



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Prototipo de Aerogenerador Cedrick para la Generación de
Energía Eléctrica de Baja Potencia. Distrito de Vice, Sechura-
Perú, 2021**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR:

Antón Panta, Deniss Fabian (ORCID: 0000-0002-1522-5718)

ASESORA:

Mg. Cabello Torres, Rita Jaqueline (ORCID: 0000-0002-9965-9678)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA – PERÚ

2021

Dedicatoria

Gracias a Dios que me brinda la oportunidad de seguir con mis objetivos trazados y sobre todo por la oportunidad de compartir tiempo con mis seres queridos.

Dedico este trabajo a mi padre Sr. Raúl Antón Bancayan, a mi madre Sra. Mercedes Panta Chunga, a mí motor y motivo mi hijo Cedrick Antón Chiroque y a toda mi familia por su comprensión y otorgarme siempre su respaldo.

Agradecimiento

Agradezco a mis maestros que me guiaron en este camino, por su amistad e impulso el cual me sirvió de gran ayuda para mi formación académica, a la Universidad Cesar Vallejo y especialmente a la Mg. Rita Cabello Torres por brindarme la oportunidad y apoyo de concluir la elaboración y sustentación de mi tesis.

Índice de contenidos

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de tablas.....	v
Índice de figuras.....	vi
Índice de abreviaturas.....	viii
Resumen.....	ix
Abstract.....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	7
III. METODOLOGÍA.....	47
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	48
3.2. Variables y operacionalización.....	48
3.3. Población (criterios de selección), muestra, muestreo, unidad de análisis.....	50
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	50
3.5. Procedimientos.....	50
3.6. Método de análisis de datos.....	51
3.7. Aspectos éticos.....	51
IV. RESULTADOS.....	52
V. DISCUSIÓN.....	83
VI. CONCLUSIONES.....	86
VII. RECOMENDACIONES.....	89
REFERENCIAS.....	91
ANEXOS.....	102

Índice de tablas

Tabla 1. Características relevantes de los tipos de aerogeneradores.....	19
Tabla 2. Escala internacional del viento - Escala Beaufort.....	26
Tabla 3. Presión del aire a 1 atmosfera.....	32
Tabla 4. Propiedades del aire seco con relación a la presión atmosférica.....	33
Tabla 5. Velocidades del viento - mayo de 2021.....	56
Tabla 6. Rendimiento energético del aerogenerador modelo Cedrick.....	59
Tabla 7. Materiales para construcción del prototipo aerogenerador Cedrick.....	66
Tabla 8. Actividades de la construcción del aerogenerador.....	67
Tabla 9. Datos del aerogenerador.....	77
Tabla 10. Equipos utilizados para un hogar rural de Sechura.....	79

Índice de figuras

Figura 1. Molino de viento en 3D preindustrial en Andalucía – España.....	13
Figura 2. Aerogenerador de eje horizontal.....	14
Figura 3. Posición del aerogenerador con respecto al viento.....	15
Figura 4. Aerogenerador de eje horizontal.....	18
Figura 5. Aerogeneradores de eje vertical.....	18
Figura 6. Contorno del tornillo de Arquímedes.....	20
Figura 7. Incremento del diámetro del rotor con el tiempo.....	22
Figura 8. Evolución de las energías renovables en el Perú.....	23
Figura 9. Velocidad del viento en el Perú a 100 m.....	23
Figura 10. Velocidad anual del viento en el Perú a 10 m.....	24
Figura 11. Densidad de potencia anual del viento en el Perú a 10 m.....	25
Figura 12. Límite de Betz.....	27
Figura 13. Economía circular.....	35
Figura 14. Tipos de electricidad.....	36
Figura 15. Magnetismo.....	37
Figura 16. Representación gráfica de la corriente continua.....	38
Figura 17. Representación gráfica de la corriente alterna.....	38
Figura 18. Máquina eléctrica de flujo transversal.....	40
Figura 19. Flujo radial y flujo axial.....	40
Figura 20. Cálculos de voltaje, amperaje y resistencia.....	41
Figura 21. Ley de Watt.....	43
Figura 22. Anemómetro digital.....	44
Figura 23. Tacómetro de no contacto.....	45
Figura 24. Brújula militar.....	45
Figura 25. Multímetro.....	46
Figura 26. Ubicación de prueba del prototipo aerogenerador modelo Cedrick.....	54
Figura 27. Vista del lugar de prueba del prototipo aerogenerador modelo Cedrick.....	54
Figura 28. Toma de mediciones en el lugar de prueba.....	55
Figura 29. Oscilaciones del viento en el mes de mayo - 2021.....	56
Figura 30. Toma de velocidad del viento en diferentes horarios.....	58
Figura 31. Eficiencia de la turbina en relación a la velocidad del viento.....	61

Figura 32. Potencia del viento y potencia útil del viento.....	61
Figura 33. Etapa de pintado.....	67
Figura 34. Etapa de corte	68
Figura 35. Vista lateral izquierda del aerogenerador modelo Cedrick.....	69
Figura 36. Transmisión de energía mecánica al alternador.....	69
Figura 37. Elementos del alternador prototipo aerogenerador modelo Cedrick.....	70
Figura 38. Circuito en serie del estator.....	71
Figura 39. Estator reutilizado unido a un buje de bicicleta.....	73
Figura 40. Toma de datos con multímetro en campo.....	74
Figura 41. Alternador, rectificador de onda completa y batería.....	74
Figura 42. Prueba de aerogenerador en campo encendiendo luz de emergencia...	76
Figura 43. Datos técnicos del foco led.....	80
Figura 44. Datos técnicos del radio portátil.....	80
Figura 45. Datos técnicos del cargador de celular.....	81
Figura 46. Circuito estándar del prototipo aerogenerador de baja potencia.....	81

Índice de abreviaturas

A	:	Amperaje
V	:	Voltios
Ω	:	Ohmios
P útil	:	Potencia útil
P Viento	:	Potencia del viento
T°	:	Temperatura
W	:	Watt
P	:	Potencia
r	:	Radio
CM	:	Centímetros
M	:	Metros

Resumen

En diferentes regiones del mundo, específicamente en Perú, existen poblaciones que carecen de electrificación; siendo necesario proveerlas de energía eléctrica, aprovechando energías sostenibles, como la actividad eólica. En el presente estudio, el objetivo fue evaluar la producción de energía eléctrica de un aerogenerador de baja potencia, modelo Cedrick, localizado en el distrito de Vice, Sechura, Piura 2021.

Esta investigación, de tipo cuantitativo y diseño experimental, recopiló información que permitió verificar y cuantificar los siguientes resultados:

Primero se midió el potencial eólico del distrito Vice, registrando valores de velocidad del viento de 6.5 m/s. Luego se efectuó el diseño y construcción del prototipo de aerogenerador, de 3 aspas helicoidales de eje horizontal a barlovento, empleando un alternador reutilizado, para generar energía eléctrica. Se estableció que el prototipo aerogenerador de baja potencia producía 12 voltios y el alternador de 8 bobinas fue modificado de 60 a 100 espiras por bobina, para velocidad del viento de 6.5 m/s lo cual generó 400 rpm.

El prototipo de aerogenerador Cedrick tiene una eficiencia de 82%, representando una alternativa energética con potencial aplicable en comunidades desérticas.

Palabras clave: Energía eólica, prototipo, aerogenerador, alternador, diseño.

Abstract

In different regions of the world, specifically in Peru, there are populations that lack electrification; being necessary to provide them with electrical energy, taking advantage of sustainable energies, such as wind power. In the present study, the objective was to evaluate the electrical energy production of a low-power wind turbine, Cedrick model, located in the district of Vice, Sechura, Piura 2021.

This research, quantitative and experimental design, compiled information that comes from verify and quantify the following results:

First, the wind potential of the Vice district was measured, registering wind speed values of 6.5 m / s. Then, the design and construction of the prototype of a wind turbine was carried out, with 3 helical blades from horizontal to windward axis, using a reused alternator to generate electrical energy. It was established that the low-power wind turbine prototype produced 12 volts and the 8-coil alternator was modified from 60 to 100 turns per coil, for a wind speed of 6.5 m / s which generated 400 rpm.

The Cedrick wind turbine prototype has an efficiency of 82%, representing an energy alternative with applicable potential in desert communities.

Keywords: Wind power, prototype, wind turbine, alternator, design.

I. INTRODUCCIÓN

El mundo tiene un enorme potencial de energía cinética, formada por las corrientes de aire que pueden ser empleadas para generar energía eléctrica. Las preferencias por la generación de energía verde han incrementado, mientras las centrales eléctricas convencionales (basadas en combustibles fósiles) están disminuyendo. En los países desarrollados, la disminución de las emisiones de carbono es fundamental para reemplazar la producción de energía eléctrica por la tecnología de energía renovable (Nazir, 2019, p.2.).

La Agencia Internacional de Energía (AIE) señaló que el año 2015 la energía eólica aportó más generación de energía nueva que cualquier otra tecnología (Chaurasiya, 2019, p.1). El empleo de energía producto de fuentes renovables ofrece muchos beneficios, incluida la reducción de la producción de gases de efecto invernadero, la multiplicidad de abastecimientos de energía y disminución del sometimiento de los mercados de combustibles fósiles (particularmente de petróleo y gas). El empleo de la energía eólica promueve el potencial aumento del empleo, con la formación de puestos de trabajo en el nuevo campo de tecnologías ecológicas. El impulso de fuentes de energía renovable es importante para la economía porque esto optimizará la seguridad energética (Bórawski, 2020, p.2).

La industria del viento a nivel mundial es relativamente nueva, ya que sólo ha alcanzado un significativo tamaño durante los últimos 20 años; en términos de su principal indicador, la capacidad instalada acumula en gigavatios (GW), ha crecido de menos de 20 GW en 2000 a 590 GW a finales de 2018 (Yusta, 2020, p.2). La tendencia a aprovechar la energía eólica seguirá creciendo en las próximas décadas, y se espera que, en promedio, se instalen 47 GW al año. Se necesita de una inversión de hasta US \$3,2 billones para lograr el 12% de electricidad mundial generada a partir de energía eólica para 2050 (Martínez, 2020, p.2).

La política energética juega un papel vital para mitigar los impactos del calentamiento global y la crisis de disponibilidad de energía. Se advierte que la política de energética podría ayudar a incrementar la generación de energía eólica y estimular la industria energética. Podemos decir que sin política energética, un estado no sería capaz de resolver problemas agudos como reducir la producción de gases de efecto invernadero (Warudkar, 2019, p.2). Por esta razón, la actividad

eólica es una fuente importante de energía renovable, pudiendo satisfacer al 20% de la demanda global de electricidad para el 2050 (Gonçalves, 2020, p.1).

La Política energética del Perú para el período 2010 – 2040, aprobada mediante Decreto Supremo N° 064 – 2010 – tiene entre sus objetivos, disponer de un suministro energético competitivo y propone establecer un campo energético con mínima percusión ambiental y limitadas emisiones de carbono favorables al Desarrollo Sostenible (Decreto Supremo N° 064-2010-EM, 2010).

La crisis de la covid-19 ha dejado claro que: la electricidad segura es vital para el mundo moderno. En comparación con los combustibles tradicionales, la electricidad puede proporcionar los servicios energéticos que proporcionan los combustibles fósiles, se puede fomentar las telecomunicaciones, la electrónica de consumo, etc. Los cuales son “servicios esenciales”, en el sentido de que todos los demás servicios esenciales no pueden prestarse eficazmente sin él. Esto incluye el transporte de mercancías y personas, ya que la logística ahora depende de las computadoras y las comunicaciones en pleno funcionamiento por medio de la energía eléctrica (Houldin, 2021, p.1).

En la provincia de Sechura el 27% de los domicilios no cuenta con electrificación, pese a ser un servicio fundamental para el impulso del desarrollo local. Sechura aún tiene condiciones precarias y limitaciones por el elevado déficit de este servicio elemental, que en sus distritos y zonas alejadas es mucho más alarmante. A nivel provincial, la insuficiencia de servicio de electrificación es de 26.8%; en el distrito Rinconada Llicuar es de 24.1%, en el distrito de Vice es de 21.7%, en el distrito de Cristo nos valga es de 34.7%, en el distrito de Bernal es de 26.5%, en el distrito de Bellavista es de 24.3%. (Plan de desarrollo concertado de la Provincia de Sechura, 2010-2020, p.55).

Esta situación perjudica la condición de vida de los pobladores, restringiendo su acceso a una mejor calidad de vida. Así mismo, al utilizar como primordiales fuentes de iluminación las velas y otros productos domésticos que emanan gases tóxicos como dióxido de carbono (CO₂), afectando la calidad del aire. Frente a ello, la energía eólica es una opción eficiente para la producción de energía eléctrica en

nuestro país y aún más factible en lugares donde existe elevado potencial eólico, tal como la Provincia de Sechura, según el Atlas Eólico del Perú 2016 (Deza, 2016, p.1).

Esta investigación pretende impulsar el uso de energías renovables a baja escala en relación al uso de energía eólica, aprovechando materiales reutilizados para la construcción de un prototipo de aerogenerador modelo Cedrick en beneficio ambiental, social y económico. La energía renovable como es la eólica representa un importante campo para la investigación y desarrollo de la generación de energía eléctrica, además de ser clave para motivar a los investigadores en los próximos años, debido a la importante implantación de potencial eólico en sistemas eléctricos. Hasta la fecha, muchos trabajos relacionados con el potencial eólico y sus características se han logrado en varios países del mundo (Khchine, 2021, p.2) Por lo tanto, el documento tiene la intención de consolidar información para fomentar nuevas investigaciones en esta área de energías renovables y concretar las posibles direcciones de futuras investigaciones.

El problema general en la investigación fue ¿Qué cantidad de energía eléctrica se logra producir con un aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick localizado en el distrito de Vice, Sechura, Piura, 2021? y los siguientes problemas específicos:

PE1: ¿Cuál es el potencial eólico de Sechura para la aplicación de un aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick localizado en el distrito de Vice, Sechura?

PE2: ¿Qué diseño de prototipo aerogenerador resulta apropiado para construir y aplicar en Sechura?

PE3: ¿Cuanta tensión eléctrica produce el prototipo aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick?

PE4: ¿Qué potencia eléctrica se requiere para proveer de energía a un hogar rural de Sechura con el prototipo aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick?

El objetivo general ha sido evaluar la producción de energía eléctrica en un aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick, localizado en el distrito de Vice, Sechura. Piura 2021 y los siguientes objetivos específicos:

OE1: Medir el potencial eólico para la aplicación de un aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick en el distrito de Vice, Sechura.

OE2: Diseñar y construir un prototipo aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick para su aplicación en el distrito de Vice, Sechura.

OE3: Calcular la tensión eléctrica producida por el prototipo aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick.

OE4: Determinar la potencia eléctrica que se requiere para proveer de energía a un hogar rural de Sechura, con el prototipo aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick. .

Y las hipótesis general planteada fue un aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick, localizado en el distrito de Vice, Sechura. Piura 2021 logra producir aproximadamente 80 wh de energía eléctrica.

HE1: Sechura posee un potencial eólico significativo para la aplicación de un aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick localizado en el distrito de Vice, Sechura.

HE2: El prototipo aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick resulta apropiado para construir y aplicarse en Sechura.

HE3: El prototipo aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick produce una tensión eléctrica de 12v.

HE4: La potencia eléctrica requerida para proveer de energía a un hogar rural de Sechura es de 66 w con el prototipo aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick.

Entre los tipos de energía renovable, la energía eólica es una fuente de energía prometedor, que actualmente está ganando cada vez más atención en el mundo (Kan, 2020, p.1).

II. MARCO TEÓRICO

Mucha (2021), diseñó el álabe de tipo espiral para incrementar la potencia eléctrica de un aerogenerador. Además, buscó mejorar la eficiencia de las máquinas ya existentes, diseñando un prototipo creado a favor de la sociedad. Los diseños virtuales permitieron incrementar la potencia del aerogenerador mediante software sobre simulación de fluidos, arrojando resultados que indican una potencia de 500 watts a velocidades de 2.3 m/s, para proporciones de 1.3 m de largo y 1 m de diámetro. Conforme se extiende el espacio de captación del prototipo de aerogenerador, es posible generar electricidad con mínimas velocidades de viento, incluso hasta 2 m/s. Determinando que el generador más apropiado en efecto es de flujo axial con hierro magnético inalterable, concluyendo que el diseño original de aerogenerador tiene mayor diámetro de la turbina y baja producción de potencia eléctrica.

Hernández (2020), diseñó y confeccionó un modelo de micro aerogenerador de baja potencia, con la finalidad de comprobar que con escasa energía motriz del viento es posible transformar la energía dinámica, mediante la movilidad de las aspas o hélices, en potencia eléctrica. Para realizar el modelo del micro - aerogenerador se requirió de lo siguiente: funcionamiento adecuado con velocidades bajas, seguridad y equilibrio mecánico, baja difusión de ruido, materia prima posible de obtener con bajos recursos y asegurar la potencia para cargar la batería. Resultando una combinación del aerogenerador Savonius y el Windside, siendo indicado por la forma del rotor a 2 aspas con una forma helicoidal, el cual proyecta simplicidad al momento de construir el cuerpo del aerogenerador, su eje principal se sostiene en dos sufrideras fijas, una en la parte superior y otra en la inferior, que a su vez llevan dos embragues conectados en la parte inferior, con un eje central para que estos roten independientemente con una dimensión de 490 mm de altura, 120 mm de diámetro del tubo y 230 mm x espesor 2mm de diámetro de sufridera. Con esto concluimos que el micro aerogenerador de baja potencia asegura la tensión a 5v para abastecer de energía a una batería portátil u otro dispositivo electrónico de baja tensión, como un teléfono móvil. Además, afirmo que el esquema de los alabes en una turbina de eje vertical influyó directamente en la eficacia, aclarando que imposibilitó la construcción del generador Savonius con los perfeccionamientos adecuados y solo pudo presentar la teoría, aplicando así sus conocimientos adquiridos a lo largo de su carrera. Como recomendación final

propone la reanudación o continuación de su proyecto, sugiriendo adicionar la construcción del modelo Savonius con deflectores de aire, articulación de la estructura eléctrica y electrónica de un aerogenerador, el proyecto de un convertidor CC/CC para microaerogenerador y la instalación de un microaerogenerador de baja capacidad en la estructura de la Universitat Politècnica de Catalunya Barcelonatech.

Espinosa (2018), diseñó y produjo un aerogenerador de base horizontal que disminuyó la fricción de las partes en contacto, empleando de forma óptima el flujo de aire que nutre el sistema, aplicándose un rodamiento magnético al mencionado diseño. En cuanto al esquema del movimiento magnético empleo el software QuikField ®, para el diseño de los álabes empleó el software Qblade ® y se complementó con el diseño usando el software Inventor ®. La capacidad de generación planteada fue de 1Kw y propuso que los álabes tengan un diámetro de 1 m aproximadamente. Posteriormente, Espinosa concluyó que la levitación magnética tiene muchas aplicaciones, lo que disminuye la fricción de las piezas, y en consecuencia un mejor manejo del sistema. Del mismo modo, la supresión de las fuerzas axiales inconstantes sobre el eje de rotación aumentó el lapso de vida de los elementos del sistema, pues estas capacidades axiales, al ser englobadas magnéticamente, como consecuencia van a aminorar las fases de agotamiento sobre los componentes mecánicos, lo que reduce las probabilidades de falla. Sin embargo, para las corrientes del viento moderadas y altas, el sistema logra en seguida su velocidad nominal, con un nivel de vibraciones inferior el sistema operó de forma muy continuo tanto en su perspectiva axial, como en la trayectoria del eje de circulación, aduciendo también que los inconvenientes encontrados en el procedimiento se manifestaron para bajar velocidades del viento, la turbina ingresa en resonancia, esta oscilación imposibilita que el sistema no alcance aceleración, y aunque no se estanca por efecto del viento, no obtiene su velocidad nominal.

Hurtado (2018), propuso la metodología de elección de materiales para la producción de álabes de un aerogenerador de soporte horizontal para la variables y cargas climatológicas de Cuba, el cual está basado en el diseño del alabe y la selección de materiales mediante el método de selección de Michel Ashby, el cual empleó mapas de Ashby para clasificar los materiales siguiendo la metodología

planteado por Shackelford, comprendidos en cuatro pasos: comunicar los requisitos del bosquejo como una descripción del material, eliminar los utensilios que no cumplen con las especificaciones, ordenar los materiales factibles por su capacidad para solucionar las materias del diseño y registrar información adjunta para los candidatos competentes. Para los parámetros de criterio de selección se tuvieron en cuenta la fuerza aerodinámica, la fuerza resultando total (sustentación más arrastre) y el momento flector; conservando cierta rigidez y transmitiendo la fuerza con la mejor eficiencia posible al generador a través del rotor de la máquina; los objetivos planteados para el diseño y selección de materiales fueron: la solidez.

estructural, con capacidad de soportar sin producirse daño, la resistencia a fatiga, con capacidad de soportar los acarrees de agotamiento que surjan durante la vida útil de la máquina, traslados menores a los máximos permitidos, en torno a la severidad para prevenir oscilaciones, teniendo en cuenta también su peso y la facilidad de fabricación que requiera y la disponibilidad de materiales, además la resistencia a elementos medioambientales como la corrosión en contextos marinos y resistencia al deterioro por la radiación solar. Para lo cual se concluyó que los materiales más utilizados en las palas de aerogeneradores de eje horizontal son: acero, aluminio, madera, fibra de aramida (kevlar), fibra de carbono y fibra de vidrio, La metodología de selección de materiales mediante el método de Michael Ashby para los aerogeneradores involucra una estrategia de 4 pasos, el cual se determinó mediante el aspecto económico que el más rentable para los soportes es el “PVC (rigid, molding and extrusión)” y para la cubierta es el “PET (30% carbón fiber)”.

Romañach (2018), diseñó la estructura básica y detalles del rotor y el estator del generador, así como también el prototipo del aerogenerador y calculando los costos del proyecto en áreas marinas. La propuesta dispone de aspectos teóricos del bosquejo y desempeño de los aparatos eléctricos, con otros aspectos más prácticos como son la fabricación y asociación de los elementos. Para empezar el diseño, se tuvo como punto de partida los siguientes datos, como especificaciones del proyecto: potencia de 5.5 Mw, frecuencia de 36 Hz, velocidad de 12 rpm, tensión de 690 v, diámetro entrehierro de 7 m y longitud de 1.3 m. El diseño comenzó con el sistema de agitación del rotor, se determinó la elevación de los imanes y se comprobó el valor del espacio de entrehierro. Se empleó procedimientos analíticos

mediante simulación con el programa AGROS-2D. Mediante la innovada de Fourier se verificó el valor de primer armónico del campo de entrehierro, el cual es utilizado para establecer la resistencia inducida. Posteriormente, se indicaron las extensiones de los imanes y la ubicación de estos para evitar el cogging torque, regulando los imanes con cierta inclinación, puesto que cada imán ocupa una ranura y un diente, reduciendo al máximo la inconstancia del entrehierro. El proyecto dispone un diseño probable de una máquina síncrona de imanes consistentes visibles y de movimiento radial para su acondicionamiento en un aerogenerador en zonas marinas. En el diseño se evidencia que inicialmente no se realiza con las primeras determinaciones, siendo necesario un perfeccionamiento de este. La medida más acertada de optimización fue acrecentar la potencia activa, disminuyendo el peso y costo, el análisis económico apoyado en la composición del artículo demuestra que este proyecto puede retar las configuraciones más utilizadas en la actualidad.

