68	63	3.6
18/09/2016	05:00	14.8	0	66	77	1.4
18/09/2016	06:00	13	0	82	186	0.1
18/09/2016	07:00	14.9	0	66	311	1.5
18/09/2016	08:00	17.7	0	62	14	0.5
18/09/2016	09:00	19.2	0	52	68	4.2
18/09/2016	10:00	20.2	0	46	128	7
18/09/2016	11:00	20.9	0	60	286	3.3
18/09/2016	12:00	18.9	0	73	308	7.3
18/09/2016	13:00	20.2	0	67	303	8
18/09/2016	14:00	21.8	0	60	304	7.2
18/09/2016	15:00	19	0	67	290	7.9
18/09/2016	16:00	17.2	0	76	298	7
18/09/2016	17:00	15.9	0	86	293	6.3
18/09/2016	18:00	14	0	96	287	3.4
18/09/2016	19:00	13	0	100	338	1.6
18/09/2016	20:00	12	0	99	303	1.2
18/09/2016	21:00	12.4	0	100	306	1.6
18/09/2016	22:00	11.6	0	100	270	0
18/09/2016	23:00	15.4	0	78	143	3.1
19/09/2016	00:00	16.1	0	70	142	4.2
19/09/2016	01:00	16.2	0	65	139	4.2
19/09/2016	02:00	16.8	0	59	96	6.4
19/09/2016	03:00	16	0	63	52	7.5
19/09/2016	04:00	15.5	0	60	74	14.6
19/09/2016	05:00	16.2	0	61	81	13.7
19/09/2016	06:00	15.9	0	62	78	8
19/09/2016	07:00	15.9	0	61	80	11.2
19/09/2016	08:00	16.3	0	61	87	11.4
19/09/2016	09:00	17.1	0	56	88	12.6
19/09/2016	10:00	17.4	0	53	99	14.4
19/09/2016	11:00	18.2	0	53	100	15.9
19/09/2016	12:00	19.7	0	51	92	16.4
19/09/2016	13:00	18.3	0	50	95	19.5

19/09/2016	14:00	18.3	0	54	109	10.6
19/09/2016	15:00	19	0	49	84	2.8
19/09/2016	16:00	20.1	0	47	89	2.3
19/09/2016	17:00	18.2	0	69	316	5.2
19/09/2016	18:00	17	0	61	36	6
19/09/2016	19:00	16.7	0	60	79	6.7
19/09/2016	20:00	16.1	0	63	57	6.7
19/09/2016	21:00	16	0	62	104	7.4
19/09/2016	22:00	16	0	64	123	3
19/09/2016	23:00	16.2	0	62	75	8.5
20/09/2016	00:00	16	0	63	100	11.2
20/09/2016	01:00	15.3	0	65	83	11.1
20/09/2016	02:00	15.1	0	67	73	14.6
20/09/2016	03:00	15.6	0	62	73	7.2
20/09/2016	04:00	15.4	0	64	92	8.1
20/09/2016	05:00	15.3	0	66	92	6.1
20/09/2016	06:00	15.4	0	65	96	4.9
20/09/2016	07:00	15.3	0	67	58	9.3
20/09/2016	08:00	16.1	0	62	103	14.7
20/09/2016	09:00	15.5	0	63	102	12.1
20/09/2016	10:00	16.9	0	56	96	15.9
20/09/2016	11:00	16.3	0	60	95	12.9
20/09/2016	12:00	16.1	0	59	87	15
20/09/2016	13:00	17.5	0	50	104	15.5
20/09/2016	14:00	18.8	0	45	67	13.7
20/09/2016	15:00	19.9	0	42	76	5.4
20/09/2016	16:00	19.4	0	45	60	5.4
20/09/2016	17:00	17.2	0	52	52	8.6
20/09/2016	18:00	17.4	0	54	116	5.9
20/09/2016	19:00	16.4	0	60	109	6.2
20/09/2016	20:00	15.8	0	61	100	5.8
20/09/2016	21:00	15.7	0	61	106	1.3
20/09/2016	22:00	15.8	0	62	113	8.4
20/09/2016	23:00	14.2	0	74	143	5
21/09/2016	00:00	13.5	0	80	87	0.5
21/09/2016	01:00	13.3	0	82	161	7.8
21/09/2016	02:00	13.2	0	84	174	7.3
21/09/2016	03:00	12.6	0	82	175	6.7
21/09/2016	04:00	13	0	84	155	4.7
21/09/2016	05:00	12.7	0	84	172	4.4
21/09/2016	06:00	13.4	0	81	207	2.6
21/09/2016	07:00	13.2	0	83	142	6.5
21/09/2016	08:00	15.2	0	73	160	8.3
21/09/2016	09:00	19	0	54	145	2.9
21/09/2016	10:00	19.6	0	48	119	5.8
21/09/2016	11:00	19.7	0	47	129	2.1

21/09/2016	12:00	19.6	0	48	53	8.8
21/09/2016	13:00	19	0	67	309	5.7
21/09/2016	14:00	16.7	0	73	295	6.8
21/09/2016	15:00	20.7	0	61	292	5.4
21/09/2016	16:00	19	0	63	292	8.8
21/09/2016	17:00	17.6	0	71	286	7.7
21/09/2016	18:00	14.5	0	83	303	3.9
21/09/2016	19:00	15.4	0	65	67	3.8
21/09/2016	20:00	15.6	0	64	253	2
21/09/2016	21:00	10.8	0	100	318	2.7
21/09/2016	22:00	10.2	0	100	270	0
21/09/2016	23:00	13.6	0	78	170	0.5
22/09/2016	00:00	12.9	0	79	270	0
22/09/2016	01:00	13.8	0	74	86	3.1
22/09/2016	02:00	11.6	0	87	326	1.5
22/09/2016	03:00	11.9	0	88	270	0
22/09/2016	04:00	11.8	0	90	138	4.8
22/09/2016	05:00	12.4	0	85	146	3.2
22/09/2016	06:00	11.6	0	100	153	5.7
22/09/2016	07:00	11.8	0	100	158	6
22/09/2016	08:00	15.4	0	77	160	4.7
22/09/2016	09:00	19	0	51	83	3.7
22/09/2016	10:00	19.6	0	46	106	6.4
22/09/2016	11:00	19.7	0	44	72	8.2
22/09/2016	12:00	17.8	0	70	291	8.8
22/09/2016	13:00	19.8	0	63	302	8.8
22/09/2016	14:00	18.5	0	66	305	6.3
22/09/2016	15:00	19.3	0	64	298	10.2
22/09/2016	16:00	14.7	0	83	290	8.7
22/09/2016	17:00	13.4	0	89	291	5.8
22/09/2016	18:00	13.5	0	93	288	4.1
22/09/2016	19:00	12.2	0	100	270	0
22/09/2016	20:00	12.2	0	100	297	3.1
22/09/2016	21:00	11.8	0	100	293	1.2
22/09/2016	22:00	11.2	0	100	98	0.2
22/09/2016	23:00	10.6	0	100	270	0
23/09/2016	00:00	14.3	0	70	95	5.2
23/09/2016	01:00	14.2	0	70	82	3.2
23/09/2016	02:00	14.9	0	63	61	6.3
23/09/2016	03:00	13.6	0	73	270	0
23/09/2016	04:00	12.9	0	82	162	1.6
23/09/2016	05:00	14.1	0	67	94	3.7
23/09/2016	06:00	14.4	0	65	104	5.4
23/09/2016	07:00	12.4	0	88	158	4.2
23/09/2016	08:00	16.9	0	54	37	3.7
23/09/2016	09:00	17	0	57	98	4.4

