



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**PROPUESTA DE UTILIZAR ENERGÍA EÓLICA PARA
ALUMBRADO PÚBLICO EN POSTES UBICADOS EN LA
AUTOPISTA REGIONAL DEL CENTRO, TRAMO PEAJE
GUACARA- TUNEL LA CABRERA
Caso: Autopista Regional del Centro Edo. Carabobo**

Autores

Darío González

Jesús Chacón

Tutora: Ing. Alicia Yáñez de Pizzella

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego
Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 87123



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA MECÁNICA**

**PROPUESTA DE UTILIZAR ENERGÍA EÓLICA PARA ALUMBRADO
PÚBLICO EN POSTES UBICADOS EN LA AUTOPISTA REGIONAL DEL
CENTRO, TRAMO PEAJE GUACARA- TUNEL LA CABRERA**

**Proyecto del Trabajo de Grado para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO**

Autores

Jesús Chacón

C.I: 26.066.597

Darío González

C.I: 23.791.606

Tutora: Ing. Alicia Yáñez de Pizzella|

San Diego, Octubre 2019



FI-N -012-2019-2CR (TG)

Valencia, 02 de Julio de 2019

Ciudadanos:
Darío González
C.I:23.791.606
Jesús Chacón
C.I:26.066.597
Presente-

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 01-2019 de fecha 02-07-2019 aprobó el proyecto de trabajo de grado titulado **PROPUESTA DE UTILIZAR ENERGÍA EÓLICA PARA ALUMBRADO PUBLICO EN POSTES UBICADOS EN LA AUTOPISTA REGIONAL DEL CENTRO, TRAMO PEAJE GUACARA-TÚNEL LA CABRERA CASO: AUTOPISTA REGIONAL DEL CENTRO EDO.CARABOBO** Presentado por usted (es) como requisitos para optar al título de Ingeniero Mecánico.

Se ratifica la designación de la Ing. Alicia De Pizzela C.I:4.598.880 como Tutor Académico y Metodológico que los asesorara en el desarrollo de este proyecto.

Atentamente,

Prof. Luis Lira
Decano de la Facultad de Ingeniería

e.e. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado (1).

L/le.



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA MECÁNICA

San Diego, Octubre 2019

ACEPTACIÓN DEL TUTOR


Quien suscribe, Ing. Alicia Yánez de Pizzella, portadora de la cédula de identidad N° V-4.598.880, hace constar que he leído el Proyecto del Trabajo de Grado, presentado por los ciudadanos Jesús Daniel, Chacón Pérez y Darío Alejandro González, portadores de la cédula de identidad 26.066.597 y 23.791606, respectivamente, titulado **PROPUESTA DE UTILIZAR ENERGÍA EÓLICA PARA ALUMBRADO PÚBLICO EN POSTES UBICADOS EN LA AUTOPISTA REGIONAL DEL CENTRO, TRAMO PEAJE GUACARA- TUNEL LA CABRERA** Caso: Autopista Regional del Centro Edo. Carabobo presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero MECÁNICO, y acepta la tutoría del mencionado Proyecto durante su etapa de desarrollo hasta su elaboración y evaluación; según las condiciones de la Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad José Antonio Páez y sus correspondientes Reglamentos.

Prof. Ing. Alicia Yánez de Pizzella.

Tutor Académico

Firma

Fecha

 4-10-19



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA MECÁNICA

San Diego, Octubre 2019

ACTA DE REVISIÓN METODOLÓGICA DE TRABAJO DE GRADO

Quienes suscriben esta Acta, dejan constancia que el Proyecto de Trabajo de Grado: **PROPUESTA DE UTILIZAR ENERGÍA EÓLICA PARA ALUMBRADO PÚBLICO EN POSTES UBICADOS EN LA AUTOPISTA REGIONAL DEL CENTRO, TRAMO PEAJE GUACARA- TUNEL LA CABRERA** Caso: **Autopista Regional del Centro Edo. Carabobo**. Ha sido revisado y, cumpliendo con los requisitos exigidos para su aprobación, recomiendan su tramitación ante el organismo académico correspondiente.