Castillo (2017), planteó y construyó un prototipo de aerogenerador basado en un mecanismo de inducción magnética para la generación de corriente eléctrica mediante la ley de la inducción de Michael Faraday, establecida a razón de una investigación exploratoria, ya que actualmente los estudios realizados sobre aerogeneradores sin aspas son pocos y no se puede suscribir a los datos delimitados de producción, por lo cual, cada fase de la construcción debe realizarse bajo el esquema de prueba – error, la cual se fragmenta en cuatro fases: fase uno estado del arte, realizando consulta bibliográfica de artículos en las bases de datos correspondientes al estado del arte de proyectos similares, bobinas, aerogeneradores, y tecnologías alternativas, fase dos diseño, elaborando un plano general del prototipo de aerogenerador sin aspas a realizar, con el fin de evidenciar su versatilidad adaptable al entorno al cual se pretenda instaurar por su facilidad de armar y desarmar, elaborando también el prototipo en modelamiento 3D para diferentes vistas conforme al modelo del prototipo de aerogenerador formulado para su posterior construcción, fase tres construcción, para la construcción del aerogenerador sin aspas se debe tener en cuenta que consta de dos partes esenciales; el cono vibracional y la base de bobinas por el cual se procedió a investigar qué tipo de materiales son apropiados para su construcción, con fines de que sea más liviano, minimicen los costos y reduzcan los desperdicios de

producción y la fase de prueba de funcionamiento para verificar la funcionalidad del diseño del aerogenerador sin aspas, castillo pudo concluir que la construcción de aerogeneradores sin aspas minimiza un 100% del ruido generador por aquellos que si las poseen, de esta forma se emprende en la construcción empírica e innovadora de una estructura no convencional a partir de un simple mecanismo de imanes.

Aguilar (2017), diseñó un aerogenerador de baja potencia en la comunidad de Río Blanco, provincia de Tungurahua, para realizar el diseño del aerogenerador se efectuó una serie de pasos, basándose en la elección de los elementos, disponiendo el tipo de rotor, la concordancia de velocidades de diseño, la cantidad de álabes, la elección del aspecto aerodinámico, el material, la técnica de alineación, el tipo de torre, el generador, el inversor y finalmente las baterías. El aerogenerador utilizado fue de eje horizontal, de acuerdo a la colocación del viento, el rotor planteado es a barlovento, es decir se hallará orientado frente a la dirección de la corriente dominante. En cuanto a la velocidad la valoración de la correspondencia de velocidades de diseño (λ), el cual varía entre 1 y 15, obteniendo de acuerdo a la cantidad de álabes del aerogenerador, utilizándose en este caso tres álabes de perfil aerodinámico y optando por el perfil NACA 4412, por ser uno de los mejores NACA de 4 cifras y de mayor uso en aerogeneradores, con un número de Reynolds de 500000, que representa un elevado coeficiente de sustentación, necesario para asegurar una alta velocidad de movimiento del rotor. Considerando también el uso de madera para los alabes ya que es factible de modelar, durable, ligera, de bajo costo y con resistencia estructural. En cuanto a la torre se empleó un tubo de acero galvanizado ASTM A500 tipo B, asentándose sobre un pedestal cuadrado y anclado mediante pernos de sujeción. Ocupando también un generador de imanes permanentes de flujo axial para mínimas velocidades, con un rotor de diámetro de 300 mm, el inversor utilizado tiene las características de voltaje de entrada 12v y voltaje de salida 110 v con una frecuencia de 60 Hz y una capacidad nominal de 800 W. Para las baterías dependido mucho de la capacidad nominal de cada una, se emplean baterías con una capacidad nominal de 100 A.h, con un voltaje de 6 v. Aguilar concluyó que los álabes están esbozados para trabajar a una altura de 11 m. empleando de una torre abatible, que consta de una sección circular de 4 pulgadas de diámetro y sostenida

por cuatro cables tensores de acero de diámetro 6 mm. Las pruebas de marcha del aerogenerador determinaron la necesidad de instalar la torre en un espacio completamente despejado y con base en la orientación del viento dominante, a una distancia de 20 m de la vivienda aproximadamente. En cuando a la tensión proveída por el aerogenerador al inversor de corriente, su valor varía entre 11.72 y 14.26 VDC, lo que permite que la tensión de salida hacia el domicilio sea de 110 V. AC sin mayor dificultad.

Energía eólica: Un aerogenerador, es un aparato productor de electricidad impulsado por la acción del viento. Sus precursores son los molinos de viento que se utilizaban para moler cereales y obtener de harina, éstos son construcciones preindustriales que están restringidas por la particularidad climática de la zona en la que se sitúan. Sin embargo, no se conoce con precisión cuándo se construyó el primer molino de viento (Bhattacharjee, 2021).



Figura 1. Molino de viento en 3D preindustrial en Andalucía – España.

Fuente: Castro, 2012, p.3.

En este caso, la energía del viento permite el movimiento de la hélice y, a través de un sistema dinámico de engranajes, hace girar el rotor de un aerogenerador, habitualmente un alternador, que transforma la energía mecánica rotativa en energía eléctrica. Para proporcionar energía a la distribución eléctrica, los aerogeneradores deben estar implementados de un sistema automático de sincronización y por ende la frecuencia de la corriente generada se mantenga

óptimamente sincronizada con la de la red. Los aerogeneradores de eje horizontal, poseen su eje de rotación principal en la parte superior de la torre y hacen frente al viento. Los aerogeneradores pequeños son conducidos por una veleta, mientras los de mayor tamaño emplean un sensor de dirección y son encaminados por un servomotor, puesto que la velocidad de rotación de las aspas es reducido, la mayoría utilizan una caja de velocidades para incrementar la velocidad de giro del generador eléctrico (Bhattacharjee, 2021).

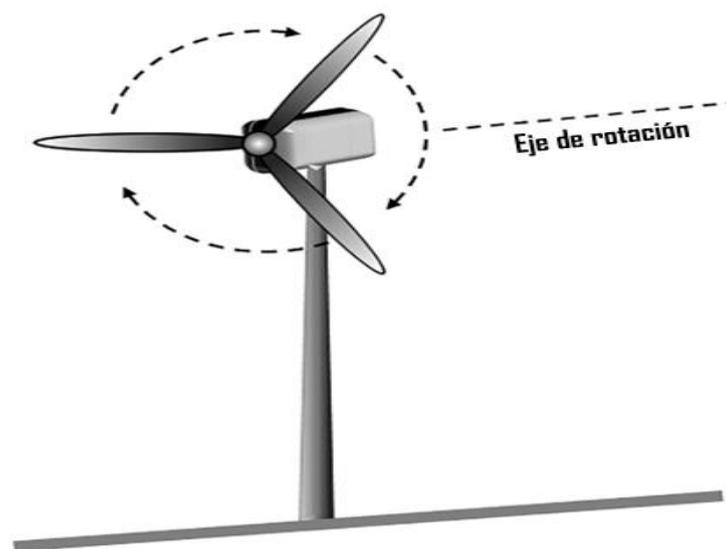


Figura 2. Aerogenerador de eje horizontal.

Fuente: Bhattacharjee, 2021.

Aerogeneradores con rotor a barlovento: El rotor se coloca de cara al viento, es decir, el viento traspasa el rotor previo a llegar a la torre, no dificultando el paso del aire. Pese a ello, aunque la torre sea redonda y lisa, el viento empieza a desviarse antes de alcanzarla, lo que supone una leve merma de potencia cuando una de las palas recorre paralela por la torre. Estas desviaciones hacen que convenga que los rotores sean rígidos y estén situados a una distancia mayor de la torre, que en los rotores a sotavento. Además de que debe colocarse un procedimiento de alineación para conservar el rotor de cara al viento (Risueño, 2017).

Aerogeneradores con rotor a sotavento: El rotor se encuentra colocado en sentido contrario al viento y es traspasado por el aire después de haya pasado por la base. Cuando las palas pasan por detrás de la torre disminuye la potencia mayor que en las turbinas a barlovento. Sin embargo, tienen el beneficio de poder situarse sin un componente de orientación. Esto puede lograrse haciendo que la góndola gire pasivamente según la potencia desplegada por el viento o mediante el empleo de palas flexibles que se arqueen cuando las velocidades del viento sean altas, pese a esta desventaja, las oscilaciones de fuerzas que percibe la armazón cuando las palas se deslizan por detrás de la torre, infieren la presencia de efectos de fatiga (Risueño, 2017).

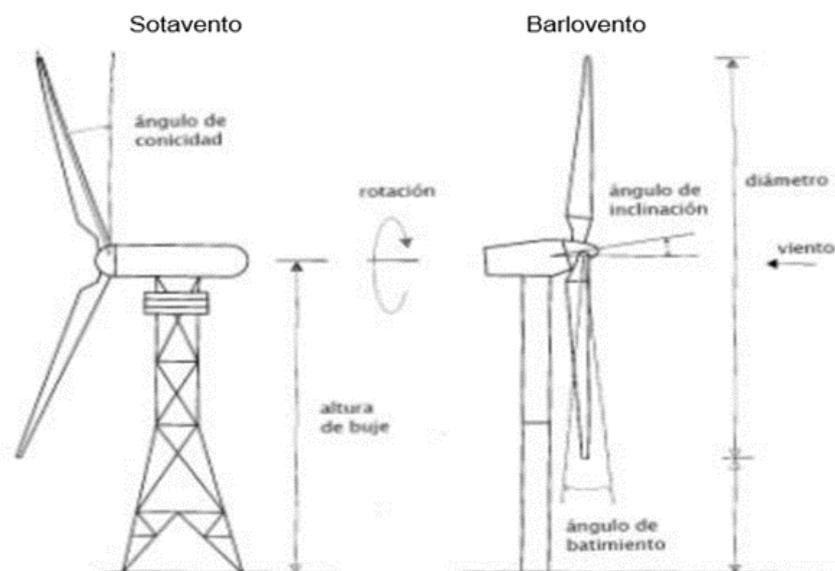
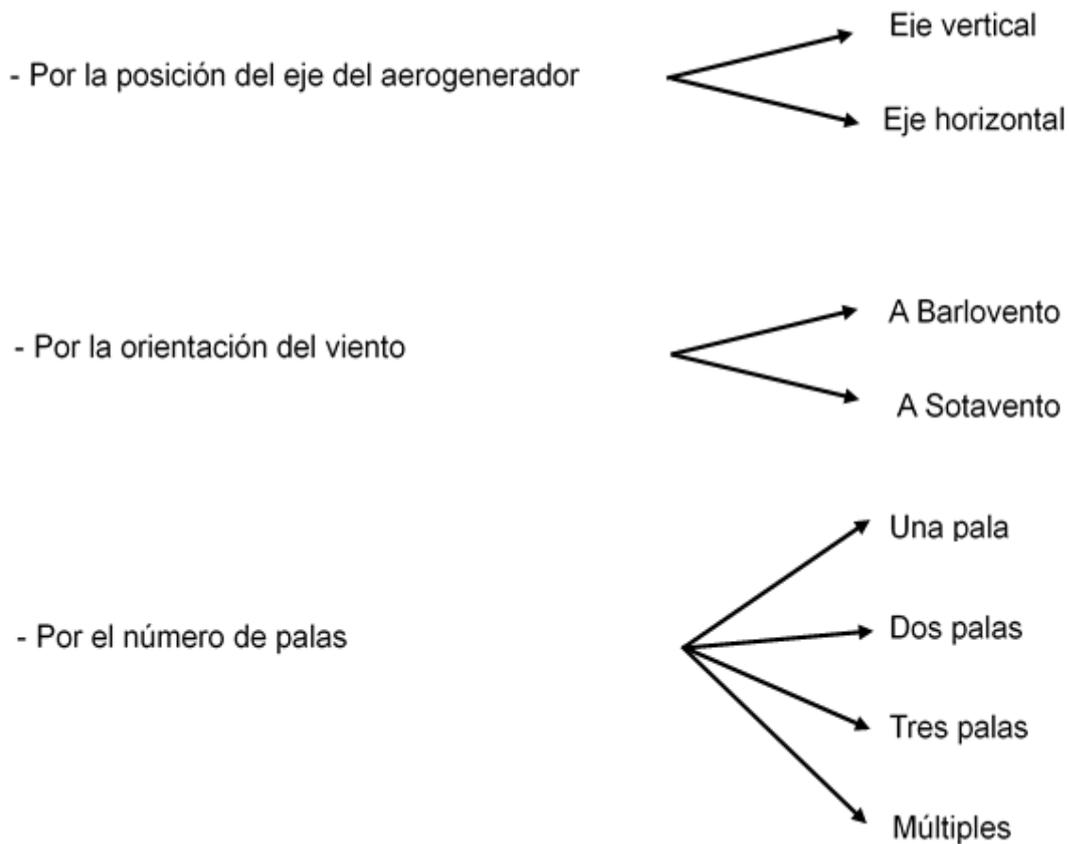


Figura 3. Posición del aerogenerador con respecto al viento.

Fuente: Reyes, 2018.

Funcionamiento de los aerogeneradores: Un aerogenerador es un mecanismo ideado para producir corriente eléctrica (Trabajo mecánico) mediante unas alas unidas por un eje. El esquema de las alas está hecho para aprovechar máximamente las corrientes del viento en la rotación de las alas. De esta forma, las alas giran alrededor del eje y produciéndose energía mecánica y posteriormente, se convierte en energía eléctrica (Turcan, 2015, p.9).

Clasificación de aerogeneradores:



Clasificación de los aerogeneradores según la potencia nominal: En función de la potencia nominal es posible clasificar los aerogeneradores, tal y como lo hace el ingeniero español Miguel Villarrubia, en microturbinas, pequeños y grandes aerogeneradores y aerogeneradores multimegawatt (Pérez, 2018, p.12).

a) Microturbinas (<3kW)

Se trata de aerogeneradores rápidos, de eje horizontal y por regla general de tres palas, con diámetro entre 1 y 5m. Suelen ser usadas por pequeños consumidores de energía para cargar baterías de almacenamiento ya sea en embarcaciones, refugios de montaña, iluminación, etc.

b) Pequeños aerogeneradores (< 50kW)

Este tipo de aerogeneradores comúnmente trabaja a velocidad de rotación constante. Además de cubrir la demanda del grupo anterior, son muy usados para abastecer granjas, núcleos de población aislados, bombeo, etc.

c) Grandes aerogeneradores (<850 kW)

Su uso radica en proveer de energía a la red. Fueron los más instalados en la década de 1990 y la mayoría de ellos presentan diámetros entre 25 y 55 m. con la misión de limitar la emisión de ruido de la velocidad de punta de pala no supera los 70 m/s.

d) Aerogeneradores multimegawatt (entre 1 y 3 MW)

Conforman los parques eólicos que se construyen en la actualidad. Con diámetro entre 50 y 90 m y altura del buje entre 60 y 100m. Destaca su instalación en plataformas marinas (offshore) situadas entre 1 y 20 km de la costa.

Aerogeneradores de eje horizontal: En estos tipos de aerogeneradores, la hélice del rotor está articulada sobre un eje horizontal, que por medio de algunos dispositivos electrónicos, se sitúa en la dirección del viento. Estos tipos de aerogeneradores se ubican en espacios abiertos, en lugares sin barreras y con corrientes de viento suaves (Turcan, 2015, p.12). Observando la principal literatura acerca de perfiles aerodinámicos que resulten ser convenientes para turbinas eólicas de menor escala y de eje horizontal, en concentraciones de baja velocidad de viento y gran turbulencia (Richmond, 2020, p.14).



Figura 4. Aerogenerador de eje horizontal.

Fuente: Eltayesh, 2021.

Aerogeneradores de eje vertical: El establecimiento de esta clase de aerogeneradores no es necesaria en la dirección del viento, por ello se pueden ubicar en ambientes urbanos. El esquema de estos aerogeneradores es más adaptable en cuanto a la exploración de la colocación en un lugar más adecuado (Turcan, 2015, p.12).

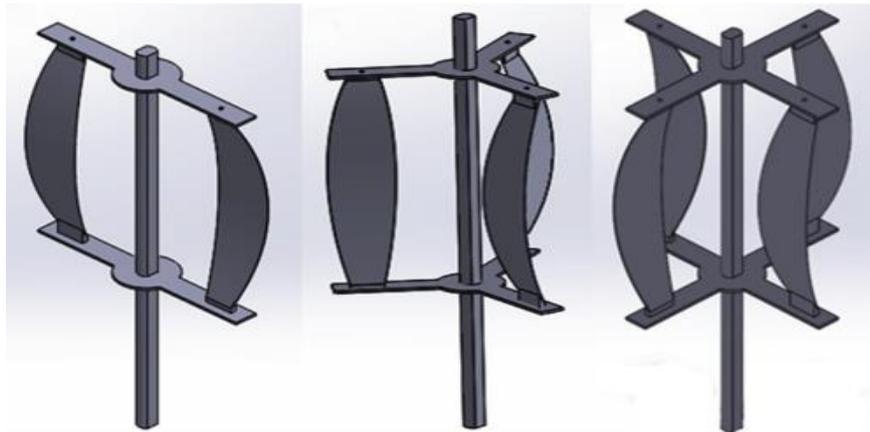


Figura 5. Aerogeneradores de eje vertical.

Fuente: Sunny, 2020.

Ventajas y desventajas de diferentes tipos de aerogeneradores: En la tabla 1., que pueden observar a continuación, se pueden verificar las ventajas y desventajas de los diversos tipos de aerogeneradores, clasificados según el tipo de eje.

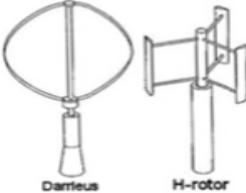
	EJE HORIZONTAL	EJE VERTICAL DE SUSTENTACIÓN	EJE VERTICAL DE ARRASTRE
			
VENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> - Eficiente - Ampliamente probado - Muy utilizado - Más económico - Muchos modelos 	<ul style="list-style-type: none"> - Eficiencia aceptable - Indiferente a la dirección del viento - Menos sensibilidad a turbulencia - Crea pocas vibraciones 	<ul style="list-style-type: none"> - Probado - Silencioso - Robusto y fiable - Indiferente a la dirección del viento - Aprovecha flujos turbulentos - Crea pocas vibraciones
DESVENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> - No soporta cambios frecuentes en la dirección del viento - No tolera vientos racheados 	<ul style="list-style-type: none"> - Poco probado - Más sensible a la turbulencia que el Savonius 	<ul style="list-style-type: none"> - Baja eficiencia - Económicamente caro

Tabla 1. Características relevantes de los tipos de aerogeneradores.

Fuente: Turcan, 2015.

Inspiración en el diseño de aspas helicoidales basadas en el tornillo de Arquímedes: El tornillo de Arquímedes es un mecanismo que tiene una superficie con hélices helicoidales dentro de un cilindro cuyo eje está inclinado de tal modo que su extremo inferior este inmerso dentro del agua. El cilindro y la hélice helicoidal constituyen una cadena de celdas en las cuales el agua baja o sube, de acuerdo a la proporción en la cual está colocado el tornillo. Fue empleado para la elevación de agua, harina, cereales o material excavado. Fue creado en el Siglo III a.C por Arquímedes, del que recibe su nombre. Desde su invención hasta ahora se ha utilizado para el bombeo de agua, también es llamado tornillo sinfín por su circuito en infinito (Cruz, 2018).

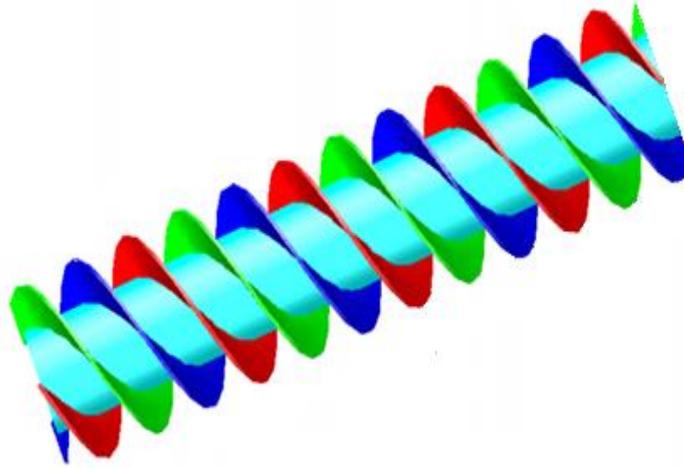


Figura 6. Contorno del tornillo de Arquímedes.

Fuente: Shahverdi, 2019.

Energía eólica a nivel mundial: El uso de la energía eólica presenta algunas desventajas de las intermitencias y la incertidumbre, producto de los costos elevados por la producción de energía. En comparación con el mercado de inversión para otros grandes sistemas de energía, como la energía nuclear y los generadores hidroeléctricos, el mercado de inversión para la producción de energía eólica es inestable y necesita el apoyo de políticas gubernamentales. Por tanto, la política es el factor principal que afecta a la previsión de la escala para el despliegue rápido y continuo de la energía eólica en muchos países. En los últimos años, el estándar obligatorio de cartera de energía renovable se ha convertido en una herramienta administrativa eficaz para respaldar la integración a gran escala de la energía renovable. Las políticas de inversión extranjera directa (IED) y la transferencia de tecnología entre países ayudan a los países en desarrollo a aliviar la presión del incremento acelerado de la demanda de electricidad y las irradiaciones de gases de efecto invernadero (Keeley e Ikeda, 2017, p.2).

Las turbinas eólicas de imán permanente utilizan materias primas de tierras raras. El neodimio (Nd) y el praseodimio (Pr) son los componentes clave de las tierras raras de los imanes NdFeB. Por tanto, la cuota de mercado mundial de turbinas eólicas de imán de manera invariable afectará directamente a la demanda de NdPr en el mercado de energía eólica en el futuro. Teniendo en cuenta los principales fabricantes de turbinas eólicas en todo el mundo y sus planes de producción

futuros, este estudio predice que la cuota de mercado global de turbinas eólicas de imán permanente representará el 53% de la cuota de mercado global de turbinas eólicas para 2040, con PMSG de accionamiento directo (DD-PMSG) los aerogeneradores representan aproximadamente el 30% y la tecnología de aerogeneradores PMSG de velocidad media y alta presenta aproximadamente el 23% de la capacidad instalada. Las turbinas eólicas son responsables de convertir el ingreso de energía mecánica de la red en electricidad, y la tecnología de turbinas de viento directamente influye en la salida eficiente de generación de energía eólica). El diseño de las turbinas eólicas modernas considera de manera integral la confiabilidad, la operatividad, el costo de la energía y otros aspectos de desempeño, adopta la tecnología de frecuencia constante de velocidad variable y busca la magnetización permanente (Deng, 2020, p.2).

En la actualidad, el mercado de la energía eólica terrestre utiliza principalmente turbinas eólicas asíncronas de doble alimentación tradicionales, que tienen un costo relativamente bajo debido a la falta de imanes permanentes. Este tipo de turbinas costa de una caja de cambios de alta velocidad, un generador de doble alimentación y convertidor electrónico. A medida que la tecnología de imanes permanentes madura, algunos fabricantes han intentado construir turbinas eólicas de imán permanente eficientes. Sin embargo la disminución del precio de la electricidad ha ejercido mayor presión sobre los precios por la producción de energía, y la materia prima para los imanes de NdFeB se enfrenta a un riesgo de suministro (Deng, 2020, p.2).

Los parques eólicos terrestres manifiestan su cimentación sobre un área en tierra y la energía eléctrica es producida por los vientos en la misma zona, la dimensión de la torre eólica y la potencia unitaria de la misma se incrementó con el transcurso de los años. Es decir, el desarrollo de la potencia unitaria ha ocasionado que el diámetro del rotor de la turbina se vea aumentada para conseguir mayor producción de energía. En consecuencia, la altura de la misma también se ve implicada (Bojorquez, 2018, p.18).

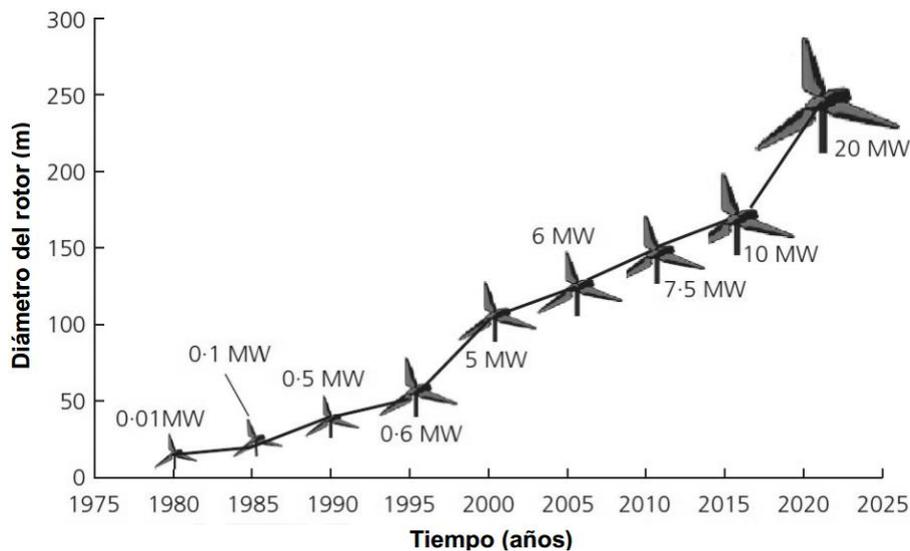


Figura 7. Incremento del diámetro de rotor con el tiempo.