23/09/2016	10:00	19.8	0	45	82	4.3
23/09/2016	11:00	20.9	0	44	29	4.2
23/09/2016	12:00	19	0	60	26	3.1
23/09/2016	13:00	19.6	0	64	332	4.8
23/09/2016	14:00	17.8	0	74	286	6.7
23/09/2016	15:00	15.8	0	80	301	6.6
23/09/2016	16:00	15.4	0	86	291	5.8
23/09/2016	17:00	15.3	0	86	301	5.5
23/09/2016	18:00	13.5	0	94	360	0.5
23/09/2016	19:00	15.8	0.1	65	65	5.5
23/09/2016	20:00	15.6	0	63	111	4.8
23/09/2016	21:00	15.3	0	70	118	4
23/09/2016	22:00	15.3	0	72	124	4.9
23/09/2016	23:00	15.1	0	73	128	5.7
24/09/2016	00:00	14.8	0	77	125	6
24/09/2016	01:00	15.4	0	68	127	5.9
24/09/2016	02:00	14.3	0	79	117	4.6
24/09/2016	03:00	14.2	0	80	112	5.2
24/09/2016	04:00	14.8	0	73	94	5.4
24/09/2016	05:00	14.4	0	74	95	4.7
24/09/2016	06:00	14	0	77	102	3
24/09/2016	07:00	14.4	0	76	88	4.3
24/09/2016	08:00	14.8	0	75	132	6.5
24/09/2016	09:00	16.2	0	70	132	7.2
24/09/2016	10:00	19.6	0	51	168	2.9
24/09/2016	11:00	19.7	0	45	93	6
24/09/2016	12:00	19.4	0	47	28	2.7
24/09/2016	13:00	18.6	0	66	297	7.7
24/09/2016	14:00	20.2	0	65	303	7.1
24/09/2016	15:00	15.2	0	82	271	5.9
24/09/2016	16:00	14.2	0	90	289	3.4
24/09/2016	17:00	14.1	0	93	307	3.1
24/09/2016	18:00	12.8	0	99	287	0.2
24/09/2016	19:00	11.7	0	100	284	1
24/09/2016	20:00	14.4	0	71	122	1.5
24/09/2016	21:00	11.6	0	100	331	2.5
24/09/2016	22:00	15.5	0	66	121	4.3
24/09/2016	23:00	15.6	0	68	84	2.1
25/09/2016	00:00	14.9	0	76	158	0.8
25/09/2016	01:00	15.1	0	71	91	3.8
25/09/2016	02:00	13.4	0	83	109	0.1
25/09/2016	03:00	12.6	0	86	68	0.6
25/09/2016	04:00	12.5	0	93	158	2.9
25/09/2016	05:00	12.5	0	95	149	4.5
25/09/2016	06:00	11.9	0	94	112	3.6
25/09/2016	07:00	12.4	0	90	135	3.6

25/09/2016	08:00	14.9	0	78	146	7.9
25/09/2016	09:00	17.9	0	64	165	6.8
25/09/2016	10:00	17.8	0	61	141	5.4
25/09/2016	11:00	18.8	0	57	107	6.5
25/09/2016	12:00	18.1	0	52	67	9.4
25/09/2016	13:00	18	0	50	70	7.2
25/09/2016	14:00	19.1	0	47	44	3.2
25/09/2016	15:00	16.9	0	75	296	5.6
25/09/2016	16:00	15.6	0	81	304	4.8
25/09/2016	17:00	17.1	0	72	304	3.3
25/09/2016	18:00	14.3	0	88	330	3
25/09/2016	19:00	15.6	0	65	30	2.4
25/09/2016	20:00	15.8	0	64	107	4.3
25/09/2016	21:00	14.5	0	67	98	4.5
25/09/2016	22:00	15.3	0	69	114	5.3
25/09/2016	23:00	15	0	70	131	3.1
26/09/2016	00:00	15.1	0	71	116	4.6
26/09/2016	01:00	14.6	0	71	153	5.6
26/09/2016	02:00	14.7	0	71	154	7.8
26/09/2016	03:00	15.3	0	63	80	3.3
26/09/2016	04:00	15.1	0	64	123	5
26/09/2016	05:00	13.5	0	83	158	5.2
26/09/2016	06:00	13.7	0	77	138	8
26/09/2016	07:00	13.1	0	88	149	8.2
26/09/2016	08:00	15.1	0	74	152	6.9
26/09/2016	09:00	17.9	0	57	134	5
26/09/2016	10:00	19.9	0	49	107	0.8
26/09/2016	11:00	19.7	0	50	87	5
26/09/2016	12:00	19.5	0	45	68	5
26/09/2016	13:00	19.7	0	62	281	5.2
26/09/2016	14:00	20.1	0	61	300	6.1
26/09/2016	15:00	19	0	66	297	7.1
26/09/2016	16:00	19.9	0	61	290	5.2
26/09/2016	17:00	15.9	0	77	293	8.1
26/09/2016	18:00	14	0	89	295	5.3
26/09/2016	19:00	12.8	0	96	314	0.7
26/09/2016	20:00	12.3	0	100	270	0
26/09/2016	21:00	11.3	0	100	270	0
26/09/2016	22:00	11.8	0	95	332	0.1
26/09/2016	23:00	14.3	0	74	76	3
27/09/2016	00:00	14.5	0	78	270	0
27/09/2016	01:00	14.2	0	84	80	5.4
27/09/2016	02:00	14.8	0	74	85	6.8
27/09/2016	03:00	15.3	0	67	78	9.3
27/09/2016	04:00	14.6	0	71	80	4.3
27/09/2016	05:00	14.7	0	71	71	4.1