Prof. Ing. Alicia de Yáñez de Pizzella

Tutor Académico

Firma

Fecha

Alicia de Yáñez de Pizzella 4-10-19

Prof. Ing. Alicia de Yáñez de Pizzella

Tutora Metodológica

Firma

Fecha

Alicia de Yáñez de Pizzella 4-10-19

ÍNDICE

	pág
CONTENIDO	
ÌNDICE DE FIGURAS	ix
INDICES DE TABLAS	x
RESUMEN	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO	
I EL PROBLEMA	
1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.2 Formulaciòn del problema.....	2
1.3 Objetivos de la Investigación.....	2
1.3.1 Objetivo General.....	2
1.3.2 Objetivos Especificos.....	3
1.4 Justificación.....	3
1.5 Alcance.....	4
1.6 Limitaciones.....	4
II MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes de la Investigación.....	5
2.2 Bases Teóricas.....	8
2.2.1 Termodinámica.....	8
2.2.2 Introducción a la mecánica de los fluidos.....	8
2.2.3 Conceptos básicos de la mecánica de fluidos.....	9
2.2.4 Aceleración de la gravedad.....	12
2.2.5 El Manómetro.....	12
2.2.6 Estática de los fluidos.....	13
2.2.7 Líneas de corrientes.....	13
2.2.8 Conservación de la masa.....	14
2.2.9 Principios de la Conservación de la masa.....	14
2.2.10 Flujo incompresible.....	14
2.2.11 Pérdidas de disponibilidad.....	15
2.2.12 Número de Reynolds.....	15
2.2.13 Ecuación de Bernoulli.....	16
2.2.14 Postes de Alumbrado Público.....	17
2.2.14.1 Partes de un poste de alumbrado público.....	18

2.2.15 Energía.....	18
2.2.16 Energía Eléctrica.....	19
2.2.16.1 Energía Termoeléctrica.....	19
2.2.16.2 Energía Hidroeléctrica.....	20
2.2.16.3 Energía Nuclear.....	20
2.2.16.4 Energía Geotérmica.....	20
2.2.16.5 Energía Solar.....	21
2.2.16.6 Energía Eólica.....	21
2.2.17 Sistema de Energía Eólica.....	23
2.2.17.1 Origen del viento.....	23
2.2.17.2 Principio de Operación de las Maquinas Eólicas	25
2.2.17.3 Tipos de Maquinas Eólicas.....	26
2.2.18 Aerogenerador de tipo Savonius	28
2.2.19 Caracterización energética del viento.....	29
2.2.19.1 Distribución de Weibull.....	30
2.2.20 Variación de la velocidad del viento con la altura.....	31
2.2.21 Variación de la velocidad del viento con la existencia de obstáculos.....	32
2.2.22 Potencial eólico disponible.....	32
2.2.23 Teorema de Betz.....	33
2.2.24 Fuerza aerodinámica (Ley de Betz).....	36
2.2.24.1 Forma de las palas de un aerogenerador tipo Savonius	37
2.2.24.2 Velocidad de rotación.....	38
2.2.24.3 Fuerza del viento.....	38
2.2.24.4 Fuerza Centrífuga.....	39
2.2.25 Clasificación de las máquinas eólicas	39
2.2.26 Medida de la velocidad: anemómetro.....	46
2.2.27 Escala Beaufort.....	47
2.2.28 Generación de Electricidad.....	50
2.2.28.1 Circuito equivalente a generador eléctrico.....	50
2.2.28.2 Baterías y Acumuladores.....	53
2.2.28.3 Reguladores de carga.....	54
2.2.29 Energía eólica en el mundo	58
2.2.30 Energía eólica en Latinoamérica.....	58
2.2.31 Energía eólica en Venezuela.....	58
2.3 Base Legales.....	59
2.4 Definición de términos básicos.....	67

III MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de Investigación.....	70
--------------------------------	----

3.2	Diseño de la Investigación.....	70
3.3	Nivel de investigación.....	71
3.4	Población y Muestra.....	71
3.5	Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.....	72
3.6	Fases metodológicas.....	73

IV RESULTADOS

	Pag	
4.1	Determinar el consumo de energía eléctrica por el alumbrado público en la autopista regional del centro tramo Peaje Guacara-Túnel la Cabrera.....	74
4.2	Diseñar postes de alumbrado público con aerogeneradores para la transformación de energía eólica a energía eléctrica.....	75
4.2.1	Determinación del recurso eólico en la autopista regional del centro tramo Peaje de Guacara- Túnel la Cabrera.	75
4.2.2	Determinación del tipo de aerogenerador a implementar en los postes de alumbrado público.....	78
4.2.3	Cálculo del Área del aerogenerador.....	79
4.2.4	Determinación de la velocidad de rotación.....	82
4.2.5	Fuerza del viento.....	84
4.2.6	Fuerza centrífuga.....	85
4.2.7	Eje Principal.....	88
4.2.8	Diseño del generador eléctrico.....	91
4.2.9	Selección del condensador.....	93
4.2.10	Cálculo de voltaje final.....	96
4.3	Establecer plan de instalación, montaje, mantenimiento y seguridad del aerogenerador.....	109
4.3.1	Instalación y montaje.....	109
4.3.2	Mantenimiento de aerogenerador.....	110
4.3.3	Seguridad en el aerogenerador.....	111
4.4	Evaluación del impacto social y ambiental que se generaría con la implementación del sistema de alumbrado público con aerogenerador en la autopista regional del centro tramo peaje Guacara- túnel la Cabrera.....	112