Fuente: Bojorquez, 2018.

Potencial eólico en el Perú: Las centrales de energía eléctrica se localizan en su totalidad en la zona costa y sierra del Perú. Estas centrales, así como las subestaciones y la líneas de transmisión están interconectadas entre sí, haciendo posible la transmisión de energía eléctrica entre las diferentes fuentes de generación, las cuales en su conjunto conforman el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (Bojorquez, 2018, p.28).

En relación a las energías renovables como la solar y eólica, estas fuentes energéticas que aprovechan la radiación del sol y la potencia del viento respectivamente, han precisado mucho más tiempo en ser implementadas con mayor seguridad en el sector energético de nuestro país. La energía solar emprendió con una potencia instalada de 80 MW al año 2012 y el año 2018 cuenta con 280 MW. Mientras, la energía eólica tuvo un comienzo insuficientemente promisorio, pues en el periodo de los años 1996-2013, pasó de 0.2 a 0.70 MW (Bojorquez, 2018). Sin embargo, el año 2018 cuenta con 364 MW de potencia instalada.

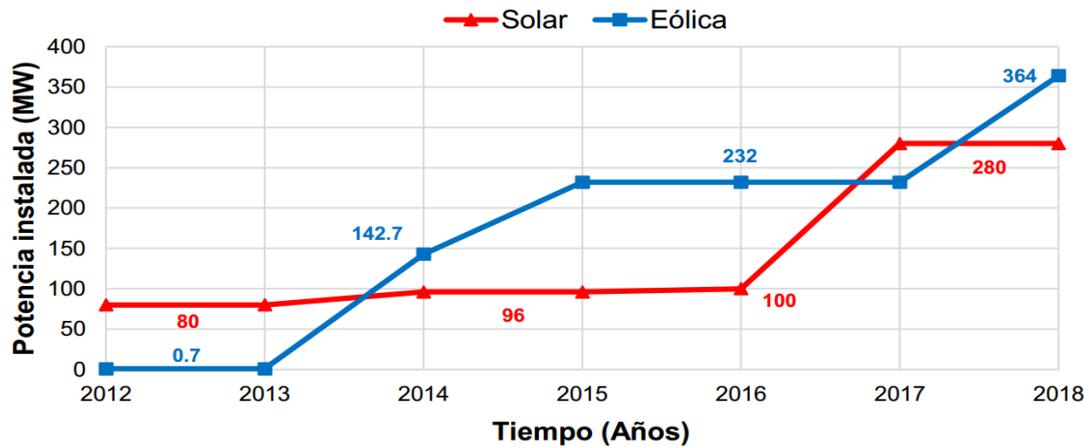


Figura 8. Evolución de las energías renovables en el Perú.

Fuente: Bojorquez, 2018.

En una primera investigación acerca del recurso eólico del Perú, se advierte que las áreas con mayor potencial eólico están situadas en las zonas de costa, así como en algunos sectores de la sierra, mientras en las zonas de selva existe un potencial mucho menor que el resto. De acuerdo con el mapa del atlas eólico del Perú, 2016, a 100 m. de altura cuenta con una velocidad anual aproximada de 6 a 10 m/s. del suelo (resolución a 1 km) de la provincia de Sechura, y en el distrito de Vice tiene un aproximado entre 6 a 7 m/s. según su topografía del lugar (Atlas eólico del Perú, 2016).

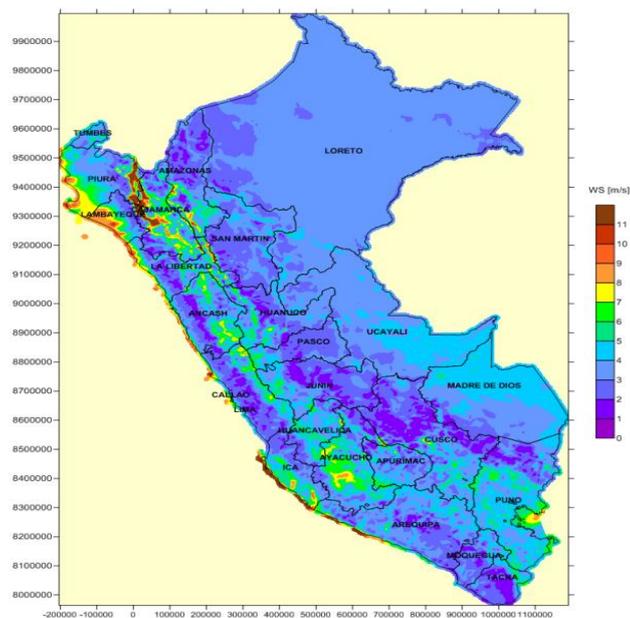


Figura 9. Velocidad del viento en el Perú a 100 m.

Fuente: Atlas eólico del Perú, 2016.

La velocidad media anual del viento a 10 m. del suelo es de aproximadamente 5 a 8 m/s. en la provincia de Sechura y en el distrito de Vice entre 4 a 6 m/s. según la topografía del lugar (Atlas eólico del Perú, 2016).

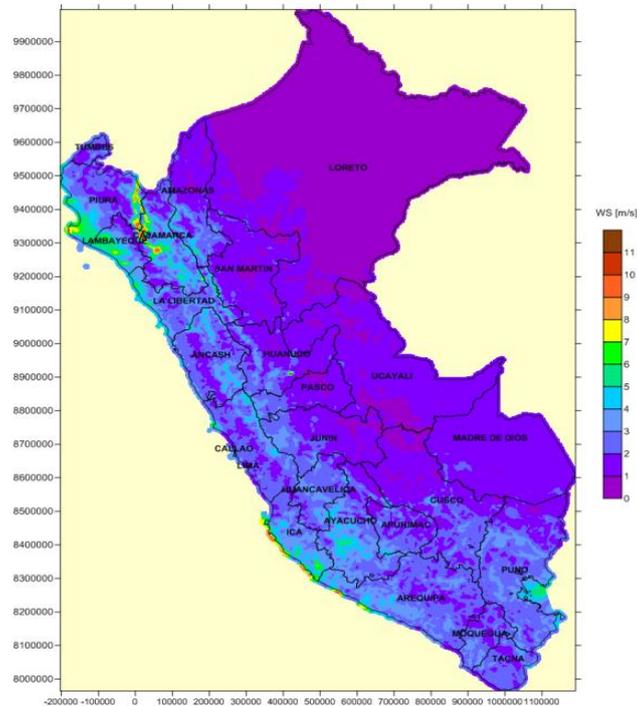


Figura 10. Velocidad anual del viento en el Perú a 10 m.

Fuente: Atlas eólico del Perú, 2016.

La densidad de potencia media anual del viento a 10 m. del suelo es de aproximadamente 100 a 400 W/m² en la provincia de Sechura y en el distrito de Vice 100 a 200 W/m². Según la topografía del lugar (Atlas eólico del Perú, 2016).

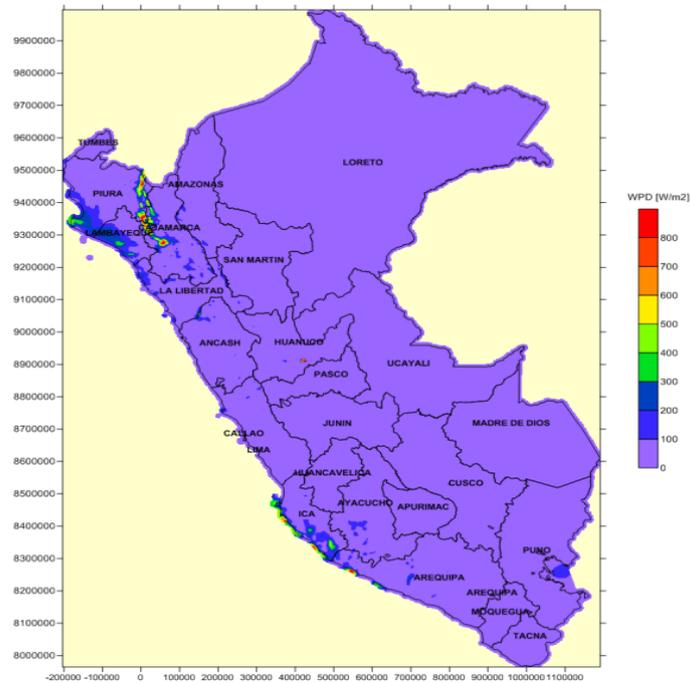


Figura 11. Densidad de potencia anual del viento en el Perú a 10 m.

Fuente: Atlas eólico del Perú, 2016.

Escala de Beaufort: Ésta es una tabla representativa, que refiere el impulso del viento por una serie de número del 0 al 12. La escala de Beaufort llega hasta a 17, pero los últimos cinco números sólo se aplican a los tifones tropicales. Estos números se utilizan sólo en las espacios alrededor de China y Taiwán. La escala lleva ese nombre en deferencia al Sir Frances Beaufort de la Marina Real Británica, quién en 1805 ideó un procedimiento para representar la potencia del viento en concordancia con los sistemas para implantar las velas de un barco de guerra.

La escala de Beaufort es válida para valorar la energía eólica y sin herramientas de viento (Naranjo, 2017).

ESCALA INTERNACIONAL DEL VIENTO				
ESCALA BEAUFORT				
GRADO	TÉRMINO DESCRIPTIVO	VELOCIDAD		
		Nudos	m/s	Km/h
0	Tranquilo; el humo se disipa hacia el cielo	< 1	0	< 2
1	Brisa Débil; la trayectoria se observa por la conducta del humo. Las banderolas no consiguen a desplazarse	1 - 3	0,5 – 1,5	2 - 6
2	Brisa Suave; se concibe la brisa en el rostro, las hojuelas de las arboledas se agitan; las veletas voltean mansamente.	4 - 6	2,1 - 3,1	7 - 11
3	Viento flojo; las hojuelas y las ramas minúsculas se menean continuamente, el aire dispersa las banderolas.	7 - 10	3,6 - 5,1	12 - 19
4	Bonancible o Viento Moderado; se alza el polvo y los pliegos del suelo, se agitan las ramas minúsculas de los árboles.	11 - 16	5,7 - 8,2	20 - 30
5	Fresquito o Viento Moderado a Fuerte; Los árboles menores se mueven, se crean olas en las aguas calmadas.	17 - 21	8,7 - 10,8	31 - 39
6	Fresco; se revuelven las ramas grandes de los árboles y los paraguas se conservan con considerada dificultad.	22 - 27	11,3 - 13,9	40 - 50
7	Frescachón; los árboles se agitan, se desplaza con problema contra la corriente del viento.	28 - 33	14,4 - 17,0	51 - 61
8	Temporal; se fragmentan las ramas de los bosques, es difícil caminar contra la corriente del viento.	34 - 40	17,5 - 20,6	62 - 74
9	Temporal duro; el viento remueve techados y chimeneas de las viviendas, se derrumban arbustos, suceden perjuicios fuertes en los sembradíos.	41 - 47	21,1 - 24,2	75 - 87
10	Temporal muy duro; anómalo en los continentes, erradica los árboles y los hogares sufren perjuicios muy significativos.	48 - 56	24,7 - 28,3	88 - 103
11	Temporal muy extremo; tormenta	57 - 64	29 - 33	104 - 118
12	Temporal Huracanado; Tifón	65 - 71 >	34 - 36,5 >	119 - 132 >

Tabla 2. Escala internacional del viento – Escala Beaufort.

Fuente: Marina de Guerra del Perú, 2013.

Límite de Betz: El límite de Betz se expone con la siguiente pregunta ¿Cuánta energía se puede utilizar del viento?, es decir es el porcentaje de energía que se

puede captar del viento. Según la ley de Betz (1919) establece: Ninguna turbina puede extraer más de (59,3%) de la energía motriz del viento (Chuquimamani, 2021) en energía mecánica empleando un aerogenerador.

La Ley de Betz fue enunciada por primera vez en 1919, por el físico alemán Albert Betz. Su libro “Wind-Energie”, publicado en 1926, provee gran parte de la noción que, en ese tiempo, se tenía acerca de la energía eólica y aerogeneradores “Potencia eólica disponible y potencia eólica aprovechable (Aguilar, 2017, p.22).

Para demostrar el límite de Betz, se resume el fenómeno físico en la siguiente gráfica:

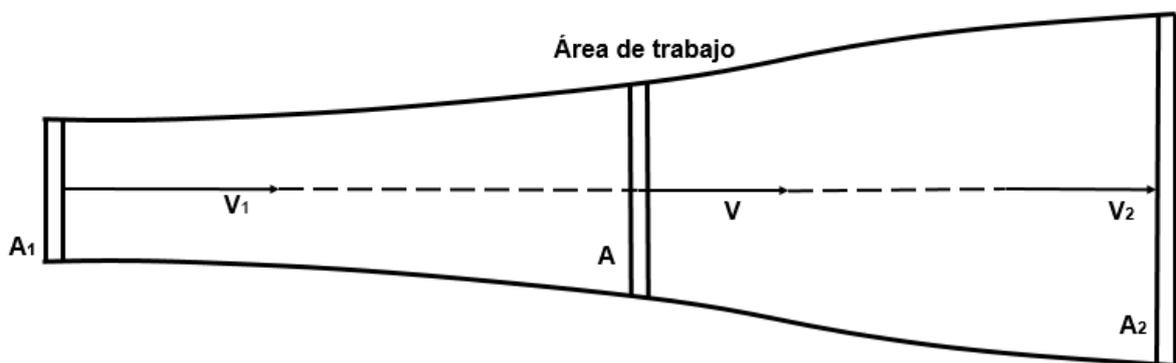


Figura 12. Límite de Betz.

Fuente: Aguilar, 2017.

Para encontrar la Potencia Útil se tiene dos formas de lograrlo, que se muestra a continuación:

Potencia Útil, dependiendo de la energía cinética del viento al filtrarse por el rotor del generador eólico.

$$\begin{aligned}
 P_{\text{útil}} &= \frac{-\Delta E_k}{\Delta t} \\
 &= \frac{E_{k1} - E_{k2}}{\Delta t} \\
 &= \frac{\frac{1}{2} \rho A d (v_1^2 - v_2^2)}{\Delta t} \\
 P_{\text{útil}} &= \frac{1}{2} \frac{d}{\Delta t} \rho A (v_1^2 - v_2^2)
 \end{aligned}$$

Dónde:

$P_{\text{útil}}$ = Potencia útil o aprovechada del viento

E = Energía Cinética

ρ = Densidad del aire

A = Área del rotor

V = Velocidad del Viento

La ecuación de la Potencia Útil es [2]:

$$P_{\text{útil}} = \frac{1}{2} \rho A v (v_1^2 - v_2^2)$$

Y Potencia Útil, también puede ser representada por:

$$P_{\text{útil}} = F_1 v$$

Dónde:

F = Fuerza del Viento

$$F = m \cdot \text{acel}$$

Y:

M = masa

acel = aceleración

F_1 = Fuerza sobre el viento

$$F_1 = m \cdot (-\text{acel})$$

Dónde:

$$m = \rho \cdot \text{Volumen} = \rho \cdot A \cdot d$$

Y:

$$\text{acel} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t}$$

$$-\text{acel} = \frac{v_1 - v_2}{\Delta t}$$

Entonces:

$$F_1 = \rho A d \frac{v_1 - v_2}{\Delta t}$$

La ecuación de la Potencia Útil es [3]

$$\begin{aligned} P_{\text{útil}} &= \frac{\rho A d (v_1 - v_2)}{\Delta t} v \\ &= \frac{d}{\Delta t} \rho A v (v_1 - v_2) \\ P_{\text{útil}} &= \rho A v^2 (v_1 - v_2) \end{aligned}$$

Se iguala las ecuaciones [2] y [3] se obtiene [4]:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \rho A v (v_1^2 - v_2^2) &= \rho A v^2 (v_1 - v_2) \\ v &= \frac{1}{2} (v_1 + v_2) \end{aligned}$$

Esto indica que para que las formulaciones preliminares se encuentren consecuentes entre sí, la rapidez del viento en el rotor del generador es la dimensión de las velocidades antes y después del mismo.

Factor de ralentización, denominado por Betz como [5]:

$$a = \frac{v}{v_1}$$

$$v = a * v_1$$

Remplazando [4] y [5] en [2] obteniendo la ecuación [6]:

$$P_{\text{útil}} = \frac{1}{2} \rho A v (v_1^2 - v_2^2)$$

$$= \frac{1}{2} \rho A \left(\frac{1}{2} (v_1 + v_2) \right) (v_1^2 - v_2^2)$$

$$= \frac{1}{2} \rho A \left(\frac{1}{2} \right) (v_1 + v_2) (v_1^2 - v_2^2)$$

$$= \frac{1}{2} \rho A \left(\frac{1}{2} \right) (v_1 + v_2)^2 (v_1 - v_2)$$

$$= \frac{1}{2} \rho A \left(\frac{1}{2} \right) (v_1 + 2v - v_1)^2 (v_1 - 2v + v_1)$$

$$= \frac{1}{2} \rho A \left(\frac{1}{2} \right) 4v^2 (2v_1 - 2v)$$

$$= \frac{1}{2} \rho A (4) (av_1)^2 (v_1 - av_1)$$

$$= \frac{1}{2} \rho A v_1^3 (4) a^2 (1 - a)$$

$$P_{\text{útil}} = \frac{1}{2} \rho A v_1^3 (4a^2 - 4a^3)$$

Calculando el máximo factor de ralentización mediante, $\frac{\Delta P_{\text{útil}}}{\Delta a} = 0$ se obtiene:

$$0 = 8a - 12a^2$$

$$0 = 4a(2 - 3a)$$

Entonces las posibles soluciones para esta ecuación son:

$a=0$, No válida

$a=\frac{2}{3}$, Correcta

Reemplazando la ecuación [6]:

$$\begin{aligned}P_{\text{útil}} &= \frac{1}{2} \rho A v_1^3 (4) \left(\frac{4}{9}\right) \left(1 - \frac{2}{3}\right) \\ &= \frac{1}{2} \rho A v_1^3 \left(\frac{16}{27}\right) \\ P_{\text{útil}} &= \left(\frac{16}{27}\right) \frac{1}{2} \rho A v_1^3\end{aligned}$$

La Potencia de viento se representa mediante la siguiente ecuación:

$$P_o = \frac{1}{2} \rho A v_1^3$$

Entonces se tiene que:

$$\begin{aligned}P_{\text{útil}} &= \left(\frac{16}{27}\right) P_o \\ P_{\text{útil}} &= (0.5925) P_o \\ P_{\text{útil}} &= (59.25\%) P_o\end{aligned}$$

Entonces el coeficiente de potencia Máximo es:

$$C_{p \text{ max}} = 0.5925$$

Esto indica que el rotor del generador eólico solo podría aprovechar el 59.25% de la potencia que ofrece el viento (Aguilar, 2017).

Temp. $T, ^\circ\text{C}$	Densidad $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico c_p $\text{J/kg} \cdot \text{K}$	Conductividad térmica $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Difusividad térmica $\alpha, \text{m}^2/\text{s}$	Viscosidad dinámica $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-6}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1000	0.2772	1184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1500	0.1990	1234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2000	0.1553	1264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

Nota: Para gases ideales, c_p , k , μ y Pr son independientes de la presión. Las propiedades ρ , ν y α a una presión P distinta a 1 atm se determinan cuando se multiplican los valores de ρ a la temperatura dada por P (en atm) y cuando se dividen ν y α entre P (en atm).

Fuente: Datos generados a partir del Software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 198; and Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: Viscosity, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena, y P. Hestermans, IFI/Plenum, NY, 1970, ISBN 0-306057020-8.

Tabla 3. Presión del aire a 1 atmosfera.

Fuente: Yunus A. Çengel, Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones, 2006.

TEMP. °C	Volumen Específico	Densidad	Entalpia	TEMP. °C	Volumen Específico	Densidad	Entalpia
	(m³/kg)	(kg/m³)	(kcal/kg)		(m³/kg)	(kg/m³)	(kcal/kg)
-15	0.7304	1.3691	0.6722	18	0.8244	1.2130	8.6372
-14	0.7332	1.3638	0.9123	19	0.8274	1.2086	8.8772
-13	0.7363	1.3581	1.1523	20	0.8302	1.2044	9.1228
-12	0.7391	1.3530	1.3923	21	0.8329	1.2006	9.3628
-11	0.7422	1.3473	1.6323	22	0.8360	1.1961	9.6028
-10	0.7453	1.3416	1.8779	23	0.8389	1.1920	9.8484
-9	0.7480	1.3369	2.1179	24	0.8418	1.1880	10.0706
-8	0.7511	1.3313	2.3579	25	0.8446	1.1839	10.3284
-7	0.7538	1.3266	2.5980	26	0.8474	1.1800	10.5740
-6	0.7563	1.3222	2.8390	27	0.8501	1.1763	10.7640
-5	0.7591	1.3173	3.0835	28	0.8529	1.1725	11.0540
-4	0.7619	1.3125	3.3235	29	0.8556	1.1687	11.2996
-3	0.7650	1.3072	3.5636	30	0.8583	1.1650	11.5396
-2	0.7678	1.3024	3.8036	31	0.8612	1.1611	11.7796
-1	0.7706	1.2977	4.0447	32	0.8645	1.1567	12.0252
0	0.7734	1.2928	4.2892	33	0.8672	1.1531	12.2652
1	0.7756	1.2893	4.5292	34	0.8700	1.1494	12.5052
2	0.7790	1.2837	4.7692	35	0.8727	1.1458	12.7564
3	0.7822	1.2784	5.0148	36	0.8756	1.1420	12.9908
4	0.7850	1.2739	5.2547	37	0.8786	1.1382	13.2308
5	0.7878	1.2693	5.4948	38	0.8816	1.1343	13.4764
6	0.7908	1.2645	5.7404	39	0.8843	1.1308	13.7164
7	0.7933	1.2605	5.9803	40	0.8871	1.1273	13.9620
8	0.7961	1.2562	6.2204	41	0.8900	1.1236	14.2020
9	0.7988	1.2518	6.4615	42	0.8932	1.1196	14.4420
10	0.8015	1.2476	6.7060	43	0.8957	1.1164	14.6820
11	0.8044	1.2431	6.9460	44	0.8987	1.1127	14.9276
12	0.8076	1.2381	7.1860	45	0.9014	1.1093	15.1676
13	0.8104	1.2339	7.3983	46	0.9042	1.1059	15.4132
14	0.8131	1.2297	7.6716	47	0.9073	1.1021	15.6532
15	0.8159	1.2256	7.9116	48	0.9100	1.0988	15.8955
16	0.8188	1.2213	8.1183	49	0.9129	1.0954	16.1400
17	0.8217	1.2168	8.3972	50	0.9158	1.0919	16.3900

Tabla 4. Propiedades del aire seco con relación a la presión atmosférica.

Fuente: <https://www.climasmonterrey.com/cuales-son-las-propiedades-del-aire>, s.

f.

Reúso de alternador (rotor y estator) y rectificador como insumo en la construcción de prototipo de aerogenerador de baja potencia. Economía circular:

En la actualidad y debido a las progresivas impresiones sobre el uso limitado de los recursos naturales, el reto de la sostenibilidad ecológica y la legislación ambiental, el impacto de descartar los productos al concluir su vida útil, ha obtenido una atención considerable. Autores como Esenduran, Kemahlıoğlu-Ziya, exponen la repercusión de la regulación normativa en la gestión de desechos en las empresas, poniendo en evidencia que toda esta normativa desvía el concepto de economía lineal de la empresa moderna (Oblitas, 2019).