27/09/2016	06:00	13.8	0	77	92	4.1
27/09/2016	07:00	13.2	0	88	133	4.1
27/09/2016	08:00	15.3	0	73	171	5.6
27/09/2016	09:00	19.1	0	50	26	3.7
27/09/2016	10:00	20.2	0	43	88	2.9
27/09/2016	11:00	17.9	0	54	37	13.2
27/09/2016	12:00	19.6	0	51	38	6
27/09/2016	13:00	20.5	0	43	4	5.9
27/09/2016	14:00	16.6	0	75	274	5
27/09/2016	15:00	18	0	69	304	10.5
27/09/2016	16:00	16.1	0	79	305	5.3
27/09/2016	17:00	13.8	0	89	284	6.2
27/09/2016	18:00	13.4	0	97	294	2
27/09/2016	19:00	13	0	95	137	5.1
27/09/2016	20:00	14.7	0	74	40	0.1
27/09/2016	21:00	11.4	0	100	307	1.3
27/09/2016	22:00	12.2	0	100	38	0
27/09/2016	23:00	16.4	0	61	81	3.7
28/09/2016	00:00	14.7	0	65	81	4.8
28/09/2016	01:00	15.1	0	65	96	4.7
28/09/2016	02:00	13.6	0	72	83	6.5
28/09/2016	03:00	13.2	0	74	88	6.7
28/09/2016	04:00	13.5	0	71	79	7.3
28/09/2016	05:00	13.5	0	73	75	5.7
28/09/2016	06:00	13.7	0	71	90	6.6
28/09/2016	07:00	14.1	0	73	86	4.9
28/09/2016	08:00	16.2	0	64	115	5.5
28/09/2016	09:00	17.3	0	56	157	3.8
28/09/2016	10:00	18.7	0	58	139	7
28/09/2016	11:00	20.5	0	47	292	0.7
28/09/2016	12:00	19.3	0	63	267	4.5
28/09/2016	13:00	16.9	0	75	298	5.4
28/09/2016	14:00	18.9	0	67	304	7.5
28/09/2016	15:00	16.1	0	78	297	4.5
28/09/2016	16:00	15.1	0	83	298	4.9
28/09/2016	17:00	14.9	0	86	294	6.2
28/09/2016	18:00	13.9	0	93	300	3.2
28/09/2016	19:00	12.6	0	98	123	3.2
28/09/2016	20:00	14.9	0	75	88	0.2
28/09/2016	21:00	14.4	0	80	270	0
28/09/2016	22:00	14.9	0	73	270	0
28/09/2016	23:00	15.4	0	72	100	4.6
29/09/2016	00:00	15.3	0	71	95	2.5
29/09/2016	01:00	15.1	0	73	117	4.3
29/09/2016	02:00	15.8	0	66	80	5.7
29/09/2016	03:00	13.9	0	83	162	2.9

29/09/2016	04:00	13.8	0	77	270	0
29/09/2016	05:00	13.5	0	84	142	1.5
29/09/2016	06:00	13.1	0	90	154	4
29/09/2016	07:00	14	0	90	157	4.6
29/09/2016	08:00	16.9	0	73	267	0.7
29/09/2016	09:00	15.9	0	81	294	4.5
29/09/2016	10:00	16.5	0	77	293	3.2
29/09/2016	11:00	15.4	0	83	301	7.1
29/09/2016	12:00	14	0	89	303	4.2
29/09/2016	13:00	15	0	85	289	3.4
29/09/2016	14:00	15	0	83	314	4.8
29/09/2016	15:00	13.7	0	92	298	6.4
29/09/2016	16:00	12.2	0	99	289	5.4
29/09/2016	17:00	12.3	0	99	287	5
29/09/2016	18:00	11.2	0	99	294	1.7
29/09/2016	19:00	11.5	0	100	270	0
29/09/2016	20:00	13	0	98	68	1
29/09/2016	21:00	13.4	0	91	308	1.6
29/09/2016	22:00	13.3	0	85	357	3.4
29/09/2016	23:00	13.7	0	87	320	6.3
30/09/2016	00:00	13	0	94	318	0.6
30/09/2016	01:00	12.1	0	93	317	0.2
30/09/2016	02:00	12.7	0	98	303	0.8
30/09/2016	03:00	12.8	0	96	270	0
30/09/2016	04:00	14.1	0	81	79	0.4
30/09/2016	05:00	13.4	0	80	37	0.2
30/09/2016	06:00	12.1	0.1	86	89	0.1
30/09/2016	07:00	12.4	0	89	48	1.2
30/09/2016	08:00	13.9	0	75	160	0.2
30/09/2016	09:00	17.3	0	71	270	0
30/09/2016	10:00	17.3	0	69	294	4.4
30/09/2016	11:00	20.5	0	59	302	6.6
30/09/2016	12:00	18.7	0	64	296	5.6
30/09/2016	13:00	19.6	0	62	291	6.8
30/09/2016	14:00	18.2	0	67	292	7.7
30/09/2016	15:00	15.1	0	82	293	6.6
30/09/2016	16:00	13.5	0	89	306	5.1
30/09/2016	17:00	12.9	0	92	314	3.6
30/09/2016	18:00	12.5	0	95	305	0.6
30/09/2016	19:00	11.8	0.2	99	145	6
30/09/2016	20:00	13	0.2	98	149	5
30/09/2016	21:00	13.4	0	82	89	0.2
30/09/2016	22:00	13.9	0	78	110	2.3
30/09/2016	23:00	13.8	0	88	270	0

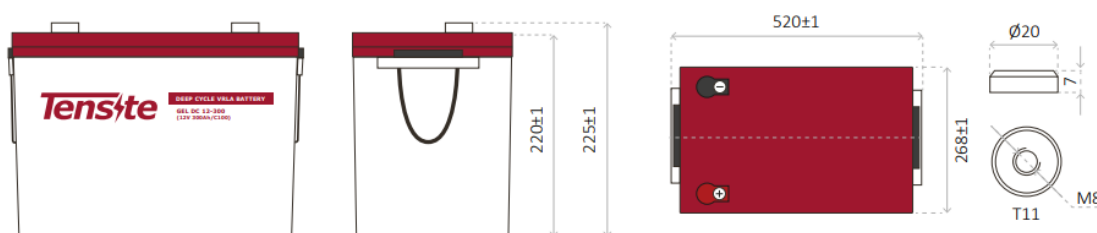
Fuente. [17]

Figura 51. Datos técnicos del Controlador Carga PWM LCD 20A 12/24V Must Solar

Modelo		10A 12/24V	20A 12/24V	30A 12/24V
Entrada	Voltaje FV	≤50V		
	Intensidad nominal	10A	20A	30A
Salida	Voltaje sistema	12V/24V Auto		
	Desconexión por alto voltaje (HVD)	16.00V x1 / x2		
	Intensidad descarga nominal	10A	20A	30A
	Autoconsumo	≤13mA		
	Caída de tensión circuito carga	≤0.21V		≤0.24V
	Caída de tensión circuito descarga	≤0.12V		≤0.1V
	Modo de carga	PWM Multi-etapas (carga, absorción, flotación, ecualización)		
	Voltaje Carga Flotación	13.8V (13V~15V) x1 / x2		
	Voltaje Carga Absorción	2 horas duración	14.4V (13V~15V) x1 / x2	
	Voltaje Carga Ecualización		14.6V (13V~15.5V) x1 / x2	
	Protección Bajo Voltaje (LVD)	10.8V (10V~14V) x1 / x2		
	Reconexión Bajo Voltaje (LVR)	12.6V (10V~14V) x1 / x2		
	Salida USB	5V 1A		
Características físicas	Sección cableado	6mm ²	10mm ²	16mm ²
	Temperatura trabajo	-20 ~ +50°C		
	Tamaño (L x W x H)	188 x 95 x 46.5mm		
	Peso neto	355g		