4.5	Factibilidad de la instalación del sistema de alumbrado público con aerogeneradores en la autopista regional del centro tramo peaje Guacara-túnel la Cabrera.....	113
	CONCLUSIONES.....	119
	RECOMENDACIONES.....	121
	REFERENCIAS	122
	BIBLIOGRÁFICAS.....	
	ANEXOS	
A	Catálogo de acumuladores Optima Batteries.....	125
B	Catálogo de controladores de carga.....	126
C	Catálogo de controladores de carga.....	127
D	Catálogo de inversores de carga.....	128
E	Catálogo de inversores de carga.....	129
F	Catálogo de variadores de frecuencia.....	130
G	Catálogo de inversores de carga.....	131
H	Catálogo de rectificadores eléctricos.....	132
I	Catálogo de rodamientos.....	133
J	Catálogo de rodamientos.....	134
	APÉNDICE	
A	Plano del eje del aerogenerador.....	136
B	Plano de la base del aerogenerador.....	137
C	Plano de las palas del aerogenerador.....	138
D	Plano de las tapas del aerogenerador.....	139
E	Plano del aerogenerador.....	140
F	Imagen del aerogenerador y poste de alumbrado público.....	141
G	Imagen del aerogenerador.....	142

ÍNDICE DE FIGURA

FIGURAS	Pag
1 Primera Ley de Termodinámica.....	8
2 El agua es muy bien conocida como el solvente universal.....	10
3 Flujo en tubería con caudalímetro.....	10
4 Diferentes niveles de viscosidad en distintos aceites de motores.....	11
5 Manómetro simple con presión Max de 3 bares.....	12
6 Representación esquemática de una flujo laminar.....	16
7 Representación esquemática de una flujo turbulento.....	16
8 Postes de alumbrado público.....	18
9 Sistema de energía eólica.....	23
10 Circulación general del viento.....	24
11 Parte de un aerogenerador de eje horizontal.....	27
12 Aerogeneradores de eje vertical tipo Darrieux y tipo Savonius.....	27
13 Aerogenerador tipo Savonius.....	29
14 Distribucion Weibull con diferentes factores de forma y escala.....	30
15 Perfil vertical de la velocidad del viento.....	31
16 Efectos de un obstáculo no aerodinámico sobre el flujo del viento.....	32
17 : Esquema del movimiento del aire a través de un conducto.....	34
18 Acción del viento sobre un rotor de arrastre diferencial.....	37
19 Maquina eólica para bombeo de agua de pozo. B) Maquina eólica para la generación eléctrica.....	39
20 Hélice monopala.....	42
21 Hélice Bipala.....	43
22 Hélices Tripala.....	44
23 Hélices Multipalas.....	45
24 Anemómetro de rotación.....	47

25	Generador Monofasico simple.....	52
26	Representación de baterías y acumuladores.....	55
27	Regulador de Carga.....	56
28	Rectificador de corriente.....	57
29	Inversor CD-AD.....	58
30	Etapas de la corriente.....	58
31	Parque eólico en Venezuela.....	60
32	Tramo peaje Guacara-Túnel la Cabrera.....	76
33	Mapa del potencial Eólico en Venezuela. 2011.....	79
34	Forma del rotor.....	82
35	Distancia del centro de rotación a los centro de gravedad de las parte curva y recta de la pieza.....	84
36	Radio de rotación de la parte curva.....	86
37	Variación del radio de rotación de la parte recta.....	88
38	División en tramos de la parte recta.....	88
39	Diagrama de cuerpo libre del eje principal.....	90
40	Configuración y tamaño de las bobinas en el estator.....	96
41	Rodamiento SKF-51208.....	102
42	Rodamiento SKF-51209.....	102
43	Dimensiones del rodamiento SKF-61812.....	103
44	Datos de cálculo Rodamiento SKF-51208.....	103
45	Dimensiones del rodamiento SKF-61812.....	104

