

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA**



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN**

**DISEÑO DE UN AEROGENERADOR EÓLICO PARA CUBRIR
LA DEMANDA ELÉCTRICA AL LABORATORIO DE
INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
MECÁNICO ELECTRICISTA**

Autor : Bach. Néstor Javier Mc Suárez Huamán

Asesor : Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez

JAÉN – PERÚ, MAYO, 2021

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA**



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN**

**DISEÑO DE UN AEROGENERADOR EÓLICO PARA CUBRIR
LA DEMANDA ELÉCTRICA AL LABORATORIO DE
INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
MECÁNICO ELECTRICISTA**

Autor : Bach. Néstor Javier Mc Suárez Huamán

Asesor : Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez

JAÉN – PERÚ, MAYO, 2021



ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 03 de agosto del año 2021, siendo las 09:00 horas, se reunieron de manera virtual los integrantes del Jurado:

Presidente: Mg. Jaime Odar Honorio Acosta

Secretario: Mg. Lenin Franchescoletth Nuñez Pintado

Vocal: Mg. Zadith Nancy Garrido Campaña, para evaluar la Sustentación del Informe Final:

() Trabajo de Investigación

(**X**) Tesis

() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado:

"Diseño de un Aerogenerador Eólico para cubrir la demanda eléctrica al laboratorio de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén", presentado por el bachiller **Néstor Javier Mc Suárez Huamán**, de la Carrera Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

(**X**) Aprobar () Desaprobar (**X**) Unanimidad () Mayoría

Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|---------------|
| a) Excelente | 18, 19, 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | () |
| c) Bueno | 14, 15 | (14) |
| d) Regular | 13 | () |
| e) Desaprobado | 12 ò menos | () |

Siendo las 09:45 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

Presidente

Secretario

Vocal

INDICE

INDICE.....	iv
INDICE DE TABLAS.....	vii
INDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2. ANTECEDENTES.....	2
1.2.1. ANTECEDENTE INTERNACIONAL.....	2
1.2.2. ANTECEDENTE NACIONAL.....	2
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	4
1.3.1. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA.....	4
1.3.2. JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL.....	5
1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	5
2. OBJETIVOS.....	6
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	6
2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO.....	6
2.3. HIPOTESIS.....	6
3. MATERIAL Y METODOS.....	7
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	7
3.2. UBICACIÓN.....	7
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	8

3.3.1.	POBLACIÓN.....	8
3.3.2.	MUESTRA	8
3.4.	MÉTODO.....	8
3.4.1.	EVALUACIÓN DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO.....	8
3.4.1.1.	DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA Y DISTRIBUCIÓN ACUMULADA	8
3.4.1.2.	DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL	11
3.4.1.3.	DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE LA ECUACIÓN DE WEIBULL 12	
3.4.2.	DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA ELÉCTRICA	14
3.4.2.1.	CÁLCULO DE NECESIDAD DE ENERGÍA	14
3.4.2.2.	CÁLCULO DE LA ENERGÍA NECESARIA	14
3.4.3.	DIMENSIONAMIENTO DEL AEROGENERADOR EÓLICO.....	15
3.4.3.1.	SELECCIÓN DEL AEROGENERADOR.....	15
3.4.3.1.1.	CÁLCULO DE LA DENSIDAD DEL AIRE.....	16
3.4.3.1.2.	CÁLCULO DEL POTENCIAL DEL VIENTO	16
3.4.3.1.3.	CÁLCULO DE LAS PALAS DEL AEROGENERADOR	17
3.4.3.2.	ENERGÍA GENERADA POR AEROGENERADOR EÓLICO	19
3.4.3.3.	NÚMERO DE AEROGENERADORES	20
3.4.3.4.	REGULADOR	20
3.4.3.5.	BATERÍAS	21
3.4.3.5.1.	BATERÍAS EN SERIE.....	22
3.4.3.5.2.	BATERÍAS EN PARALELO	22
3.4.3.5.3.	BATERÍAS EN TOTAL.....	22
3.4.3.6.	INVERSOR.....	22
3.4.3.7.	CABLEADO ELÉCTRICO	22
3.4.3.7.1.	TRAMO 1: AEROGENERADOR - REGULADOR.....	24
3.4.3.7.2.	TRAMO 2: REGULADOR - BATERÍAS.....	25

3.4.3.7.3.	TRAMO 3: BATERÍAS - INVERSOR	25
3.4.3.7.4.	TRAMO 4: INVERSOR – TABLERO DE DISTRIBUCIÓN	26
3.4.4.	EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD ECONÓMICA	26
3.4.4.1.	PRESUPUESTO	26
3.4.4.2.	FLUJO DE CAJA.....	27
3.4.4.3.	VALOR ACTUAL NETO	27
3.4.4.4.	TASA INTERNA DE RETORNO.....	28
3.4.4.5.	ANÁLISIS COSTO BENEFICIO (B/C).....	28
4.	RESULTADOS	29
4.1.	EVALUACIÓN DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO	29
4.2.	DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA ELÉCTRICA.....	30
4.3.	DIMENSIONAMIENTO DEL AEROGENERADOR EÓLICO	31
4.3.1.	SELECCIÓN DEL AEROGENERADOR	31
4.3.2.	ENERGÍA GENERADA POR EL AEROGENERADOR EÓLICO	31
4.3.3.	REGULADOR.....	32
4.3.4.	BATERÍAS	32
4.3.5.	INVERSOR	32
4.3.6.	CABLEADO ELECTRICO.....	32
4.4.	ANÁLISIS ECONÓMICO.....	33
5.	DISCUSIÓN.....	36
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	37
6.1.	CONCLUSIONES.....	37
6.2.	RECOMENDACIONES	37
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
	AGRADECIMIENTO	45
	DEDICATORIA.....	46
	ANEXOS	47

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. ESTACIÓN PLUVIOGRÁFICA JAÉN	9
TABLA 2. DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS Y DISTRIBUCIÓN ACUMULADA	10
TABLA 3. FRECUENCIA ACUMULADA Y VALORES X E Y	12
TABLA 4. CONSUMO ENERGÉTICO DEL LABORATORIO DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA	14
TABLA 5. INTENSIDAD NOMINAL DE CORRIENTE DEL REGULADOR.....	21
TABLA 6. CAPACIDAD NOMINAL ANUAL DEL BANCO DE BATERÍAS	21
TABLA 7. INTENSIDAD DE CORRIENTE DEL REGULADOR	24
TABLA 8. CAÍDA DE TENSIÓN DEL REGULADOR	24
TABLA 9. INTENSIDAD DE CORRIENTE REGULADOR - BATERÍA	25
TABLA 10. CAÍDA DE TENSIÓN REGULADOR - BATERÍA	25
TABLA 11. INTENSIDAD DE CORRIENTE BATERÍA - INVERSOR	25
TABLA 12. CAÍDA DE TENSIÓN BATERÍA - INVERSOR	25
TABLA 13. INTENSIDAD DE CORRIENTE INVERSOR - TABLERO	26
TABLA 14. CAÍDA DE TENSIÓN INVERSOR - TABLERO	26
TABLA 15. PRESUPUESTO DEL SISTEMA EÓLICO.....	26
TABLA 16. CANTIDAD DE INGRESOS	27
TABLA 17. VALORES DE PARÁMETROS DE WEIBULL.....	29
TABLA 18. PROBABILIDAD DE VELOCIDAD DE VIENTO	29
TABLA 19. DEMANDA DE ENERGÍA Y ENERGÍA NECESARIA AL AÑO POR EL LABORATORIO	30
TABLA 20. PARÁMETROS PARA SELECCIÓN DEL AEROGENERADOR	31
TABLA 21. ENERGÍA GENERADA POR EL AEROGENERADOR SAVONIUS.....	31
TABLA 22. INTENSIDAD DE CORRIENTE DEL REGULADOR	32
TABLA 23. CAPACIDAD NOMINAL DE LA BATERÍA.....	32
TABLA 24. CONDUCTOR ELÉCTRICO	32

TABLA 25. ESTADO DE RESULTADOS ANUALES	33
TABLA 26. FLUJO DE EFECTIVO NETO	34
TABLA 27. INDICADOR ECONÓMICO VAN Y TIR	34
TABLA 28. INGRESOS Y EGRESOS.....	35
TABLA 29. INDICADOR ECONÓMICO COSTO BENEFICIO	35
TABLA 30. PROMEDIO DE VELOCIDAD DEL VIENTO M/S DIARIO.....	49
TABLA 31. CARACTERÍSTICAS DEL GENERADOR PMG220-0,1KW/200RPM.....	50
TABLA 32. SALIDA ELÉCTRICA DEL AEROGENERADOR DE EJE VERTICAL PMG220-0,1 KW/200RPM.....	51
TABLA 33. FICHA TÉCNICA REGULADOR WS-WSC30.....	52
TABLA 34. FICHA TÉCNICA INVERSOR	55
TABLA 35. SECCIÓN NOMINAL DE CABLE	57
TABLA 36. CAPACIDAD DE CORRIENTE DE ACUERDO A SECCIÓN DEL CONDUCTOR	57
TABLA 37. FACTOR DE CORRECCIÓN	58

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. UBICACIÓN DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN	7
FIGURA 2. DIAGRAMA DE FLUJO PARA DISEÑO DE AEROGENERADOR EÓLICO	8
FIGURA 3. DISTANCIA ENTRE ESTACIÓN JAÉN Y UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN	9
FIGURA 4. DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA.....	10
FIGURA 5. DISTRIBUCIÓN ACUMULADA	11
FIGURA 6. AJUSTE LINEAL DE LA RECTA.....	13
FIGURA 7. DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL.....	30
FIGURA 8. ESTACIÓN PLUVIOGRÁFICA JAÉN	47
FIGURA 9. ESTACIÓN PLUVIOGRÁFICA JAÉN	48
FIGURA 10. CURVA DE POTENCIA DEL AEROGENERADOR DE EJE VERTICAL PMG220-0,1KW/200RPM.....	51
FIGURA 11. FICHA TÉCNICA 1 BATERÍA TROJAN	53
FIGURA 12. FICHA TÉCNICA 2 BATERÍA TROJAN	54
FIGURA 13. CONDUCTOR ELÉCTRICO NYN	56
FIGURA 14. RECIBO DE FACTURACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EMITIDO POR LA CONCESIONARIA ELECTRO ORIENTE S.A	59

RESUMEN

Las fallas en el servicio eléctrico de la Universidad Nacional de Jaén y para contribuir de forma eficiente al desarrollo sostenible, por estas razones el presente trabajo de investigación del tipo aplicada con un nivel de investigación descriptivo y su diseño de investigación de campo gabinete (no experimental) tiene como objetivo el diseño de un aerogenerador eólico para cubrir la demanda eléctrica al laboratorio de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén, para esto se evaluó la velocidad del viento en la zona del proyecto con los datos meteorológicos de la Estación Jaén y según la distribución de Weibull la velocidad promedio del viento de la zona es de 1,03 m/s durante todo un año, seguidamente se determinó la demanda eléctrica del laboratorio de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén resultando 423,198 kWh/año, el paso siguiente a proceder es el dimensionamiento del aerogenerador, resultando cien aerogeneradores de eje vertical tipo Savonius con generador PMG220-0,1KW/200RPM, se requirió de cincuenta reguladores modelo WS-WSC30 30A marca WELLSEE, 24 baterías marca Trojan modelo T-105, un inversor marca VICTRON ENERGY modelo Phoenix 24/5 000, y el cableado eléctrico. Por último, se evaluó la factibilidad económica del proyecto, resultando el Valor Actual Neto (VAN) igual a S/. -264 728,71 una Tasa Interna de Retorno (TIR) de -0,27% y la relación Costo-Beneficio (B/C) de 0,55. Finalmente se concluye que el proyecto no es rentable, no existe forma de recuperar la inversión y que se debe rechazar el proyecto, según indicadores económicos del proyecto.

Palabras claves: aerogenerador eólico, energía renovable, recurso eólico, consumo energético, dimensionamiento, análisis económico.

ABSTRACT

The failures in the electrical service of the National University of Jaen and to contribute efficiently to sustainable development, for these reasons the present research work of the applied type with a descriptive research level and its design of cabinet field research (not experimental) aims to design of a wind turbine to cover the electrical demand to the Mechanical and Electrical Engineering Laboratory of the National University of Jaen, for this was evaluated the wind speed in the project area with the meteorological data of the Station Jaen, and according Weibull distribution, the average wind speed of the area is 1,03 m/s for a whole year, next was determined the electrical demand of the Mechanical and Electrical Engineering Laboratory of the National University of Jaen, resulting 423,198 kWh/year, the next step to proceed was the dimensioning of the wind turbine, resulting one hundred wind turbines of vertical axis Savonius type with PMG220-0,1KW/200RPM generator, was required fifty regulators model WS-WSC30 30A brand WELLSEE, 24 batteries brand Trojan model T-105, an inverter brand VICTRON ENERGY model Phoenix 24/5000, and electrical wiring. Lastly, was evaluated the economic feasibility of the research, resulting the Net Present Value (NPV) equal to S/. -264 728,71, an Internal Rate of Return (IRR) of -0,27% and the ratio Cost-Benefit (B/C) of 0,55. Finally, to concluded that the research is not profitable, there is no way to recover the investment and that the research should be rejected according to the economic indicators of the research.

Keywords: wind turbine, renewable energy, wind resource, energy consumption, dimensioning, economic analysis.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

De acuerdo con el Manual de Planificación Energética (OLADE, 2017), anualmente las instituciones públicas y privadas requieren desembolsar una cantidad de dinero considerable para cubrir los servicios de energía eléctrica. Además, se debe tomar en cuenta las consecuencias ambientales que exigen hacer un uso racional de la energía convencional. Debido a ello, diversos espacios optan por alternativas como la energía eólica que es renovable, no contamina y reduce el uso de combustibles fósiles.

Según Sánchez y Reyes (2015), el efecto invernadero y sus consecuencias deberían ser la prioridad en la ciudadanía y sus instituciones. Como medidas de mitigación, surge la alternativa del uso de la energía eólica que no emite sustancias tóxicas ni contaminantes del aire, las cuales dañan ecosistemas terrestres y acuáticos, además de desencadenar enfermedades del corazón. Este tipo de energía, no genera residuos, ni contaminantes del agua, un factor importante teniendo en cuenta la escasez de agua.

Según Gonzales, Valcárcel, y Sánchez (2011), afirman que una solución a la problemática planteada, es el uso del viento para crear electricidad, mediante el desarrollo de prototipos de aerogeneradores, adaptados a áreas relativamente pequeñas, que permitan disminuir los costos anuales y a la vez contribuir con la conservación del medio ambiente. Por estas razones, la producción de electricidad mediante energía eólica y su uso de forma eficiente contribuyen al desarrollo sostenible.

Según Mejía (2018), el laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Amazónica presenta altos costos y fallas en el servicio eléctrico por lo que es interesante analizar opciones en generación, en consecuencia, el objetivo de este trabajo es diseñar un aerogenerador eólico para cubrir la demanda eléctrica al laboratorio de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén.

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. ANTECEDENTE INTERNACIONAL

Según Posso (2002) describe las características, potencialidades y limitaciones de fuentes alternativas que sean armónicas ambientalmente, renovables y/o inagotables, dentro de las cuales se incluyen la radiación solar directa, la energía solar indirecta (hidráulica, viento, olas, biomasa, térmica de los océanos), la energía geotérmica, la de las mareas y la nuclear. Del mismo modo señala que la energía eólica, la solar fotovoltaica e hidráulica son las opciones con mayores perspectivas de crecimiento y participación efectiva. Sin embargo, el autor, reconoce que el logro de estas proyecciones depende de un desarrollo tecnológico factible y competitivo, así como también del apoyo decidido del Estado basado en políticas de estímulo y respaldo financiero y la instauración de una cultura energética inspirada en el respeto ambiental, ahorro energético y la sustentabilidad.

Por otro lado, Baillarie (2007) diseñó un generador sincrónico a base de imanes permanentes, para su utilización con una turbina eólica, en la perspectiva de posibilitar el abastecimiento de energía eléctrica en zonas rurales. Los resultados señalan que, con las máquinas diseñadas, es posible abastecer las demandas asegurando el ahorro en consumo de petróleo diésel. Con esto se concluye la factibilidad de la utilización de este tipo de turbinas como solución al abastecimiento eléctrico dentro de zonas rurales, climáticamente aptas.