Fuente. Autosolar (AutoSolar)

Tabla 32. Dimensiones de la batería de GEL 12V 300Ah Tensite



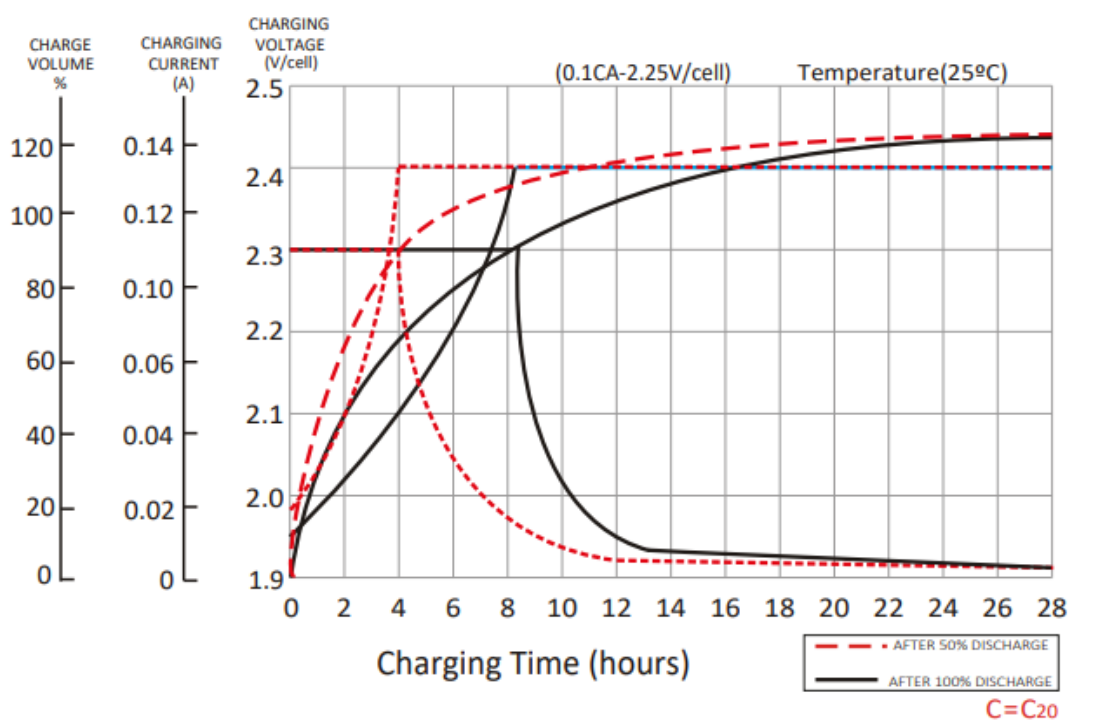
Fuente. AutoSolar (AutoSolar)

Figura 52. Especificación técnica de la batería de GEL 12V 300Ah Tensite

BATTERY MODEL	Nominal voltage			12V
	Rated capacity (100 hour rate)			300Ah
DIMENSION	Cells Per battery			
	Length	Width	Height	Total Height
APPROX. WEIGHT	520 mm	268 mm	220 mm	225 mm
CAPACITY @ 25°C	67.0 kg ± 3%			
	10 hour rate (25.0A)	5 hour rate (43.7A)	3 hour rate (66.2A)	1 hour rate (161.5A)
MAX. DISCHARGE CURRENT	250.0 Ah	218.7 Ah	198.7 Ah	161.5 Ah
INTERNAL RESISTANCE	2000 A (5 sec.)			
CAPACITY AFFECTED BY TEMP. (10 HR)	Full charged Vat 25°C: Approx. 2.0mΩ			
	40°C	25°C	0°C	
CHARGE METHOD @25°C	103%		100%	
	Cycle Use		Standby Use	
	14.4-15.0V (Initial charging current less than 27A)		13.50-13.80V	

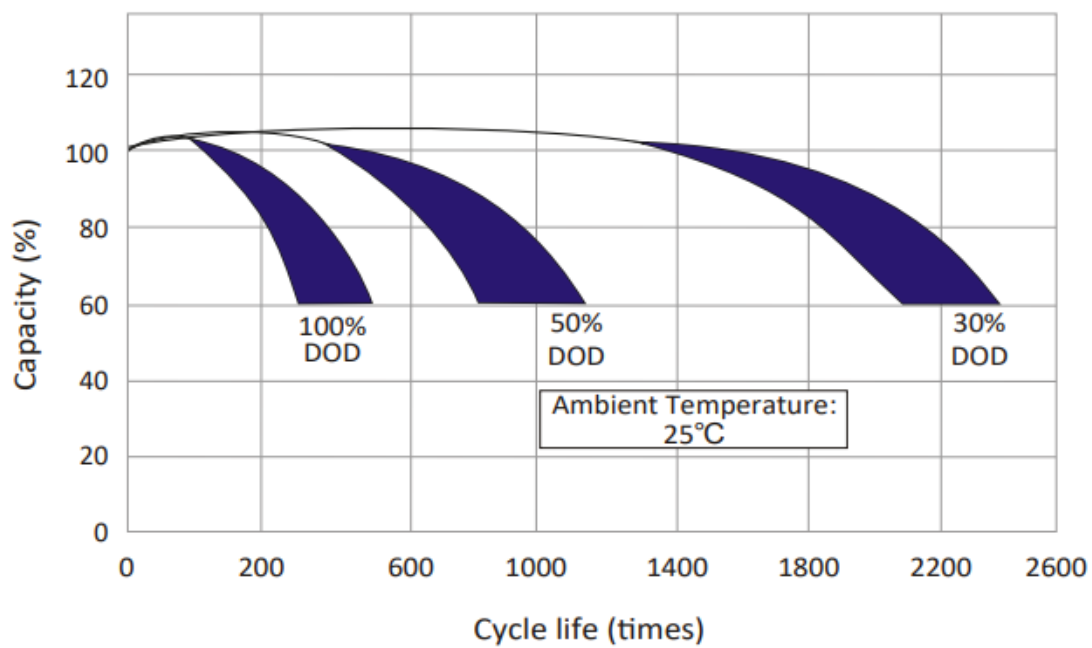
Fuente. AutoSolar (AutoSolar)

Figura 53. Características de carga flotante de la batería de GEL 12V 300Ah Tensite