46	Fuerza sobre la estructura de sujeción.....	104
47	Rodamiento SKF-BA 7.....	106
48	Rodamiento SKF-BA 7.....	106
49	Datos del cálculo del Rodamiento SKF-BA 7.....	107
50	Variador de frecuencia EFC3610-OK45-3P4.....	110
51	Costo total por conceptos.....	116

ÍNDICE DE TABLA

TABLA	Pag
1 Escala Beaufort para intensidades de viento.....	48
2 Criterios de apreciación de la intensidad del viento en la escala Beaufot en el mar.....	49
3 Criterios de apreciación de la intensidad del viento en la escala Beaufort en la tierra.....	50
4 Temperatura media en la autopista regional del centro tramo peaje Guacara-Tunel la Cabrera.....	78
5 Humedad relativa media en la autopista regional del centro tramo peaje Guacara-túnel la Cabrera.....	78
6 Viento medio m/−s.....	79
7 Características del aluminio.....	85
8 Característica del conductor seleccionado.....	95
9 Longitud del bobinado.....	97
10 Características de las tapas.....	99
11 Características del eje principal.....	100
12 Características del sistema de transmisión:.....	101
13 Comparación de baterías plomo-acido.....	108
14 Costo total del material y equipos.....	115



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA**

**PROPUESTA DE UTILIZAR ENERGÍA EÓLICA PARA ALUMBRADO
PÚBLICO EN POSTES UBICADOS EN LA AUTOPISTA REGIONAL DEL
CENTRO, TRAMO PEAJE GUACARA- TUNEL LA CABRERA
CASO: AUTOPISTA REGIONAL DEL CENTRO EDO. CARABOBO**

Autores: Jesús Chacón; Darío González

Tutora: Ing. Alicia Yáñez de Pizzella

Fecha: Mayo, 2019

RESUMEN

Una Autopista es una pista de circulación para automóviles y vehículos terrestres de carga de pasajeros. Deber ser rápida, segura, y admitir un volumen de tráfico considerable, y se diferencia de una carretera convencional, en que la autopista dispone de más de un carril para cada sentido. Es por ello, que las Autopistas en general deben cumplir con una serie de requisitos y normas para el buen funcionamiento de las mismas, y así poder brindar un óptimo servicio a los que transitan en ellas. Sin embargo, se puede observar que muchas autopistas no cuentan con un alumbrado público que cumplan con las leyes terrestres del país, causando accidentes, la mayoría de las veces fatales para los tripulantes de los automóviles. Así mismo, se observa que por no apagar los bombillos en el día, estos se queman con rapidez, siendo una de las causas que se encuentren a oscura, aunado a la crisis energética que vive el país. Es por ello que el objetivo general del proyecto es proponer una medida alternativa de energía, como es la implementación de turbinas alimentadas a través de energía eólica adaptada a postes de alumbrado público para ser distribuido a lo largo de la Autopista Regional del Centro, Tramo Peaje de Guacara-Túnel la Cabrera, en el Estado Carabobo, dicho proyecto es de tipo factible debido que elabora una propuesta viable y es de diseño de campo y documental, con un nivel descriptivo.

Descriptor: energía eólica, alumbrado público

INTRODUCCIÓN

El siguiente trabajo especial de grado es un aporte académico para la escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad José Antonio Páez, debido a que el mismo proporciona la concientización a la sociedad sobre el uso y manejo de energías renovables en Venezuela, también para bajar el consumo de energías no renovable para así tratar de reducir la contaminación y el cambio climático en nuestro país y el mundo.

Cabe destacar que hoy en día el consumo a nivel mundial de energías renovables y la invención de nuevos dispositivos mecánicos para el uso de la misma viene trayendo en los últimos años un mayor impacto en la conciencia de las industrias productoras y consumidoras de energía a nivel mundial

Venezuela gracias a su posicionamiento geográfico brinda recursos naturales y climáticos que facilitan el uso de estos dispositivos mecánicos generadores y recolectores de energía autosustentable o renovable. Para poder realizar este trabajo es necesario tener en cuenta los diferentes elementos que componen un poste de alumbrado público y adaptarlos a la energía eólica para que así tengamos una eficiencia máxima. Es por ello que el siguiente trabajo de investigación se llevara a cabo en la autopista regional del centro desde el peaje de guácara hasta el viaducto la cabrera donde estas zonas son reconocidas por un alto flujo de corrientes de aire las cuales pueden ser aprovechadas para la elaboración de dicho proyecto.