Los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE), están ganando resonancia en el ámbito de la gestión de desechos, con una producción global que se estima aumentó de 20 a 25 TM en 2009 a casi 45 TM en 2016. Bajo este enfoque es necesario considerar prototipos nuevos para ciclos de vida de productos eléctricos y electrónicos, tales como la ecología industrial y la evaluación de ciclo de vida. En ese contexto, recientemente el significado de Economía Circular (EC) se ha popularizado, ganando impulso en países europeos y China; debido a que ésta se encara en subsanar los niveles ascendente de demanda y los efectos sociales y económicos relacionados al medio ambiente, al reintegrar los materiales al ciclo de producción en una fase cerrada (Oblitas, 2019). En las últimas décadas, la economía circular se ha promocionado cada vez más como un modelo económico capaz de reemplazar a la economía “Lineal” actual, al tiempo que afronta los problemas de deterioro ambiental, equidad social y progreso económico a largo plazo, con la proposición explícita de que puede servir con una herramienta para el desarrollo sostenible. Es conocido que una economía lineal extrae recursos naturales, añade valor al convertirlos en bienes, los mercantiliza y luego los desecha como desperdicios al final de su vida útil.

La economía circular se ha definido como un sistema industrial restaurativo o regenerativo, por propósito así como bosquejo, y tiene como finalidad reformar la gestión de los desechos a través de la creación de los ciclos optimizados de componentes y materiales, conservando su mayor utilidad y valor (Oblitas, 2019). Los recursos y la urgente necesidad de innovar modelos de negocios, basados en propuestas de valor circular que cambian de transacciones individuales entre

actores de la cadena de valor a transacciones múltiples a través de modelos de negocios circulares. En este contexto la economía circular plantea que se pueda adquirir valor para las corporaciones por medio de ahorros en recursos humanos, materiales y energía, mientras que en paralelo tiene la habilidad de disminuir efectos ambientales, como las emisiones de gases de efectos invernadero y una apropiada gestión de desechos.

Estableciendo reintegrar sistemáticamente los recursos al concluir su vida útil y reutilizarlos, para diferentes usuarios. La estrategia no es volver a ensamblar el producto o la pieza del producto para el mismo consumidor, sino sistemáticamente rescatar los bienes al final de su vida útil y reutilizarlos o sus componentes para los nuevos consumidores (Oblitas, 2019).



Figura 13. Economía circular.

Fuente: Alarcón, 2015.

La electricidad: Es la acción causada por los electrones al trasladarse de un punto a otro, ya sea por su ausencia o abundancia de los mismos en un material (Bosques, Manual electricidad básica, http://www.trabajosocial.unlp.edu.ar/uploads/docs/electricidad-basica_ii.pdf).

Desplazamiento de un electrón en un material: Para que los electrones puedan desplazarse es preciso que alguna forma de energía se transforme en electricidad. Se pueden emplear seis formas de energía, cada una de las cuales podría

considerarse como fuente independiente de electricidad (Bosques, manual electricidad básica, http://www.trabajosocial.unlp.edu.ar/uploads/docs/electricidad_basica_ii.pdf).

Tipos de energía: Para generar electricidad se debe emplear alguna forma de energía que ponga en circulación a los electrones. Se pueden emplear seis formas de energía:

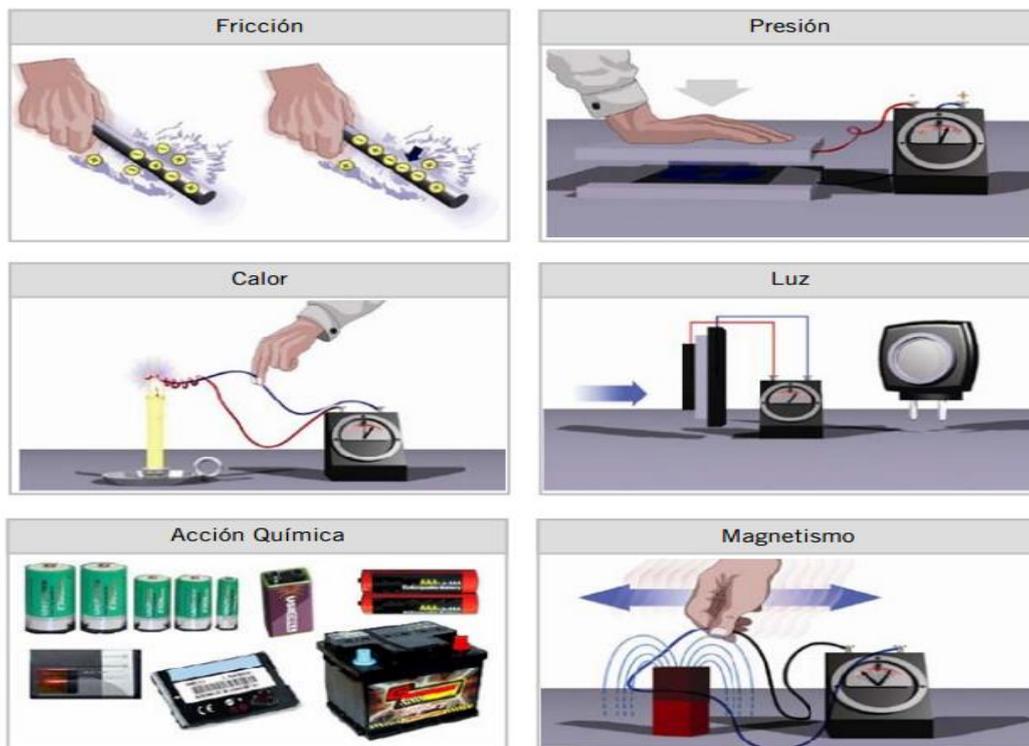


Figura 14. Tipos de electricidad.

Fuente: Bosques, manual electricidad básica, http://www.trabajosocial.unlp.edu.ar/uploads/docs/electricidad_basica_ii.pdf, s.f.

Magnetismo: El magnetismo es producido por un conductor cuando éste se mueve a través de un campo magnético o un campo magnético se mueve a través del conductor, de tal manera que el conductor corte las líneas de campo magnético. El método más común para producir la electricidad que se utiliza como corriente eléctrica es el que emplea el magnetismo. La fuente de electricidad tiene que ser capaz de mantener una carga grande debido a que la misma se emplea para suministrar corriente eléctrica. Si bien el frotamiento, la presión, el calor y la luz son fuentes de electricidad, su uso se limita a aplicaciones menores (Bosques, Manual

electricidadbásica,http://www.trabajosocial.unlp.edu.ar/uploads/docs/electricidad_basica_ii.pdf).

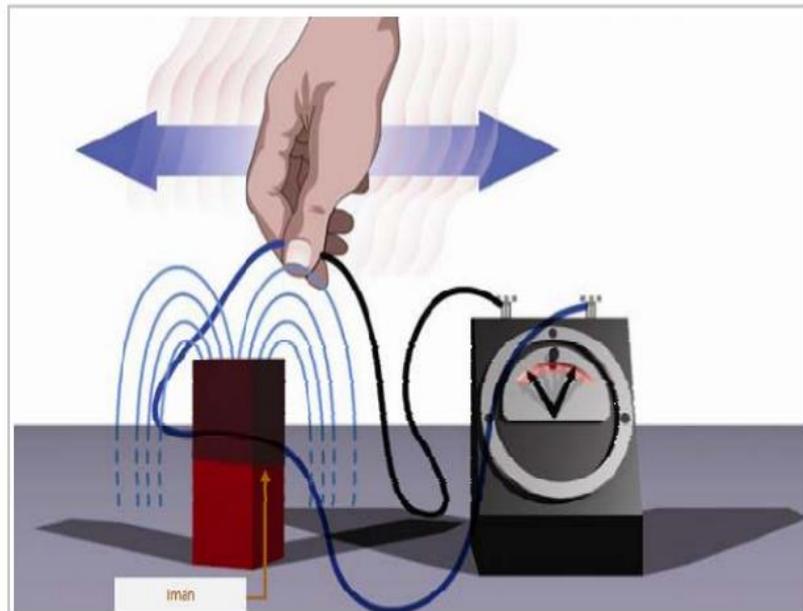


Figura 15. Magnetismo.

Fuente: Bosques, Manual electricidad básica, http://www.trabajosocial.unlp.edu.ar/uploads/docs/electricidad_basica_ii.pdf, s.f.

Corriente continua: La corriente continua provee las baterías de acumuladores, pilas, dinamos y células fotovoltaicas. Se representa mediante --- .

Una corriente continua se vislumbra porque los electrones libres siempre se desplazan en el mismo sentido, por el conductor con una intensidad invariable. Un generador de corriente continua mantiene invariable la polaridad de sus terminales (Quispe, 2017).

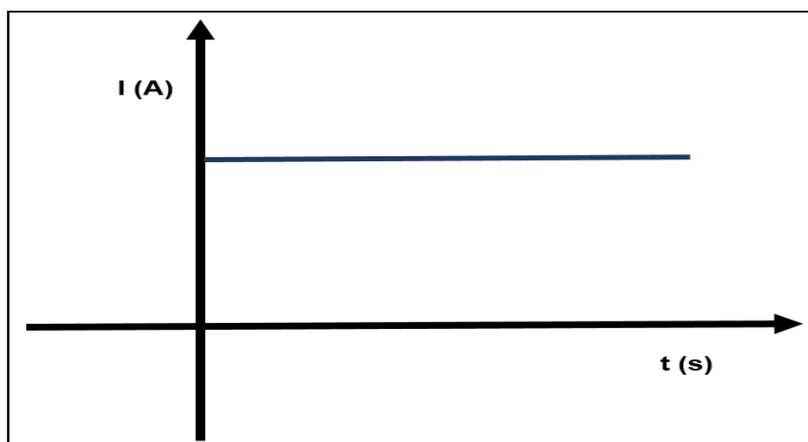


Figura 16. Representación gráfica de la corriente continua.

Fuente: Quispe, 2017.

Corriente Alterna: La corriente alterna es la que ocasiona los alternadores en centrales eléctricas. Es la manera más conocida de trasladar energía eléctrica y de utilizarla en nuestros domicilios y en la industria en general, se modifica con el tiempo y tiene estimaciones instantáneas positivas y negativas, a esta onda se le llama corriente alterna \sim y su símbolo es (Castillo, 2017).

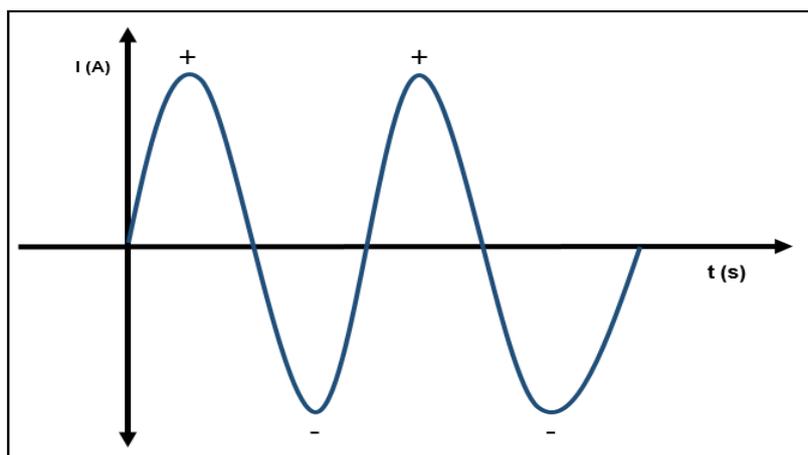


Figura 17. Representación gráfica de la corriente alterna.

Fuente: Quispe, 2017.

Tipos de aerogeneradores de imanes permanentes: Varias clasificaciones de generadores con imanes definitivos para uso en aerogeneradores han sido acogidas, ejemplo de ellos son: los de flujo radial, flujo axial y flujo transversal. Esta denominación responde a la distribución de los imanes en el generador (Quintana, 2019, p.26).

Rotor: Instituye la parte movable del motor, es el dispositivo de transmisión mecánica, pues de él deriva la transformación de energía eléctrica a mecánica. Los rotores, también llamado armaduras, son un grupo de láminas de acero al silicio, que llevan las boninas, que crean, conjuntamente con el estator, las fuerzas que hace rotar (Cancapa et al, 2018).

Estator: Es la parte estable del motor, aparato que opera como base favoreciendo la rotación del motor. El estator no se funciona mecánicamente, pero si magnéticamente, es el encargado de crear el campo magnético fijo, al que le denominamos excitación, en los motores pequeños se logra con imanes permanentes (Cancapa et al, 2018).

El estator está formado por un conjunto de láminas de acero al silicio, que facilitan el pase, a través de él, del flujo magnético sin dificultad; alberga los polos magnéticos, (Motores eléctricos para la industria. [https://www.usmp.edu.pe/vision2017/pdf/materiales/MOTORES ELECTRICOS_PARA_LA_IN.pdf](https://www.usmp.edu.pe/vision2017/pdf/materiales/MOTORES_ELECTRICOS_PARA_LA_IN.pdf)).

Máquinas de flujo transversal: En los aparatos de flujo transversal, el plano del itinerario del flujo es transversal a la orientación del movimiento del rotor. El empleo de aparatos de flujo transversal se puede formular en prácticas con exigencias de alta consistencia de flexión. Una propiedad atractiva de estas máquinas es que la carga de corriente y la carga magnética pueden acoplarse independientemente. Se recomiendan para sistemas eólicos, generadores de pistones libres para vehículos híbridos y propulsión de buques (Quintana, 2019, p.26).

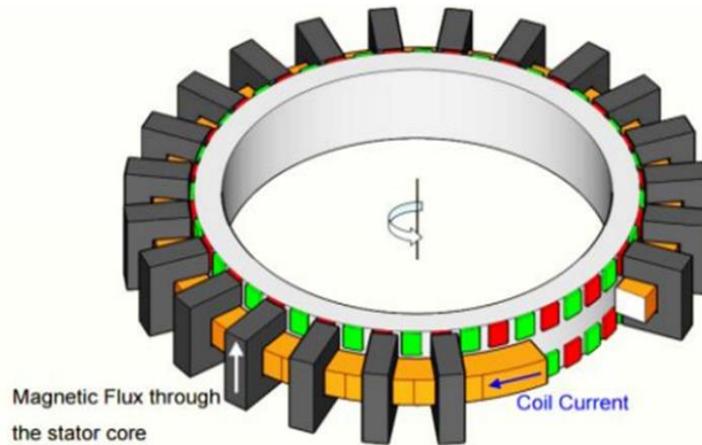


Figura 18. Máquina eléctrica de flujo transversal.

Fuente: Simón, 2017, p.22.

Máquinas de flujo axial: El motor es de flujo axial (MFA) cuando el campo magnético proveniente de un motor gira concéntrico a su eje. En los MFA, el estator tiene apariencia de anillo y el rotor (o los rotores) de disco, con sus caras activas paralelas, cumpliéndose además que sus diámetros activos interior y exterior (longitud activa), son iguales correspondientemente (Quintana, 2019, p.26).

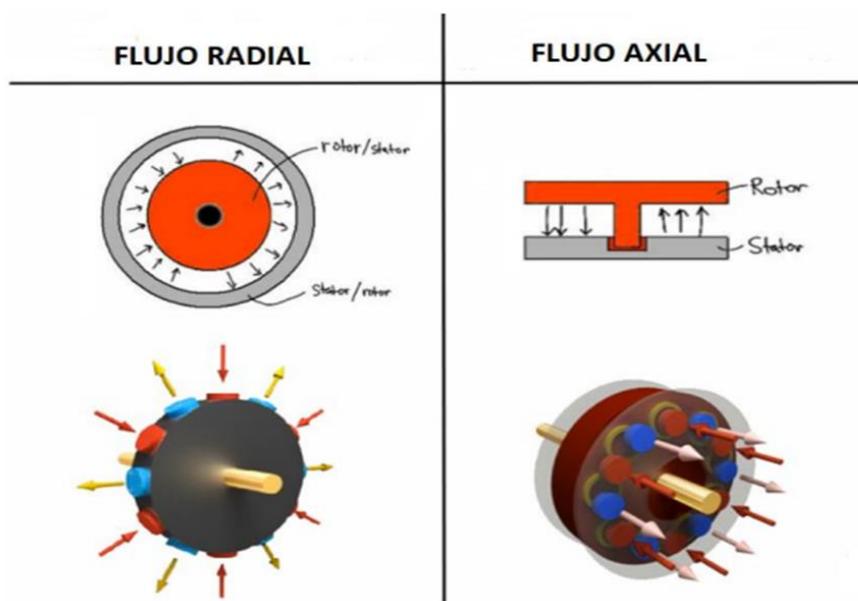


Figura 19. Flujo radial y flujo axial.

Fuente: Quintana, 2019.

Ley de Ohm: La oposición de la corriente a través de distintos materiales se le reconoce como resistencia eléctrica. Todos los materiales tienen una resistencia eléctrica, la diferencia radica en la intensidad de dicha oposición. A gran escala y dentro de este contexto, prevalecen dos clasificaciones para los materiales y los conductores, una necesita una energía mayor para dejar fluir la electricidad, mientras la otra tiene la facilidad de hacerlo. Este procedimiento de la resistencia se detalla a través de la Ley de Ohm, la cual refiere un comportamiento lineal entre la resistencia, la intensidad y la diferencia de potencial (Ramírez, 2019). Esta ley articula las tres magnitudes eléctricas de la siguiente manera:

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

Donde:

I = intensidad en amperios (A)

V = tensión o d.d.p. en voltios (V)

R = resistencia en ohmios (Ω)

Control de flujo de corriente: Hay una forma simple de conocer cuál es la fórmula que conviene utilizar en un momento determinado: utilizando un triángulo de Ohm donde ubicamos la corriente, el voltaje y la resistencia. Para utilizar el triángulo, se cubre el valor que se desea calcular y las letras restantes hacen la fórmula (Bosques, Manual electricidad básica, http://www.trabajosocial.unlp.edu.ar/uploads/docs/electricidad_basica_ii.pdf).

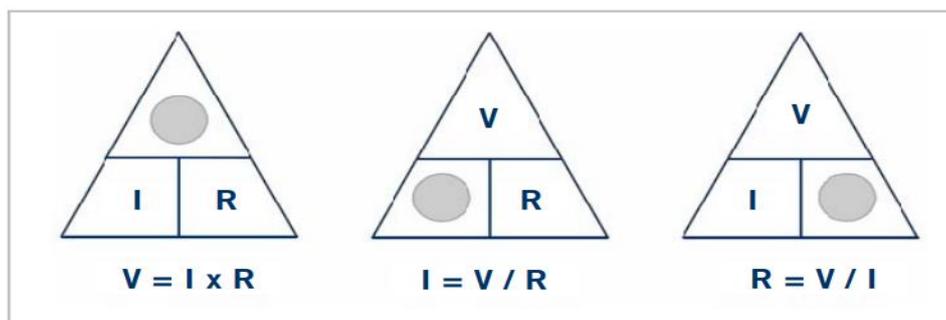


Figura 20. Cálculos de voltaje, amperaje y resistencia.

Fuente: Bosques, Manual electricidad básica,

http://www.trabajosocial.unlp.edu.ar/uploads/docs/electricidad_basica_ii.pdf, s.f.

Corriente eléctrica: Es el traslado de cargas eléctricas de un punto a otro en conductor. Denominamos intensidad de corriente eléctrica (I) a la carga que transita una fracción del conductor, la unidad de la intensidad de corriente eléctrica viene dada en amperio (A), que equivale a un flujo de cargas de un culombio (C) por segundo (s) esto es (Rodríguez, 2016, p.30):

$$I = \frac{q \text{ (Culombios)}}{t \text{ (segundos)}} = 1 \text{ Amperio}$$

Donde:

I: Intensidad (A)

q: Carga que recorre una sección del conductor (C)

t: Tiempo que utiliza la carga en recorrer (s)

Diferencia de Potencial: La diferencia de potencial (V) es el trabajo (W) fundamental para llevar la unidad de carga eléctrica de un punto a otro. La unidad de la diferencia de potencial viene entregada en voltio (V). Para llevar 1 C de carga de un punto a otro de un conductor es básico realizar un trabajo de 1 J, la diferencia de potencial entre ambos es de 1 V esto es (Rodríguez, 2016, p.30):

$$V = \frac{W \text{ (Julios)}}{q \text{ (Culombios)}} = 1 \text{ Voltio}$$

Donde:

V: Diferencia de potencial (V)

W: Trabajo para desplazar una carga (J)

Resistencia Eléctrica: Todo conductor tiene una resistencia eléctrica (R) que se contrapone al ingreso de una corriente eléctrica. Esta depende de las

particularidades geométricas del conductor, del material de construcción y su temperatura. La resistencia eléctrica establece la intensidad de la corriente conseguida por una diferencia de potencial determinada. La unidad de la resistencia eléctrica viene dada en ohmios (Ω) y significa la resistencia de un conductor, que con una diferencia de potencial aplicada de 1 V, circula una corriente de 1 A de intensidad; esto es (Rodríguez, 2016, p.31):

$$R = \frac{V \text{ (Voltios)}}{I \text{ (Amperios)}} = 1 \text{ Ohmio}$$

Donde:

R: Resistencia eléctrica (Ω)

Ley de Watt o ley de potencia: Esta ley es conocida gracias al inventor James Watt “donde P es la potencia en Watts, E es el voltaje o fuerza electromotriz en Volts y la corriente en amperes es I”. Esta disposición es muy similar a la ley de ohm, pues su forma de aplicación es casi la misma, solo que en esta cuestión se obtendrá la potencia del circuito (Pérez, 2018).

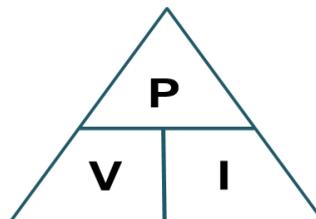


Figura 21. Ley de Watt.

Fuente: Pérez, 2018.

$$P = V * I$$

Dónde: P = Potencia

V = Tensión

I = Intensidad

Anemómetro: Se encuentran diversos tipos de instrumentos para calcular las propiedades físicas del viento. El anemómetro es una de estas herramientas meteorológicas utilizadas para la evaluación de la velocidad de los gases, ya sea en un flujo contenido, como flujo de aire en un conducto, o en flujos no confinados, como un viento atmosférico del viento. Para comprobar la velocidad, el dispositivo es incorporado directamente en el flujo, con el objetivo de estudiar el recurso, pronosticar el clima o hacer evaluaciones específicas para detectar un cambio en esta propiedad (Bohorquez, 2019, p.19).



Figura 22. Anemómetro digital.

Fuente: Lozano, 2021.

Tacómetro: El cálculo de velocidad en la industria se realiza de dos formas: con tacómetros mecánicos y tacómetros eléctricos. Los primeros muestran la cantidad de vueltas del eje de la máquina, por medios mecánicos, pudiendo concentrar o no la medida acumulada del tiempo para determinar el número de revoluciones por minuto (r.p.m.). Mientras que los tacómetros atraen la velocidad por sistemas eléctricos. (Revista distancia al día, 2017). El tacómetro es un mecanismo que mide la frecuencia de rotación de un elemento bajo actividad dinámica o velocidades de superficies y extensiones lineales. Es muy útil en procedimientos para conocer y controlar la frecuencia de rotación, permitiendo intervalos de seguridad, previamente establecidos. (Peñata, 2017).

El tacómetro de no contacto o llamado también óptico, emplea una fuente de luz que señala el objetivo en rotación, en donde anticipadamente se ha situado una cinta reflejante para que emita el pulso de luz hacia el foto sensor que tiene el tacómetro.

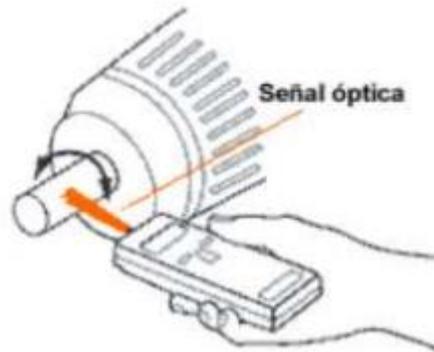


Figura 23. Tacómetro de no contacto.

Fuente: Paladines, 2017.