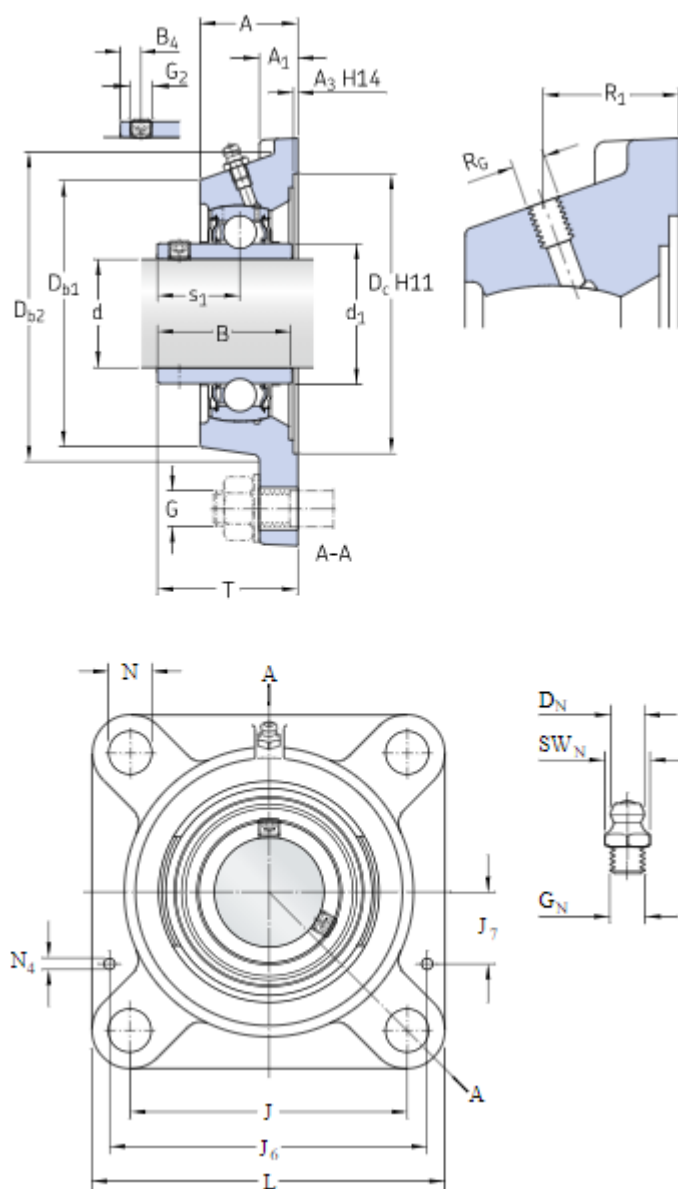
Fuente. AutoSolar (AutoSolar)

Figura 54. Ciclo de vida en relación con la profundidad de descarga



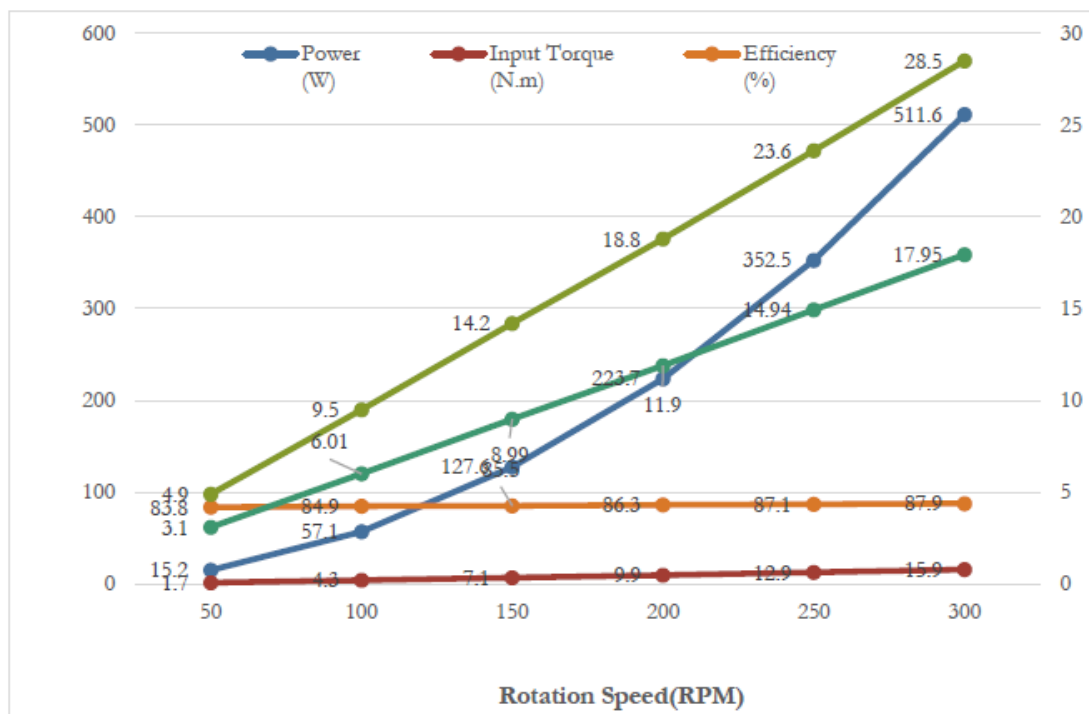
Fuente. AutoSolar (AutoSolar)

Tabla 33. Dimensiones del rodamiento de bolas con pestaña cuadrada FY 12 TF



DIMENSIONES	
d	12 mm
d1	≈ 24,2 mm
A	26 mm
A1	11 mm
A3	3,2 mm
B	27,4 mm
B4	4 mm
Db1	50 mm
Db2	53 mm
Dc	55,6 mm
J	54 mm
L	76 mm
N	11,5 mm
s1	15,9 mm
T	32,9 mm
BOQUILLA ENGRASADORA	
DN	6,5 mm
SW _N	7 mm
GN	1/4-28 SAE LT
ORIFICIO ROSCADO	
Rg	1/4-28 UNF
R1	19 mm
PASADORES	
J6	66 mm
J7	14,5 mm
N4	4 mm

Figura 55. Curva de RPM vs potencia y torque del generador de imanes permanentes 300W 12V



Fuente. (htt)

Tabla 34. Tabla de valores KALP s aprobados por la Resolución Ministerial N° 074-2009-MEM/DM

SDT	KALP * (kW.h/usuario-mes)	Potencia de la lámpara Vapor de sodio (W)	Flujo luminoso de la lámpara (lúmenes)
4	7,4	70	6500
5	6,3	50	3400
Especial	4,7	50	3400
SER	6,3	50	3400

Fuente. (Minas)

Figura 56. Tabla de dimensiones estándar para tubos de acero según ANSI B36.10 & 36.19