También Carvajal y Rodríguez (2015) presentaron el diseño y la simulación de un tipo de aerogenerador que se ajustara a las variables del viento (velocidad, dirección y densidad) presentes en la zona donde se llevó a cabo el estudio, a fin de garantizar la mayor eficiencia posible para cubrir la demanda eléctrica requerida. Demostraron que los aerogeneradores Aleko y WG1500 superaron con mayor rango la demanda energética diaria estimada, siendo ambos aerogeneradores equivalentes en su valor económico.

1.2.2. ANTECEDENTE NACIONAL

Según Fiestas, Lizárraga, Nunja, Quispe y Rojas (2016) construyeron y evaluaron un sistema no convencional de generación de energía eléctrica, aprovechando el potencial eólico disponible, mediante el diseño de un prototipo de aerogenerador de eje vertical tipo Savonius, utilizando material reciclado de tableros de dibujo desechados por la Universidad,

contenedores cilíndricos de aceite lubricante y piezas de acero maquinadas a medida. Como resultados obtuvieron ecuaciones empíricas que permite evaluar el desempeño de la turbina en relación de la potencia eléctrica que se podría extraer de la turbina del generador en función de la velocidad del viento para diferentes velocidades en el rango de 1 – 5 m/s, temperatura del aire 25 °C, presión atmosférica 98171,4168 Pa.

Siguiendo los mismos lineamientos, Otoleas (2017) diseño un aerogenerador de 6 kW, para el suministro de energía eléctrica a una empresa de Telecomunicación de Morrope. Con este trabajo, el autor, mostró que los consumidores de energía eléctrica exclusivamente para la antena de telecomunicación operan las 24 horas del día, por lo tanto, se requiere una potencia de 2 874 Watt. Por esta razón, el investigador concluye que técnicamente y económicamente es factible la propuesta del uso del aerogenerador de 6kW.

Por otro lado, García (2016) diseñó un sistema de aerogeneradores eólicos para abastecer de energía eléctrica segura y confiable al campus de USP – Nuevo Chimbote, inicialmente en forma dual, utilizando energía eléctrica convencional y energía eléctrica renovable, mediante aerogeneradores. Se empleó una investigación que obedece a un diseño descriptivo – transversal, constituye un tipo de investigación cuantitativa, en el cual se realizó una evaluación estadística del potencial eólico, así como la estadística del consumo de energía del campus de USP, con el cual se proyectó sistema de aerogeneradores. Con los parámetros del aerogenerador de 2.5 kW se obtuvieron como resultado la energía anual producida por un solo aerogenerador, una velocidad nominal de 5m/s, una dirección de viento entre SUR y SUR-SUROESTE y el costo de retorno de inversión 43,75 meses aproximadamente de 3 años y 6 meses.

Del mismo modo, Jara y Ponce (2015) diseñaron y dimensionaron un aerogenerador tripala para su utilización en la plataforma flotante de Pesquera diamante S.A San Antonio III, Samanco. La investigación estudió detalladamente la demanda energética de 3925 de Wh/día de la plataforma flotante ubicada en la bahía de Samanco, corroborando los datos con la estación meteorológica de Huarmey. Con base a los resultados, el autor afirma que es posible diseñar y dimensionar un aerogenerador capaz de cubrir 3 925 Wh/día. Esta investigación presenta una alternativa de generación eléctrica por medio de energía eólica como una opción factible y viable para solucionar los problemas de energía, a través de la innovación

tecnológica (reemplazando en forma parcial de la tecnología de combustible fósil por la energía eólica), logrando obtener una energía limpia no contaminante.

Quicio (2016) elaboró una propuesta de un aerogenerador para el suministro de energía eléctrica de la I.E San Francisco de Paredones. Los resultados de la investigación dieron a conocer el déficit de la energía eléctrica en la institución y se determinó las necesidades en cada área. Para brindar soluciones, la investigación concluyó que el aerogenerador recomendado es el modelo AEOLOS V – 5 kW de la marca AEOLOS, el cual posee una potencia de 5 kW y una velocidad de arranque de 2,8 m/s, generando un ruido de trabajo de 30 db, el cual se considera dentro del rango permisible.

También Gonzáles (2017) diseñó y construyó un aerogenerador eólico con generador eléctrico de imanes permanentes para satisfacer pequeñas demandas eléctricas, fabricando cada uno de los componentes del sistema con el uso de tecnología nacional. El investigador realizó el montaje y puesta en funcionamiento del prototipo en una localidad ubicada en una Provincia del Cusco, donde se evaluó por un periodo de seis meses para determinar su potencia y eficiencia. La propuesta del autor se presenta como una solución energética y socioeconómica, sobre todo para las zonas rurales, donde la red eléctrica nacional no existe, siendo el único requisito para el buen funcionamiento del aerogenerador que las zonas elegidas posean el recurso eólico, contribuyendo así a la mejora de las condiciones de vida de los pobladores, bajo el principio de aprovechamiento del recurso local y la preservación del medio ambiente, lo que de acuerdo a Gonzáles (2017) significa, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.

1.3. JUSTIFICACIÓN

1.3.1. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

La investigación se enmarca dentro de una propuesta para habilitar un espacio, a través del uso de recursos energético renovables. Según el Atlas eólico del Perú (MEM, 2016) la potencia aprovechable por la energía del viento a 100 m en la región Cajamarca es de 891 MW, con velocidades del viento alrededor de 5 m/s. Es importante la evaluación de la velocidad del viento para garantizar el funcionamiento estable del aerogenerador en un lapso de tiempo, y de esa manera el diseño del aerogenerador logrará captar la mayor cantidad de energía eólica.

1.3.2. JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL

Un tema común en debate es la problemática ocasionada por el agotamiento de recursos naturales. Por ello, nuestra investigación impulsa una alternativa a las fuentes energéticas tradicionales. De acuerdo con Francisco (2019) “cuando se aprovecha el recurso eólico para producir energía, no se contribuye al efecto invernadero ni a la emisión de sustancias contaminantes a la atmosfera” (p. 34). La importancia de llevar a cabo proyectos con aerogeneradores que hacen uso de energía eólica, se basa en el hecho de que representa la oportunidad para innovar en nuestros espacios, utilizando una fuente de energía natural que está sub-utilizada en el país y en gran parte del mundo.

1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo se diseña un aerogenerador eólico para cubrir la demanda eléctrica al laboratorio de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén?

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un aerogenerador eólico para cubrir la demanda eléctrica al laboratorio de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén.

2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

- a. Evaluar la velocidad del viento en la zona del proyecto.
- b. Determinar la demanda eléctrica del laboratorio de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén.
- c. Dimensionar un aerogenerador eólico para cubrir la demanda eléctrica al laboratorio de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén.
- d. Evaluar la factibilidad económica del proyecto.

2.3. HIPOTESIS

La velocidad del viento y la demanda de energía eléctrica influye en el diseño de un aerogenerador eólico para cubrir la demanda de energía eléctrica al laboratorio de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén.

3. MATERIAL Y METODOS

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación es del tipo aplicada, con un nivel de investigación descriptivo, y su diseño de investigación campo gabinete (no experimental).

3.2. UBICACIÓN

El presente proyecto de investigación se desarrolló en el local de la Universidad Nacional de Jaén, está ubicado en Jr. Cuzco N° 250 – Esq. con Calle Antisuyo – Pueblo Libre – Jaén – Cajamarca – Perú, cuyas coordenadas son $5^{\circ}42'00.6''S$ $78^{\circ}48'35.1''W$.



Figura 1. Ubicación de la Universidad Nacional de Jaén
Fuente: Google Maps

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. POBLACIÓN

Laboratorios de la Universidad Nacional de Jaén.

3.3.2. MUESTRA

Laboratorio de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén.

3.4. MÉTODO

La metodología utilizada para el presente trabajo de investigación está dada por el siguiente diagrama de flujos:

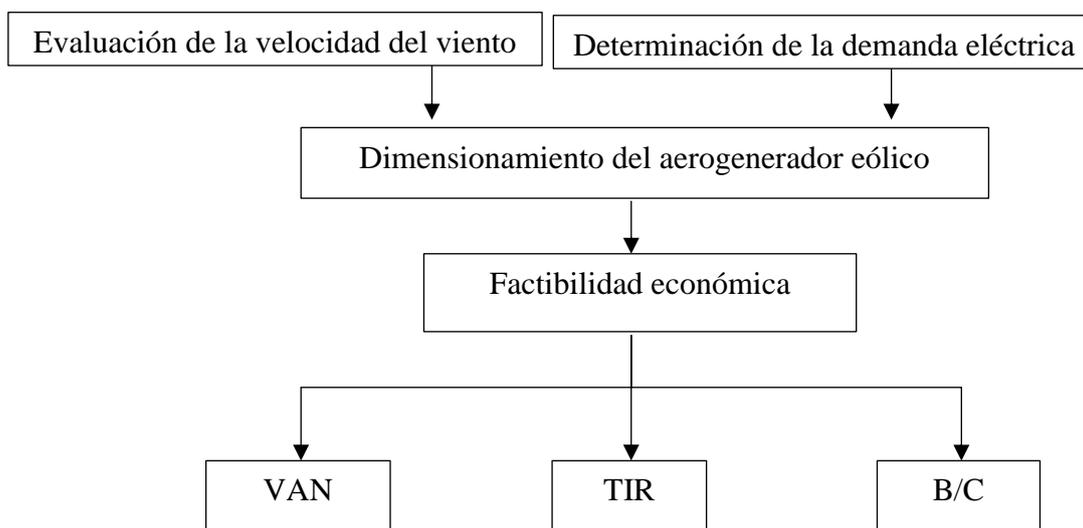


Figura 2. Diagrama de flujo para diseño de aerogenerador eólico
Fuente: Elaboración propia

3.4.1. EVALUACIÓN DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO

3.4.1.1. DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA Y DISTRIBUCIÓN ACUMULADA

Según Alcalá (2014) los datos de velocidad de viento se obtienen de una estación meteorológica, pero para esta investigación se dispone de una estación pluviográfica denominada Estación Jaén cuyas características se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Estación Pluviográfica Jaén

N°	Descripción	Valores
01	Código	10 567
02	Institución Responsable	SENAMHI
03	Departamento/Provincia/Distrito	Cajamarca/Jaén/Jaén
04	Coordenadas	Latitud: 5°40'35"S Longitud: 78°46'27"W Altitud: 654 msnm

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

De acuerdo con CONAGUA (2016) afirma que el área de influencia de una estación meteorológica es de 5 km de radio aproximadamente, por el cual en el ítem 3.2 se tiene las coordenadas de la Universidad Nacional de Jaén, como también, la Tabla 1 muestra las coordenadas de la Estación Jaén. Estos datos se ingresan en Google Maps y se puede obtener la distancia entre estos dos puntos, por esa razón la Figura 3 muestra la distancia entre Estación Jaén y Universidad Nacional de Jaén resultando un valor de 4,75 km, un valor que se encuentra dentro del rango de los 5 km de radio.

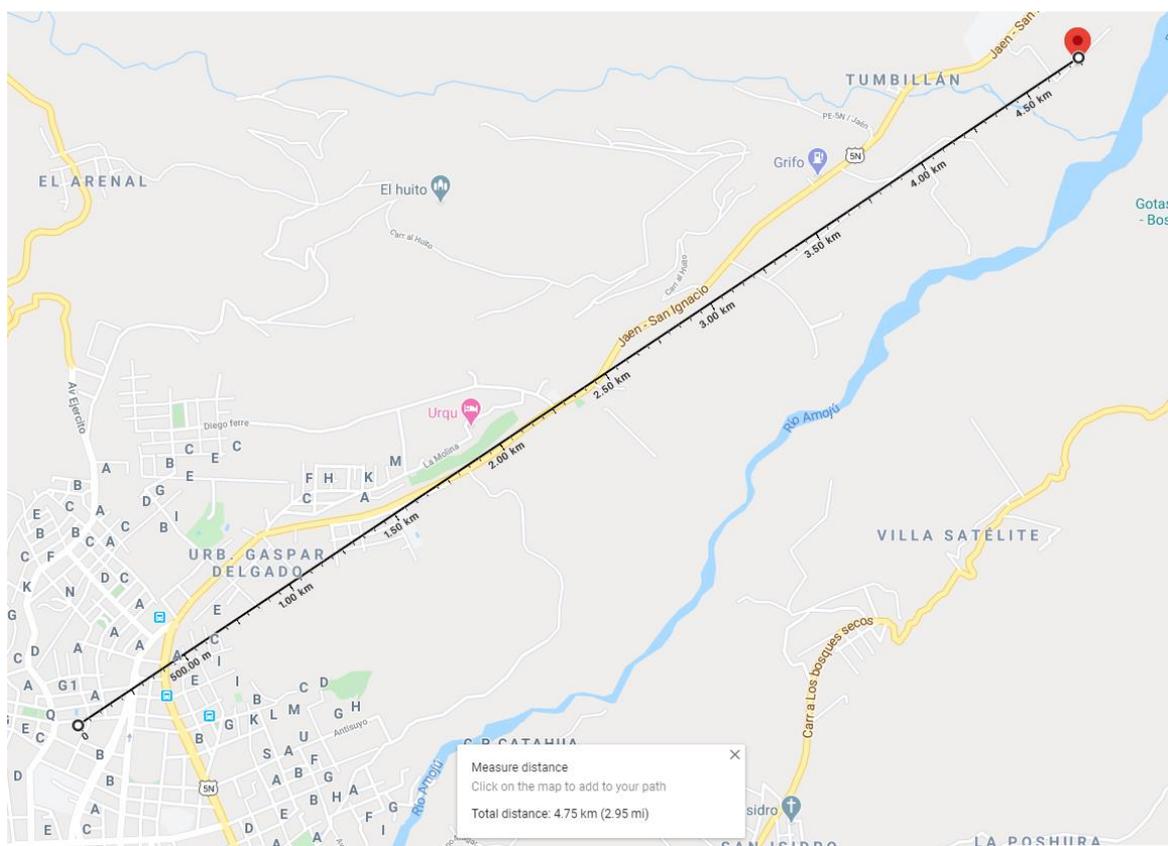


Figura 3. Distancia entre Estación Jaén y Universidad Nacional de Jaén

Fuente: Google maps

Los datos de la Estación Jaén proporcionados por SENAMHI (Tabla 30) son datos de 365 días desde el 01 de diciembre del 2018 hasta el 30 de noviembre del 2019, utilizando estos

datos se hizo la distribución de frecuencias y la distribución acumulada para diferentes velocidades de viento (Tabla 2).

Partiendo de estos datos, según Alcalá (2014) con estos datos meteorológicos se procesan en un cuadro de distribución de frecuencia y distribución acumulada para lo cual se tiene la Tabla 2. Se ha contabilizado que tenemos en dicho período 8 760 horas, periodo de 365 días.

Tabla 2. Distribución de frecuencias y distribución acumulada

N°	Velocidad	Distribución de Frecuencia	Distribución Acumulada	Frecuencia Acumulada
01	0,0	1 008	1 008	0,115
02	0,7	3 096	4 104	0,468
03	1,0	768	4 872	0,556
04	1,3	1 752	6 624	0,756
05	1,7	984	7 608	0,868
06	2,0	696	8 304	0,948
07	2,3	264	8 568	0,978
08	2,7	96	8 664	0,989
09	3,0	48	8 712	0,995
10	3,3	24	8 736	0,997
11	4,0	24	8 760	1,000
		8 760		

Fuente: Elaboración propia

Con estos datos de velocidad del viento se obtiene los gráficos de distribución de frecuencias como se muestra en la Figura 4 y distribución acumulada en la Figura 5.