Brújula: Calcula la orientación del campo magnético terrestre. La aguja se sitúa de acuerdo de la dirección del campo magnético del lugar donde se encuentra. Eso implica, en términos teóricos, que la “brújula”, dispone de dos sistemas principales independientes: Una aguja y el “cuerpo” – la cáscara con la escala, etc. La aguja siempre marca Norte – Sur, la parte móvil “suelta” dentro de una brújula es el cuerpo, la cáscara (W. Griem, 2015).



Figura 24. Brújula Militar.

Fuente: Brújula militar, <https://de-senderismo.net/brujulas/militar/>, s.f.

Multímetro: Son instrumentos de medición que facilitan la prueba y de diagnóstico, principalmente para los técnicos electricistas y técnicos en mantenimiento, aire acondicionado y refrigeración, así como otros técnicos que optan por utilizar esta herramienta en sus respectivos campos de trabajo (como es el caso de la electricidad automotriz) y expertos en diversas disciplinas (Manual del sistema eléctrico de la motocicleta, https://www.academia.edu/35938635/MANUAL_DEL_SISTEMA_EL%C3%89CTRICO_DE_LA_MOTOCICLETA).



Figura 25. Multímetro.

Fuente: Sevilla, 2017.

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

Esta investigación, de tipo cuantitativo, es aplicada, con diseño experimental porque se obtiene datos a través de la experimentación y se compara con variables constantes. Se manipulan dichas variables y la observación de resultados cuantificables.

3.2 Variables y operacionalización

Variable independiente

Prototipo de aerogenerador.

Variable dependiente

Generación de energía eléctrica.

Matriz de operacionalización de variables

	Problema	Objetivos	Hipótesis	Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medición
General	¿Qué cantidad de energía eléctrica se logra producir con un aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick localizado en el distrito de Vice, Sechura, Piura, 2021?	Evaluar la producción de energía eléctrica en un aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick, localizado en el distrito de Vice, Sechura. Piura 2021.	Un aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick, localizado en el distrito de Vice, Sechura. Piura 2021 logra producir aproximadamente 80 wh de energía eléctrica.	Variable independiente Prototipo de Aerogenerador	Prototipo aerogenerador es un dispositivo que utiliza la energía transmitida por las corrientes del viento, es decir, energía cinética para transformar a energía mecánica que se convierte en electricidad (González, 2019).	El potencial del viento y la potencia útil se aplicaron para verificar la eficiencia del aerogenerador y el diseño para obtener los datos técnicos de la construcción del aerogenerador.	Potencial eólico del distrito de Vice. Diseño de prototipo aerogenerador.	Temperatura Densidad Velocidad del viento Centímetros Metros Planos	T°, kg/m ³ , m/s, cm, m.
Específico 1	¿Cuál es el potencial eólico de Sechura para la aplicación de un aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick localizado en el distrito de Vice, Sechura?	Medir el potencial eólico para la aplicación de un aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick en el distrito de Vice, Sechura.	Sechura posee un potencial eólico significativo para la aplicación de un aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick localizado en el distrito de Vice, Sechura.						
Específico 2	¿Qué diseño de prototipo aerogenerador resulta apropiado para construir y aplicar en Sechura?	Diseñar y construir un prototipo aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick para su aplicación en el distrito de Vice, Sechura.	El prototipo aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick resulta apropiado para construir y aplicarse en Sechura.	Variable dependiente Generación de energía eléctrica	La generación de energía eléctrica se puede lograr mediante la energía eólica para satisfacer las necesidades de comunidades que no cuentan con el suministro eléctrico a partir del aprovechamiento del viento que circula por una determinada zona (Henao, 2018).	Supervisión de los parámetros eléctricos del prototipo aerogenerador modelo Cedrick.	Producción de voltaje. Producción de potencia eléctrica.	Voltaje Amperaje Ohmios Vatios	(V), (A), (Ω) (W)
Específico 3	¿Cuanta tensión eléctrica produce el prototipo aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick?	Calcular la tensión eléctrica producida por el prototipo aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick.	El prototipo aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick produce una tensión eléctrica de 12v.						
Específico 4	¿Qué potencia eléctrica se requiere para proveer de energía a un hogar rural de Sechura con el prototipo aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick?	Determinar la potencia eléctrica que se requiere para proveer de energía a un hogar rural de Sechura, con el prototipo aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick.	La potencia eléctrica requerida para proveer de energía a un hogar rural de Sechura es de 66 w con el prototipo aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick.						

Fuente: Elaboración propia.

3.3 Población, muestra, muestreo, unidad de análisis

Población

Aire de acuerdo al atlas eólico, la velocidad del viento registrada según el mapa eólico.

Muestra

Velocidad del aire que se midió en el distrito de Vice, Sechura, Piura.

Muestreo

El muestreo es por conveniencia para su análisis.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas	Uso	Instrumentos
Observación	Registro de los valores del viento, temperatura, voltaje y rpm en diferentes horarios del día en el sector de ubicación del aerogenerador modelo Cedrick.	Hoja de registro de las muestras en campo.
Análisis de documentos	Recopilación de información técnica para la investigación.	Hojas de investigación documentaria.

3.5 Procedimientos

La primera etapa se inició con un muestreo de artículos indexados para el levantamiento de información mediante palabras claves referentes a nuestro tema, posterior a esto se obtuvo 40 artículos priorizados en información en inglés.

La segunda etapa consistió en hacer un filtro de información relativa a nuestro tema para seleccionar la información más compatible con nuestro objetivo.

La tercera etapa consistió en plantear, estructuras y analizar la información seleccionada para vaciar información al presente escrito según el desarrollo del mismo.

La cuarta etapa consistió en medir el potencial eólico para la aplicación del prototipo aerogenerador modelo Cedrick el cual se midió la velocidad del viento durante el mes de mayo de 2021 y posterior obtención de la eficiencia energética del aerogenerador.

La quinta etapa se planteó el diseño y construcción de nuestro prototipo aerogenerador eólico de eje horizontal modelo Cedrick el cual fue diseñado en el programa AutoCAD 2016 y su posterior construcción siguiendo las características técnicas según el diseño propuesto, se realizaron actividades tales como corte de tubo cuadrado, soldadura, instalación de alternador, chumaceras, corte e instalación de plancha galvanizada para aspas, instalación de ejes, instalaciones eléctricas y regulador de onda completa.

La sexta etapa consistió en el análisis de tensión eléctrica del aerogenerador, anterior a esto también se modificó las bobinas del alternador para que genere mayor voltaje y mayor amperaje.

La séptima etapa consistió en calcular la potencia eléctrica del aerogenerador y su uso en un hogar rural de la provincia de Sechura, impulsando el uso de energías renovables.

3.6 Método de análisis de datos

La observación de la información se ejecutó organizando la información recolectada para el posterior análisis teniendo en cuenta los objetivos planteados, tabulando las cantidades e identificando los valores.

3.7 Aspectos éticos

El presente estudio se ha desarrollado mediante información verídica y que se puede evidenciar en campo, siguiendo los lineamientos propuestos y con fuentes verdaderas y de renombre a nivel internacional, respetando los derechos de autenticidad de los debidos autores.

IV. RESULTADOS

Para evaluar la producción de energía eléctrica del aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick, en el distrito de Vice, Sechura, Piura, inicialmente se realizó la medición del potencial eólico en Vice, verificando los valores de velocidad del viento y el porcentaje de eficiencia de a la turbina eólica, durante el todo el mes de mayo del 2021, cuyos datos obtenidos se establecieron en tablas, logrando información más exacta del potencial eólico en el distrito de Vice, similares a las estimaciones proporcionadas por el Atlas eólico del Perú – 2016.

El diseño del prototipo de aerogenerador implicó la elaboración de planos, mediante el software AutoCAD 2016. Mientras que para su construcción se tomó en cuenta una tabla de materiales a utilizar y una tabla de actividades para la construcción. Durante su fabricación se empleó un alternador reutilizado de un motor de 4 tiempos, que fue mejorado para la generación de energía eléctrica.

Posteriormente, se estableció que la tensión eléctrica del prototipo del aerogenerador de baja potencia es de 12 voltios de energía alterna, estableciendo un rectificador de onda completa para la conversión a energía continua. Y, finalmente, se calculó la potencia eléctrica requerida para suministrar de energía eléctrica a una vivienda rural del Distrito de Vice, Sechura, con el prototipo de aerogenerador de baja potencia, modelo Cedrick.

En el transcurso de este proceso, obtuvimos los siguientes resultados:

OE1: Medir el potencial eólico para la aplicación de un aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick en el Distrito de Vice, Sechura.

La ubicación de prueba del prototipo aerogenerador modelo Cedrick de baja potencia fue en el distrito de Vice, Sechura, Piura en la coordenadas UTM: E: 523480.97 y N: 9400755.94.

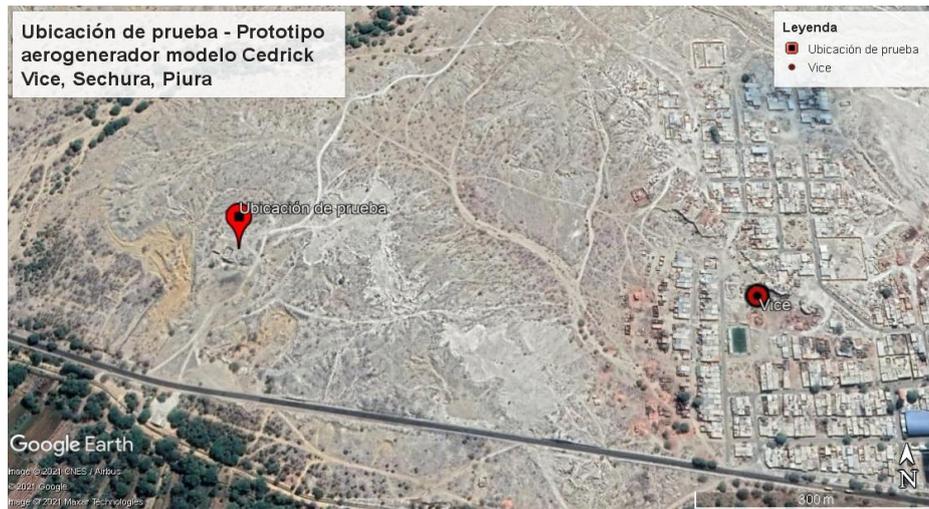


Figura 26. Ubicación de prueba del prototipo aerogenerador modelo Cedrick.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 27. Vista del lugar de prueba del prototipo aerogenerador modelo Cedrick.
Fuente: Elaboración propia.

El lugar donde se realizó la prueba se encuentra libre de obstáculos y es una zona en la cual habitan asentamientos humanos, lo que hace ideal su ubicación para el prototipo aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick.

La medición del potencial eólico se logró mediante la recopilación de información en el atlas eólico del Perú 2016 y la toma de mediciones del aire en movimiento en el distrito de Vice, Sechura, Piura con el anemómetro modelo GM816, el cual es un

anemómetro portátil de rueda alada mide diferentes parámetros, mide la velocidad del viento y la temperatura. Este dispositivo de medición suministra una amplia variedad de parámetros. Su rango de medición es de 0 – 30 m/s, una precisión de $\pm 5\%$ y una resolución de 0.1 m/s (Ficha técnica, Grupo C&M, [http://www.grupocym.pe/cms/_imgs/ficha/FICHA-TECNICA-ANEMOMETRO-TERMOMETRO-DIGITAL-MEDIDOR-DE-VELOCIDAD-DEL-VIENTO-\(GM816\).pdf](http://www.grupocym.pe/cms/_imgs/ficha/FICHA-TECNICA-ANEMOMETRO-TERMOMETRO-DIGITAL-MEDIDOR-DE-VELOCIDAD-DEL-VIENTO-(GM816).pdf)).



Figura 28. Toma de mediciones en el lugar de prueba.

Fuente: Elaboración propia.

Las velocidades del viento, son datos obtenidos en campo mediante un monitoreo diario desde el primer día del mes de mayo del 2021 y fueron tomadas a una altura aproximada de 36.6 m.s.n.m. oscilando entre 4.1 m/s y 6.9 m/s de la velocidad del viento, al igual que la temperatura del lugar expresados en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$) oscilando entre 19.2°C a 25.90°C .

Las velocidades del aire fueron tomados en horarios de mañana, tarde y noche logrando información más exacta del potencial eólico en el distrito de Vice, Sechura, Piura, que se asemejaron a las medidas del viento proporcionadas por el Atlas eólico del Perú – 2016 donde indica que la velocidad del viento en la provincia de Sechura oscila entre 4 m/s a 8 m/s variando de acuerdo a la topografía del lugar.

Se realizó una tabla de las medidas del viento durante el mes de mayo de 2021, el cual se encuentra ordenando por días, acompañado del grafico donde se muestra su incremento en proporción de la velocidad del viento, los cuales se muestran a continuación:

N°	Tiempo	Velocidad (m/s)
1	1 de mayo 2021	5.1
2	2 de mayo 2021	5.3
3	3 de mayo 2021	4.9
4	4 de mayo 2021	4.5
5	5 de mayo 2021	4.3
6	6 de mayo 2021	4.5
7	7 de mayo 2021	5.7
8	8 de mayo 2021	4.1
9	9 de mayo 2021	5.3
10	10 de mayo 2021	4.5
11	11 de mayo 2021	4.4
12	12 de mayo 2021	4.5
13	13 de mayo 2021	4.4
14	14 de mayo 2021	4.1
15	15 de mayo 2021	4.4

N°	Tiempo	Velocidad (m/s)
16	16 de mayo 2021	4.7
17	17 de mayo 2021	4.5
18	18 de mayo 2021	5.8
19	19 de mayo 2021	5.9
20	20 de mayo 2021	4.7
21	21 de mayo 2021	4.8
22	22 de mayo 2021	4.9
23	23 de mayo 2021	5.5
24	24 de mayo 2021	5.4
25	25 de mayo 2021	5.2
26	26 de mayo 2021	5.3
27	27 de mayo 2021	5.8
28	28 de mayo 2021	6.9
29	29 de mayo 2021	6.3
30	30 de mayo 2021	6.6

Tabla 5. Velocidades del viento - mayo de 2021.

Fuente: Elaboración propia.

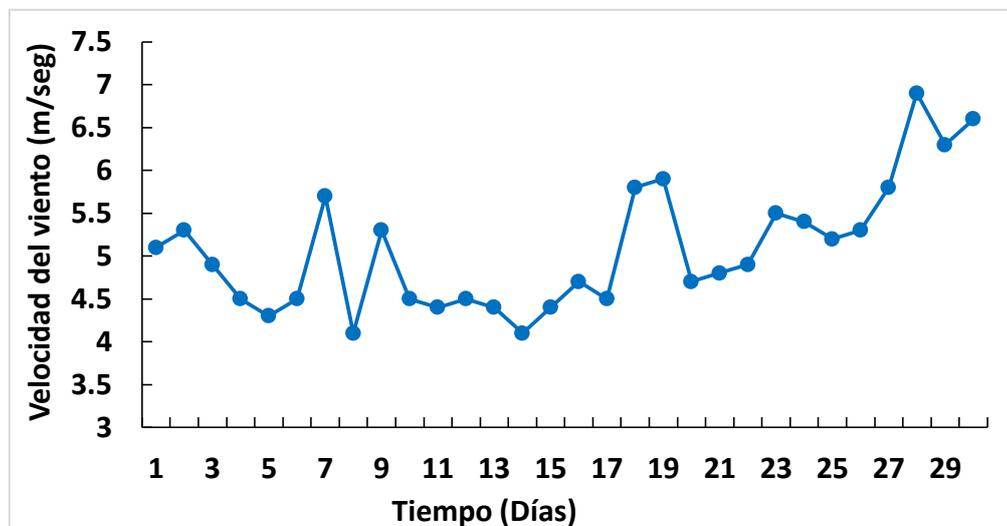


Figura 29. Oscilaciones del viento en el mes de mayo - 2021.

Fuente: Elaboración propia.

La evaluación de la eficiencia del aerogenerador se obtuvo mediante la Ley de Betz el cual señala que ninguna turbina puede capturar más del 59,3% de la energía cinética del viento en energía mecánica usando un aerogenerador, en este caso, se calculó el área de las aspas helicoidales del prototipo de aerogenerador modelo Cedrick, el potencial del viento y el potencial útil diario a convertirse en energía mecánica, como se muestra a continuación:

Calculo del área de las aspas helicoidales:

$$A = \pi r^2$$

Dónde:

A = área

r = radio

$$A = 3.1415(0,4^2)$$

$$A = 0,50264m^2$$

Cálculo potencia del viento:

$$P_{\text{viento}} = \frac{1}{2} P A V^3$$

Ejemplo:

$$P_{\text{viento}} = \frac{1.2044}{2} (0.50264)(5.1)^3$$

$$P_{\text{viento}} = 40.1521 \text{ W}$$

Cálculo potencia útil:

$$P_{\text{útil}} = \frac{1}{2} P A V(V1^2 - V2^2)$$

$$P_{\text{útil}} = \frac{1}{2} P A \left(\frac{v1+v2}{2}\right) (V1^2 - V2^2)$$

$$P_{\text{útil}} = \frac{\rho A}{4} (V_1 + V_2) (V_1^2 - V_2^2)$$

Considerando una temperatura de 20 °C, una densidad del aire de 1.2044 en kg/m³, una velocidad de viento entrante de 5.1 m/s y una velocidad saliente de 3.9 m/s, calculamos la potencia útil:

$$P_{\text{útil}} = \frac{1.2044 (0.50264)}{4} (5.1 + 3.9) (5.1^2 - 3.9^2)$$

$$P_{\text{útil}} = 14.7107 \text{ W}$$

Cálculo de la eficiencia lograda: $\eta = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{viento}}}$

$$\eta = \frac{14.7107}{40.1521}$$

$$\eta = 0.3663$$

$$\eta = 36,63 \%$$

Logrando una eficiencia de la turbina del eólica del 36, 63 %.

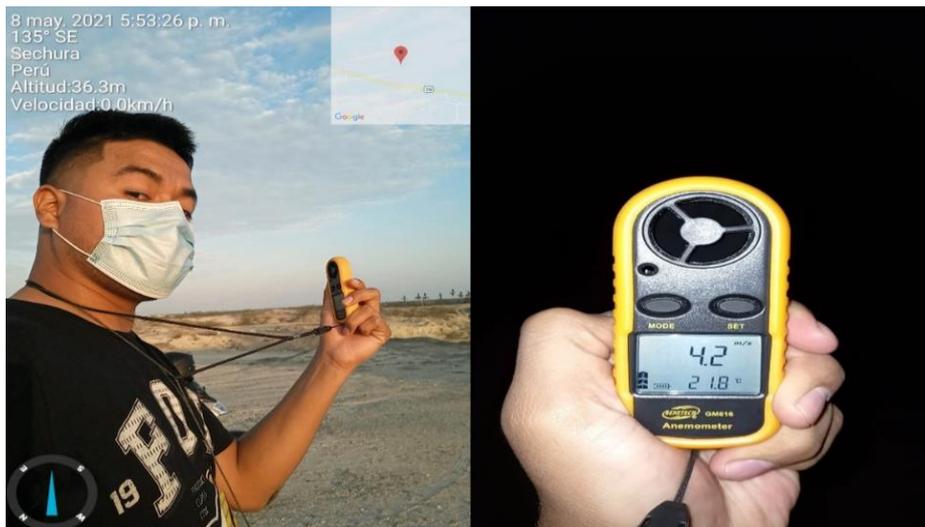


Figura 30. Toma de velocidad del viento en diferentes horarios.

Fuente: Elaboración propia.

Las mediciones se lograron mediante la toma de muestras en horario diurno y nocturno durante el mes de mayo de 2021 que son fundamentales para la obtención de resultados mediante los cálculos proporcionados por la ley de Betz, los resultados obtenidos se describen a continuación:

Día	Velocidad del viento inicial (m/s)	Velocidad del viento final (m/s)	Temperatura °C	Potencia del viento (W)	Potencia útil del viento (W)	Porcentaje de la eficiencia de la turbina eólica
1	5.10	3.90	20.00	40.15	14.71	36.63%
2	5.30	3.90	20.50	44.92	17.88	39.79%
3	4.90	3.70	20.10	35.61	13.43	37.71%
4	4.50	3.30	21.00	27.50	11.01	40.05%
5	4.30	3.00	20.90	23.99	10.45	43.56%
6	4.50	3.60	20.70	27.50	8.91	32.39%
7	5.70	4.00	21.00	55.88	24.13	43.18%
8	4.10	3.00	22,11	20.72	8.33	40.22%
9	5.30	3.80	21.90	44.75	18.67	41.71%
10	4.50	3.30	23.10	27.30	10.94	40.05%
11	4.40	3.30	23.30	25.52	9.77	38.28%
12	4.50	3.40	23.10	27.30	10.28	37.66%
13	4.40	3.20	23.50	25.43	10.35	40.68%
14	4.10	3.00	24.00	20.58	8.28	40.22%
15	4.40	3.10	24.60	25.35	10.88	42.92%

Tabla 6. Rendimiento energético del aerogenerador modelo Cedrick.

Fuente: Elaboración propia.

Día	Velocidad del viento inicial (m/s)	Velocidad del viento final (m/s)	Temperatura °C	Potencia del viento (W)	Potencia útil del viento (W)	Porcentaje de la eficiencia de la turbina eólica
16	4.70	3.50	25.90	30.79	11.96	38.85%
17	4.50	3.10	25.50	27.02	11.99	44.36%
18	5.80	4.00	23.60	58.25	25.81	44.30%
19	5.90	4.60	23.20	61.53	21.47	34.89%
20	4.70	3.50	23.00	31.10	12.09	38.85%
21	4.80	3.80	22.50	33.13	11.08	33.43%
22	4.90	3.60	22.40	35.37	14.12	39.91%
23	5.50	4.30	22.30	50.01	17.32	34.63%
24	5.40	4.40	21.90	47.33	14.43	30.49%
25	5.20	4.00	21.90	42.27	15.27	36.11%
26	5.30	4.30	21.40	44.92	13.90	30.95%
27	5.80	4.00	21.30	58.87	26.08	44.30%
28	6.90	4.70	20.40	99.44	44.80	45.05%
29	6.30	4.10	20.30	75.69	36.01	47.58%
30	6.60	4.20	20.20	87.02	42.37	48.68%

Tabla 6. Rendimiento energético del aerogenerador modelo Cedrick.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se muestran los gráficos obtenidos mediante los cálculos propuestos por la ley de betz.

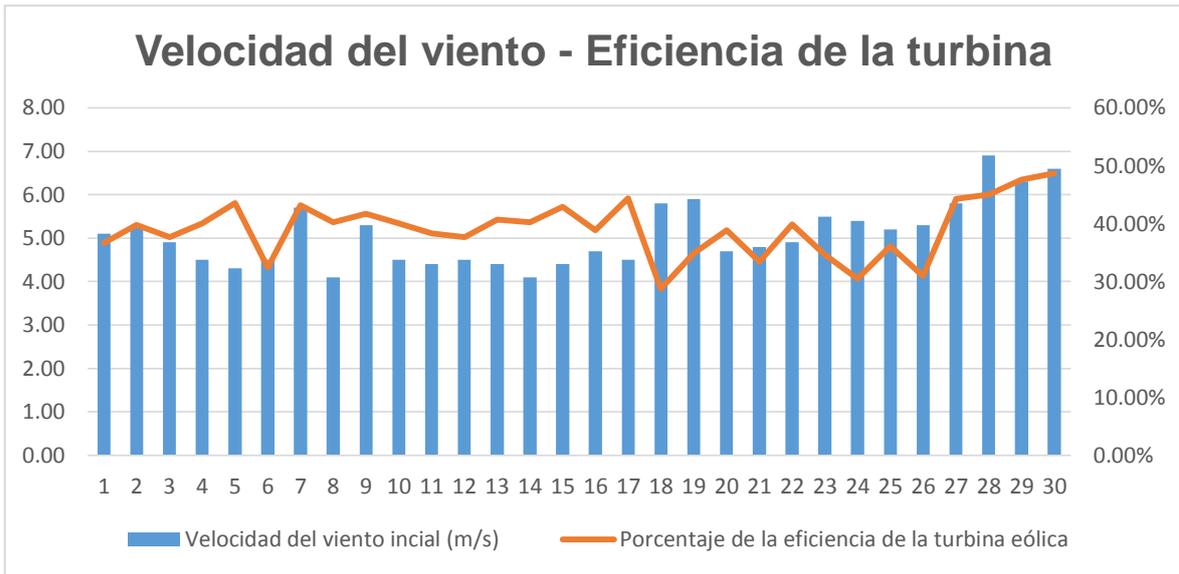


Figura 31. Eficiencia de la turbina en relación a la velocidad del viento.