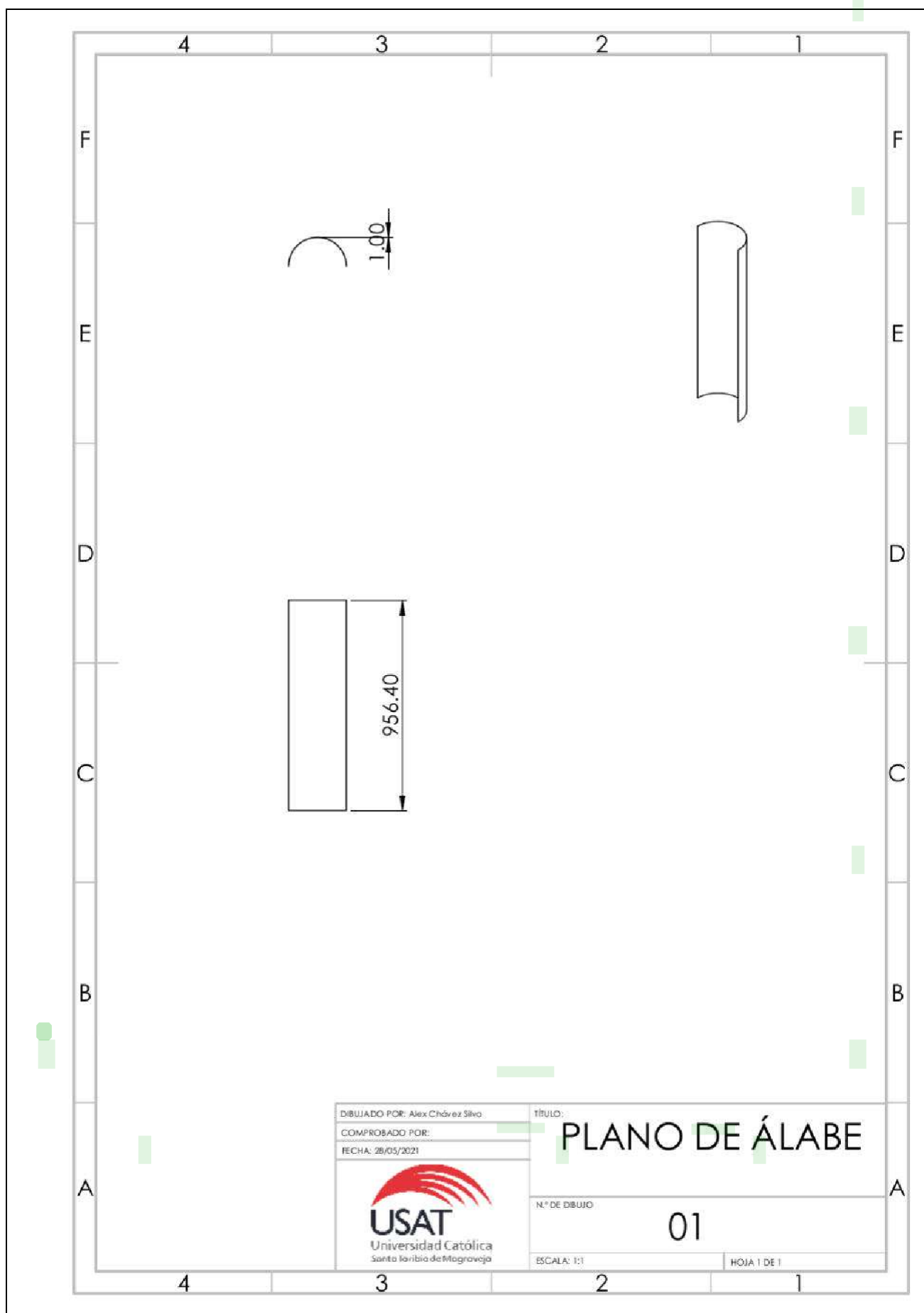


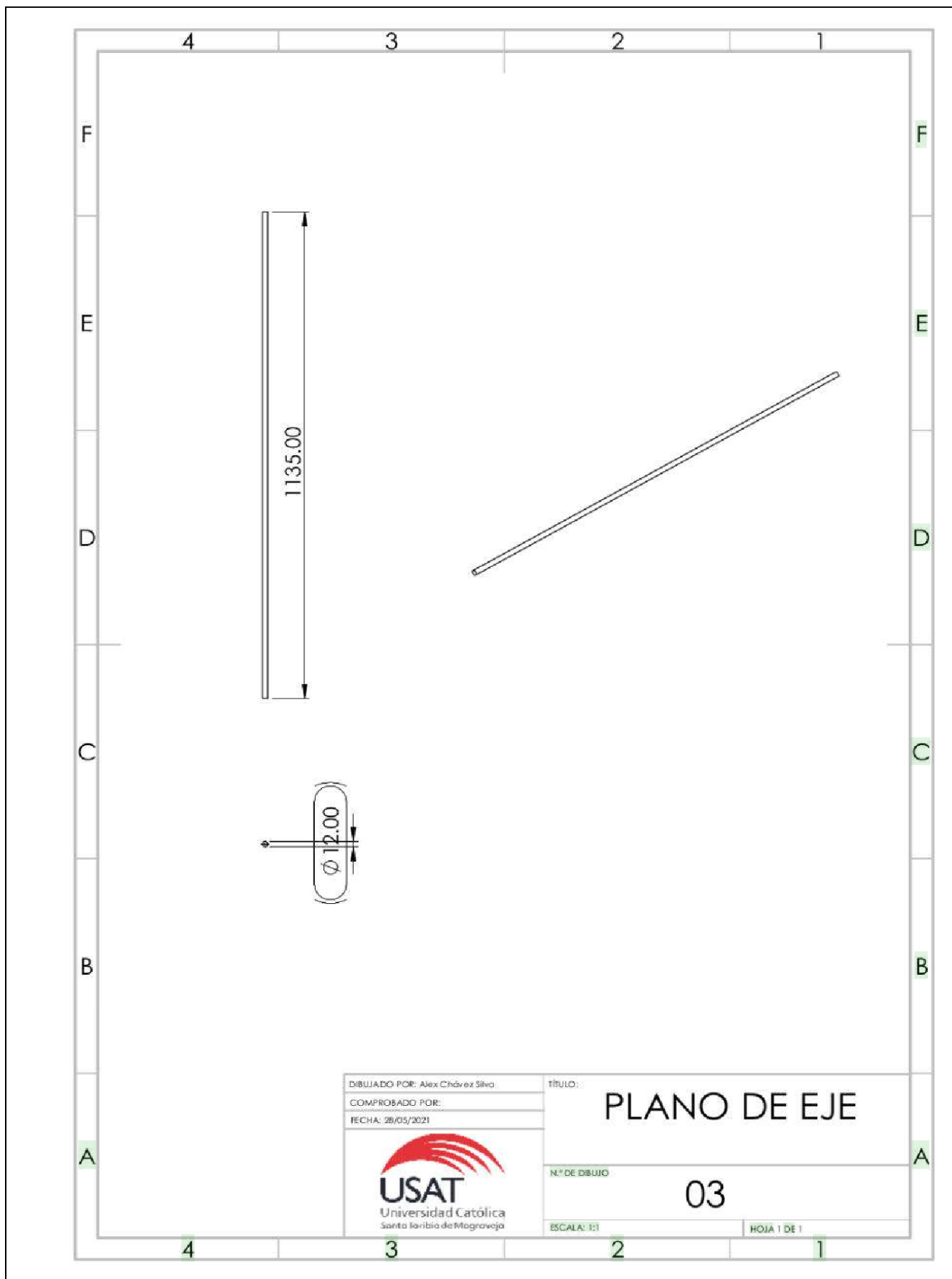
Dimensiones de Tubos de Acero ANSI B36.10 & 36.19 (Unidad en pulgada)