El siguiente proyecto está constituido por cuatro capítulos donde en su capítulo I consta del problema, objetivos, justificación y alcance El capítulo II del marco teórico, antecedentes, bases teóricas y definición de términos, el capítulo III , marco metodológico ,tipo, nivel, diseño y técnicas e instrumentos de recolección de datos y el capítulo IV resultados.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema.

La contaminación es un problema que se presenta a nivel mundial y está en todo el entorno creciendo exponencialmente todos los días por la utilización de energías no renovables o por las empresas emisoras de gases contaminantes, además de ello, Venezuela sufre de esta contaminación sumándole una grave crisis energética en la cual está inmerso el país. La producción de energía eléctrica es de dos tipos por termoeléctrica e hidroeléctrica, siendo la termoeléctrica energía contaminante debido que es una energía no renovable. Por otro lado, la hidroeléctrica es la única renovable con la que cuenta el país. Cabe destacar que debido a la alta demanda de energía en el estos dos tipos de suministros de energía eléctrica no han sido suficientes para abastecer de energía todo el territorio nacional dejando a oscuras muchas de las principales avenidas y autopistas , como es la autopista regional del centro causando accidentes en la zona mencionada .Además que no cumple con las leyes de tránsito.

En el siguiente estudios se busca implementar la energía eólica como otro tipo de generador eléctrico para así aplicarlo en los postes de alumbrado público y que se pueda autoabastecer y no depender de centrales eléctricas , para así reducir el consumo de energía.

1.2Formulación del problema.

¿Cómo se puede garantizar el alumbrado público en la Autopista Regional del Centro tramo peaje Guacara-Tunel la Cabrera?

1.3 Objetivos de la investigación.

1.3.1 Objetivo General.

Aplicar la energía eólica en postes de alumbrado público en la ARC tramo peaje Guacara-túnel la Cabrera

1.3.2 Objetivos Específicos.

1. Determinar el consumo de energía eléctrica por el alumbrado público en la ARC tramo peaje Guacara-túnel la Cabrera.
2. Diseñar postes de alumbrado público con aerogeneradores para la transformación de energía eólica a energía eléctrica..
3. Establecer plan de instalación, montaje, mantenimiento y seguridad del aerogenerador.
4. Evaluación del impacto social y ambiental que se genera con la implementación del sistema de alumbrado público con aerogeneradores en la ARC tramo peaje Guacara-Tunel la Cabrera.
5. Factibilidad de la instalación del sistema de alumbrado público con aerogeneradores en la ARC tramo peaje Guacara-Tunel la Cabrera.

1.4 Justificación del Problema.

Con la realización de este trabajo, se buscara reducir el consumo de energía eléctrica, como también disminuir la contaminación por energía no renovable, además, generar energía autosustentable con la aplicación de la energía eólica en los postes de alumbrado público en el tramo peaje Guacara-túnel la Cabrera en la ARC para así iluminar todo este tramo con energía renovable.

Así mismo, se pretende disminuir los accidentes viales, ya que como no se cuenta con un alumbrado público continuo, ocurren con regularidad accidentes fatales en la vía. También se contribuye en mayor circulación en las horas nocturnas para los viajeros que por la inseguridad prefieren no salir en la noche.

1.5 Limitaciones.

Encontrar un dispositivo capaz de medir el flujo de aire en el tramo peaje Guacara- túnel la Cabrera, donde el flujo del mismo no es constante ni tiene la misma dirección.

1.6 Alcance.

Este trabajo tiene como alcance, aplicar la energía eólica en dispositivos de postes de alumbrado público y así iluminar el tramo Guacara- túnel la Cabrera ubicado en la ARC.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Se apoyara en trabajos de investigación previamente realizados con el fin de obtener conocimientos para una óptima realización del proyecto en la Autopista Regional del Centro Tramo peaje de Guacara –Túnel la Cabrera ubicada en los Municipios Guacara, San Joaquín y Mariara pertenecientes al Estado Carabobo. Al investigar los diferentes trabajos de investigación se obtuvo objetivos similares al trabajo presente, el cual va dirigido a la obtención de energía renovable y su implementación en servicio público.