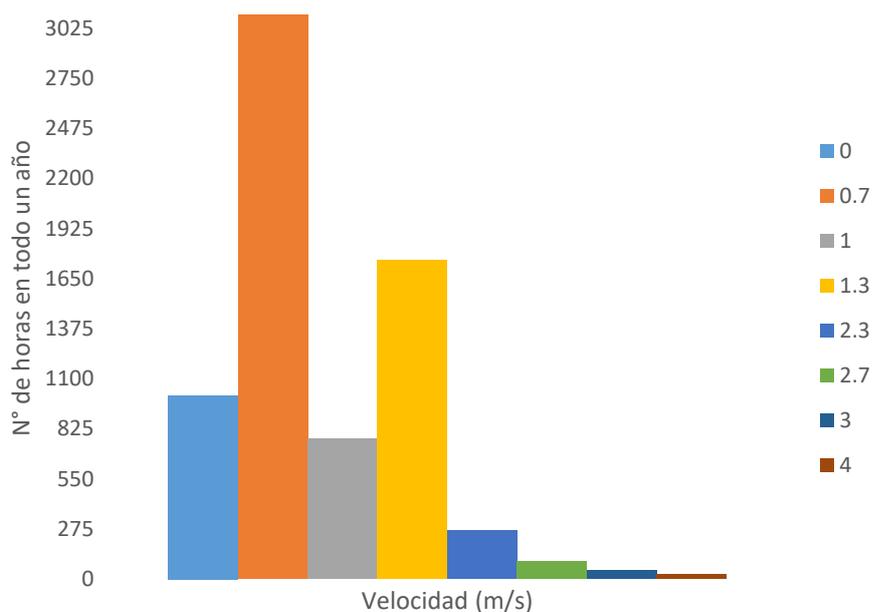


Figura 4. Distribución de frecuencia

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4, se muestra la distribución de frecuencias, son datos de velocidad de viento de modo que se tiene el número de horas de ocurrencia de una determinada velocidad del viento por lo que se ha contabilizado que en 365 días tiene un total de 8 760 horas.

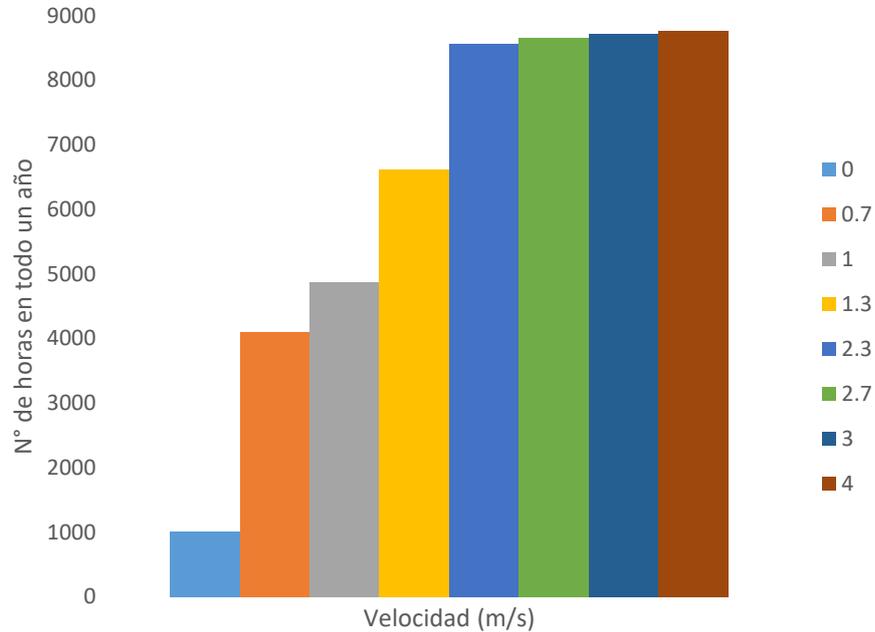


Figura 5. Distribución acumulada
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 5, se muestra la distribución acumulada, son datos de horas acumuladas en que la velocidad del viento es menor a un valor dado.

3.4.1.2. DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL

Según Álvarez, Martínez y Alvarado (2013) afirma que, para determinar el potencial eólico esté está relacionado con los parámetros k y c , con estos parámetros se establece una frecuencia con la que se manifiesta una velocidad determinada del viento establecida por la Ecuación (1) conocida como distribución de la velocidad del viento de Weibull (citado en Silva, Alves, Cavalcanti y Dantas. 2002).

$$f_v = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-(v/c)^k} \quad (1)$$

Donde:

k : Coeficiente de forma

c : Coeficiente de escala

3.4.1.3. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE LA ECUACIÓN DE WEIBULL

Según Álvarez, Martínez y Alvarado (2013) afirma que para determinar los parámetros de la ecuación de Weibull (k y c) se utiliza la Ecuación (2) correspondiente a la ecuación de probabilidad de Weibull y esto se logra utilizando el método de ajuste de mínimos (citado en Espinosa, Saldaña, y Rivera. 2011).

$$F(v) = 1 - e^{-(v/c)^k} \quad (2)$$

Donde:

$F(v)$: Frecuencia acumulada

Según Álvarez, Martínez y Alvarado (2013) afirma que, para determinar los parámetros de la ecuación de Weibull, el proceso se ve reflejado por la Ecuación (3), en la cual relaciona las variables aplicando el método de regresión lineal propuesto por Touré en el 2005 (citado en Touré. 2005).

$$\ln(-\ln(1 - F(v))) = Y$$

$$k = m$$

$$\ln(v) = X \quad (3)$$

$$-k \ln(c) = b$$

$$Y = mX + b$$

Tabla 3. Frecuencia acumulada y valores X e Y

N°	Velocidad	Frecuencia acumulada	X	Y
01	0	0,115	-	-2,1024
02	0,7	0,468	-0,3567	-0,4603
03	1	0,556	0	-0,2083
04	1,3	0,756	0,2624	0,3440
05	1,7	0,868	0,5306	0,7055
06	2	0,948	0,6931	1,0840
07	2,3	0,978	0,8329	1,3394
08	2,7	0,989	0,9933	1,5063
09	3	0,995	1,0986	1,6674
10	3,3	0,997	1,1939	1,7594

4	1	1,3863	-
---	---	--------	---

Fuente: Elaboración propia

Aplicando la Ecuación (3), se obtiene la Tabla 3, que muestra los valores para X e Y, en la cual X depende de la velocidad e Y depende de la frecuencia acumulada.

En la Figura 6, muestra los resultados obtenidos en Excel, aplicando un diagrama de dispersión con una tendencia de ajuste lineal y también se muestra la ecuación de la recta lineal.

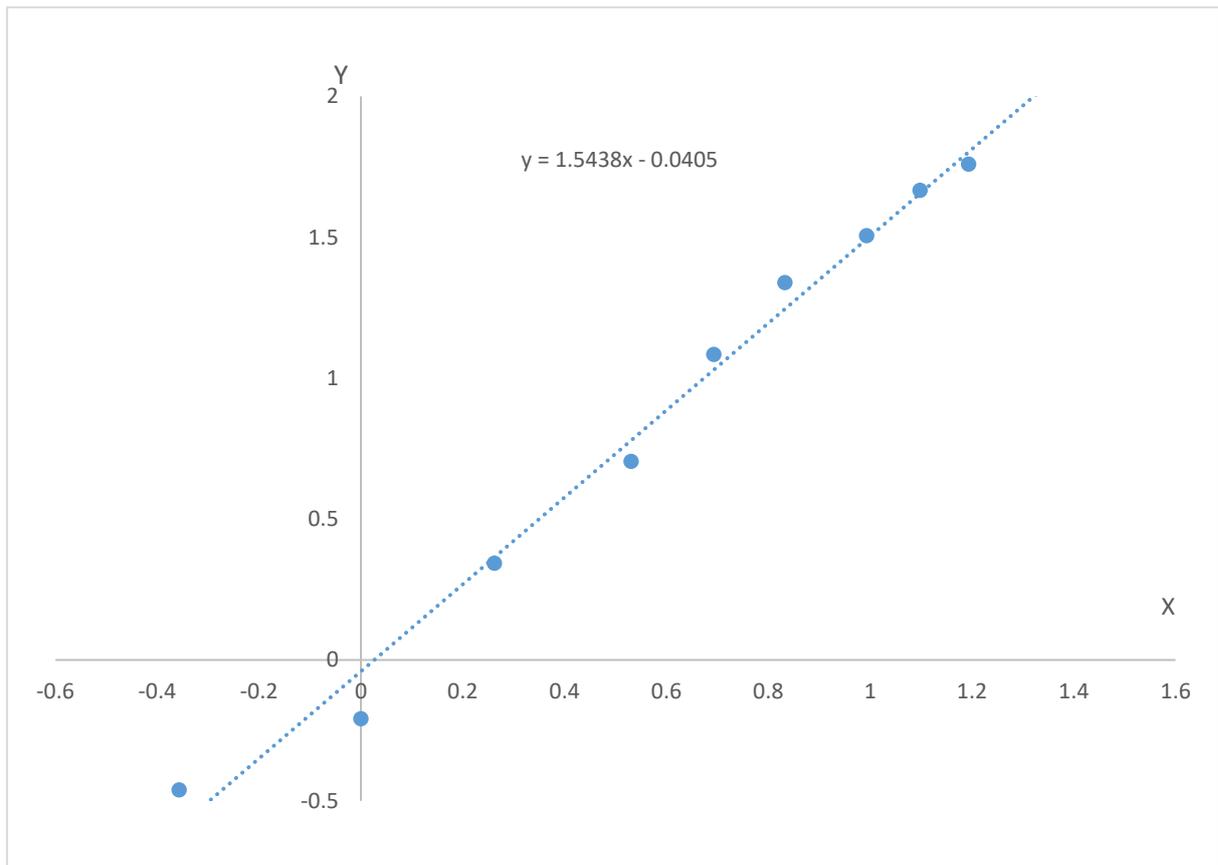


Figura 6. Ajuste lineal de la recta
Fuente: Elaboración propia

Identificando los parámetros de la ecuación de la recta mostrada en la Figura 6, y relacionando con la Ecuación (3), se obtiene los diferentes valores, k igual 1,5438, b igual a -0,0405 y c igual a 1,03 m/s.

3.4.2. DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA ELÉCTRICA

3.4.2.1. CÁLCULO DE NECESIDAD DE ENERGÍA

Para determinar la demanda total de consumo energético en este caso corresponde al laboratorio de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén. El sistema eólico satisface las necesidades de energía de los alumnos y docentes que harán uso de los equipos, iluminación y además se estimara el tiempo horas/día de funcionamiento de cargas para cual se tiene la Tabla 4.

Tabla 4. Consumo energético del Laboratorio de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

N ^o	Descripción	Cantidad	Potencia (kW)	F.S	F.D	Horas / Día	Días / Semana	Semana / Año
01	Neumática / Electroneumatica	1	0,340	0,85	1	0,5	3	36
02	Hidráulica / Electrohidraulica	1	1,1	0,85	1	0,5	3	36
03	Panel Electrónico Programable	2	1,5	0,85	1	0,5	3	36
04	Laptop	1	0,035	0,85	1	4	3	36
05	Impresora	1	0,3	0,85	1	4	3	36
06	Ventiladores	5	0,045	0,85	1	2	3	36
07	Iluminación	6	0,05	0,85	1	2	3	36
Total de Potencia (kW)							4,505 kW	
Total de demanda de energía por día							3,919 kWh / día	
Total de demanda de energía por semana							11,756 kWh / semana	
Total de demanda de energía por año							423,198 kWh / año	

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 4, muestra el total de energía demandada por el laboratorio de ingeniería mecánica y eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén, y en función a la experiencia de los docentes de la carrera profesional de ingeniería mecánica y eléctrica se ha tomado el valor del factor de simultaneidad igual a 0,85; ya que muchas veces no todos los equipos trabajan en simultáneo.

3.4.2.2. CÁLCULO DE LA ENERGÍA NECESARIA

Según Alcalá (2014) afirma que para determinar la energía necesaria que satisface la energía demandada por la carga se hace uso de la Ecuación (4) lo cual depende de un factor de pérdidas (F).

$$E_N = \frac{E_D}{F} \quad (4)$$

Para hallar el factor de pérdida se utiliza la Ecuación (5)

$$1 - \frac{f_a A}{PD_{max}} - f_b - f_i - f_j = F \quad (5)$$

De acuerdo a la literatura utilizada se consideran los siguientes valores para los factores de pérdidas:

f_a : Factor de pérdida de energía por la autodescarga ($f_a = 0,005$)

f_b : Factor de pérdida de energía debido a la eficiencia de la batería ($f_b = 0,05$)

A : Autonomía del sistema ($A = 3$)

f_i : Factor de pérdida de energía debido a la eficiencia del inversor ($f_i = 0,13$)

f_j : Factor de pérdida de energía debido a la eficiencia del inversor ($f_j = 0,05$)

PD_{max} : Profundidad de descarga máxima admisible en las baterías ($PD_{max} = 0,65$)

Por lo tanto, reemplazando estos valores en la Ecuación (5) se obtiene:

$$F = 0,747 \quad (6)$$

La Ecuación (6) muestra el valor de factor de pérdidas de energía y este valor se utiliza en la Ecuación (4).

3.4.3. DIMENSIONAMIENTO DEL AEROGENERADOR EÓLICO

3.4.3.1. SELECCIÓN DEL AEROGENERADOR

Según Meriam y Kraige (2000) indica que la velocidad lineal multiplicado por la distancia se obtiene la velocidad angular del cuerpo en rotación y se representa mediante w , como se muestra en la ecuación (7).

$$v = w \times r \quad (7)$$

La distancia r , se obtiene de la Tabla (31) y la velocidad se obtiene de la ecuación de weibull para este caso es de 1,03 m/s, entonces reemplazamos en la Ecuación (7):

$$w = \frac{v}{r} = \frac{1,03 \text{ m/s}}{0,03 \text{ m}} = 34,33 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 34,33 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \times \frac{1 \text{ rev}}{2\pi \text{ rad}} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 327,86 \text{ rpm} \quad (8)$$

En la Ecuación (8) se muestra la velocidad en rpm, y este dato es importante, ya que en la ficha técnica del generador muestra el dato de velocidad en revoluciones por minuto.

3.4.3.1.1. CÁLCULO DE LA DENSIDAD DEL AIRE

Según Gonzales et al. (2018) indican que para determinar la densidad del viento para una zona de estudio se utiliza la Ecuación (9).

$$\rho = 1.225 x e^{\left[\left(\frac{-z}{8.435}\right) - \left(\frac{T-15}{288}\right)\right]} \quad (9)$$

Donde:

ρ : Densidad del viento.

z : Altura en m.s.n.m de la zona ($z = 654 \text{ m. s. n. m}$)

T : Temperatura de la zona en °C ($T = 25 \text{ °C}$)

Por lo que reemplazando en la Ecuación (9) se obtiene el valor de la densidad para la zona de Jaén, tal como se muestra en la Ecuación (10):

$$\rho = 1,09 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (10)$$

3.4.3.1.2. CÁLCULO DEL POTENCIAL DEL VIENTO

Según Adriano, Paucar, Courthial y Zevallos (2013) señala que con la Ecuación (11) se calcula la potencia del viento que se intenta aprovechar por unidad de área.

$$\frac{P_{viento}}{A_T} = \frac{1}{2} \rho v^3 \quad (11)$$

Donde:

A_T : Área de barrido del rotor en m^2

ρ : Densidad del aire ($\rho = 1,09 \frac{kg}{m^3}$)

v : Velocidad del viento ($v = 1,03 \frac{m}{s}$)

Por lo que reemplazando en la Ecuación (11) se obtiene el valor del potencial del viento por unidad de área, tal como se muestra en la Ecuación (12):

$$\frac{P_{viento}}{A_T} = 0,596 \frac{W}{m^2} \quad (12)$$

Asimismo, Adriano, Paucar, Courthial, y Zevallos (2013) indican que se tiene que aplicar la Ecuación (13) ya que de acuerdo a el coeficiente de Betz se puede extraer como máximo los 16/27.

$$\frac{P_{max}}{A_T} = \frac{16}{27} x \frac{P_{viento}}{A_T} \quad (13)$$

Por lo que reemplazando en la Ecuación (13) se obtiene la potencia máxima que se puede extraer del viento en la zona de Jaén por m^2 de área efectiva de barrido, tal como se muestra en la Ecuación (14).

$$\frac{P_{max}}{A_T} = 0,353 \frac{W}{m^2} \quad (14)$$

Por lo tanto, la Ecuación (14) se multiplica por el valor de horas de viento en el día, entonces se tiene la Ecuación (15) que muestra la energía que se puede extraer como máximo por unidad de área:

$$\frac{E_{max}}{A_T} = 0,353 \frac{W}{m^2} x 24 \frac{h}{día} = 8,472 \frac{Wh}{m^2 día} \quad (15)$$

3.4.3.1.3. CÁLCULO DE LAS PALAS DEL AEROGENERADOR

De acuerdo a la Tabla (4) y Ecuación (4), la demanda de energía diaria es:

$$E_N = 5\,246 \frac{Wh}{día} \quad (16)$$

Entonces dividiendo la Ecuación (16) entre la Ecuación (15) se obtiene el área efectiva de barrido del rotor, tal como se muestra en la Ecuación (17):

$$A_T = \frac{5\,246 \frac{Wh}{día}}{8,472 \frac{Wh}{m^2 día}} = 619,216 m^2 \quad (17)$$

$$A_T = A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n = nxA \quad (18)$$

Donde:

A: Área de barrido de un rotor en m^2

A_T : Suma de áreas de barrido de cada rotor en m^2

n: Número de aerogeneradores (consideraremos $n = 100$)

Reemplazando los valores de la Ecuación (17) en la Ecuación (18) se obtiene lo siguiente:

$$A = 6,192 m^2 \quad (19)$$

Entonces la Ecuación (19) muestra el área de barrido de un rotor para un aerogenerador eólico tipo Savonius.