Tamaño Nominal del Tubo (NPS)		Diámetro Exterior (pulgada)	Tubos Cédula / Pipe Schedule																
NPS	DN	OD	SCH 5s	SCH 10s	SCH 10	SCH 20	SCH 30	SCH 40s	SCH STD	SCH 40	SCH 60	SCH 80s	SCH XS	SCH 80	SCH 100	SCH 120	SCH 140	SCH 160	SCH XXS
1/8	6	0.405		1.240				0.068	0.068	0.068		0.095	0.095	0.095					
1/4	8	0.540		1.650				0.088	0.088	0.088		0.119	0.119	0.119					
3/8	10	0.675		1.650				0.091	0.091	0.091		0.126	0.126	0.126					
1/2	15	0.840	0.065	2.110				0.109	0.109	0.109		0.147	0.147	0.147				0.188	0.294
3/4	20	1.050	0.065	2.110				0.113	0.113	0.113		0.154	0.154	0.154				0.219	0.308
1	25	1.315	0.065	2.770				0.133	0.133	0.133		0.179	0.179	0.179				0.250	0.358
1 1/4	32	1.660	0.065	2.770				0.140	0.140	0.140		0.191	0.191	0.191				0.250	0.382
1 1/2	40	1.900	0.065	2.770				0.145	0.145	0.145		0.200	0.200	0.200				0.281	0.400
2	50	2.375	0.065	2.770				0.154	0.154	0.154		0.218	0.218	0.218				0.344	0.436
2 1/2	65	2.875	0.083	3.050				0.203	0.203	0.203		0.276	0.276	0.276				0.375	0.552
3	80	3.500	0.083	3.050				0.216	0.216	0.216		0.300	0.300	0.300				0.438	0.600
3 1/2	90	4.000	0.083	3.050				0.226	0.226	0.226		0.318	0.318	0.318					
4	100	4.500	0.083	3.050				0.237	0.237	0.237		0.337	0.337	0.337		0.438		0.531	0.674
5	125	5.563	0.109	3.400				0.258	0.258	0.258		0.375	0.375	0.375		0.500		0.625	0.750
6	150	6.625	0.109	3.400				0.280	0.280	0.280		0.432	0.432	0.432		0.562		0.719	0.864
8	200	8.625	0.109	3.760		0.250	0.277	0.322	0.322	0.322	0.406	0.500	0.500	0.500	0.594	0.719	0.812	0.906	0.875
10	250	10.750	0.134	4.190		0.250	0.307	0.365	0.365	0.365	0.500	0.500	0.500	0.594	0.719	0.844	1.000	1.125	1.000
12	300	12.750	0.156	4.570		0.250	0.330	0.375	0.375	0.406	0.562	0.500	0.500	0.688	0.844	1.000	1.125	1.312	1.000
14	350	14.000	0.156	4.780	0.250	0.312	0.375		0.375	0.438	0.594		0.500	0.750	0.938	1.094	1.250	1.406	
16	400	16.000	0.165	4.780	0.250	0.312	0.375		0.375	0.500	0.656		0.500	0.844	1.031	1.219	1.438	1.594	
18	450	18.000	0.165	4.780	0.250	0.312	0.438		0.375	0.562	0.750		0.500	0.938	1.156	1.375	1.562	1.781	
20	500	20.000	0.188	5.540	0.250	0.375	0.500		0.375	0.594	0.812		0.500	1.031	1.281	1.500	1.750	1.969	
22		22.000	0.188	5.540	0.250	0.375	0.500		0.375		0.875		0.500	1.125	1.375	1.625	1.875	2.125	
24	600	24.000	0.218	6.350	0.250	0.375	0.562		0.375	0.688	0.969		0.500	1.219	1.531	1.812	2.062	2.344	
26		26.000			0.312	0.500	0.000		0.375				0.500						
28	700	28.000			0.312	0.500	0.625		0.375				0.500						
30		30.000	0.250	7.920	0.312	0.500	0.625		0.375				0.500						
32	800	32.000			0.312	0.500	0.625		0.375	0.688			0.500						
34		34.000			0.312	0.500	0.625		0.375	0.688			0.500						
36	900	36.000			0.312	0.500	0.625		0.375	0.750			0.500						
38		38.000							0.375				0.500						
40	1000	40.000						0.375											
42		42.000				0.500			0.375	0.750			0.500						
44	1100	44.000							0.375				0.500						
46		46.000							0.375				0.500						
48	1200	48.000							0.375			0.500							

Fuente. [49]