Para iniciar los antecedentes bibliográficos se encuentra la investigación realizada por Cortes C (2014), egresado de la Universidad Javeriana de Colombia, quien realizo una investigación **titulada “Diseño de una Luminaria para la Ciudad de Bogotá alimentada por Energía Eólica”**. El cual obtuvo el título de Diseñador Industrial, señalara que las fuentes renovables de energía, son hoy en día valiosos recursos más limpios que los originados en las fuentes fósiles. De las fuentes renovables el recurso viento puede ser más competitivo para generar electricidad involucrando turbinas eólicas o aerogeneradores. El uso de la energía eólica como fuente energía, para generación de electricidad, libre de polución como la que presentan la mayoría de las formas convencionales de generación, es una alternativa que en los últimos años ha aumentado el interés general para su implementación como fuente de generación eléctrica. El cual el objetivo final del proyecto fue buscar contribuir al uso del viento como recurso natural, de instalación de generación micro-eólica, es decir de baja potencia para producir energía eléctrica para abastecer medianos y pequeños consumos. La decisión por Corte C, de implementar generación micro-eólica para el desarrollo del proyecto no sólo está determinado por tamaño y potencia

sino también por las mismas condiciones climáticas del entorno urbano como los flujos del viento, y además las necesidades de alumbrado público donde objetivamente se debe pensar en aprovechar el recurso del viento al máximo teniendo en cuenta que a diferencia de las grandes granjas eólicas, en la ciudad la velocidad del viento es más reducida, pero se puede generar la energía en el mismo lugar que se demanda, con aplicación en alumbrado público.

El trabajo de grado antes señalado muestra un problema similar al que se está estudiando en el hecho de que el proyecto se adapta fácilmente como apoyo energético a la red de alumbrado público pero también podría proveer energía eléctrica a sitios aislados de la red eléctrica, con bajos consumos, o podrían instalarse combinados con otros tipos de fuentes de energía como es la solar fotovoltaica. Una luminaria que emplee el viento como fuente de generación de energía contribuiría igualmente a disminuir la huella de carbono de la ciudad, entendida ésta como el total de las emisiones de gases de invernadero, expresadas como CO₂ (dióxido de carbono), ya sea directamente e indirectamente por individuos, organizaciones, procesos o productos.

Así mismo, Chachapoya V (2015), en su trabajo titulado como **“Estudio técnico Económico para el Suministro de Electricidad de Baja Potencia, a través de Energía Eólica”**, para la obtención de título de ingeniero mecánico en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador. El trabajo tuvo como objetivo realizar un Estudio Técnico Económico para el Suministro de Electricidad de Baja Potencia, a través de energía eólica con el objetivo de contrarrestar y reducir el uso de energía convencional, utilizando metodología e información técnica desarrolladas en países inmersos en el campo eólico, se seleccionan las alternativas para el diseño del sistema. La investigación presenta información económica y ambiental indispensable para tomar decisiones sobre su inversión o empleo de recursos en el proyecto.

Así mismo se deduce que hay relación con el tema de estudio, en aspectos tales como la implementación de energía eólica para la obtención de electricidad de baja potencia, ya sea para fines domésticos como públicos.

Faroh, J y Pérez, A (2015), realizaron una investigación documental para obtener el título de pre grado que titulada: **Estado Actual del Aprovechamiento de la Energía Eólica en Venezuela**, presentada en la Universidad Católica Andrés Bello, para la obtención del título de Ingeniero Civil. Su principal objetivo fue describir el estado actual del aprovechamiento eléctrico de la energía eólica en Venezuela, así como el funcionamiento de la infraestructura que realiza este aprovechamiento y el rol de Venezuela en esta industria. Faroh y Pérez para el cumplimiento de sus objetivos tuvieron que realizar una investigación exploratoria, revisando fuentes relacionadas con el tema y entrevistando a expertos nacionales que trabajaran en el área.

El trabajo antes mencionado comparte mención debido que el objetivo principal de Faroh y Pérez era la implementación de energía renovable como la eólica en Venezuela, y además la utilización del mismo para satisfacer las necesidades en infraestructuras públicas del país.

Del mismo modo, González, F (2015) egresado de la Universidad del Zulia realizo un trabajo de investigación titulado **Plan de gestión municipal para el alumbrado público en la ciudad de Maracaibo**, para optar al grado de Magister Scientiarium en Gerencia de Proyectos de Construcción. El objetivo principal de González fue lograr un grado de sistematización, eficacia, eficiencia y calidad en la gestión de los proyectos de ésta índole. Para el desarrollo de la investigación fue necesario tipificar el estudio bajo la modalidad descriptiva y proyectiva.