De acuerdo con Adriano, Paucar, Courthial, y Zevallos R (2013) los aerogeneradores de eje horizontal funcionarían de una manera muy ineficiente por las bajas velocidad que existen en la zona, por esa razón se aplica la Ecuación (20) que es el área para aerogeneradores de eje vertical tipo Savonius, el cual trabaja mejor a pequeñas velocidades y tomando en cuenta el potencial de viento que es baja.

Por consiguiente, a partir del área que se muestra en la Ecuación (19) el área barrida es:

$$A = D \times H \quad (20)$$

$$\frac{D}{H} = 1,5 \quad (21)$$

$$e = \frac{d}{6} \quad (22)$$

De las Ecuaciones (20), (21) y (22) se obtiene:

$$H = 2,032 \text{ m} \quad (23)$$

$$D = 3,048 \text{ m} \quad (24)$$

Finalmente se calcula la distancia de separación “*e*” con la Ecuación (22), como se muestra en la Ecuaciones (25), (26) y (27).

$$D = 2d - e = \frac{11}{6} d \quad (25)$$

$$d = 1,663 \text{ m} \quad (26)$$

$$e = 0,278 \text{ m} \quad (27)$$

3.4.3.2. ENERGÍA GENERADA POR AEROGENERADOR EÓLICO

Teniendo los datos de la velocidad del viento y la demanda del laboratorio de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén. Según Alcalá (2014) indica que para determinar la potencia de salida del aerogenerador eólico se necesita aplicar la Ecuación (28).

$$E = \sum_i^n E_1 = \sum_i^n P_i x t_i \quad (28)$$

Donde:

E: Energía Total calcula a la velocidad de “*i*” m/s

P_i: Potencia eléctrica que produce el aerogenerador a la velocidad “*i*”

t_i: Periodo en que se presenta la velocidad “*i*” m/s

Se tiene el valor del área en la Ecuación (19) y este valor se reemplaza en la Ecuación (12) para tener el valor de la potencia que se puede extraer del viento y está potencia es la potencia eléctrica que produce el aerogenerador a la velocidad promedio de la zona.

3.4.3.3. NÚMERO DE AEROGENERADORES

De la Ecuación (28) se conoce que el aerogenerador tipo Savonius diariamente nos entrega 52,459 Wh/día (E), y, la demanda diaria del laboratorio de Ingeniería Mecánica y Eléctrica es de 5 246 Wh/día (E_N) como se muestra en la Ecuación (16), por lo que para determinar el número de aerogeneradores se usa la Ecuación (29):

$$A_{\#} = \frac{E_N}{E} \quad (29)$$

3.4.3.4. REGULADOR

Según Palacios (2019) afirma que con la Ecuación (30) se determina la capacidad del regulador de carga.

$$I_e = \frac{P_e}{V_e} \quad (30)$$
$$I_n = I_e * 1.25$$

Donde:

I_e : Intensidad de corriente de entrada del sistema eólico

P_e : Potencia eléctrica que entrega el aerogenerador

V_e : Voltaje del sistema eólico

I_n : Intensidad nominal de corriente

El valor de la Potencia promedio es 2,186 W este valor se obtiene de la Ecuación (19) y la Ecuación (14) para cuando la velocidad es igual a 1,03 m/s, entonces para hallar la potencia máxima cuando la velocidad alcanza los 4 m/s, se reemplaza el valor en la Ecuación (11), y finalmente con la Ecuación (13) se encuentra que el valor de la potencia máxima que entrega el aerogenerador. Y este valor es lo que nos muestra la Ecuación (31)

$$P = 127.986 W \quad (31)$$

En la Tabla 5 se muestra la intensidad nominal para el aerogenerador de esta investigación.

Tabla 5. Intensidad nominal de corriente del regulador

N°	P_e	V	I_e	I_n
01	127,986 W	12 V	10,67 A	13,34 A

Fuente: Elaboración propia

Con la corriente nominal se selecciona el regulador, pero recordemos que se tiene 100 aerogeneradores.

3.4.3.5. BATERÍAS

Según Alcalá (2014) afirma que para seleccionar la batería o las baterías se debe determinar la capacidad nominal (C_n) del banco de baterías con la Ecuación (32), y para el caso de plomo antimonio (Pb-Sb) se debe considerar 0,65 para la profundidad de descarga máxima (Pd_{max}), recordando que en el ítem 3.4.2.2 se tiene el valor de la energía necesaria (E_N) que es igual a 566,530 kWh/año, este valor es la demanda de energía para el laboratorio de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén para un período de 365 días. Y también se debe considerar los días de autonomía por lo que es recomendable tres días.

$$C_n = \frac{E_N * DA}{365 * p_d * V_B} \quad (32)$$

Donde:

V_B : Voltaje de baterías

DA : Días de autonomía

E_N : Energía necesaria que debe suministrar el sistema eólico para satisfacer la demanda en el período de un año (365 días)

En la Tabla 6 se muestra la capacidad nominal del banco de baterías que debe de tener las baterías.

Tabla 6. Capacidad nominal anual del banco de baterías

N°	E_N	DA	p_d	V_B	C_n
01	566,530 kWh/año	3	0,65	6	1 193,95 Ah

Fuente: Elaboración propia

3.4.3.5.1. BATERÍAS EN SERIE

Para determinar la cantidad de baterías en serie se tiene la Ecuación (33).

$$\#Baterías_{Serie} = \frac{V_{n,sistema}}{V_{Bateria}} \quad (33)$$

3.4.3.5.2. BATERÍAS EN PARALELO

Para determinar la cantidad de baterías en paralelo se tiene la Ecuación (34). De los parámetros de la ecuación reemplazamos valores

$$\#Baterías_{Paralelo} = \frac{C_{n,sistema}}{C_{n,Bateria}} \quad (34)$$

3.4.3.5.3. BATERÍAS EN TOTAL

Para encontrar las baterías totales para el sistema eólico se utiliza la Ecuación (35) que es el resultado de multiplicar la cantidad de las baterías en serie y la cantidad de baterías en paralelo.

$$\#Baterías_{Total} = \#Baterías_{Serie} * \#Baterías_{Paralelo} \quad (35)$$

3.4.3.6. INVERSOR

Este tipo de inversor extrae la energía continua de las baterías para convertirla en corriente alterna a un nivel de tensión 220V alterna, para eso se emplea la Ecuación (36), recordando que en la Tabla 4 se obtiene la máxima demanda por el laboratorio de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén que es de 5,3 kW y para este caso se considera un factor de simultaneidad (f_s), $f_s = 1$.

$$P_{inversor} = MD * f_s \quad (36)$$

3.4.3.7. CABLEADO ELÉCTRICO

Para determinar el conductor a emplearse en el sistema, se utiliza el código nacional de electricidad utilización 2011 para este proyecto es conveniente dividir en cuatro tramos, el primer tramo es del aerogenerador hasta el regulador, el segundo tramo es del regulador

hasta la batería, el tercer tramo es de las baterías hasta el inversor y el cuarto tramo es desde el inversor hasta el tablero de distribución.

Para sistema trifásico se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$I_N = \frac{P_{3\phi}}{\sqrt{3} * V * FP}$$
$$I_D = I_N * 1.25 = \frac{I_D}{f_c} \quad (37)$$
$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} * p_{70} * I_N * L}{S}$$

Para sistemas monofásico y continuo se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$I_N = \frac{P}{V}$$
$$I_D = I_N * 1.25 = \frac{I_D}{f_c} \quad (38)$$
$$\Delta V = \frac{2 * p_{70} * I_N * L}{S}$$

Donde:

P : Potencia monofásica

V : Tensión

I_D : Corriente de diseño

I_N : Corriente nominal

f_c : Factor de corrección (Tabla 36)

I_D : Corriente de diseño corregido

ΔV : Caída de tensión permitida (< 3 %)

p_{70} : Resistividad del cobre a la temperatura de 70° C ($p_{70} = 0,0209 \Omega\text{mm}^2/m$)

L : Longitud del cable

S : Sección del conductor (Tabla 35)

3.4.3.7.1. TRAMO 1: AEROGENERADOR - REGULADOR

Para determinar la intensidad de corriente del regulador en el tramo 1, se emplea la Ecuación (37).

Tabla 7. Intensidad de corriente del regulador

N°	Aerogenerador	P	V	FP	In	Id	fc	Id
01	1	127,986	12	0,85	7,24	9,05	0,84	10,77

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 7 se muestra la corriente del aerogenerador y regulador y con esta corriente se elige el calibre del conductor 2,5 mm² (Tabla 35).

Tabla 8. Caída de tensión del regulador

N°	Aerogenerador	K	p	In	L	S	ΔV	S	ΔV
01	1	1,73	0,0209	7,24	20	2,5	2,09	2,5	2,09
02	2-3	1,73	0,0209	7,24	23	2,5	2,41	2,5	2,41
03	4-6	1,73	0,0209	7,24	26	2,5	2,73	2,5	2,73
04	7-10	1,73	0,0209	7,24	29	2,5	3,04	4	1,90
05	11-15	1,73	0,0209	7,24	32	2,5	3,35	4	2,09
06	16-21	1,73	0,0209	7,24	35	2,5	3,67	4	2,29
07	22-28	1,73	0,0209	7,24	38	2,5	3,98	4	2,49
08	29-36	1,73	0,0209	7,24	41	2,5	4,29	4	2,69
09	37-45	1,73	0,0209	7,24	44	2,5	4,61	4	2,88
10	46-55	1,73	0,0209	7,24	47	2,5	4,93	6	2,05
11	56-64	1,73	0,0209	7,24	50	2,5	5,24	6	2,18
12	65-72	1,73	0,0209	7,24	53	2,5	5,56	6	2,32
13	73-79	1,73	0,0209	7,24	56	2,5	5,87	6	2,45
14	80-85	1,73	0,0209	7,24	59	2,5	6,19	6	2,58
15	86-90	1,73	0,0209	7,24	62	2,5	6,49	6	2,71
16	91-94	1,73	0,0209	7,24	65	2,5	6,81	6	2,84
17	95-97	1,73	0,0209	7,24	68	2,5	7,13	6	2,97
18	98-99	1,73	0,0209	7,24	71	2,5	7,44	10	1,86
19	100	1,73	0,0209	7,24	74	2,5	7,76	10	1,94

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 8 se muestra la caída de tensión y se tienen los calibres de los conductores de secciones de 2,5 mm², 4 mm², 6 mm² y 10 mm².

3.4.3.7.2. TRAMO 2: REGULADOR - BATERÍAS

Para determinar la intensidad de corriente del regulador en el tramo 1, se emplea la Ecuación (38).

Tabla 9. Intensidad de corriente Regulador - Batería

N°	Regulador-Batería	P	V	In	Id	fc	Id
01	1	127,986	24	5,33	6,66	0,84	7,93

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 9 se muestra a corriente para el tramo regulador y batería, y con esta corriente se elige el calibre del conductor 2,5 mm² (Tabla 35).

Tabla 10. Caída de tensión Regulador - Batería

N°	Regulador-Batería	K	p	In	L	S	ΔV
01	1	2	0,0209	5,33	10	2,5	0,89

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 10 se muestra la caída de tensión y se selecciona el calibre del conductor 2,5 mm², habiendo en total 500 metros.

3.4.3.7.3. TRAMO 3: BATERÍAS - INVERSOR

Para determinar la intensidad de corriente del regulador en el tramo 1, se emplea la Ecuación (38).

Tabla 11. Intensidad de corriente Batería - Inversor

N°	Batería-Inversor	P	V	In	Id	fc	Id
01	1	5 000	24	208,33	260,42	0,84	310,02

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 11 se muestra la corriente para el tramo baterías e inversor, y con esta corriente se elige el calibre del conductor 120 mm² (Tabla 35).

Tabla 12. Caída de tensión Batería - Inversor

N°	Batería-Inversor	K	p	In	L	S	ΔV
01	1	2	0,0209	208,33	10	120	0,73

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 12 se muestra la caída de tensión y se selecciona el calibre del conductor 120 mm², habiendo en total 10 metros.

3.4.3.7.4. TRAMO 4: INVERSOR – TABLERO DE DISTRIBUCIÓN

Para determinar la intensidad de corriente del regulador en el tramo 1, se emplea la Ecuación (38).

Tabla 13. Intensidad de corriente Inversor - Tablero

N°	Inversor-Tablero	P	V	In	Id	fc	Id
01	1	5 000	220	22,73	28,41	0,84	33,82

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 13 se muestra la corriente para el tramo inversor y tablero, y con esta corriente se elige el calibre del conductor 4 mm² (Tabla 35).

Tabla 14. Caída de tensión Inversor - Tablero

N°	Inversor-Tablero	K	p	In	L	S	ΔV	S	ΔV
01	1	2	0,0209	22,73	10	4	2,38	10	0,95

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 14 se muestra la caída de tensión y se selecciona el calibre del conductor 10 mm², habiendo en total 10 metros.

3.4.4. EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD ECONÓMICA

3.4.4.1. PRESUPUESTO

La Tabla 15, muestra el presupuesto del sistema eólico, en la cual el costo de inversión inicial del proyecto es de S/. 245 316,20.

Tabla 15. Presupuesto del sistema eólico

N°	Descripción	Und.	Metrado	Precio Unitario (S/.)	Precio Parcial (S/.)
01	Aerogenerador Savonius	und	100	1 887,70	188 770,00
02	Regulador Wellse WS-WSC30	und	50	105,60	5 280,00
03	Batería Trojan T-105	und	24	990,00	23 760,00
04	Inversor Phoenix	und	1	7 900,00	7 900,00
05	Cable NYY- 2,5 mm ²	m	644	0,40	257,60
06	Cable NYY- 4 mm ²	m	1 476	1,20	1 771,2
07	Cable NYY- 6 mm ²	m	2 864	3,90	11 169,6
08	Cable NYY- 10 mm ²	m	226	5,30	1 197,8
09	Cable NYY- 120 mm ²	m	10	21,00	210,00
10	Instalación	glb	1	3 500	5 000,00
Total (S/.)					245 316,20

Fuente: Elaboración propia

3.4.4.2. FLUJO DE CAJA

Para poder realizar el flujo de caja se necesita conocer la cantidad de ingreso en soles, para lo cual se utilizó la Figura 13, está figura muestra el tarifario de la Universidad Nacional de Jaén y es de tipo BT3.

En la Tabla 16, muestra que la Universidad Nacional de Jaén, realiza un pago de S/. 2 671,96 anual, por lo que este resultado sería nuestra cantidad de ingreso al año.