Fuente: Elaboración propia.

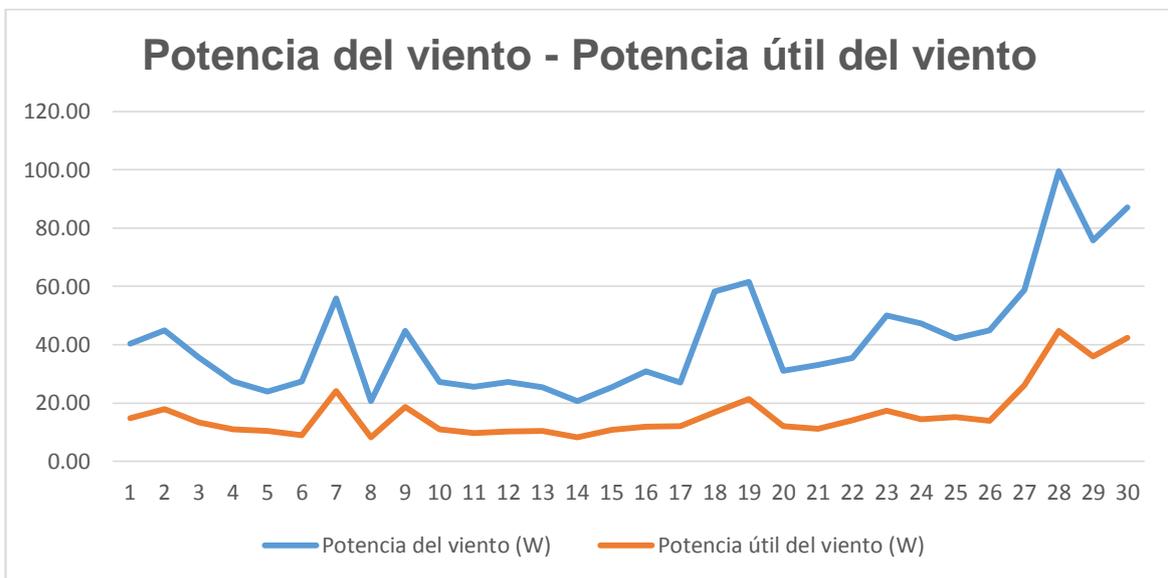


Figura 32. Potencia del viento y potencia útil del viento.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados propuestos en la tabla 6, son datos preliminares obtenidos en las coordenadas UTM: E: 523480.97 y N: 9400755.94 a 36 m.s.n.m. Para la aplicación de la ley de Betz en el prototipo aerogenerador modelo Cedrick los cuales se

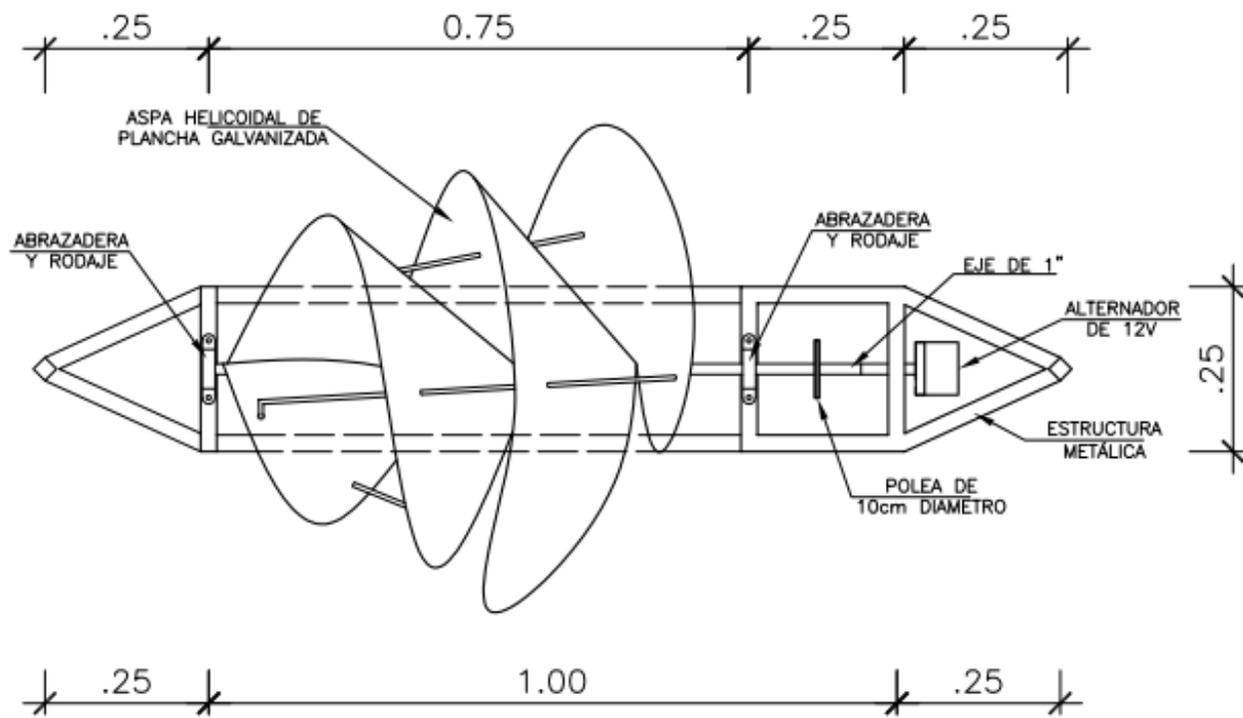
describen en la tabla 7 obteniendo una eficiencia energética máxima de 48.68%. como referencia según el Atlas eólico del Perú 2016 la velocidad media anual del viento registrado a 10 m. en el área desértica de Sechura según su topografía es aproximadamente 5 a 8 m/s. y en el distrito de Vice entre 4 a 6 m/s. según la topografía del lugar (Atlas eólico del Perú, 2016).

OE2: Diseñar y construir un prototipo aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick para su aplicación en el distrito de Vice, Sechura.

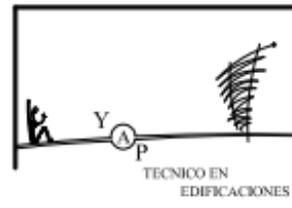
Para la selección del diseño apropiado del prototipo aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick se optó por el tipo de eje horizontal, la cual tiene una productividad mayor comparado a los de eje vertical, la rapidez de rotación es más suprema, por lo que requiere transmisiones con menor correlación de duplicación. El área de barrido de las aspas es menor que en los tipos de eje vertical para una misma eficiencia.

El diseño de las aspas se encuentra inspirado en el tornillo de Arquímedes propuesto por el matemático griego Arquímedes, sus aspas son de diseño helicoidal que se asemejan a una cubierta de molusco cefalópodo nombrado nautilus. Algunas de las particularidades primordiales de este diseño son su eficiencia muy alta, baja rapidez de arranque para un alto provecho de energía cinética, bajo mantenimiento y apariencia natural.

Una de sus principales características es que está planteado para medios urbanos, lo que forma que se pueda usar en hogares rurales, estructuras públicas y/o privadas. El prototipo aerogenerador modelo Cedrick fue diseñado en el software AutoCAD 2016 para trabajar con una velocidad de viento constante o mayor de aproximadamente 4.5 m/s a barlovento para asegurar una eficiencia de las aspas. A la par también de una adecuada ubicación y altitud, a continuación se muestra el diseño detallado del prototipo aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick:



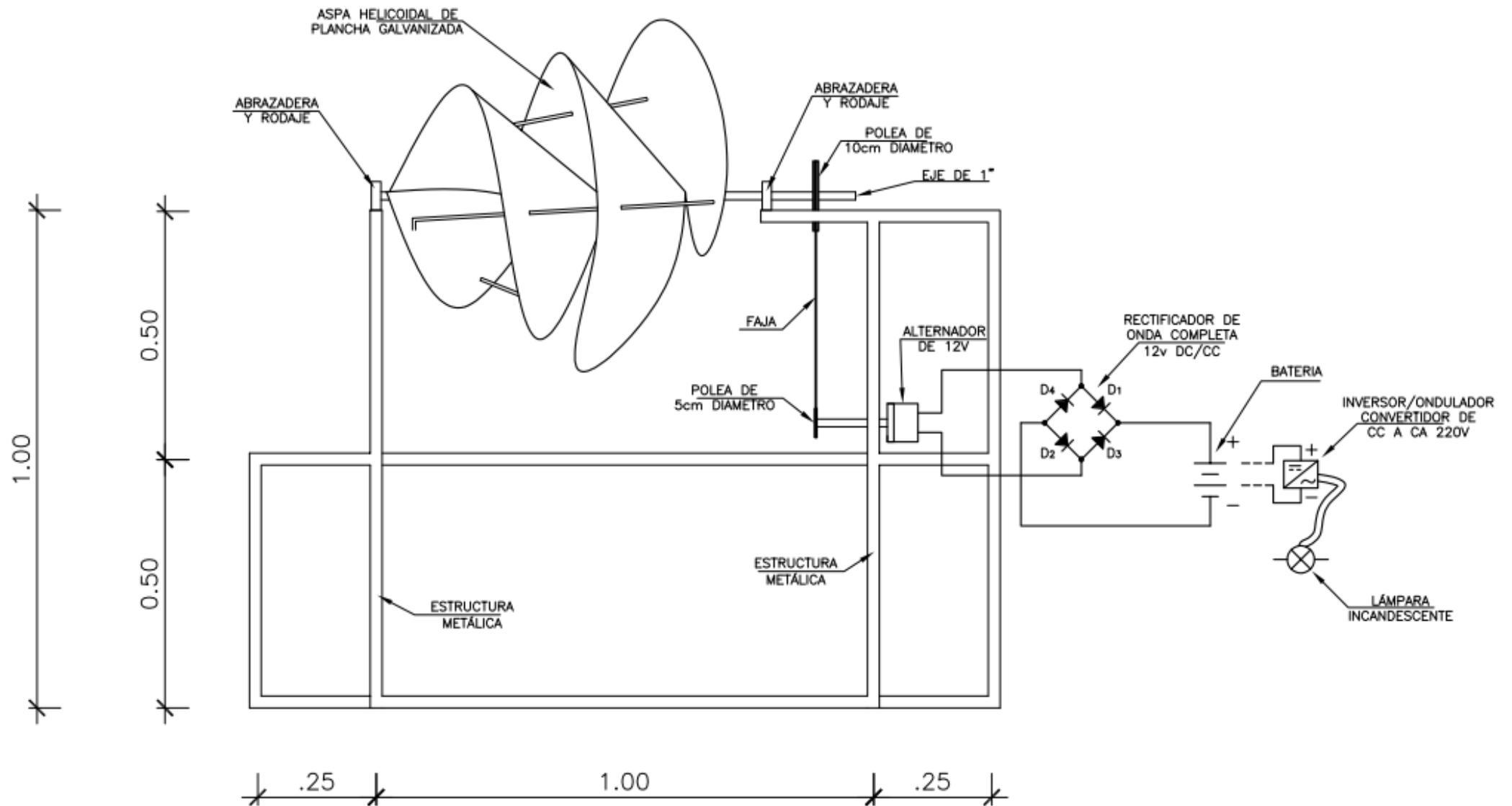
PLANTA



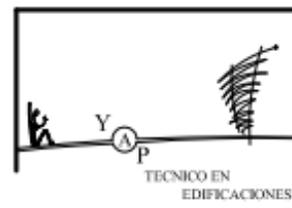
PROTOTIPO DE AEROGENERADOR CEDRICK PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE BAJA POTENCIA. DISTRITO DE VICE, SECHURA - PERÚ, 2021 UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO-LIMA-PERÚ

TITULAR DE TESIS: DENISS FABIAN ANTÓN PANTA
 PLANO: DISEÑO PROTOTIPO AEROGENERADOR MODELO CEDRICK
 ASESORA: MG. RITA JAQUELINE CABELLO TORRES | FECHA: AÑO 2021

D-01
 DE 03 LÁMINAS



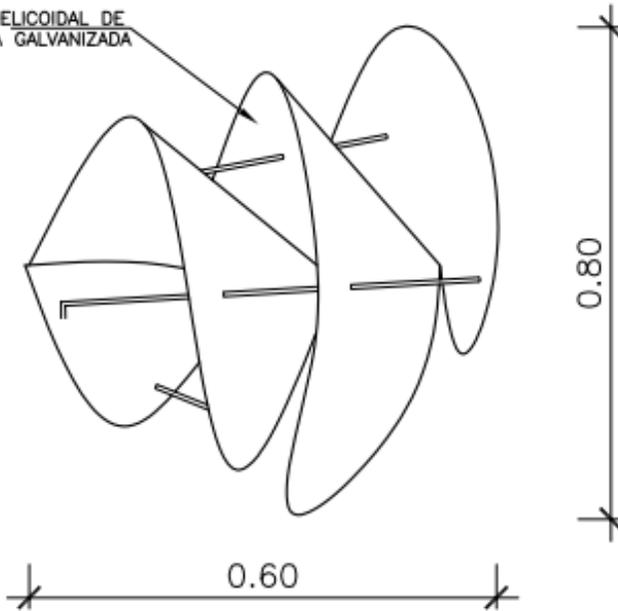
ELEVACION



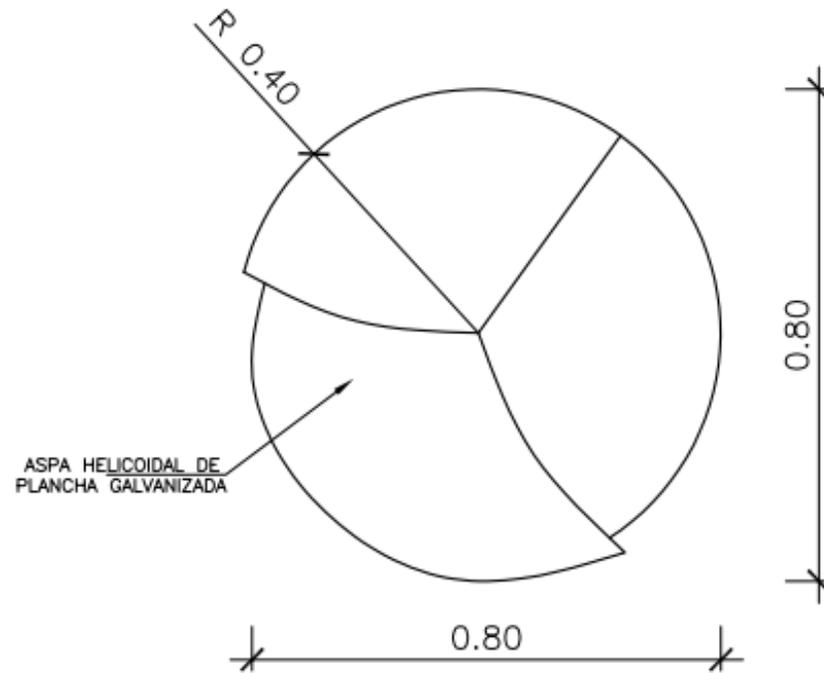
PROTOTIPO DE AEROGENERADOR CEDRICK PARA LA
 GENERACIÓN DE ENERGIA ELECTRICA DE BAJA POTENCIA.
 DISTRITO DE VICE, SECHURA - PERÚ, 2021
 UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO-LIMA-PERÚ
 TITULAR DE TESIS: DENISS FABIAN ANTÓN PANTA
 PLANO: DISEÑO PROTOTIPO AEROGENERADOR MODELO CEDRICK
 ASESORA: MG. RITA JAQUELINE CABELLO TORRES | FECHA : AÑO 2021

D-02
 DE 03 LÁMINAS

ASPA HELICOIDAL DE
PLANCHA GALVANIZADA

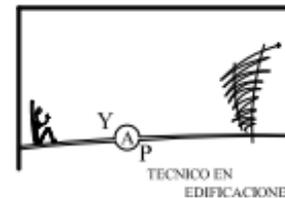


VISTA PERFIL



VISTA POSTERIOR

VISTAS DE ASPA HELICOIDAL



PROTOTIPO DE AEROGENERADOR CEDRICK PARA LA
GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE BAJA POTENCIA.
DISTRITO DE VICE, SECHURA - PERÚ, 2021
UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO-LIMA-PERÚ

TITULAR DE TESIS: DENISS FABIAN ANTÓN PANTA

PLANO: DISEÑO PROTOTIPO AEROGENERADOR MODELO CEDRICK

ASESORA: MG. RITA JAQUELINE CABELLO TORRES | FECHA : AÑO 2021

D-03
DE 03 LÁMINAS

Para la elaboración del prototipo aerogenerador modelo Cedrick de baja potencia se utilizaron los siguientes materiales:

N°	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	DESCRIPCIÓN	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	1	Metro	Plancha acerada de 0.8mm*1.20*2.40, para aspas helicoidal	S/. 170.00	S/. 170.00
2	1	Metro	Tubo de acero para eje de 1" * 1.20	S/. 35.00	S/. 35.00
3	1	Unidad	Polea conductora	S/. 70.00	S/. 70.00
4	1	Unidad	Polea conducida	S/. 20.00	S/. 20.00
5	3	Metro	Tubo cuadrado de fierro 1" * 1"	S/. 22.00	S/. 66.00
6	4	Unidad	Pernos + tuerca 12 mm	S/. 2.50	S/. 10.00
7	1	Litro	Pintura anticorrosiva	S/. 30.00	S/. 30.00
8	1	Litro	Pintura Blanca color humo	S/. 25.00	S/. 25.00
9	2	Unidad	Chumacera para tubo de 1"	S/. 13.00	S/. 26.00
10	3	Metro	Cable mellizo # 16	S/. 1.20	S/. 3.60
11	1	Unidad	Faja	S/. 20.00	S/. 20.00
12	2	Unidad	Estator reutilizado	S/. 0.00	S/. 0.00
13	2	Unidad	Magneto reutilizado	S/. 0.00	S/. 0.00
14	250	Gramo	Cable esmaltado # 21	S/. 0.10	S/. 25.00
15	1	Unidad	Rectificado de onda completa	S/. 15.00	S/. 15.00
16	1	Unidad	Batería de 12 V- 18 Ah	S/. 120.00	S/. 120.00
17	1	Unidad	Buje de bicicleta	S/. 10.00	S/. 10.00
18	1	Unidad	Inversor de CC a CA - 500 w	S/. 300.00	S/. 300.00
				TOTAL	S/. 945.60

Tabla 7. Materiales para construcción del prototipo aerogenerador Cedrick.

Fuente: Elaboración propia.

Con las medidas y diseño proyectado se realizó la construcción del prototipo aerogenerador modelo Cedrick de baja potencia; se realizaron actividades de pintura, corte, soldadura, instalaciones de chumaceras, eje, aspas helicoidales, polea conductora y conductiva instalación de alternador acoplado a un buje de bicicleta y posterior instalación eléctrica, como se muestra a continuación:

Ítem	Actividades	Fecha				
		05-abr-21	06-abr-21	07-abr-21	08-abr-21	09-abr-21
1	Corte de plancha acerada, tubo de acero y tubo cuadrado					
2	Soldadura de materiales					
3	bobinado de estator					
4	Instalación de chumaceras					
5	Instalación de eje					
6	Instalación de aspas helicoidales					
7	Instalaciones de poleas					
8	Acoplamiento de alternador con buje de bicicleta					
9	Instalación de rectificador de onda completa					
10	Instalación eléctrica, pintado y acabado					

Tabla 8. Actividades de la construcción del aerogenerador.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 33. Etapa de pintado.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 34. Etapa de corte.

Fuente: Elaboración propia.

Los trabajos de construcción del prototipo aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick tuvieron una duración de 5 días en los cuales se ejecutaron las actividades según lo proyectado, el presupuesto de ejecución esta valorizado en S/. 945.60 en el cual se le adiciono un inversor de 220 v / 500 w CA.

Dentro de las cualidades de ejecución del prototipo aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick encontramos los siguientes:

- Alternador (rotor y estator) reutilizado, que son desechados en talleres de mecánica, por la sencilla razón que necesitan ser rebobinados y el usuario le resulta más fácil comprar un alternador nuevo.
- Altura de 1.40 m. y longitud 1.50.
- Aerogenerador de fácil manejo e instalación.
- Peso aproximado de 25 kg.
- Contribuye a la disminución de gases de efecto invernadero que son causados por el empleo de combustibles fósiles.
- Adecuado para entornos urbanos y rurales.
- Contribuye a fomentar la investigación de energías renovables.
- Contribuye al desarrollo sostenible en las comunidades.

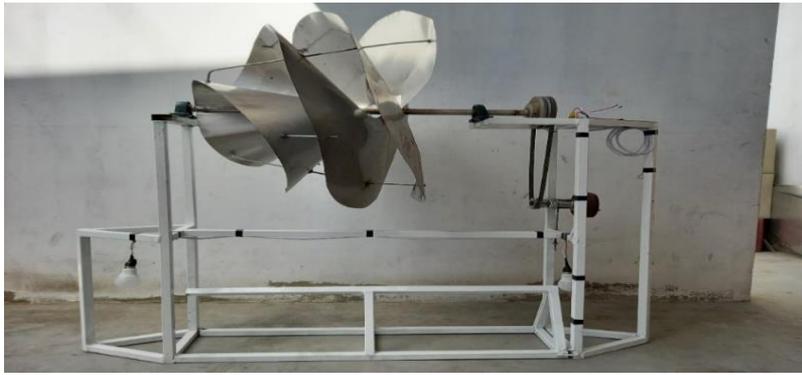


Figura 35. Vista lateral izquierda del aerogenerador modelo Cedrick.

Fuente: Elaboración propia.

Las medidas de las aspas helicoidales forman una vuelta de 360° en forma horizontal con un funcionamiento a barlovento. Las aspas helicoidales tienen una medida de $80 * 80$ cm, un radio de 40 cm, perímetro de 251.32 cm y un área de barrido de 5026.56 cm².

La energía cinética del viento es captada por las aspas helicoidales del aerogenerador modelo Cedrick el cual se transforma en energía mecánica que son transmitidas mediante dos poleas (polea conductora y polea conducida) la polea conductora a una velocidad del viento de 6.5 m/s logra 197 rpm y la polea conducida a una velocidad del viento de 6.5 m/s logra 400 rpm el cual transmite la energía a un buje de bicicleta unido al alternador reutilizado de un motor de 4 tiempos (rotor y estator) genera un campo magnético y posteriormente energía eléctrica alterna.

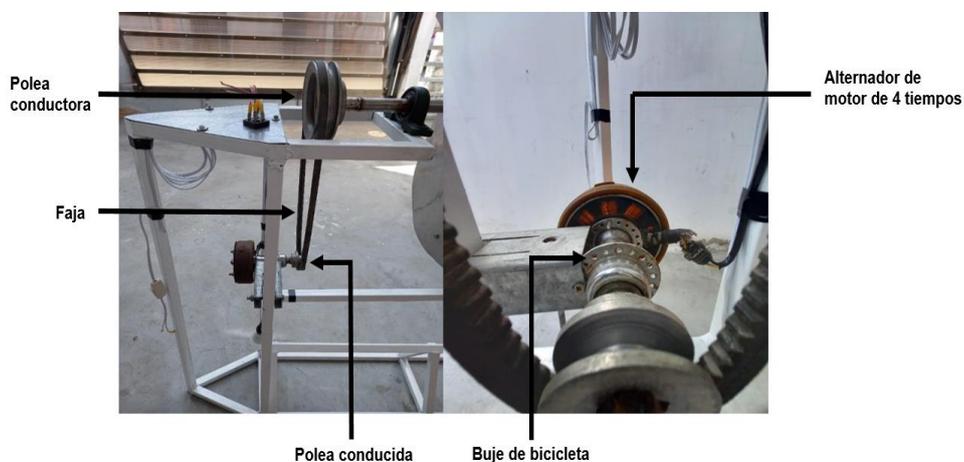


Figura 36. Transmisión de energía mecánica al alternador.