Cabe destacar que el trabajo de González comparte cierta similitud, donde González presenta un proyecto para el alumbrado público, buscando así satisfacer las necesidades de la población que transita en el área y además así, buscar la más optima vía de implementación de estos postes de luz para la ciudad de Maracaibo.

2.2 Bases Teóricas.

En este punto se presentan los puntos relacionados con la investigación, el cual nos ayudará para el soporte teórico de la investigación.

2.2.1 Termodinámica

La termodinámica es la rama de la física que estudia los efectos de los cambios de temperatura, presión y volumen de un sistema físico como un material, un líquido, un conjunto de cuerpos, entre otros, a un nivel macroscópico. La raíz termo significa calor y dinámica se refiere al movimiento, por lo que la termodinámica estudia el movimiento del calor en un cuerpo. La materia está compuesta por diferentes partículas que se mueven de manera desordenada. La termodinámica estudia este movimiento desordenado. La importancia práctica de la termodinámica radica fundamentalmente en la diversidad de fenómenos físicos que describe.

· Primera ley de termodinámica

La primera ley de la termodinámica, también conocida como principio de conservación de la energía, expresa que en el curso de un proceso, la energía no se puede crear ni destruir; sólo puede cambiar las formas. Por lo tanto, toda pequeña cantidad de energía debe tomarse en cuenta en el curso de un proceso. El principio de conservación de la energía (o balance de energía) para cualquier sistema que pasa por cualquier proceso se puede expresar como sigue: El cambio neto (aumento o disminución) en la energía total de un sistema en el curso de un proceso es igual a la diferencia entre la energía total que entra y la energía total que sale en el desarrollo de ese proceso.

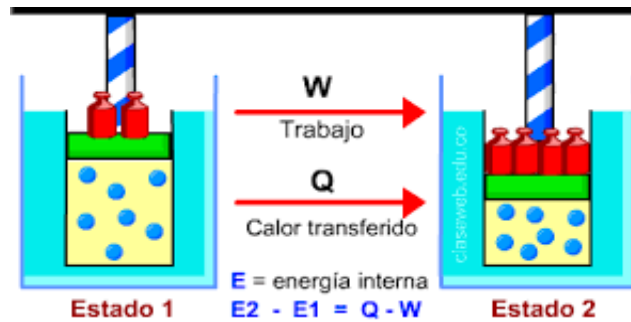


Figura 1. Primera Ley de Termodinámica
Fuente Van Whayle(2002)

· Segunda ley de termodinámica

Los enunciados de Kelvin-Planck y Clausius son equivalentes en sus consecuencias y cualquiera de ellos es útil como la expresión de la segunda ley de la termodinámica. Cualquier dispositivo que viole el enunciado de Kelvin-Planck viola también el de Clausius y viceversa.

§ Enunciado de Kelvin-Planck:

Es imposible para cualquier dispositivo que funcione en un ciclo recibir calor de un depósito y producir una cantidad neta de trabajo.

§ Enunciado de Clausius:

Es imposible construir un dispositivo que funcione en un ciclo y cuyo único efecto sea producir la transferencia de calor de un cuerpo de temperatura más baja a un cuerpo de temperatura más alta.

2.2.2 Introducción a la mecánica de los fluidos

La Mecánica de Fluidos es la disciplina que estudia el comportamiento estático y dinámico de un fluido. Entenderemos como fluido cualquier sustancia líquida o gaseosa que se deforma en forma continua cuando se ejerce sobre ella un esfuerzo. Los fluidos se diferencian de los sólidos básicamente por su estructura molecular. Estos últimos poseen una gran densidad molecular con fuerzas intermoleculares cohesivas fuertes que permiten que los sólidos mantengan su forma y que sea muy difícil

deformarlos. Los líquidos poseen un espacio intermolecular mayor que el de los sólidos con fuerzas cohesivas menores por lo que las partículas tienen mayor libertad de movimiento. Además ocupan un volumen fijo independiente de la forma de este. Los Gases poseen un espacio intermolecular aun mayor. La atracción intermolecular es prácticamente despreciable por lo que se deforman fácilmente, son compresibles y llenan el volumen del recipiente que los contiene.