Tabla 16. Cantidad de ingresos

N°	Descripción	Precio Unitario (S/.)	Consumo	Precio Parcial (S/.)
01	Cargo Fijo Mensual	6,9200	1	83,04
02	Energía Activa horas Fuera de punta (kWh)	0,2421	666,506	161,36
03	Energía Activa en horas punta (kWh)	0,3020	0	0,00
04	Potencia de Distribución fuera de punta (kW)	37,4900	63,6	2 384,364
05	Potencia de Distribución en horas punta (kW)	71,6900	0	0,00
06	Mantenimiento de Conexión			32,40
07	Reposición de Conexión			10,80
Total (S/.)				2 671,96

Fuente: Elaboración propia

3.4.4.3. VALOR ACTUAL NETO

Según Fontaine (2008), afirma que uno de los métodos utilizados para determinar la rentabilidad de un proyecto es el llamado Valor Presente Neto que consiste en encontrar el valor presente de los flujos netos de efectivo esperados de una inversión, descontando a una tasa de interés apropiada y, restarle el costo inicial del proyecto. Según Abarca, Elías, Hernández y Rosales (2011), afirma que con la Ecuación (39) es posible determinar el valor actual neto y se considera la tasa de interés de 12%.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_n}{(1+i)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+i)} + \frac{F_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+i)^t} \quad (39)$$

3.4.4.4. TASA INTERNA DE RETORNO

Según Abarca, Elías, Hernández y Rosales (2011), afirman que la tasa interna de retorno se determina con la Ecuación (40), que es la misma fórmula del VAN, la diferencia es el VAN tiene que ser igual a cero, para encontrar el TIR.

$$VAN = \sum_{n=1}^n \frac{F_n}{(1 + TIR)^n} = 0 \quad (40)$$

3.4.4.5. ANÁLISIS COSTO BENEFICIO (B/C)

Según Abarca, Elías, Hernández y Rosales (2011), afirman que la relación costo-beneficio según la Ecuación (41), es un criterio común y simple de expresar la rentabilidad que resulta de dividir el valor actualizado de beneficios entre el valor actualizado de los costos, en pocas palabras es el cociente VAN Ingresos entre VAN egresos.

$$B/C = \frac{VAN_I}{VAN_E} \quad (41)$$

4. RESULTADOS

4.1. EVALUACIÓN DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO

Aplicando la Ecuación (3), se obtiene la Tabla 17 que muestra los valores de los parámetros de weibull para $k = 1,5438$, $b = -0,0405$ y $c = 1,03$ m/s.

Tabla 17. Valores de parámetros de Weibull

N°	Parámetros	Valor
01	k	1,5438
02	b	-0,0405
03	c	1,03 m/s

Fuente: Elaboración propia

Por lo que la velocidad promedio para la zona es de 1,03 m/s y en la Tabla 18, muestra los valores de probabilidad para valores específicos de velocidad de viento, estos resultados fueron obtenidos al aplicar la Ecuación (1).

Tabla 18. Probabilidad de velocidad de viento

N°	Velocidad	Probabilidad
01	0,7	0,7003
02	1	0,5674
03	1,3	0,4061
04	1,7	0,2253
05	2	0,1327
06	2,3	0,0732
07	2,7	0,0302
08	3	0,0147
09	3,3	0,0068
10	4	0,0009

Fuente: Elaboración propia

La Figura 8, muestra la distribución de Weibull. Estos datos fueron hallados mediante diagrama de dispersión en Excel (ver Figura 6). Esta distribución de Weibull muestra la probabilidad para diferentes valores de velocidad de viento.

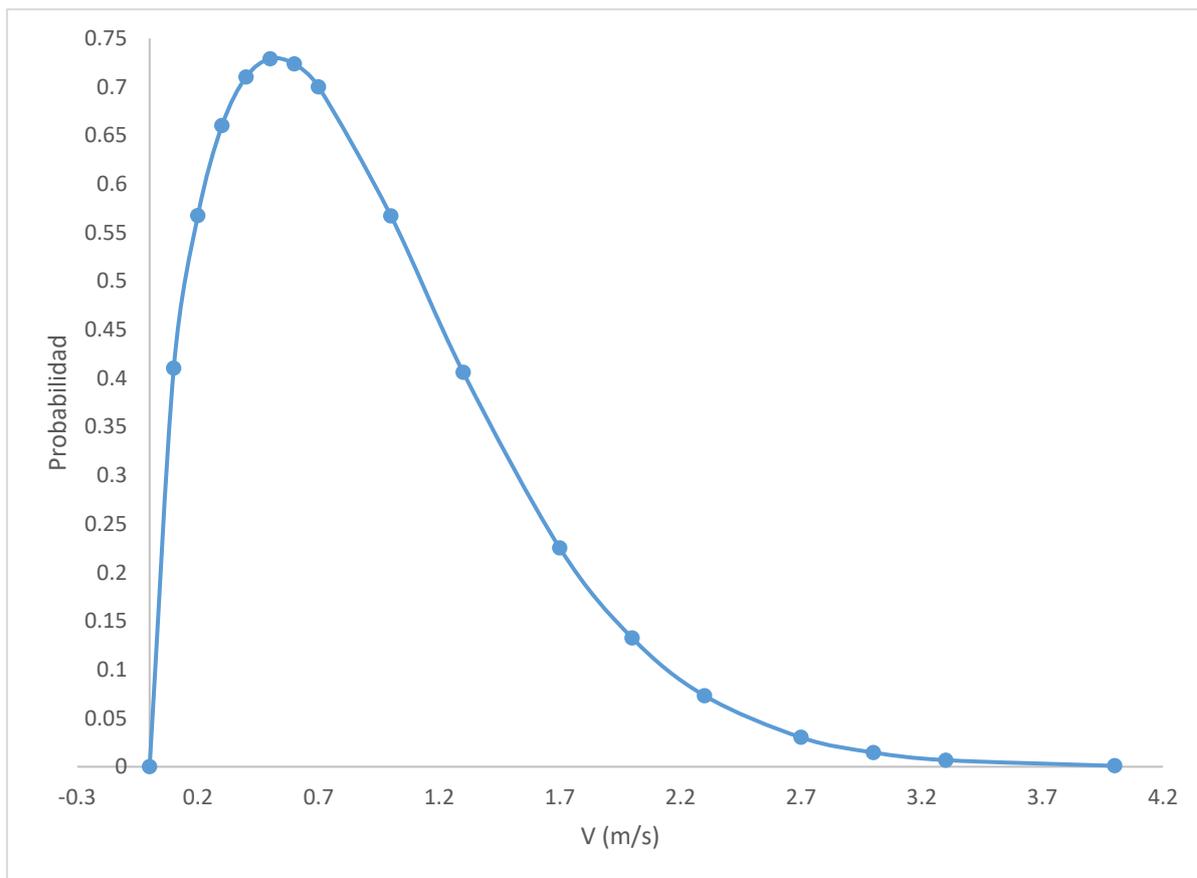


Figura 7. Distribución de Weibull
Fuente: Elaboración propia

4.2. DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA ELÉCTRICA

Tabla 19. Demanda de energía y energía necesaria al año por el laboratorio

Nº	Descripción	Necesidad de Energía	Energía Necesaria
01	Total de Potencia (kW)	4,505	6,031
02	Total de demanda de energía por día (kWh / día)	3,919	5,246
03	Total de demanda de energía por semana (kWh / semana)	11,756	15,738
04	Total de demanda de energía por año (kWh / año)	423,198	566,530

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 19, muestra para el período de un año, la demanda total de energía por el laboratorio de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén, esto representa una demanda o necesidad de energía de un total de 423,198 kWh/año. También muestra la energía necesaria que debe ser suministra por el sistema eólico, esto representa la energía necesaria que satisface la energía demandada, un total de 566,530 kWh/año.

4.3. DIMENSIONAMIENTO DEL AEROGENERADOR EÓLICO

4.3.1. SELECCIÓN DEL AEROGENERADOR

Tabla 20. Parámetros para selección del aerogenerador

Nº	Densidad	Velocidad del viento	Área	Potencial del viento	Potencial máximo del viento con coeficiente de Betz
01	1,09 kg/m ³	1,03 m/s ²	6,192 m ²	3,688 W	2,185 W
02	1,09 kg/m ³	4 m/s ²	6,192 m ²	215,977 W	127,986 W

Fuente: Elaboración propia

La selección del aerogenerador es de tipo Savonius de eje vertical por trabajar mejor a pequeñas velocidades, el cuál ha sido diseñado tomando en cuenta la Tabla 20 que muestra la velocidad del viento promedio anual igual a 1,03 m/s², una densidad igual a 1,09 kg/m³ también muestra la potencia del viento que se intenta aprovechar igual a 3,688 W y de esta potencia se puede extraer como máximo los 16/27 (Coeficiente de Betz) entonces la potencia máxima que se puede extraer del viento es 2,186 W. Del diseño se obtuvo que el área mínima de barrido de las palas requeridas para generar la demanda de energía es igual a 6,192 m², con diámetro de 1,663 m y una altura de 2,032 m. También muestra el potencial que se puede extraer del viento igual a 127,986 W para una velocidad promedio del viento igual a 4 m/s². Entonces se seleccionó el generador de imanes permanentes marca I&A PMG220-0,1KW/200RPM el cual presenta sus características en la Tabla 31.

4.3.2. ENERGÍA GENERADA POR EL AEROGENERADOR EÓLICO

Tabla 21. Energía generada por el aerogenerador Savonius

Nº	Descripción	E _N (Wh/día)	E (Wh/día)	Número de aerogeneradores
01	Aerogenerador Savonius	5 246	52,459	100

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 21, muestra la salida eléctrica del aerogenerador Savonius obteniéndose que un aerogenerador genera diariamente 52,459 Wh/día y muestra también la energía demandada por el laboratorio de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén igual a 5,246 kWh/día, entonces muestra que se necesita un total de cien aerogeneradores.

4.3.3. REGULADOR

Tabla 22. Intensidad de corriente del regulador

N°	Descripción	V	I_n de acuerdo al dimensionamiento	I_n de ficha técnica	Numero de aerogenerador
01	Regulador Wellsee	12 V	13,34 A	30	1
02	WS-WSC30 30A	12 V	26,68 A	30	2

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 22, muestra los resultados de la intensidad de corriente por diseño y también la intensidad de corriente que se encuentra en la ficha técnica de proveedor, por lo que, por cada dos aerogeneradores, se tiene un regulador, entonces se eligieron cincuenta reguladores Wellsee WS-WSC30 30A 12 V / 24 V.

4.3.4. BATERÍAS

Tabla 23. Capacidad nominal de la batería

N°	E_N	$C_{n,sistema}$	$C_{n,Batería}$	$V_{n,sistema}$	$V_{Batería}$	$B_{paralelo}$	B_{serie}
01	Batería Trojan	1 193,95 Ah	225 Ah	12 v	6 v	5,31	2
02	Batería Trojan	1 193,95 Ah	225 Ah	24 v	6 v	5,31	4

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 23, muestra los resultados de la capacidad nominal del banco de batería y al tener seleccionado en la Tabla 22 el regulador Wellsee WS-WSC30 30A 12V/24V, en consecuencia, la Tabla 23 se selecciona 24 baterías Trojan, 225 Ah, 6 V, de acuerdo a las condiciones meteorológicas es factible el análisis para una autonomía de tres días.

4.3.5. INVERSOR

$$P_{inversor} = 5\,300\,W * 1 = \frac{5\,300\,W}{0,94} = 5\,638,29\,VA \quad (42)$$

En la Ecuación (42) se muestra la potencia del inversor igual a 5 638,29 VA, para este proyecto se eligió el Inversor Phoenix, 24 V CC/230 V CA, potencia aparente 5 000 VA, potencia 4 500 W, potencia punta 10 000 W, y 60 Hz.

4.3.6. CABLEADO ELECTRICO

Tabla 24. Conductor eléctrico

N°	Descripción	Conductor	Sección nominal
01	Tramo 1	NYY unipolar	$2,5mm^2; 4mm^2; 6mm^2; 10mm^2$
02	Tramo 2	NYY unipolar	$2,5mm^2$

03	Tramo 3	NYY unipolar	120mm ²
04	Tramo 4	NYY unipolar	10mm ²

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 24, muestra los conductores a emplearse, el primer tramo del aerogenerador hasta el regulador se usa cable NYY de 2,5 mm², 4 mm², 6 mm² y 10 mm² con longitudes de 144 m, 1 476 m, 2 864 m y 216 m respectivamente. Para el segundo tramo del regulador hasta las baterías se usa cable NYY de 2,5 mm² con longitud de 500 m. Para el tercer tramo de las baterías hasta el inversor se usa cable NYY de 120 mm² con longitud de 10 m y para el cuarto tramo desde el inversor hasta el tablero de distribución se usa cable NYY de 10 mm² con longitud de 10 m.

4.4. ANÁLISIS ECONÓMICO

La Tabla 25 muestra los ingresos, los gastos en mantenimiento, la depreciación y utilidades para un período de 20 años.

Tabla 25. Estado de resultados anuales

Nº	Año	0	1	2	3	4
01	Ingresos		S/. 2 671,96	S/. 2 671,96	S/. 2 671,96	S/. 2 671,96
02	Mantenimiento		S/. 0,00	S/. 0,00	S/. 0,00	S/. 23 760,00
03	Depreciación		S/. 16 301,50	S/. 16 301,50	S/. 16 301,50	S/. 16 301,50
04	Utilidad		S/. -13 629,54	S/. -13 629,54	S/. -13 629,54	S/. -37 389,54
		5	6	7	8	9
		S/. 2 671,96				
		S/. 0,00	S/. 0,00	S/. 0,00	S/. 23 760,00	S/. 0,00
		S/. 16 301,50				
		S/. -13 629,54	S/. -13 629,54	S/. -13 629,54	S/. -37 389,54	S/. -13 629,54
		11	12	13	14	15
		S/. 2 671,96				
		S/. 0,00	S/. 23 760,00	S/. 0,00	S/. 0,00	S/. 0,00
		S/. 16 301,50				
		S/. -13 629,54	S/. -37 389,54	S/. -13 629,54	S/. -13 629,54	S/. -13 629,54
		16	17	18	19	20
		S/. 2 671,96				
		S/. 23 760,00	S/. 0,00	S/. 0,00	S/. 0,00	S/. 0,00
		S/. 16 301,50				
		S/. -37 389,54	S/. -13 629,54	S/. -13 629,54	S/. -13 629,54	S/. -13 629,54

Fuente: Elaboración propia

Para el análisis económico del proyecto se determinó la inversión inicial que asciende al monto de S/. 245 316,20 como se muestra en la Tabla 26, y también el flujo de efectivo neto.

Tabla 26. Flujo de Efectivo Neto

N°	Año	0	1	2	3
01	Utilidad		S/. -13 629,54	S/. -13 629,54	S/. -13 629,54
02	Depreciación		S/. 16 301,50	S/. 16 301,50	S/. 16 301,50
03	Inversión	S/. -245 316,20			
04	Flujo neto	S/. -245 316,20	S/. 2 671,96	S/. 2 671,96	S/. 2 671,96
		4	5	6	7
		S/. -37 389,54	S/. -13 629,54	S/. -13 629,54	S/. -13 629,54
		S/. 16 301,50	S/. 16 301,50	S/. 16 301,50	S/. 16 301,50
		S/. -21 088,04	S/. 2 671,96	S/. 2 671,96	S/. 2 671,96
		10	11	12	13
		S/. -18 909,54	S/. -13 629,54	S/. -37 389,54	S/. -13 629,54
		S/. 16 301,50	S/. 16 301,50	S/. 16 301,50	S/. 16 301,50
		S/. -2 608,04	S/. 2 671,96	S/. 21 088,04	S/. 2 671,96
		16	17	18	19
		S/. -37 389,54	S/. -13 629,54	S/. -13 629,54	S/. -13 629,54
		S/. 16 301,50	S/. 16 301,50	S/. 16 301,50	S/. 16 301,50
		S/. -21 088,04	S/. 2 671,96	S/. 2 671,96	S/. 2 671,96

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla 26, se traslada los datos del Flujo Neto a una hoja de cálculo de Microsoft Excel para aplicar las funciones VAN y TIR a una tasa del 12%, como se muestra en la Tabla 27, obteniéndose un VAN negativo lo que indica que la inversión no es rentable y un TIR también negativo lo que indica que no existe forma de recuperar la inversión inicial.