Fuente: Elaboración propia.

OE3: Calcular la tensión eléctrica producida por el prototipo aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick.

El alternador de un motor de 4 tiempos es el que aprovecha la fuerza mecánica para transformarla a energía eléctrica mediante magnetismo, en sus características originales cada bobina tiene 60 espiras y esta bobinado con alambre esmaltado # 19, obteniendo una resistencia por bobina de 0.1 ohmios, obteniendo como resultado una resistencia total de 0.8 ohmios los cuales se encuentran en serie, obteniendo 1 a 3 voltios a una velocidad constante de 6.5 m/s y una revolución de la polea conductiva de 400 rpm.

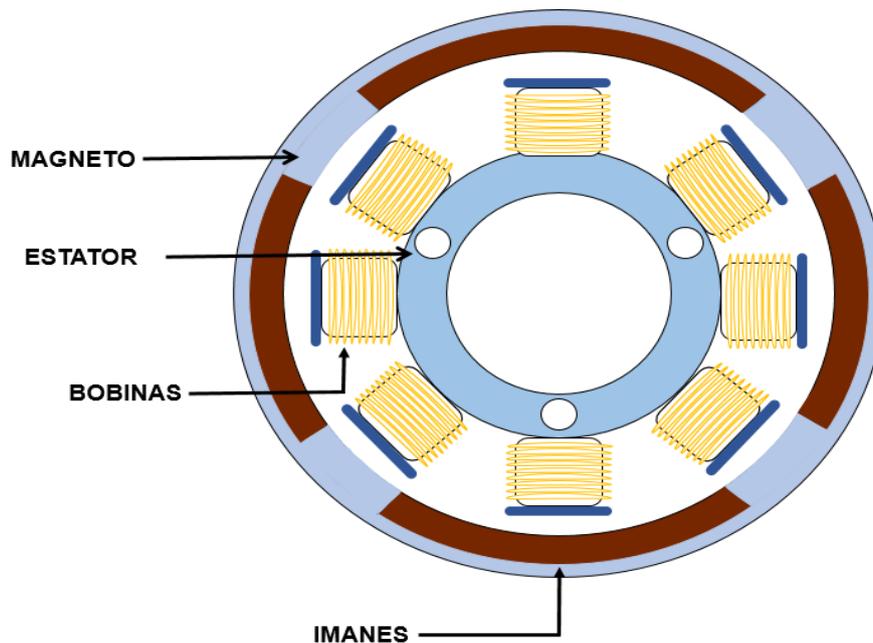


Figura 37. Elementos del alternador del prototipo aerogenerador modelo Cedrick.

Fuente: Elaboración propia.

Para esto el alternador reutilizado que usaría el prototipo aerogenerador modelo Cedrick se modificó aumentando las espiras de cada bobina a 100 espiras por bobina, utilizando alambre esmaltado # 21, obteniendo una resistencia de 0.225 ohmios por bobina, obteniendo como total en la suma de la resistencia de 1.8 ohmios los cuales se encuentran en serie, obteniendo 12 voltios a una velocidad constante de 6.5 m/s.

Calculo de la resistencia total:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 + R_8$$

Donde:

R_T = Resistencia total

R_1 = Resistencia 1.

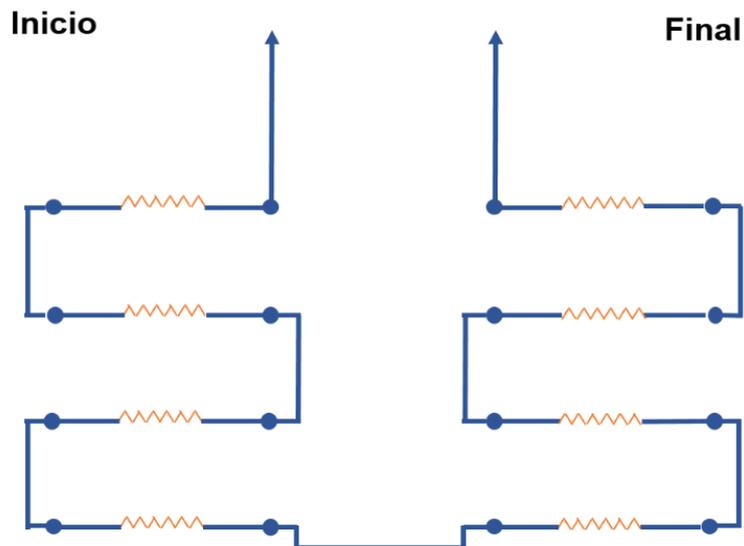


Figura 38. Circuito en serie del estator.

Fuente: Elaboración propia.

El embobinado compuesto por 8 bobinas conforman un grupo los cuales no tienen polaridad (positivo o negativo) formando un circuito en serie.

La energía eléctrica se logra mediante el movimiento del alternador, para poder calcular su voltaje se utilizó un multímetro, el cual oscila entre 8 a 12 voltios que es generada por la velocidad del aire a 6.5 m/s que no es constante, para calcular la intensidad que se expresa en amperios se utiliza la ley de ohm:

Calculo de la intensidad (1):

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

Donde:

I = Intensidad (A)

V = Tensión (V)

R = Resistencia (Ω)

Calculo de la intensidad eléctrica:

$$I = \frac{12}{1.8}$$

$$I = 6.6 \text{ Amperios}$$

Calculo de Voltaje (2):

$$V = I * R$$

Donde:

V = Tensión

I = Intensidad

R = Resistencia

Calculo de la tensión eléctrica:

$$V = 6.6 * 1.8$$

$$V = 12 \text{ voltios}$$

Calculo de resistencia (3):

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

Donde:

R = Resistencia

V = Tensión

I = Intensidad

Calculo de la resistencia eléctrica:

$$R = \frac{12}{6.6}$$

$$R = 1.8 \text{ ohmios}$$



Figura 39. Estator reutilizado unido a un buje de bicicleta.

Fuente: Elaboración propia.

Se utilizó un buje de bicicleta para poder transferir la energía mecánica de las poleas al alternador del aerogenerador.



Figura 40. Toma de datos con multímetro en campo.

Fuente: Elaboración propia.

La tensión eléctrica de 12 voltios del prototipo aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick que proporciona alternador es energía alterna, para lo cual se instaló un rectificador de onda completa el cual tiene la función de convertir la energía alterna en energía continua logrando que los 12 voltios en corriente alterna pasen a corriente continua para su posterior almacenamiento en una batería de 12 – 12Ah el cual será cargado en 2 horas por el aerogenerador ya que el prototipo de aerogenerador modelo Cedrick tiene una intensidad eléctrica calculada de 6.6 amperios.

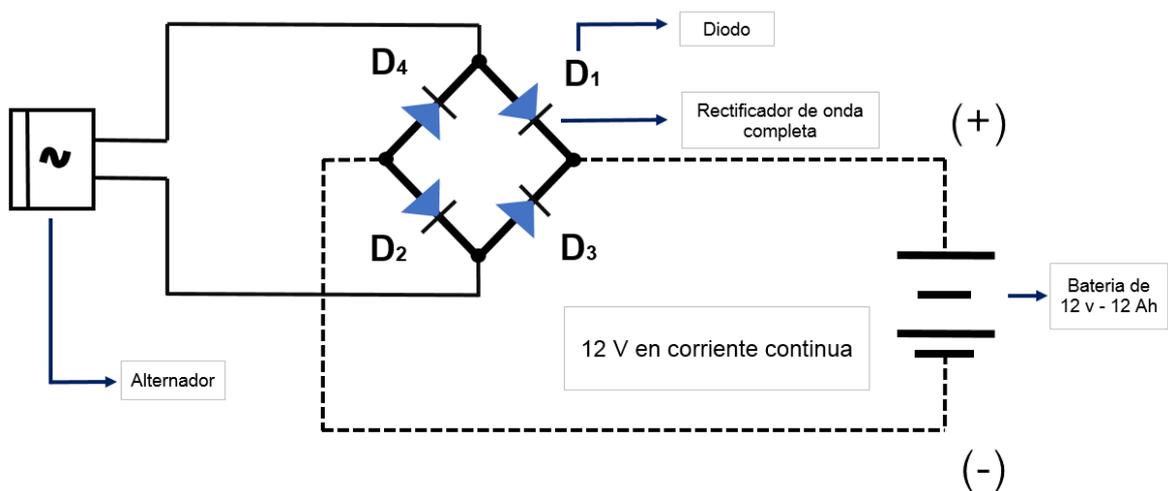


Figura 41. Alternador, rectificador de onda completa y batería.

Fuente: Elaboración propia.

OE4: Determinar la potencia eléctrica que se requiere para proveer de energía a un hogar rural de Sechura, con el prototipo de aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick.

Para poder obtener la potencia eléctrica del prototipo de aerogenerador modelo Cedrick se tiene que calcular mediante la ley de Watt, el cual se desarrolla a continuación:

Calculo de potencia:

$$P = I * V$$

Donde:

P = Potencia eléctrica (W)

I = Intensidad de la corriente eléctrica (A)

V = Tensión eléctrica (V)

Calculo de la potencia eléctrica:

$$P = 6.6 * 12$$

$$P = 80 \text{ w}$$

La potencia eléctrica del prototipo aerogenerador modelo Cedrick de baja potencia es de 80 w, pudiendo utilizar equipos con una potencia eléctrica menor y una tensión de 12 voltios, los cuales se pueden usar por ejemplo para focos led.



Figura 42. Prueba de aerogenerador en campo encendiendo luz de emergencia.

Fuente: Elaboración propia.

La eficiencia máxima del aerogenerador se calculó mediante la ley de Betz el cual establece que solo el 59 % de la energía cinética entregada por el viento puede convertirse en energía mecánica usando un aerogenerador para lo cual se realizó la siguiente proporcionalidad mediante la regla de 3 simple:

$$\begin{array}{l} 59 \longrightarrow 100 \% \\ 48.68 \longrightarrow x \end{array}$$

$$X = \frac{48.68 \times 100}{59} = 83 \%$$

Por consiguiente el prototipo aerogenerador modelo Cedrick unas de sus principales características del diseño son que cuenta con 3 aspas helicoidales y las revoluciones por minuto de la polea conducida a una velocidad del viento de 6.5 m/s logra 400 rpm el cual se midió mediante un tacómetro digital en campo, para lo cual obtenemos las siguientes características técnicas.

Potencia nominal 6.5 m/s	80 W
Eficiencia del aerogenerador	82%
Tensión	12 v - CA
Cantidad de Aspas	3 helicoidal
RPM máximas	400

Tabla 9. Datos del aerogenerador.

Fuente: Elaboración propia.

La potencia del prototipo aerogenerador modelo Cedrick es de 80 w - 12 v en corriente alterna lo cual se utilizó un rectificador de onda completa que transforma la corriente alterna en corriente continua. Luego la energía de 12 v en corriente continua se almacena en una batería de 12 v – 12 Ah, el cual es cargado en 2 horas por el aerogenerador dado que este posee una intensidad eléctrica de 6.6 amperios, para calcular la potencia de la batería se realiza la siguiente ecuación:

Calculo de potencia de la batería:

$$W_b = V_b * I_b$$

Donde:

W_b = Potencia de batería

V_b = Voltaje de la batería

I_b = Intensidad de la batería

Calculo de potencia de la batería:

$$W_{\text{batería}} = 12 \text{ v} * 12 \text{ Ah}$$

$$W_{\text{batería}} = 144 \text{ w}$$

A continuación se describe un ejemplo del uso del prototipo aerogenerador modelo Cedrick de baja potencia con 1 batería de 12v-12Ah en relación a la potencia eléctrica emitida por el prototipo aerogenerador. Usando 2 focos led de 2 w cada

uno durante 5 horas, una radio portátil de 4 w durante 4 horas y un cargador de celular de 15 w durante 2 horas para lo cual primero se calculó la potencia total de los equipos.

Calculo de la potencia total:

$$P \text{ total} = W1 + W2 + W3$$

Donde:

$$P \text{ total} = \text{Potencia total}$$

$$W1 = \text{potencia 1}$$

Calculo de la potencia total:

$$P \text{ total} = 20 \text{ w} + 16 \text{ w} + 30 \text{ w}$$

$$P \text{ total} = 66 \text{ w}$$

Concluyendo que la potencia eléctrica total de los 3 equipos es 66 w por lo tanto están dentro del rango de 80 w que ofrece el prototipo aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick, el siguiente ejemplo es para un hogar rural en el distrito de Vice, provincia de Sechura, Departamento de Piura que se detalla a continuación:

EJEMPLO PARA UNA VIVIENDA RURAL PEQUEÑA UTILIZANDO EL PROTOTIPO DE AEROGENERADOR MODELO CEDRICK DE BAJA POTENCIA

I. DATOS GENERALES			
DEPARTAMENTO	PIURA	COORDENADAS UTM	E: 523480.97 y N: 9400755.94
PROVINCIA	SECHURA		
DISTRITO	VICE		
LOCALIDAD	VICE		
VELOCIDAD DEL	6.5	m/s	
Tº AMBIENTE	21	°C	

II. CALCULO CONSUMO DIARIO

EQUIPOS A CORRIENTE CONTINUA CC (12 V)

Item	Equipo	Cantidad	Potencia (W)	Consumo	Total horas uso al día (h)	Energía (Wh/día)	Energía (Wh/año)	Energía (Kwh/año)	PAGINA WEB	INFORMACIÓN
1	Foco LED	2	2	CC	5.00	20	7,300	7.30	https://www.sodimac.com.pe/sodimac-pe/product/2511045/Foco-LED-2W-G4/2511045	VER ARCHIVO FICHA TECNICA
2	Radio portátil	1	4	CC	4.00	16	5,840	5.84	https://www.linio.com.pe/p/sony-radio-porta-til-amfm-con-reproductor-de-cd-y-usb-zs-ps50-negro-tpk0i?adjust_t=1zira0_fth7ws&adjust_google_network=g&adjust_google_placement=&adjust_campaign=per-semun-spla&adjust_adgroup=106571303507&utm_term=tvaidioyideo&gclid=Cj0KCQjwh_eFBhDZARIsALHjKflutLyV2DEg_tUrCbwz-rxCZA_7HHD9YNshBanuUAlJgQWwdGbQpMaAmCXEA_Lw_wcB&gclid=aw.ds	VER ARCHIVO FICHA TECNICA
3	Cargador de celular tipo C	1	15	CC	2.00	30	10,950	10.95	https://www.realplaza.com/cargador-samsung-tipo-c-fast-charger-s8-y-s8-plus-original-153851/p	VER ARCHIVO FICHA TECNICA
						Potencia utilizada	66 wh	24090 wh/año	24.09 Kwh/año	
						Potencia entregada por el aerogenerador	80 wh	29200 wh/año	29.20 Kwh/año	

Tabla 10. Equipos utilizados para un hogar rural de Sechura.

Fuente: Elaboración propia.



Ficha técnica ^

Características Luz reluciente y perfectamente cómoda para los ojos. Ahorra energía y cambia cada vez menos focos con una iluminación de buena calidad.

Marca	Philips
Potencia	2 - 20 W
Voltaje	12 V
Frecuencia	50-60 Hz
Color	Blanco
Vida útil	15000 horas
Peso	0.008 kg
Uso	Iluminación para cualquier tipo de habitaciones, exteriores, pasadizos, salas, etc.
Procedencia	China
Tipo de foco	Foco LED

Figura 43. Datos técnicos del foco led.

Fuente: Sodimac, <https://www.sodimac.com.pe/sodimac-pe/product/2511045/Foco-LED-2W-G4/2511045>.



Características destacadas

- Radio Portátil
- Sintonizador de Radio AM/FM integrado
- Reproducción de USB
- Reproducción de CD/CD-R
- 3 Estaciones Preestablecidas:
- Para usar con el Botón de Salto Directo
- 1 Salida de Audífonos
- 1 Entrada de Audio
- **Potencia de Salida 2+2 W**
- AC/DC

Figura 44. Datos técnicos del radio portátil.

Fuente: Linio, Fuente: Linio, <https://www.linio.com.pe/p/sony-radio-porta-til-amfm>.

Descripción	Especificaciones
<ul style="list-style-type: none"> • Incluye: Cable Tipo-C y Adaptador de Pared • Cargador de Carga Rápida • Color: Negro • Compatibilidad: S8 / S8+ (Ademas dispositivos con entrada Tipo-C) • Cargador Original • Entrada : 12 - 24V • Salida : 9.0V 1.67A or 5.0V 2.0A • Tecnología: Qualcomm Quick Charge 2.0 	

Figura 45. Datos técnicos del cargador de celular.

Fuente: Real Plaza, <https://www.realplaza.com/cargador-samsung-tipo-c-fast>.

Posteriormente la batería de 144 w se puede utilizar con un inversor de 220 v / 500 w de corriente continua (CC) a corriente alterna (CA) el cual pasaría de 12 v a 220 v con una potencia eléctrica de 130 w ya que el 10% se pierde en la inversión por perdida de calor y corriente, pudiendo ampliar mucho más el rango de potencia de suministro de energía. Lo cual también incrementaría el coste de acción de todo el sistema.

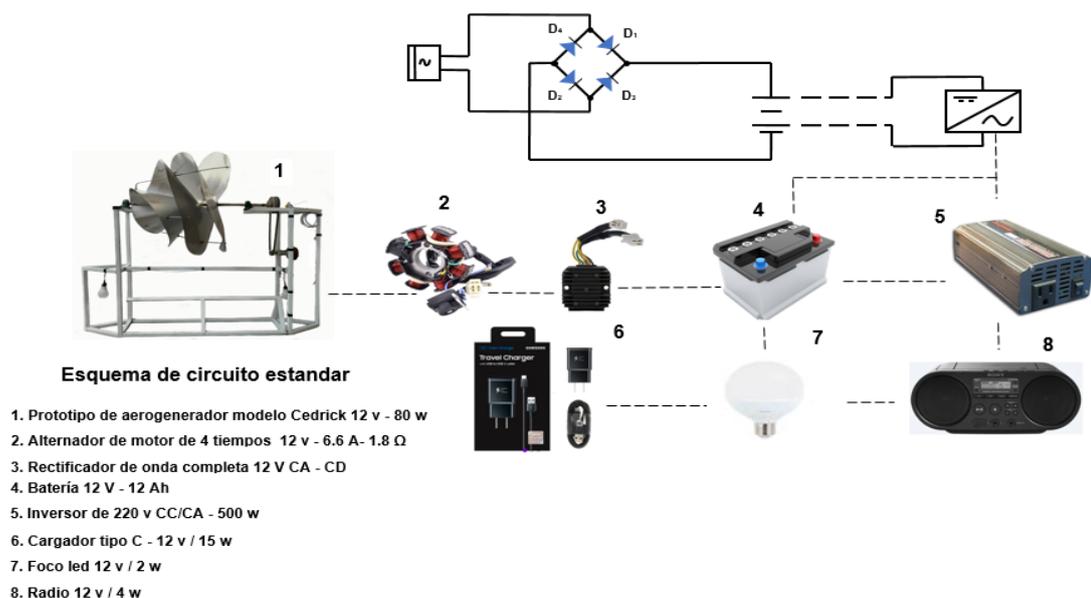


Figura 46. Circuito estándar del prototipo aerogenerador de baja potencia.

Fuente: Elaboración propia.

Las características de cada equipo utilizado sumaron a la eficiencia del prototipo aerogenerador modelo Cedrick de baja potencia. La utilización de energía renovable como es la eólica y sumando la reutilización de equipos como el rotor y estator que reducen el incremento de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos dan como resultado tecnologías que fomentan el consumo de energía sostenible y es el estilo de vida al que se debe apuntar.

V. DISCUSIÓN

En esta sección se recapituló los resultados del presente estudio y se cotejó con las teorías establecidas previamente en nuestros antecedentes, para fundamentar el objeto de investigación.

Conocida la gran eficiencia de los aerogeneradores, a través de diversas investigaciones y habiendo constatado en el presente estudio, se logró resultados satisfactorios que acreditan esa eficacia. El diseño de este aerogenerador ha dado la oportunidad de apreciar claramente la importancia y eficacia de la energía eólica y sus ventajas en la generación de energía eléctrica.

Entre las derivaciones del estudio, se obtuvo que el prototipo de aerogenerador de baja potencia, modelo Cedrick, logra producir aproximadamente 80 whr de energía eléctrica, con velocidades bajas de 6.5 m/s en diferentes horarios del día. Se evaluó la eficiencia de las aspas helicoidales del prototipo y utilizando la ley de Betz, se obtuvo un resultado de 48.68% del 59%. Resultados semejantes a las deducciones del estudio de Hernández (2020) el cual encontró que el aerogenerador Savonius funciona a muy baja velocidad del viento.

H1. Potencial eólico significativo para la aplicación de un aerogenerador. Entre los resultados que se obtuvieron están la medición del potencial eólico de forma periódica durante un mes, estableciendo una velocidad máxima de 6.5 m/s en diferentes horarios del día que es aprovechada por el aerogenerador, los cuales fueron semejantes a los resultados del estudio de Castillo (2017), que tiene como tendencia el máximo aprovechamiento de la fuerza del viento, obteniendo una velocidad de 6.1 m/s.

H2. El diseño del prototipo de aerogenerador de baja potencia resulta apropiado para construir y aplicarse. El estudio de Hernández (2020) incluye semejanzas en cuanto a la fabricación del aerogenerador, que resulta sencilla y económica. Además realiza la suma del precio que tuvo la ejecución de su proyecto, encontrando el costo del material utilizado, entre los cuales incluye materiales reciclables.

En el proceso de construcción se utilizó chumaceras para transmitir la energía mecánica al alternador, situación que difiere con las determinaciones de Espinosa (2018), quien menciona en su tesis que evita el uso de chumaceras, como

rodamientos, porque estos generan fricción mecánica y disminuyen la eficiencia de generación.

HE3: El prototipo de aerogenerador modelo Cedrick produce una tensión eléctrica de 12 v y una intensidad eléctrica de 6.6 A, a una velocidad de 6.5 m/s mediante un alternador de flujo axial. En este sentido, se asemeja al estudio de Mucha (2021), que utiliza una máquina de imanes de flujo axial, logrando a una velocidad de 7.6 m/s un voltaje de 288.96 v.

HE4: La potencia eléctrica requerida para proveer de energía a un hogar rural de Sechura es de 66 w con el prototipo de aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick, esta hipótesis se asemeja a la propuesta por Aguilar (2017), quien indica que a 12.63 m/s con un generador de imanes permanentes genera una potencia de 178 w.

VI. CONCLUSIONES

En el presente estudio, se arribó a las siguientes conclusiones:

OG: La generación de energía eólica mediante el prototipo aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick permitió evaluar la producción de energía eléctrica expresados en watts, determinando así un total de 80 whr con una buena eficiencia de producción en relación a las aspas del aerogenerador, para el aprovechamiento dinámico en diferentes artefactos eléctricos y electrónicos.

OE1: El potencial eólico cuantificado mediante un anemómetro digital, recopiló información durante el mes de mayo, con oscilaciones de velocidad del viento entre 4.1 m/s y 6.9 m/s en horario diurno y nocturno, con variantes de temperatura entre 19.2 °C a 25.90 °C, tomando en cuenta los datos difundidos en el Atlas Eólico del Perú, concluyendo que la provincia de Sechura tienen un excelente potencial del viento para el aprovechamiento de energía eólica.

OE2: El diseño del prototipo aerogenerador de baja potencia, modelo Cedrick, fue elaborado en el software AutoCAD 2016, obteniendo las medidas necesarias para su ejecución y reutilizando también un alternador de un motor de 4 tiempos, que fue mejorado para la producción de tensión eléctrica (v). Logrando así un prototipo aerogenerador modelo Cedrick, de gran eficiencia eólica con una altura de 1.4 m, una longitud de 1.50m con un peso aproximado de 25 kg, de aspas helicoidales de 60 cm de longitud, un radio de 40 cm, perímetro de 251.32 cm y un área de barrido de 5026.56 cm², adecuado para el aprovechamiento de potencial eólico en el distrito de Vice, Sechura, Piura.