PLANOS





DIBUJADO POR: Alex Chávez Silva
 COMPROBADO POR:
 FECHA: 28/05/2021

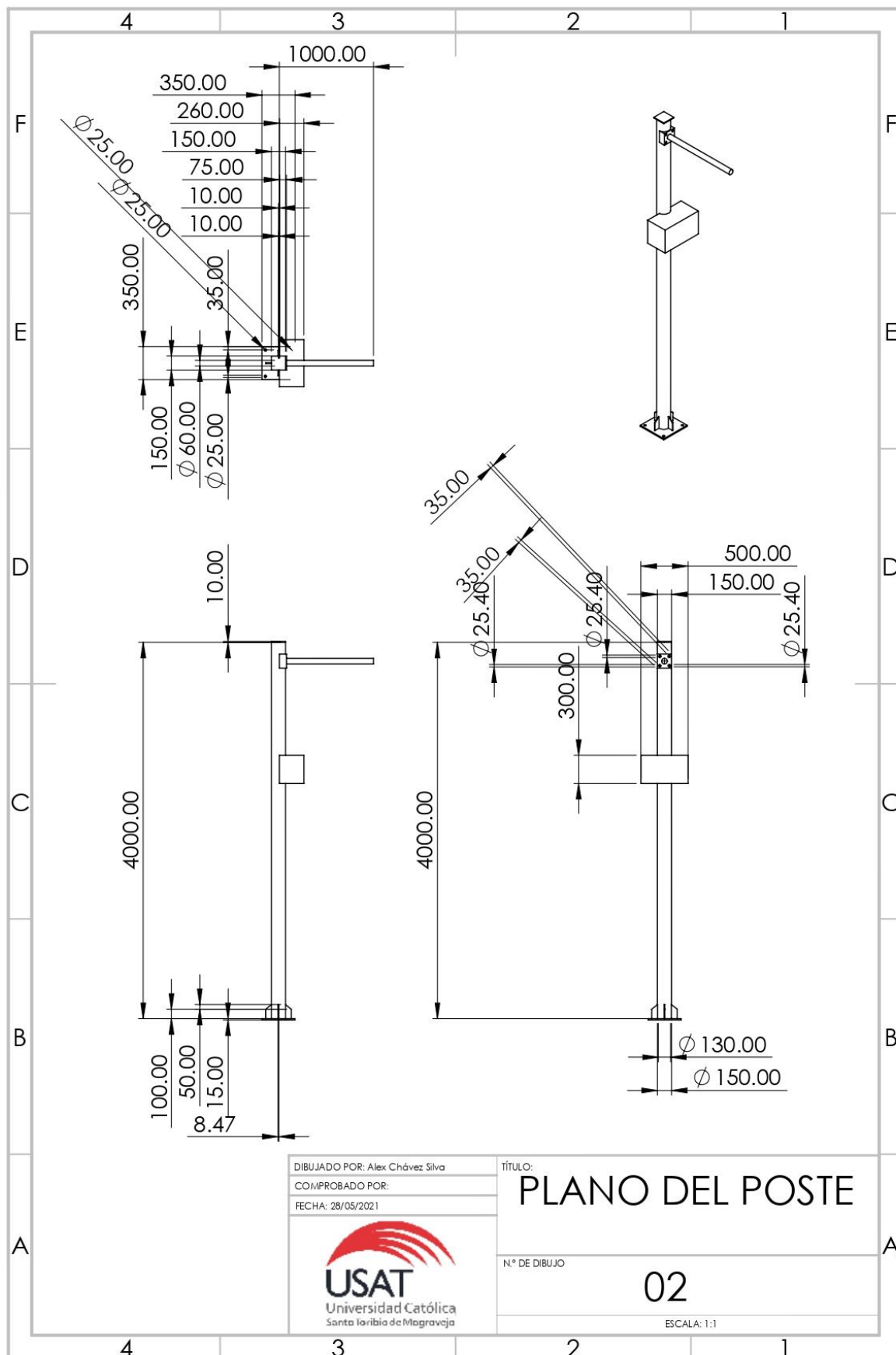
USAT
 Universidad Católica
 Santa Teresita de Mogrovejo

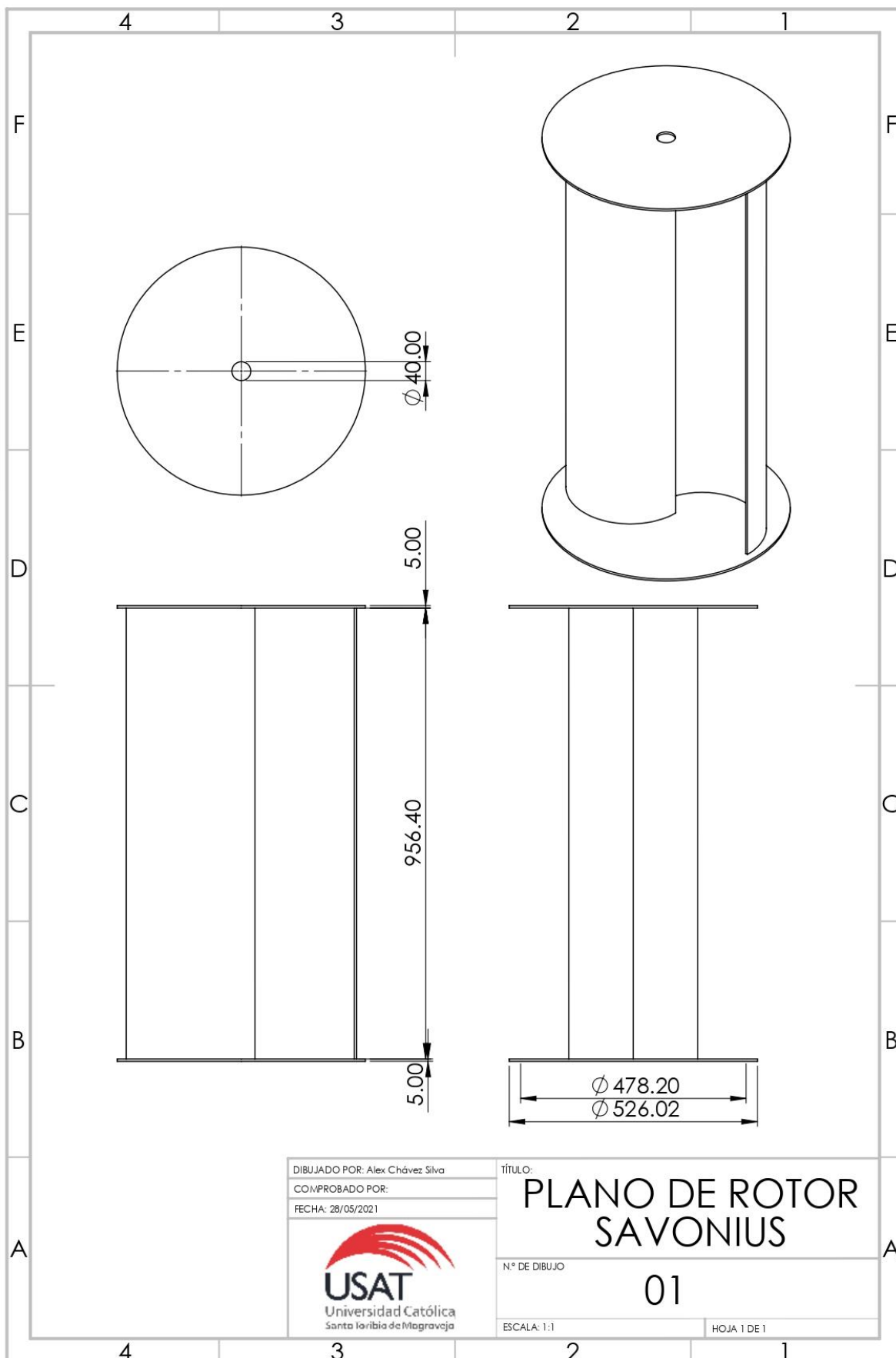
TÍTULO: **PLANO DE EJE**

N.º DE DIBUJO: **03**

ESCALA: 1:1

HOJA 1 DE 1





DIBUJADO POR: Alex Chávez Silva
 COMPROBADO POR:
 FECHA: 28/05/2021



TÍTULO:
**PLANO DE ROTOR
 SAVONIUS**

Nº DE DIBUJO
01

ESCALA: 1:1 HOJA 1 DE 1