Tabla 27. Indicador económico VAN y TIR

N°	Descripción	Resultado
01	VAN	S/. -261 728,71
02	TIR	-0,27

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 28 muestra los ingresos y egresos para un período de 20 años.

Tabla 28. Ingresos y Egresos

N°	Año	0	1	2	3	4	5
01	Ingresos	S/. 2 671,96	S/. 2 671,96	S/. 2 671,96	S/. 2 671,96	S/. 2 671,96	S/. 2 671,96
02	Egresos	S/. 0,00	S/. 0,00	S/. 0,00	S/. 23 760,00	S/. 23 760,00	S/. 0,00
		6	7	8	9	10	11
		S/. 2 671,96	S/. 2 671,96	S/. 2 671,96	S/. 2 671,96	S/. 2 671,96	S/. 2 671,96
		S/. 0,00	S/. 0,00	S/. 23 760,00	S/. 0,00	S/. 5 280,00	S/. 0,00
		12	13	14	15	16	17
		S/. 2 671,96	S/. 2 671,96	S/. 2 671,96	S/. 2 671,96	S/. 2 671,96	S/. 2 671,96
		S/. 23 760,00	S/. 0,00	S/. 0,00	S/. 0,00	S/. 23 760,00	S/. 0,00
		18		19		20	
		S/. 2 671,96		S/. 2 671,96		S/. 2 671,96	
		S/. 0,00		S/. 0,00		S/. 0,00	

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla 28, se trasladan los datos de Ingresos y Egresos a una hoja de cálculo de Microsoft Excel para aplicar la función VAN para ingresos y función VAN para egresos, a una tasa del 12%, como se muestra en la Tabla 29, y el cociente de estos dos valores muestra el resultado del Costo-Beneficio igual a 0,55.

Tabla 29. Indicador económico Costo Beneficio

N°	Descripción	Resultado
01	VAN Ingresos	S/. 19 958,05
02	VAN Egresos	S/. 36 370,56
03	B/C	0,55

Fuente: Elaboración propia

5. DISCUSIÓN

Para este proyecto se uso la metodología de acuerdo a Álvarez, Martínez y Alvarado (2013), el parámetro de interés es la velocidad del viento y para obtener los parámetros de weibull se han procesado los datos a 8 meses, el cual se determina una velocidad promedio de 2,64 m/s y el cálculo del potencial eólico que realiza es para un aerogenerador de eje horizontal, por lo que para este proyecto no se puede aplicar ese cálculo, ya que la velocidad promedio de este proyecto es de 1,03 m/s para el período de un año, por lo que para este proyecto se continuo con la metodología de acuerdo a Adriano, Paucar, Courthial, y Zevallos (2013), en la cual se aborda el diseño y construcción de aerogenerador tipo Savonius y el cálculo que se aplica es para un aerogenerador de eje vertical.

De acuerdo con Ruiz (2018) utilizó un aerogenerador GESIS, con una velocidad del viento de arranque de 3 m/s, un regulador ENAIR modelo FM 60 y batería ROLLS SURRETTE de 503 Ah, para este proyecto se usó aerogenerador de eje vertical tipo Savonius el cual trabaja mejor a pequeñas velocidades en este caso a una velocidad promedio de 1,03 m/s, regulador WELSSEE WS-WSC30 30A, y batería TROJAN modelo T-105, de electrolítico liquido de plomo acido, estacionaria y de descarga de ciclo profundo.

Según Vásquez (2019) en su trabajo titulado “Diseño de un sistema eléctrico híbrido eólico-Solar simulado con homer para atender la demanda eléctrica del caserío Lanchemonchos – Chota – Cajamarca” en la cual obtuvo los datos de la velocidad del viento de la estación meteorológica automática Huambos igual a 6,02 m/s en el cual seleccionó un aerogenerador ZONHAN de 1,5 Kw de eje horizontal, 28 paneles fotovoltaicos, 24 baterías, y el costo del sistema propuesto es de S/. 204 781,70 pero no indica si el proyecto es viable, por lo que para este trabajo se presenta una propuesta económica de S/. 245 316,20 y se analizó con los indicadores económicos como el VAN, TIR, y B/C resultando que este proyecto no es rentable, no existe forma de recuperar la inversión y que se debe rechazar este proyecto.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- Se logró evaluar la velocidad del viento en la zona del proyecto, utilizando el método Weibull resultando 1,03 m/s durante todo un año. La velocidad de 1,03 m/s es muy bajo para diseñar e implementar un sistema eólico para cubrir demandas de energía medianas.
- Se logró determinar la demanda eléctrica del laboratorio de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén obteniendo como resultado los valores de 4,505 kW, 3,919 kWh/día y 423,198 kWh/año.
- Se logró dimensionar un aerogenerador eólico para cubrir la demanda eléctrica al laboratorio de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén, resultando 100 aerogeneradores de eje vertical tipo Savonius con generador PMG220-01, KW/200RPM, 50 reguladores modelo WS-WSC30 30A, 24 baterías Trojan, modelo T-105, un inversor Victron Energy, modelo Phoenix 24/5000, y conductor eléctrico NYN de 2,5 mm², 4 mm², 6 mm², 10 mm² Y 120 mm².
- Se evaluó la factibilidad económica para el proyecto, resultando un valor actual neto negativo, un TIR negativo y la relación costo-beneficio menor a 1, estos valores indican que el proyecto no es rentable, no existe forma de recuperar la inversión inicial, y por lo tanto debe rechazarse el proyecto.

6.2. RECOMENDACIONES

- De acuerdo al estudio realizado donde se ha verificado que la velocidad del viento es mínima, para el nuevo campus se recomienda evaluar para otros escenarios utilizando energía solar como sistemas autónomos o sistemas conectados a red para compra de energía.

- Se recomienda hacer la evaluación económica para otros escenarios, como por ejemplo para un sistema solar, híbrido, un generador diésel entre otros.
- No es recomendable utilizar aerogenerador de eje horizontal, ya que su velocidad del viento de arranque es de 2,5 m/s en adelante, por lo que para velocidades bajas se recomienda utilizar aerogeneradores de eje vertical tipo Savonius, el cual trabaja mejor a pequeñas velocidades.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abarca, O. R., Elías, J. M. G., Hernández, E. F., & Rosales, M. Á. O. (2011). Evaluación económica de la producción de mojarra Castarrica en palizada, Campeche, México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 28, 544-555. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/141/14115904009.pdf>
- Adriano P., R. W., Paucar C., R., Courthial, L., y Zevallos R., M. (2013). *Diseño y construcción de un prototipo de aerogenerador tipo savonius para zonas altoandinas*. XX Simposio Peruano de Energía Solar, 11-15 noviembre 2013, Tacna-Perú. Recuperado de <http://www.perusolar.org/wp-content/uploads/2013/12/Adriano-Pe%C3%B1a-Rolando.pdf>
- Alcalá M., F. J. (2014). *Diseño y cálculo de un aerogenerador eólico aislado de la red*. Informe de suficiencia como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Electricista, en la Universidad Nacional de Ingeniería. 127 pp.
- Alejo V., C. (1995). *El Analisis Costo-Beneficio y la Viabilidad de los Proyectos en el Sector Público*. Obtenido de http://www.educoas.org/Portal/bdigital/contenido/interamer/BkIACD/Interamer/Interamerhtml/Riverahtml/riv_zav_villa.htm
- Álvarez C., W. F., Martínez T., L. A, y Alvarado F., A. C. (2013). *Aplicación de la Ecuación de Weibull para determinar Potencial Eólico en Tunja-Colombia*. XX Simposio Peruano de Energía Solar, 11-15 noviembre 2013, Tacna-Perú. Recuperado de <http://www.perusolar.org/wp-content/uploads/2013/12/Alvarez-Casta%C3%B1eda-William--Aplicacion-Ecuacion-de-Weibull.pdf>
- Arbeloa S., L., y Zurita G., J. (2012). *Diseño de un Aerogenerador de Eje Vertical Tipo Savonius para Electrificación Rural*. Trabajo de Tesis como requisito parcial para

obtar al título de Ingeniero Industrial, en la Universidad Pública de Navarra. 158 p. Obtenido de <http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/6667/57946.pdf?sequence=1>

Baillarie R., P. (2007). *Diseño de Aerogeneradores con Imanes Permanentes para Aplicaciones en Electrificación Rural*. Trabajo de Tesis como requisito parcial para obtar al título de Ingeniero Civil Electricista, en la Universidad de Chile de Santiago de Chile. 119 p. Obtenido de http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/104789/baillarie_p.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Calcina S., A. (2016). *Optimización del funcionamiento de un motor de inducción para el ahorro de energía eléctrica en el laboratorio UNCP*. Trabajo de Tesis como requisito parcial para obtar el grado de Magister en Tecnología Energetica, en la Universidad Nacional del Centro del Perú. 145 p. Obtenido de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3928/Calcina%20Sotelo%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Carvajal G., C., y Rodríguez R., P. (2015). *Diseño y simulación de un aerogenerador tipo eje horizontal de 1200 watts para proveer de energía eléctrica a un piso de la Hostería Las Mercedes*. Trabajo de Tesis como requisito parcial para obtar al título de Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana de Quito. 127 p. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8290/6/UPS-KT01053.pdf>

CONAGUA (2016). *Programa contra contingencias hidráulicas por organismos de cuenca para las principales ciudades del país (Etapa 2)*. México: CFE. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/281370/ZONA_URBANA_ZAPOTLAN_EL_GRANDE__JAL..pdf

Cruz A., J., Cardona G., J., y Hernández P., D. (2013). *Aplicación electrónica para el ahorro de energía eléctrica utilizando una energía alternativa*. *Entramado*, 9(2): 234 - 248. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/entra/v9n2/v9n2a17.pdf>

Chumacero C., J., y Paredes H., A. P. (2019). *Evaluación Mediante Auditoría Energética del Sistema Eléctrico en el Campus de la Universidad Nacional de Jaén*. Obtenido de <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/98>

- Fiestas U., C., Lizárraga Z., B., Nunja G., J., Quispe O., C., y Rojas P., J. (2016). *Diseño y Construcción de un Aerogenerador Tipo Savonius Multietapa*. *Big Bang Faustiniiano*, 5(4), 37 - 43. Obtenido de <http://revistas.unjfsc.edu.pe/index.php/BIGBANG/article/view/35/35>
- Fontaine, E. R (2008). *Evaluación Social de Proyectos*. México-Naucalpan de Juárez, Pearson. Obtenido de <https://www.economicas.unsa.edu.ar/iie/Archivos/Fontaine.pdf>
- Francisco Urcelay, M. S. (2019). *Diseño de un aerogenerador doméstico* (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya). Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/167025/memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- García Z., M. (2016). *Diseño de un sistema de aerogeneradores para abastecer de energía eléctrica al campus de la USP - Nuevo Chimbote, 2016*. Trabajo de Tesis como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Mecánico Electricista, en la Universidad San Pedro de Chimbote. 99 p. Obtenido de <http://repositorio.usanpedro.edu.pe/handle/USANPEDRO/8292>
- González G., Y. (2017). *Diseño construcción y evaluación de un aerogenerador eólico con generador eléctrico de imanes permanentes en el rotor para satisfacer pequeñas demandas eléctricas*. Trabajo de Tesis como requisito parcial para obtener el grado académico de Maestro en Ciencias con mención en Física, en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco. 119 p. Obtenido de <http://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/UNSAAC/2848>
- González, J. M. G., Saldivar, V. M. G., González, A. E., & Cabrera, L. A. C. P. (2018). Valoración del recurso eólico del municipio de Villa de Cos, del Estado de Zacatecas. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*, 9(21), 1474-1483.
- González S., H., Valcárcel M., J. P. y Sánchez T., A. (2011). *Diseño y construcción de un generador eólico de energía eléctrica continua*. ENTORNOS, No 24. Universidad Surcolombiana. Vicerrectoría de Investigación y Proyección Social, 2011,pp. 139-146. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3798833>

- Instituto de Tecnología Educativa (ITE). (2019). *Dinámica de las masas de aire*. (M. d. España, Ed.) Obtenido de https://fjferreer.webs.ull.es/Apuntes3/Leccion03/1_dinmica_de_las_masas_de_aire.html
- Jara C., E., y Ponce Q., J. (2015). *Diseño y dimensionado de un aerogenerador tripala como sistema alternativo de abastecimiento de energía para la plataforma flotante (Chata) San Antonio III, Pesquera Diamante S.A. (Samanco)*. Trabajo de Tesis como requisito parcial para optar al título de Ingeniero en Energía, en la Universidad Nacional del Santa de Nuevo Chimbote. 180 p. Obtenido de <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/1997>
- Mejía V., E. J. (2018). *Diseño de un Sistema Foltovoltaico Autonomo para el Suministro de Energía al Laboratorio de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Politecnica Amazonica*. PAKAMUROS, Año 7, Número 2, páginas 73-88, 2019. Recuperado de <http://revistas.unj.edu.pe/index.php/pakamuros/issue/view/10/87>
- Meriam J., L. y Kraige L., G. (2000). *Dinámica*. (3ra. ed.). Barcelona, España: Editorial Reverte.
- Merino, L. (2011). *Energías Renovables para todos*. IBERDROLA. Obtenido de <http://media1.webgarden.es/files/media1:4befe784280d2.pdf.upl/E.renovables.pdf>
- Ministerio de Energía y Minas (MEM). (2008). *Atlas Eólico del Perú*. Ministerio de Energía y Minas, Lima. Obtenido de http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documento/Institucional/Estudios_Economicos/Otros-Estudios/Atlas-Eolico/AtlasEolicoLibro.pdf
- Ministerio de Energía y Minas (MEM). (2016). *Atlas Eólico del Perú*. Ministerio de Energía y Minas, Lima. Obtenido de http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Electricidad/publicaciones/Atlas_Eolico_Final.pdf
- Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). (2017). *Manual de Planificación Energetica*. Organización Latinoamericana de Energía, Quito. Obtenido de http://www.olade.org/wp-content/uploads/2017/06/Manual_Planificacion_Energetica_Espa%C3%B1ol_Final22-05-2017.pdf

- Otoleas A., J. (2017). *Diseño de un aerogenerador de 6 kW para suministrar Energía Eléctrica en una Empresa de Telecomunicación de Morrope, 2016*. Trabajo de Tesis como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Mecánico Eléctrico, en la Universidad César Vallejo de Chiclayo. 116 p. Obtenido de <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/8923>
- Palacios B., P. A.(2019). *Diseño de un sistema eólico para suministrar energía eléctrica al fundo Chcupe - Lambayeque*. Trabajo de Tesis como requisito parcial para obtener el grado de Ingeniero Mecanico Electricista, en la Universidad Cesar Vallejo de Chiclayo. 86 p.
- Posso, F. (2002). Energía y ambiente: pasado, presente y futuro. Parte dos: Sistema energético basado en energías alternativas . *Geoenseñanza*, 7(1-2), 54-73 . Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=36070206>
- Power and productivity for a better world (ABB). (2012). *Cuaderno de aplicaciones técnicas n°12. Plantas Eólicos*. Asea Brown Boveri. Obtenido de https://library.e.abb.com/public/ac764cb1be081128c1257a30003c70d7/Cuaderno%20Tecnico_num%2012_Plantas%20eolicas.pdf
- Quicio C., L. (2016). *Propuesta de un aerogenerador para el suministro de energía eléctrica en la I.E San Francisco de Paredones, San José, 2016*. Trabajo de Tesis como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Mecánico Electricista, en la Universidad César Vallejo de Chiclayo. 113 p. Obtenido de <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/9128>
- Ramos C., J. L.(2018). *Diseño de un sistema eólico para suministrar energía eléctrica en la hacienda el triunfo - La Libertad*. Trabajo de Tesis como requisito parcial para obtener el grado de Ingeniero Mecanico Electricista, en la Universidad Cesar Vallejo de Chiclayo. 104 p.
- Real Academia Española (RAE). (2014). *Energía*. En Diccionario de la lengua española (23° ed.) Recuperado el 16 de 09 de 2019 de <https://dle.rae.es/?id=FGD8otZ>
- Ruiz C., M. H.(2018). *Diseño de un sistema eólico para suministrar energía eléctrica al puesto de salud Laguna Huanama - Salas*. Trabajo de Tesis como requisito parcial

para obtener el grado de Ingeniero Mecánico Electricista, en la Universidad César Vallejo de Chiclayo. 92 p.