OE3: Mediante la modificación del alternador reutilizado de 100 espiras por bobina, con un total de 8 bobinas, se mejoró su rendimiento eléctrico en relación a sus características originales, arrojando como resultado 6.5 m/s de la velocidad del viento logro 400 rpm y calculando así 12 voltios, 6.6 amperios y 1.8 ohmios, que representan una eficiente generación de energía eléctrica con las condiciones internas y externas del prototipo aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick.

OE4: La determinación del potencial eléctrico del prototipo aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick se logró mediante la obtención de datos como el voltaje y el amperaje respectivamente, para su posterior uso en un hogar rural de Sechura,

estableciendo así que para equipos eléctricos y electrónicos usados comúnmente fueron un total de 66 w, empleando 2 focos led, una radio y un cargador.

VII. RECOMENDACIONES

A raíz del estudio realizado se efectuó las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda fomentar la investigación científica en el uso de energías renovables, como la energía eólica, puesto que representan una eficiente tecnología, capaz de generar energía limpia, de forma segura y ambientalmente sostenible para un ámbito geográfico mayor.
- Se sugiere realizar más investigaciones en aerogeneradores de eje horizontal, tipo helicoidal, inspirado en el tornillo de Arquímedes, ya que son muy poco conocidos en el Perú y constituyen un diseño adecuado para el óptimo aprovechamiento de la velocidad del viento. Además, de ser sencillamente ensamblados y con la posibilidad de emplear insumos reutilizables.
- El prototipo de aerogenerador de baja potencia, modelo Cedrick, puede ser perfeccionado y replicado ya que sería de gran ayuda para el desarrollo en comunidades rurales, donde no llega la energía eléctrica y albergan un gran potencial eólico para su desarrollo.
- Se debe tomar en cuenta que este prototipo de aerogenerador de baja potencia, modelo Cedrick, tiene una altura de 1.40 m. el cual puede ser expandido en su altitud, para lograr mejores velocidades del viento y a la vez un mayor rendimiento de energía eléctrica.
- Es viable, además, emplear un túnel de viento para mejorar el diseño de aspas helicoidal del prototipo de aerogenerador modelo Cedrick.

REFERENCIAS

1. AYABURI [et al]. (2020), *Measuring “Reasonably Realible” access to electricity services* *The Electricity Journal*, 33 (2020) 106828.
2. ABLEITNER [et al] (2020), *User behavior in a real-world peer-to-peer electricity market* *Applied Energy*, 270 (2020) 115061.
3. AGUILAR (2017), *Diseño de un aerogenerador de baja potencia en la comunidad de río blanco, provincia de Tungurahua* (Proyecto técnico previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico), recuperado de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/26797/1/Tesis%20I.%20M.%20414%20-%20Aguilar%20Castro%20Crist%c3%b3bal%20Andr%c3%a9s.pdf>.
4. ATLAS eólico del Perú (2016). *Atlas Eólico del Perú*, obtenido en: http://www.minem.gob.pe/_publicacion.php?idSector=6&idPublicacion=537.
5. AGUILAR (2017), *Banco de pruebas didáctico para sistema de energía eólica* (Trabajo de graduación de título), recuperado de <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/6711>.
6. ALARCÓN (2015), *Plan estratégico del sector de generación de energía eléctrica Peruano con enfoque de economía circular* (Para obtener grado de magister), recuperado de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/14286>.
7. ALMADA (2020), *Estación meteorológica Anemómetro y Pluviómetro* (Proyecto final de grado), recuperado de <http://rinfi.fi.mdp.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/123456789/469/AHAlmada-TFG-IE-2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
8. BHATTACHARJEE (2021), *Wind poer technology Department of Electrical Engineering, National Institute of Technology (NIT), Agartala, India* [//doi.org/10.16/B978-0-12-822989-7.00006-8](https://doi.org/10.16/B978-0-12-822989-7.00006-8).
9. BÓRAWSKI P. [et al]. (2020), *Developme nt of wind energ y market in the European Union*, *Renewable Energy*, 161 (2020) 691-700.
10. BOJORQUEZ (2018), *Planteamiento de un parque eólico marino en la costa peruana: regiones de Ica, Piura y la Libertad* (Tesis para optar por el título de Ingeniero Civil), recuperado de http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/13054/BOJORQUEZ_CHAVEZ_MIGUEL_PLANEAMIENTO_PARQUE_E%20EOLICO.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

11. BOSQUES, *Manual electricidad básica*, recuperado de http://www.trabajosocial.unlp.edu.ar/uploads/docs/electricidad_basica_ii.pdf.
12. BOHORQUEZ [et al], (2019), *Diseño y construcción de un anemómetro para estudios de viabilidad de implementación de generadores eólicos en lugares remotos* (Optar título de Ingeniero Mecatrónico) recuerdo de https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/7033/2019_Tesis_Camilo_Andr%c3%a9s_Boh%c3%b3rquez_Vergara.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
13. BRÚJULA militar, recuperado de <https://de-senderismo.net/brujulas/militar/>.
14. CASTILLO (2017), *Diseño y construcción de un aerogenerador basado en la ley de inducción de Michael Faraday* (Trabajo de grado para obtención de título de Ingeniero industrial), recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/160119819.pdf>.
15. CASTRO [et al] (2012), *Caracterización tecnológica de los molinos de viento mediterráneos españoles*, recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532013000100003&lang=es.
16. CHAURASIYA P. [et al]. (2019), *Wind energy development and policy in India. Energy Strategy*, 24 (2019) 342–357.
17. CRUZ [et al]. (2018), *Análisis energético de un Tornillo de Arquímedes para canales de regadío con caída de 2 m y caudal de 2m³/s* (Tesis para optar título de Ingeniero Mecánico), recuperado de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/13235>.
18. CHUQUIMAMANI (2021), *Eficiencia de una turbina eólica con variación alar de baja potencia empleando materiales reciclados operando en la ciudad de Juliaca*, recuperado en <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/4949>.
19. CHIPPONELLI [et al] (2017), *O mercado brasileiro da energia eólica, impactos sociais e ambientais*, doi:10.4136/ambi-agua.2064, recuperado de <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/5b77GB9j4yPTzkS4pjxyhvH/?lang=pt>.
20. CARVAJAL [et al] (2018), *Optimización de la operación de una microgrid considerando el costo de operación, la vida útil de las baterías y el costo de incertidumbre de energía eólica*, recuperado de

http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S190983672019000100023&script=sci_abstract&tlng=es.

21. CANCAPA [et al], (2018), *Conversión y análisis técnico – constructivo del automóvil convencional Toyota starlet con motor otto a eléctrico puro en la ciudad de Juliaca* (optar título profesional de Ingeniero Mecánico electricista), recuperado en http://repositorio.uancv.edu.pe/bitstream/handle/UANCV/1701/T036_43477271_43526984.pdf?sequence=3&isAllowed=y.
22. DECRETO Supremo N° 064-2010-EM, *Aprueban la política energética nacional del Perú 2010-2040*, recuperado de www.minem.gob.pe/minem/archivos/DS_%20N%C3%B0%20064-2010-EM.pdf.
23. DOMINGUEZ [et al] (2021), *Understanding the path towards a clean energy transition and post-electrification patterns of rural households Energy for Sustainable Development*, 61 (2021) 46-64.
24. DEZA [et al]. (2016), *Technical and economic study of the installation of wind turbines providing electrical energy to houses in the settlement of Playa Blanca, Piura*, recuperado de <https://doi.org/10.18050/td.v14i1.1252>.
25. DENG [et al] (2020). *Global wind power development leads to high demand for neodymium praseodymium (NdPr): A scenario analysis based on market and technology development from 2019 to 240 Journal of cleaner Production*, 227 (2020) 123299 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123299>.
26. DE SALES [et al] (2019), *Impactos socioeconómicos, Ambientais e Tecnológicos Causados pela Instalacao dos Parques Eólicos no Ceará*, recuperado de <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/ZJdVgpy7gGQtq8p6YDvTWQf/?lang=pt>.
27. EL KHCHINE [et al]. (2021), *Performance evaluation of wind turbines for energy production in Moroccos coastal regions. Results in Engineering*, 10 (2021) 100215.
28. ESPINOSA (2018), *Rodamiento magnético aplicado a un aerogenerador de flujo axial* (Maestro en ciencias Mecatrónica), recuperado de <http://ring.uaq.mx/handle/123456789/996>.
29. ELTAYESH [et al]. (2021), *Experimental and numerical investigation of the effect of blade number on the aerodynamic performance of a small – scale horizontal axi wind turbine* <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.02.048>.

30. ENRÍQUEZ [et al] (2019), *Influencia de la estructura de los parque eólicos en el costo y la rentabilidad*, recuperado de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642019000500037&lng=en&nrm=iso.
31. ESTEFANERO [et al] (2018), *Perfil de un aerogenerador tipo vertical en el edificio de 15 pisos de la universidad nacional del altiplano Puno – 2018* (optar título profesional de Ingeniero mecánico electricista), recuperado de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/10597/Estefanero_Carlos_Umpiri_Stiff.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
32. GONZALVES S. [et al]. (2020), *The impact of wind power on the Brazilian labor market*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 128 (2020) 109887.
33. GIMENEZ [et al] (2012), *Un panorama de la energía eólica, considerando varios tópicos importantes incluyendo un análisis de requerimientos regulatorios para la conexión de generación eólica en el sistema de potencia*, recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0012-73532012000200012&lng=en&nrm=iso&tlng=es.
34. GONZÁLEZ (2018), *Mejora del aprendizaje de la eficiencia eólica mediante el modelado del coeficiente de potencia en la Universidad Tecnológica de Altamira*, recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-74672018000200529&lng=es&nrm=iso.
35. GRIEM (2015), *Tipos de brújulas: Introducción apuntes geología estructural brújulas*, recuperado de <https://www.geovirtual2.cl/Geoestructural/0102-Brujulas-general.pdf>.
36. GONZÁLES [et al] (2019), *Diseño de un aerogenerador para la producción de energía eléctrica en la finca “El alto del Gavilán”, Boyacá*. (Para optar el título de Ingeniero Mecánico), recuperado de <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7553/21/4142843-2019-2-IM.pdf>.
37. HOULDIN [et al]. (2021), *Going viral: The impacts of covid19 on retail electricity* *The Electricity Journal*, 34 (2021) 106903.

38. HUNTINGTON (2020), *How prices, income, and weather shape household electricity demand in high – income and middle-income countries*, PPI S0140-9883(20)30335-2 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.104995>.
39. HERNÁNDEZ (2020), *Diseño y fabricación de un prototipo de micro aerogenerador de baja potencia* (Grado en Ingeniería electrónico industrial y automática), recuperado de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/342051/REPORT_HERNANDEZ_ANDRES.pdf?sequence=2.
40. HURTADO (2018), *Metodología de selección de materiales para los álabes de un aerogenerador de eje horizontal* (Trabajo de diploma), recuperado de <https://dspace.uclv.edu.cu/handle/123456789/10253>.
41. HENAO [et al] (2018), *Metodología para determinar la viabilidad de generación de energía eléctrica por medio del recurso eólico*, Revista Investigación e Innovación en Ingenierías, vol.6, n°.2, 2018. DOI: 10.17081/Invinno.6.2.3108.
42. IRFAN [et al]. (2019), *Critical factor influencing wind power industry: A diamond model based study of India*, Energy Reports 5 (2019) 1222—1235.
43. IKEELEY [et al] (2017), *Determinants of foreign direct investment in wind energy in developing countries*. Journal of Cleaner Production, 161, 1451–1458. doi:10.1016/j.jclepro.2017.05.106.
44. IBARGÜENGOYTIA [et al] (2018), *Predicción de potencia eólica utilizando técnicas modernas de inteligencia Artificial*, recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432018000400003.
45. IDEAM (2019), *Glosario meteorológico – Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales – Subdirección de Meteorología*, recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/11769/72085840/Anexo+10.+Glosario+meteorol%C3%B3gico.pdf/6a90e554-6607-43cf-8845-9eb34eb0af8e>.
46. KAN [et al]. (2020), *On the theoretical distribution of the wind farm power when there is a correlation between wind speed and wind turbine availability* Reliability Engineering and System Safety, 203 (2020) 107115.
47. LOZANO (2021), *Optimización del coeficiente de potencia aerodinámico en turbinas eólicas a partir de la relación sustentación arrastre calculados en un túnel de viento subsónico* (Obtener el título profesional de ingeniero mecánico),

- recuperado de
<https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/16478/Lozano%20Silva.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
48. MARTÍNEZ E. [et al]. (2020), *Social impact of wind energy in the Isthmus of Tehuantepec, Mexico, using Likert-fuzzy*. Energy Strategy Reviews 32 (2020) 100567.
 49. MUTSCHLER [et al]. (2021), *Benchmarking cooling and heating energy demands considering climate change, population growth and cooling device uptake* Applied Energy, 288 (2021) 116636.
 50. MUCHA (2021), *Diseño del álabe incrementar la potencia eléctrica del aerogenerador tipo espiral* (Tesis para título universitario), recuperado de https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNCP_664bfa335272f0a809f52f33b8cd4b80.
 51. MAULANA [et al]. (2019), *Experimental Study on the Effect of Flow rate on the Performance of Two – Blade Archimedes Screw Turbine* Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences 61, Issue, 1 (2019) 10-19.
 52. MARINA de Guerra del Perú (2013), *Normas técnicas hidrográficas N° 42 – Manual de procedimientos para la medición y procesamiento del viento en superficie*, recuperado de <https://www.dhn.mil.pe/Archivos/Oceanografia/normastecnicas/NormasTecnicasHidrograficasN%C2%B042.pdf>.
 53. MOTORES eléctricos para la industria, recuperados de https://www.usmp.edu.pe/vision2017/pdf/materiales/MOTORES_ELECTRICOS_PARA_LA_IN.pdf.
 54. MARTÍNEZ [et al] (2019), *El sector eólico en México y España*, recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-76532019000100002.
 55. NAZIR [et al]. (2019), *Environmental impact and pollution – related challenges of renewable wind energy paradigm – A review – Science of the total environment* 683 (2019) 436 – 444.
 56. NARANJO (2017), *Determinación del potencial eólico disponible en el sector de Río Blanco perteneciente al Cantón Ambato provincia de Tungurahua* (obtención

- del título de ingeniero mecánico), recuperado de <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/25554>.
57. OBLITAS (2019), *Revista de ciencias sociales, economía circular en residuos de aparatos eléctricos y electrónicos*, recuperador de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7202009>.
 58. PLAN de desarrollo concertado de la provincial de Sechura region Piura 2010 – 2010, recuperado de https://www.munisechura.gob.pe/pdf/pdc_2011.pdf.
 59. PANOS [et al]. (2016), *Access to electricity in the World Energy Councils global energy scenarios: An outlook for developing regions until 2030*, Energy Strategy Reviews 9 (2016) 28 – 49.
 60. PÉREZ [et al] (2018), *Análisis fluido dinámico 3D de un aerogenerador de pequeña potencia* (Grado en Ingeniería Aeroespacial Aeronaves), recuperado de <https://riunet.upv.es/handle/10251/110717>.
 61. PROPIEDADES del aire seco a la presión atmosférica, recuperado de <https://www.climasmonterrey.com/cuales-son-las-propiedades-del-aire>.
 62. PÉREZ (2018), *Estudio de los cortes de energía del bar manhattan ubicado en la calle calderón y 2da calle en el mes de mayo del 2018* (Obtención de título de tecnólogo eléctrico), recuperado de <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/4758/-E-UTB-FAFI-ELECTRONICA-000007.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
 63. PEÑATA [et al], (2017), *Diseño y construcción de un prototipo para ensayo de velocidad crítica en ejes* (optar título de ingeniero mecánico), recuperado de <https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/123456789/660>.
 64. PALADINES (2017), *Diseño de un procedimiento para la calibración de tacómetros de no contacto, basado en la norma ISO 17025, en una empresa de servicios de metrología de la ciudad de Guayaquil* (obtención del título de Ingeniería Industrial), recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14553/1/UPS-GT001950.pdf>.
 65. PINOS (2015), *Análisis y parametrización de un aerogenerador micro – eólico aislado para la universidad politécnica salesiana sede Cuenca* (optar título de Ingeniero eléctrico), recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10514/1/UPS-CT005493.pdf>.

66. QUISPE (2017), *Determinación del grado de operatividad de las instalaciones electromecánicas del hospital tipo II de la ciudad de Ayaviri – 2015 para su puesta en funcionamiento* (Para optar título profesional de Ingeniero mecánico electricista), recuperado de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/9069/Quispe_Calder%C3%B3n_Fredy.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
67. QUINTANA (2019), *Diseño de generador de imanes permanentes de 1.5 kW, para su aplicación en micro turbinas eólicas en emplazamientos urbanos* (Trabajo de diploma) recuperado de <https://dspace.uclv.edu.cu/handle/123456789/11364>.
68. RATNAM [et al]. (2020), *Electricity system resilience in a world of increased climate change and cybersecurity risk*, The Electricity Journal 33 (2020) 106833.
69. ROMAÑACH (2018), *Diseño de un generador síncrono de imanes permanentes para aerogeneradores en áreas marinas*, recuperado de <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/23011>.
70. RISUEÑO (2017), *Estudio estructural del soporte de un aerogenerador* (Trabajo fin de grado), recuperado de https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/27287/TFG_Sergio_Risueno_Gomez.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
71. REYES (2018), *Evaluación por el método de elementos finitos, el diseño de una torre para aerogeneradores de baja potencia para la fábrica de antenas* (Trabajo de diploma), recuperado de <https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/10293/Reyes%20Chaviano%2c%20Gilberto.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
72. RAMÍREZ (2019), *Ley de ohm laboratorio de electricidad y magnetismo, UAM – Azcapotzalco*, recuperado en https://www.academia.edu/43108491/Ley_de_Ohm.
73. RODRÍGUEZ [et al]. (2016), *Análisis y aplicación de un generador de imanes permanentes para un sistema de energía eólica* (Obtención de título de Ing. Eléctrico), recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13147/1/UPS-GT001716.pdf>.
74. REVISTA distancia al día (2017), *ISSN: 2322-7362 Instituto superior de educación rural – ISER*, recuperado de <http://ww2.iser.edu.co/iser/wp->

content/uploads/2018/11/Revista-Distancia-al-D%C3%ADa-Vol-5-Mayo-2017.pdf.

75. RICHMOND [et al] (2020), *Revisión de los perfiles aerodinámicos apropiados para turbinas eólicas de eje horizontal y de pequeña escala en zonas boscosas*, DOI: 10.22507/rli.v17n1a22.
76. SAID [et al]. 2017, *Improved framework for techno-economical optimization of wind energy production*, <https://doi.org/10.1016/j.seta.2017.09.002>.
77. SUNNY [et al] (2020), *Experimental study on novel curved blade vertical axis wind turbines* *Results in Engineering* 7, (2020) 100149 <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2020.100149>.
78. SHAHVERDI [et al]. (2019), *Energy harvesting using solar ORC system and Archimedes Screw Turbine (AST) combination with different refrigerant working fluids* *Energy conversion and Management* 187 (2019) 205 – 2020 <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.01.057>.
79. SIMÓN [et al], (2017), *Diseño de un motor de flujo axial de imanes permanentes* (Trabajo fin de grado), recuperado en <https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/63945/TFG%20Mar%C3%ADa%20Auxiliadora%20Sim%C3%B3n%20G%C3%B3mez.pdf?sequence=1>.
80. SEVILLA, *Construcción y caracterización de un banco de pruebas de encendido sin distribuidor*, recuperado de <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/2645/1/esteban%20sevilla%20tesis%202017.pdf>.
81. TURCAN (2015), *Aerogenerador de viento* (grado en Ingeniería Mecánica), recuperado de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/80895/Memoria%20Proyecto%20Aerogenerador%20de%20viento%20Nicolai.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
82. WARUDKAR [et al]. (2019), *Wind energy development and policy in India – Energy strategy*, 24 (2019) 342-357, <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.04.010>.
83. YAWALE [et al] (2021), *Development of energy balance table for rural and urban households and evaluation of energy consumption in Indian states*, *Renewable and sustainable Energy Reviews*, 136 (2021) 110392, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110392>.

84. YUSTA [et al]. (2020), *Measuring the internationalization of the wind energy industry*. *Renewable Energy* 157 (2020) 593 e604, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.05.053>.
85. YIBELTAL [et al]. (2021), *Determinants of household energy choices in rural sub-Saharan Africa: An example from southern Ethiopia* *Energy* 221 (2021) 119785, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.119785>.
86. YUNUS A. Çengel (2006), *Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones, 2006*, recuperado de https://www.academia.edu/36371644/Mecanica_de_fluidos_fundamentos_y_aplicaciones_yunus_cengel_y_john_cimbala_primera_edicion.
87. ZHANG [et al]. (2020), *China in global wind power development: Role, status and impact*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 127 (2020) 109881, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109881>.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de operacionalización de variables

	Problema	Objetivos	Hipótesis	Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medición
General	¿Qué cantidad de energía eléctrica se logra producir con un aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick localizado en el distrito de Vice, Sechura, Piura, 2021?	Evaluar la producción de energía eléctrica en un aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick, localizado en el distrito de Vice, Sechura. Piura 2021.	Un aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick, localizado en el distrito de Vice, Sechura. Piura 2021 logra producir aproximadamente 80 wh de energía eléctrica.	Variable independiente Prototipo de Aerogenerador	Prototipo aerogenerador es un dispositivo que utiliza la energía transmitida por las corrientes del viento, es decir, energía cinética para transformar a energía mecánica que se convierte en electricidad (González, 2019).	El potencial del viento y la potencia útil se aplicaron para verificar la eficiencia del aerogenerador y el diseño para obtener los datos técnicos de la construcción del aerogenerador.	Potencial eólico del distrito de Vice. Diseño de prototipo aerogenerador.	Temperatura Densidad Velocidad del viento Centímetros Metros Planos	T°, kg/m ³ , m/s, cm, m.
Específico 1	¿Cuál es el potencial eólico de Sechura para la aplicación de un aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick localizado en el distrito de Vice, Sechura?	Medir el potencial eólico para la aplicación de un aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick en el distrito de Vice, Sechura.	Sechura posee un potencial eólico significativo para la aplicación de un aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick localizado en el distrito de Vice, Sechura.						
Específico 2	¿Qué diseño de prototipo aerogenerador resulta apropiado para construir y aplicar en Sechura?	Diseñar y construir un prototipo aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick para su aplicación en el distrito de Vice, Sechura.	El prototipo aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick resulta apropiado para construir y aplicarse en Sechura.	Variable dependiente Generación de energía eléctrica	La generación de energía eléctrica se puede lograr mediante la energía eólica para satisfacer las necesidades de comunidades que no cuentan con el suministro eléctrico a partir del aprovechamiento del viento que circula por una determinada zona (Henao, 2018).	Supervisión de los parámetros eléctricos del prototipo aerogenerador modelo Cedrick.	Producción de voltaje. Producción de potencia eléctrica.	Voltaje Amperaje Ohmios Vatios	(V), (A), (Ω) (W)
Específico 3	¿Cuanta tensión eléctrica produce el prototipo aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick?	Calcular la tensión eléctrica producida por el prototipo aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick.	El prototipo aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick produce una tensión eléctrica de 12v.						
Específico 4	¿Qué potencia eléctrica se requiere para proveer de energía a un hogar rural de Sechura con el prototipo aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick?	Determinar la potencia eléctrica que se requiere para proveer de energía a un hogar rural de Sechura, con el prototipo aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick.	La potencia eléctrica requerida para proveer de energía a un hogar rural de Sechura es de 66 w con el prototipo aerogenerador de baja potencia modelo Cedrick.						

Fuente: Elaboración propia.



Declaratoria de Originalidad del Autor

Yo, DENISS FABIAN ANTÓN PANTA estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA y Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan a la Tesis titulada: **Prototipo de Aerogenerador Cedrick para la Generación de Energía Eléctrica de Baja Potencia. Distrito de Vice, Sechura-Perú, 2021**, es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiado ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicado ni presentado anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Apellidos y Nombres del Autor	Firma
ANTÓN PANTA DENISS FABIAN DNI: 76670799 ORCID: 0000-0002-1522-5718	