Sanchez, L., y Reyes, O. (2010). *Medidas de adaptación y mitigación frente al cambio climático en América Latina y el Caribe*. Naciones Unidas. Obtenido de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39781/S1501265_es.pdf

Santamarta, J. (2010). *Las energías renovables son el futuro*. World Watch. 34-40. Obtenido de <http://www.nacionmulticultural.unam.mx/mezinal/docs/511.pdf>

Umbarila V., L., Alfonso M., F., y Rivera R., J. (2015). *Importancia de las energías renovables en la seguridad energética y su relación con el crecimiento económico*. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 6(2), 231-242. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5628790>

Valencia Clement, G. (2002). *Acción del viento sobre las estructuras*. Bogotá: Edición UNIBIBLOS.

Vasquez Diaz, J. J. (2019). *Diseño de un sistema eléctrico híbrido eólico-solar simulado con homer para atender la demanda eléctrica del caserío Lanchemonchos-Chota-Cajamarca*. Recuperado de <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/UNPRG/5487>

Vega, J., y Ramírez, S. (2014). *Fuentes de energía, renovables y no renovables*. México: Alfaomega.

Velarde B., W. F.(2017). *Diseño y simulación de aerogeneradores para optimizar la generación de energía eléctrica en la provincia de Cajamarca - 2017*. Trabajo de Tesis como requisito parcial para obtener el grado de Ingeniero Mecánico Electricista, en la Universidad César Vallejo de Chiclayo. 151 p.

Villarubia L., M. (2012). *Ingeniería de la Energía Eólica*. Barcelona, España: MARCOMBO, S.A.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por haberme brindado una familia llena de amor.

Especialmente a un amigo, a mi asesor, al Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez, por todo su tiempo y paciencia, quién ha sido un guía en toda mi formación profesional.

Y por supuesto a mi querida alma mater la UNJ.

DEDICATORIA

A Dios;

El forjador de mi camino, el que me acompaña y siempre me levanta de mis tropiezos.

A mi amada madre Aura V.H.G.M y a mi padre José M.Z;

Son las personas a quienes más amo, junto a mi hermana Luz M.M.H a quienes me debo por su amor, cariño, valores, trabajo, responsabilidad, sacrificios, superación y consejos.

A mi tío Raúl H.G y familia;

Por compartir momentos significativos en mi vida.

ANEXOS



Figura 8. Estación Pluviográfica Jaén
Fuente: Elaboración propia



Figura 9. Estación pluviográfica Jaén
Fuente: Elaboración propia

Tabla 30. Promedio de velocidad del viento m/s diario

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ



Firma Digital
Firmado digitalmente por PANTOJA TAPIA Hugo FAU 20131366028 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 23.07.2020 20:15:40 -05:00

DIRECCION ZONAL 2 SENAMHI LAMBAYEQUE

ESTACION: JAEN LAT.: 05° 40' 36" DPTO: CAJAMARCA
LONG.78° 46' 27" PROV: JAEN
CATEGORIA: "CP" ALT.:654 msnm DIST: JAEN

VIENTO: Velocidad media diaria (m/s)

Día	2018	2019										
	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.
1	1.3	1.3	1.3	0.7	1.3	1.3	1.3	1.3	2.0	0.7	1.3	0.7
2	0.0	1.3	1.3	0.0	0.7	0.7	0.0	0.7	1.7	0.0	2.0	0.7
3	1.0	0.7	0.7	0.0	0.7	0.7	1.0	1.7	0.7	1.7	1.3	2.3
4	0.7	0.7	0.7	2.0	1.3	0.0	0.7	1.3	1.0	0.7	0.7	1.3
5	2.0	0.7	0.7	0.7	2.3	0.0	0.7	1.3	1.3	0.7	0.7	1.3
6	1.3	1.7	1.3	0.7	2.3	0.7	2.0	1.7	2.3	1.3	0.0	3.3
7	1.3	1.3	0.7	0.7	0.0	1.3	0.0	2.0	2.0	0.7	0.7	2.7
8	1.0	1.0	0.7	2.0	1.3	2.0	2.0	0.7	1.7	1.7	0.7	2.0
9	1.0	0.7	0.0	0.0	1.3	0.7	2.0	1.3	0.7	1.0	1.0	1.3
10	2.0	1.7	1.3	0.7	0.0	1.3	1.0	1.3	1.3	0.7	0.7	4.0
11	0.0	1.3	0.7	0.7	0.0	0.7	1.3	1.7	1.7	0.7	0.7	2.3
12	0.7	0.7	0.7	1.0	0.0	1.3	2.0	0.7	1.3	1.0	0.7	2.0
13	0.0	0.0	1.3	1.3	0.7	0.0	1.3	1.7	0.7	0.0	1.3	2.0
14	0.7	1.7	1.0	0.7	0.0	1.3	1.3	0.7	2.3	0.7	0.0	2.7
15	0.7	1.3	1.3	1.7	1.3	1.0	1.3	1.0	2.0	1.7	0.7	3.0
16	1.0	0.7	0.7	0.7	1.3	0.7	0.7	1.3	1.7	1.0	0.7	1.3
17	0.0	0.7	0.7	1.3	0.0	2.3	1.0	0.7	0.7	1.7	2.0	1.3
18	0.7	1.3	1.7	1.3	0.7	0.7	1.0	1.7	0.0	0.0	0.7	3.0
19	0.0	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	1.0	0.0	0.7	0.7	2.0
20	0.7	0.0	0.0	0.7	0.7	1.3	1.7	1.7	1.7	0.7	1.7	0.7
21	1.0	0.0	0.7	1.0	0.7	2.0	1.7	1.0	0.7	0.7	2.3	0.7
22	1.0	0.7	2.0	0.7	0.0	0.7	0.7	1.0	1.0	0.0	0.7	2.0
23	1.3	0.7	1.0	0.0	1.3	0.7	2.7	2.3	2.3	1.3	2.0	1.7
24	1.0	1.3	0.7	1.3	0.7	1.7	1.3	1.7	1.3	1.7	0.0	1.0
25	1.7	2.7	1.7	1.7	0.7	0.7	1.7	0.0	0.7	1.3	2.0	0.7
26	0.7	1.3	0.7	1.0	0.0	1.3	1.3	1.0	0.7	1.3	0.7	1.7
27	0.7	0.7	0.0	0.7	0.7	0.7	0.7	0.0	0.7	2.3	1.7	1.7
28	0.7	0.7	0.7	2.0	0.7	1.3	1.7	1.7	1.3	0.7	0.7	1.0
29	0.7	1.3		1.7	1.3	0.7	0.7	1.0	1.7	0.7	1.7	2.0
30	2.0	0.7		0.7	0.7	1.3	1.7	0.0	0.7	0.7	0.0	1.3
31	2.0	2.0		0.0		1.3		1.7	0.7		1.3	

Información solicitada por: Néstor Javier Mc Suárez Huamán (Tesis "Diseño de un aerogenerador eólico para cubrir la demanda eléctrica al laboratorio de ingeniería mecánica y eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén").

Chiclayo, 23 de julio del 2020.

VÁLIDO SOLO EN ORIGINAL

Fuente: SENAMHI

Tabla 31. Características del generador PMG220-0,1KW/200RPM

N°	Parameter	Units	Data
01	Rated power	KW	0,1
02	Rated speed	RPM	200
03	Rated voltaje	V	12 VAC/24VAC
04	Rated Current		7,2
05	Efficiency		>85%
06	Resistance (Line-Line)		-
07	Winding type		Y
08	Insulation Resistance		100Mohm Min (500V DC)
09	Leakage level		<5 ma
10	Start torque	N/M	<0,1
11	Phase		Three phase
12	Structure		Inner rotor
13	Stator		Coreless
14	Rotor		Permanent magnet type (inner rotor)
15	Gen. Diameter	Mm	220
16	Gen. Length	Mm	212
17	Gen. Weight	Kg	8,5
18	Shaft. Diameter	Mm	30
19	Housing Material		Aluminum (Alloy)
20	Shaft Material		Steel

Fuente: <https://www.aliexpress.com/item/32455612542.html?spm=2114.12010612.8148356.21.6c1e5d31nK>

Z108

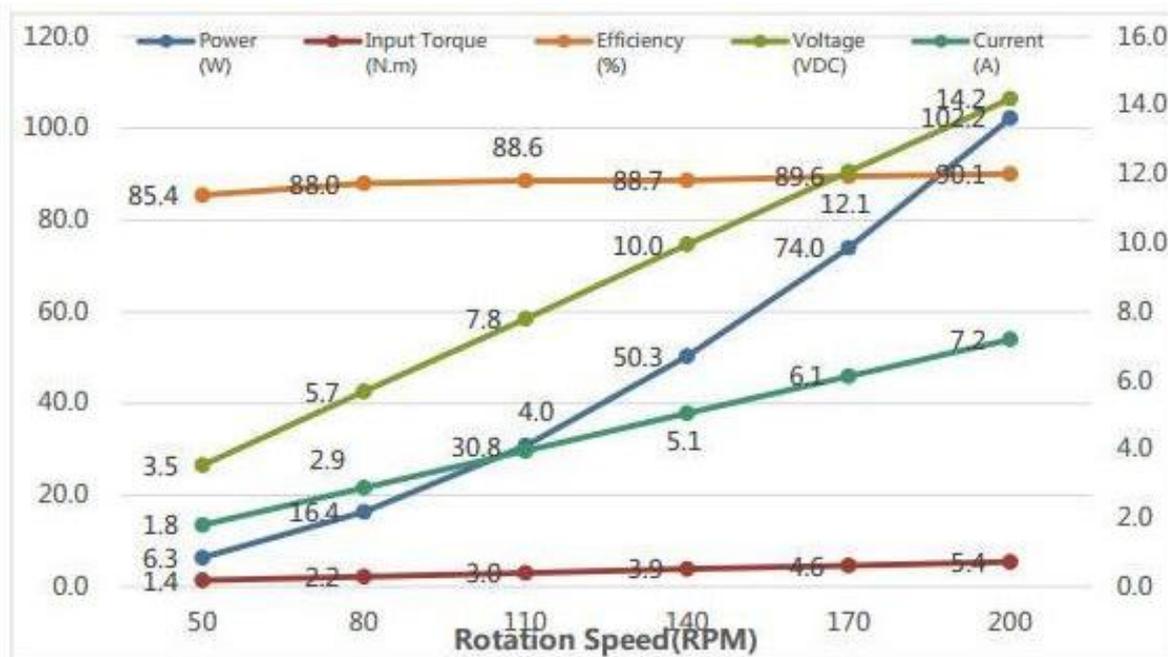


Figura 10. Curva de potencia del aerogenerador de eje vertical PMG220-0,1KW/200RPM

Fuente: <https://www.aliexpress.com/item/32455612542.html?spm=2114.12010612.8148356.21.6c1e5d31nK>

ZI08

Tabla 32. Salida eléctrica del aerogenerador de eje vertical PMG220-0,1 KW/200RPM

N°	Rotate Speed (RPM)	Load Voltage (VDC)	Load Current (A)	Load Power (W)	Input Torque (N.m)	Efficiency (%)
01	200	14.2	7.2	102.2	5.4	90.1
02	170	12.1	6.1	74.0	4.6	89.6
03	140	10.0	5.1	50.0	3.9	88.7
04	110	7.8	4.0	30.8	3.0	88.6
05	80	5.7	2.9	16.4	2.2	88.0
06	50	3.5	1.8	6.3	1.4	85.4

Fuente: <https://www.aliexpress.com/item/32455612542.html?spm=2114.12010612.8148356.21.6c1e5d31nK>

ZI08

Tabla 33. Ficha técnica regulador WS-WSC30

Descripción	Valores
Marca	WELSSE
Modelo	WS-WSC30 30A
Voltaje del sistema	Reconocimiento automático de 12 V / 24 V
Corriente de carga máxima	30 A
Máxima corriente de descarga	30 A
Potencia nominal para turbina de viento	400 W – 800 W (12 V / 24 V)
Carga de tensión HVD	14,4 V / 28,8 V
La Directiva de baja tensión LVD	10,8 V / 21,6 V
Baja Tensión restaurar	11,8 V / 23,6 V
Cargo de bucle de la gota	< 300 mV
Descarga de bucle de la gota	< 50 mV
Protección contra sobrecarga	31,5 A
Corto-circuito de protección	30 A
Luz operar	Control de luz encendido + control de luz apagado
Luz de control de tiempo	Control de luz encendido / apagado + control de tiempo encendido / apagado
Control de tiempo de clasificación	0,5 horas iniciadas, media hora de un grado, hasta 10 horas
Salida de la ruta	Sola bombilla
La temperatura ambiente	-25°C - +50°C
Seguro grado	IP22
Reposo en disipación	24 mA
Turbina de viento de mecanismo de frenado	Descarga de freno
Modo de control	La carga solar / la carga del viento son para PWM

Fuente: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/wellsee-ws-wsc30-15a-30a-12v-24v-36v-48v-advanced-wind-solar-hybrid-controller-wind-charge-62213971513.html>



T-105 DATA SHEET

MODEL: T-105 with Bayonet Cap
VOLTAGE: 6
DIMENSIONS: Inches (mm)
BATTERY: Flooded/wet lead-acid battery
COLOR: Maroon (case/cover)
MATERIAL: Polypropylene
WATERING SYSTEM: HydroLink™ Watering System



PRODUCT SPECIFICATIONS

BCI GROUP SIZE	TYPE	CAPACITY ^A Minutes		CAPACITY ^B Amp-Hours (AH)				ENERGY (kWh)	TERMINAL Type ^E	DIMENSIONS ^C Inches (mm)			WEIGHT lbs. (kg)
		@25 Amps	@75 Amps	5-Hr Rate	10-Hr Rate	20-Hr Rate	100-Hr Rate			Length	Width	Height ^D	
6 VOLT DEEP CYCLE BATTERY - with T2 TECHNOLOGY™													
GC2	T-105	447	115	185	207	225	250	1.50	1, 2, 3, 4	10.30 (262)	7.11 (181)	11.07 (281)	62 (28)

A. The number of minutes a battery can deliver when discharged at a constant rate at 80°F (27°C) and maintain a voltage above 1.75 V/cell. Capacities are based on peak performance.
 B. The amount of amp-hours (AH) a battery can deliver when discharged at a constant rate at 80°F (27°C) for the 20-Hour and 100-Hour rates and 86°F (30°C) for the 5-Hour rate and maintain a voltage above 1.75 V/cell. Capacities are based on peak performance.
 C. Dimensions are based on nominal size. Dimensions may vary depending on type of handle or terminal.
 D. Dimensions taken from bottom of the battery to the highest point on the battery. Heights may vary depending on type of terminal.
 E. Terminal images are representative only.
 Trojan's battery testing procedures adhere to both BCI and IEC test standards.

CHARGING INSTRUCTIONS

CHARGER VOLTAGE SETTINGS (AT 77°F/25°C)					
System Voltage	6V	12V	24V	36V	48V
Absorption Charge	7.40	14.8	29.6	44.4	59.2
Float Charge	6.60	13.2	26.4	39.6	52.8
Equalize Charge	7.75	15.5	31.0	46.5	62.0

Do not install or charge batteries in a sealed or non-ventilated compartment. Constant under or overcharging will damage the battery and shorten its life as with any battery.

CHARGING TEMPERATURE COMPENSATION

.028 VPC for every 10°F (5.55°C) above or below 77°F (25°C) (add .028 VPC for every 10°F (5.55°C) below 77°F and subtract .028 VPC for every 10°C above 77°F).

OPERATIONAL DATA

Operating Temperature	Self Discharge
-4°F to 113°F (-20°C to +45°C). At temperatures below 32°F (0°C) maintain a state of charge greater than 60%.	5 – 15% per month depending on storage temperature conditions.

TERMINAL CONFIGURATIONS

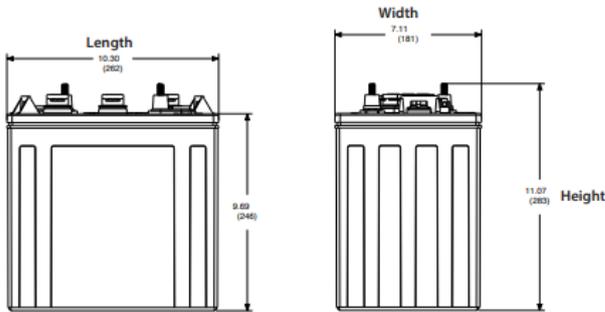
1	ELPT	Embedded Low Profile Terminal	<i>Terminal Height Inches (mm)</i> 1.22 (31) <i>Torque Values in-lb (Nm)</i> 95 – 105 (10.7 - 11.9) <i>Bolt Size</i> 5/16 – 18
2	EHPT	Embedded High Profile Terminal	<i>Terminal Height Inches (mm)</i> 1.50 (38) <i>Torque Values in-lb (Nm)</i> 95 – 105 (10.7 - 11.9) <i>Bolt Size</i> 5/16 – 18
3	EAPT	Embedded Automotive Post Terminal	<i>Terminal Height Inches (mm)</i> .95 (24) <i>Torque Values in-lb (Nm)</i> 50 – 70 (5.6 - 7.9)
4	EUT	Embedded Universal Terminal	<i>Terminal Height Inches (mm)</i> 1.10 (28) <i>Torque Values in-lb (Nm)</i> 95 – 105 (10.7 - 11.9) <i>Bolt</i> 5/16"

Figura 11. Ficha Técnica 1 Batería Trojan

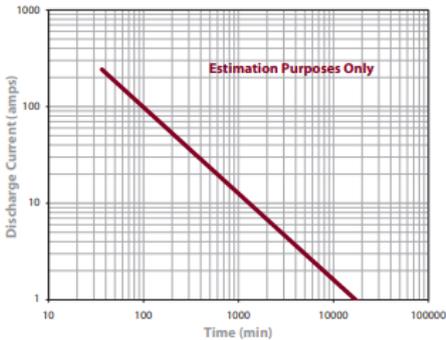
Fuente: http://calculationsolar.com/pdfs/Calculationsolar_battery_TROJANMERC_27TMX660.pdf

T-105 DATA SHEET

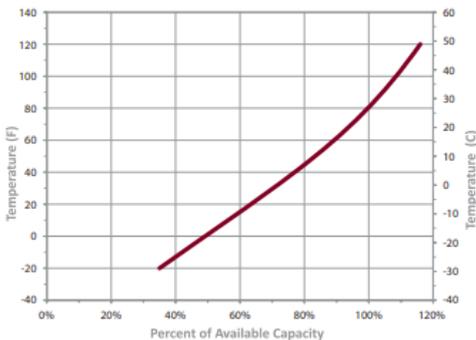
BATTERY DIMENSIONS (shown with EHPT)



TROJAN T-105 PERFORMANCE



PERCENT CAPACITY VS. TEMPERATURE



TROJAN BATTERY COMPANY WITH QUALITY SYSTEM CERTIFIED BY DNV = ISO 9001:2008 =



Trojan batteries are available worldwide through Trojan's Master Distributor Network. We offer outstanding technical support, provided by full-time application engineers.

For a Trojan Master Distributor near you, call 800.423.6569 or + 1.562.236.3000 or visit www.trojanbattery.com
 12380 Clark Street, Santa Fe Springs, CA 90670 • USA

© 2014 Trojan Battery Company. All rights reserved. Trojan Battery Company is not liable for damages that may result from any information provided in or omitted from this publication, under any circumstances. Trojan Battery Company reserves the right to make adjustments to this publication at any time, without notices or obligation. Please check the Trojan Battery website (www.trojanbattery.com) for the most up-to-date information.

Figura 12. Ficha Técnica 2 Batería Trojan

Fuente: http://calculationsolar.com/pdfs/Calculationsolar_battery_TROJANMERC_27TMX660.pdf

Tabla 34. Ficha técnica Inversor

Inversor Phoenix		24/5000	48/5000
INVERSOR			
Rango tensión entrada (V CC)		19 – 33	38 – 66
Salida	Tensión salida: 230 VAC ± 2%		Frecuencia: 50 Hz ±
Potencia salida cont. 25 °C (kW)		5000	5000
Potencia salida cont. a 25 °C (W)		4500	4500
Potencia salida cont. 40 °C (W)		4000	4000
Potencia punta (W)		10000	10000
Máxima eficiencia (%)		94	95
Potencia con carga cero (W)		25	25
GENERAL			
Relé multifuncional (4)		Sí	Sí
Protección (2)		a - h	
Características comunes	Temp. funcionamiento.: -20 to +50 °C (refrigeración por ventilador) Humedad (sin condensado) : máx .95%		
CARCASA			
Características comunes	Material y color: aluminio (azul RAL 5012) Protección: IP 21		
Conexión de batería	Cuatro pernos M8 (2 conexiones positivas y 2 negativas)		
Conexión CA 230 V	Abrazadera ajustable 13mm ² (AWG 6)		
Peso (kg)	66 lb 30 kg		
Dimensiones (hxaxf en mm)	17,5 x 13,0 x 9,6 pulgadas 444 x 328 x 240 mm		
ESTÁNDARES			
Seguridad	EN 60335-1, EN 60335-2-29		
Emisiones/Inmunidad	EN55014-1, EN 61000-3-2 / EN 55014-2, EN 61000-3-3		

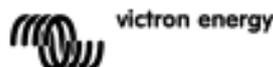
1) Puede ajustarse a 60 Hz; 120 V/60 Hz si se solicita

2) Protección

- a. Cortocircuito de salida
- b. Sobrecarga
- c. Tensión de batería excesiva
- d. Tensión de batería muy baja
- f. 230 VCA en salida del inversor
- g. Tensión de ondulación de entrada excesiva
- h. Temperatura demasiado alta

3) Sin carga lineal, factor de cresta 3:1

4) Relé multifunción que puede configurarse para alarma general, baja tensión CC o función de señal de inicio de grupo generador.



Fuente: <https://www.victronenergy.com.es/upload/documents/Datasheet-Phoenix-Inverter-1200VA-5000VA->

ES.pdf

EN

NL

FR

DE

ES

SE

Appendix

CABLE NYY UNIPOLAR 0,6/1 KV

Cable utilizado en sistemas de distribución de baja tensión. Instalaciones eléctricas de tipo industrial.



Descripción cable:
 1. Conductor de cobre
 2. Aislamiento
 3. Cubierta exterior

Energía Baja Tensión

1. DESCRIPCIÓN:

1. Conductor de cobre electrolítico temple suave.
 - Sólido para secciones hasta 10 mm².
 - Cuerda redonda compacta para secciones mayores de 10 mm².
2. Aislamiento de cloruro de polivinilo (PVC/A) color natural.
3. Cubierta exterior de cloruro de polivinilo (PVC ST1) en color negro.

2. MÁXIMA TENSION DE OPERACION:

1200 Voltios entre fases.

3. TEMPERATURA MÁXIMA EN EL CONDUCTOR:

En operación normal 80°C.
 En condiciones de emergencia 95°C.
 En condiciones de cortocircuito 160°C.

4. NORMA DE FABRICACION:

NTP-IEC 60502-1

5. APLICACIONES:

En sistemas de distribución de baja tensión. Instalaciones eléctricas de tipo industrial.

6. CARACTERÍSTICAS PARTICULARES:

Ligeros y fáciles de instalar. Alta resistencia a la humedad y a gran diversidad de agentes químicos. Cubierta exterior resistente a la abrasión, no propaga la llama.

Debido a las características eléctricas y mecánicas de los materiales que intervienen en su construcción, los cables NYY son adecuados para múltiples aplicaciones y condiciones de instalación, pudiendo instalarse sobre bandeja portables, en canaleta ó enterrado directamente y trabajar largo tiempo inclusive sumergido en agua, como puede ocurrir en inundación de ductos ó terrenos.



43

CONDUCTORES Y CABLES DEL PERÚ AV. LOS FRUTALES N° 334 ATE - LIMA - PERÚ
 T. (+511) 713 6000 F. (+511) 713 6001 COMERCIAL@CEPER.COM.PE WWW.CEPER.COM.PE

Figura 13. Conductor Eléctrico NYY

Tabla 35. Sección nominal de cable

Sección Nominal (mm ²)	Número de Hilos por Conductor	Espesor Nominal (mm)		Diámetro Exterior mm	Peso Total (Kg/Km)
		Aislante	Cubierta		
2,5	1	0,8	1,4	6,5	64
4	1	1,0	1,4	7,5	88
6	1	1,0	1,4	8,0	113
10	1	1,0	1,4	9,0	156
16	7	1,0	1,4	10,0	222
25	7	1,2	1,4	12,0	327
35	7	1,2	1,4	13,0	421
50	19	1,4	1,4	14,5	558
70	19	1,4	1,4	16,5	762
95	19	1,6	1,5	18,5	1057
120	37	1,6	1,5	20,0	1280
150	37	1,8	1,6	22,5	1601
185	37	2,0	1,7	24,5	1974
240	61	2,2	1,8	27,5	2535
300	61	2,4	1,9	30,5	3180
400	61	2,6	2,0	34,0	3950
500	61	2,8	2,1	37,5	5052

Tabla 36. Capacidad de corriente de acuerdo a sección del conductor

Sección Nominal (mm ²)	Resistencia Conductor (Ohm/Km)		Reactancia Inductiva Ohm/Km a 60 Hz	Capacidad de Corriente (Amp)	
	c.c. a 20°C	c.a. a 80°C		Aire Libre 30°C	Enterrado Temp=20°C 100°C-cm/W
2,5	7,41	9,16	0,182	31	43
4	4,61	5,73	0,173	41	56
6	3,08	3,83	0,164	52	70
10	1,83	2,27	0,152	71	94
16	1,15	1,43	0,143	94	121
25	0,727	0,903	0,138	126	156
35	0,524	0,651	0,132	156	187
50	0,387	0,481	0,128	192	222
70	0,268	0,334	0,124	241	272
95	0,193	0,241	0,122	300	325
120	0,153	0,192	0,119	349	370
150	0,124	0,156	0,119	402	415
185	0,0991	0,126	0,118	464	467
240	0,0754	0,097	0,117	553	540
300	0,0601	0,079	0,116	636	606
400	0,0470	0,064	0,114	742	686
500	0,0366	0,053	0,113	851	768

Fuente: CEPER CABLES

Tabla 37. Factor de corrección

Temperatura ambiente [°C]	PVC		XLPE ó EPR		MI - Mineral * (al aire)	
	Cables al aire	Cables en ductos enterrados	Cables al aire	Cables en ductos enterrados	Cubierta de PVC o desnudo y expuesto al contacto 70°C	Desnudo no expuesto al contacto 105 °C
10	1,22	1,10	1,15	1,07	1,26	1,14
15	1,17	1,05	1,12	1,04	1,20	1,11
20	1,12	1,00	1,08	1,00	1,14	1,07
25	1,06	0,95	1,04	0,96	1,07	1,04
30	1,00	0,89	1,00	0,93	1,00	1,00
35	0,94	0,84	0,96	0,89	0,93	0,96
40	0,87	0,77	0,91	0,85	0,85	0,92
45	0,79	0,71	0,87	0,80	0,87	0,88
50	0,71	0,63	0,85	0,76	0,67	0,84
55	0,61	0,55	0,76	0,71	0,57	0,80
60	0,50	0,45	0,71	0,65	0,45	0,75
65	-	-	0,65	0,60	-	0,70
70	-	-	0,58	0,53	-	0,65
75	-	-	0,50	0,46	-	0,60
80	-	-	0,41	0,38	-	0,54
85	-	-	-	-	-	0,47
90	-	-	-	-	-	0,40
95	-	-	-	-	-	0,32

Fuente: Código Nacional de Electricidad (2011)

"GRACIAS POR SER UN CLIENTE PUNTUAL"



Electro Oriente
Generando Progreso

EMPRESA REGIONAL DE SERVICIO PÚBLICO
DE ELECTRICIDAD DEL ORIENTE S.A.
JR. DOS DE MAYO N° 437 - CHACHAPOYAS

CONSUMO FACTURADO
FEB-2019
RECIBO N° 350-04580261

R.U.C. 20103795631

Emisión 05-MAR-2019
Vencimiento 22-MAR-2019

Código 7210821-013701 Salida 20 SS.EE. 1520027
Contrato 36296190 R.U.C. 20487463737
Señores UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAEN
Direc. Legal Jr. GUZCO N° 250 Sector PUEBLO NUEVO
Localidad RUTA 07
Inscripción Nro. 00018569384 EN 4 hilos

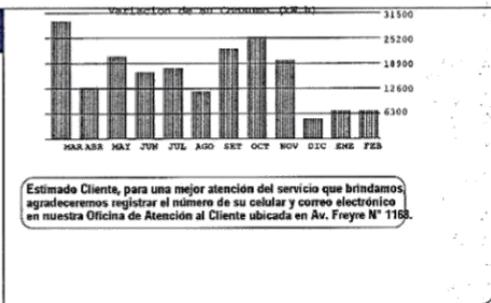
Pot. Cont. HP. 0.000 Tensión kV. 0.380
Pot. Cont. FP. 0.000 Conex. C2.1 Trifásico-Aereo (21150)
Demanda Max. 40.5300 Calificac. de Potencia 0.3000
Dem. Media HP.(kW) 12.1700 Numero Horas Punta 120

Conceptos	Lectura		Diferencia	Factor	Consumo	Consumo Facturado	Precio Unitario	Importe Parcial S/.
	Anterior	Actual						
Cargo Fijo Mensual						1.0000	6.9200	6.92
Energía Activa horas fuera de punta (kWh)	4285.9000	4462.4600	176.5600	30.0000	5296.8000	5296.8000	0.2421	1282.36
Energía Activa en horas punta (kWh)	1345.7700	1394.4500	48.6800	30.0000	1460.4000	1460.4000	0.3020	441.04
Energía Reactiva (kVar.h)	1230.9000	1243.4900	12.5900	30.0000	377.7000			
Potencia Generación presente fuera de punta (kW)						40.5300	37.4900	1519.47
Potencia de Distribución fuera de punta (kW)		1.3510	1.3510	30.0000	40.5300	117.2250	71.6900	8403.86
Potencia de Distribución en horas punta (kW)		1.1600	1.1600	30.0000	34.8000			
Pliego Tarifario Resolución OSINERGMIN N° 206-2013-OS/CD del 14-10-2013								
TARIFA : BT3 LF								
							Parcial consumos mes	11653.65

DETALLES DE PAGOS ESPECIALES			
50	Aporte Electr. Rural	10	56.76
 <small>CLIENTE PUNTUAL</small>			
ULTIMO DIA DE PAGO: 22-MAR-2019 Son : ONCE MIL, OCHOCIENTOS VEINTE y CUATRO con 00/100 Soles			

Alumbrado Público	110.13
Mantenimiento de Conexión	2.70
Reposición de Conexión	0.90
Otros	56.76
Redondeo Mes Anterior	-0.19
Redondeo Mes Actual	0.05
Total del Mes	11824.00
Total Recibo S/ ***11824.00 Son : ONCE MIL, OCHOCIENTOS VEINTE y CUATRO con 00/100 Soles	

MENSAJES AL CLIENTE												
EAFP	4259	10233	15090	12643	12939	9487	17466	19238	14830	3717	5414	5297
MDHP	79	74	90	92	91	80	102	107	117	27	46	33
MDFP	80	84	94	94	98	84	109	107	125	54	49	41
ER	3144	2586	4808	4069	3903	2144	5736	6441	4633	490	492	378
Soles												S/12048.00 S/11646.73



Contrato 36296190

Cons. Fact. FEB-2019
Vencimiento 22-MAR-2019
Código 721-08-21-013701
Tarifa BT3 LF

RECIBO N° 350-04580261
TOTAL S/ *11824.00**

No ESCRIBIR ni SELLAR en esta zona del recibo

Electro Oriente R.U.C. 20103795631

BIENES TRANSFERIDOS / SERVICIOS PRESTADOS EN LA REGIÓN DE LA SELVA PARA SER CONSUMIDOS EN LA MISMA

Figura 14. Recibo de facturación de energía eléctrica emitido por la concesionaria Electro Oriente S.A Fuente: Chumacero y Paredes (2019)