Si bien la estructura molecular de los fluidos es importante no sirve para describir el comportamiento de estos en reposo o movimiento. Es por esto que el estudio de los fluidos se realiza caracterizando el valor medio o macroscópico de la variable de interés como la velocidad, presión, etc., donde este valor medio se evalúa en un volumen pequeño con un gran número de moléculas. Supondremos además que las propiedades del fluido como las variables del flujo varían en forma continua y homogénea de un punto a otro del fluido

2.2.3 Conceptos básicos de la Mecánica de Fluidos

· Fluido

Una sustancia en la fase líquida o en la gaseosa se conoce como fluido. La diferencia entre un sólido y un fluido se hace con base en la capacidad de la sustancia para oponer resistencia a un esfuerzo cortante (o tangencial) aplicado que tiende a cambiar su forma (Ver figura 18).



Figura 2. El agua solvante universal
Fuente Hansen (2004)

- **Caudal**

En dinámica de fluidos, caudal es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto (tubería, cañería, oleoducto, río, canal,...) por unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. Menos frecuentemente, se identifica con el flujo másico o masa que pasa por un área dada en la unidad de tiempo (Ver figura 19).



Figura 3. Flujo en tubería con caudalímetro.
Fuente Hansen (2004)

- **Viscosidad**

Cuando dos cuerpos sólidos en contacto se mueven uno con respecto al otro, se crea una fuerza de fricción en la superficie de contacto en la dirección opuesta al movimiento. Por ejemplo, para mover una mesa sobre el piso, se le debe aplicar una fuerza en dirección horizontal, suficientemente grande como para vencer la fricción. La magnitud de la fuerza necesaria para mover la mesa depende del coeficiente de fricción entre la mesa y el piso. La situación es semejante cuando un fluido se mueve

con respecto a un sólido o cuando dos fluidos se mueven uno con respecto al otro. Es posible moverse con relativa facilidad en el aire, pero no en el agua. Moverse en aceite sería inclusive más difícil, como se puede observar por el movimiento muy lento hacia abajo de una bola de vidrio que se deja caer en un tubo lleno con aceite. Parece que existe una propiedad que representa la resistencia interna de un fluido al movimiento o la “fluidez”, y esa propiedad es la viscosidad (Ver figura 20).

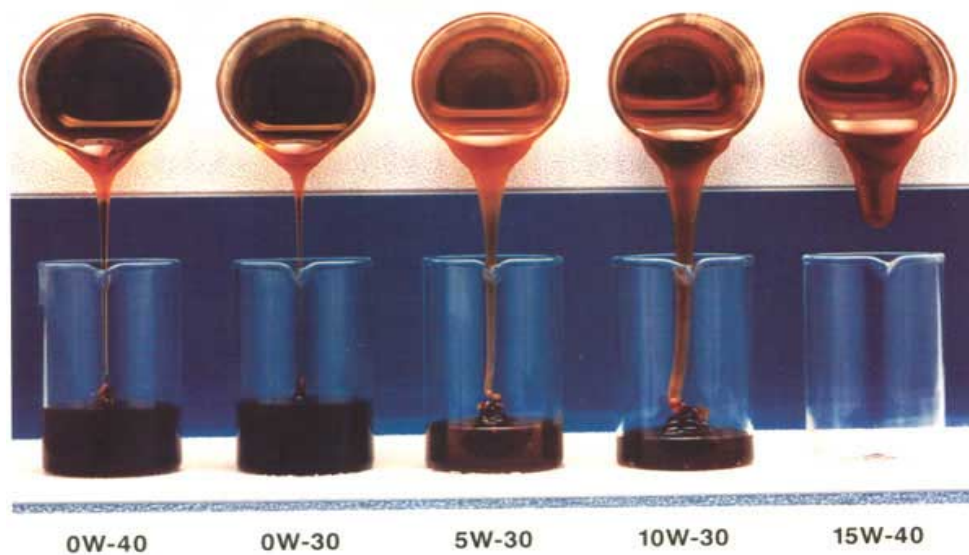


Figura 4. Diferentes niveles de viscosidad en distintos aceites de motores
Fuente Hansen (2004)

· **Presión**

La presión se define como una fuerza normal ejercida por un fluido por unidad de área. Se habla de presión sólo cuando se trata de un gas o un líquido. La contraparte de la presión en los sólidos es el esfuerzo normal. Puesto que la presión se define como fuerza por unidad de área, tiene la unidad de newton por metro cuadrado (N/m²), la cual se llama pascal (Pa); es decir,

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ Nm}^2$$

2.2.4 Aceleración de la gravedad

Es la fuerza gravitatoria específica que actúa sobre un cuerpo en el campo gravitatorio de otro; esto es, como la fuerza gravitatoria por unidad de masa del cuerpo que la experimenta. Se representa como “g” y se expresa en Newtons/Kilogramo (N/Kg.) en el Sistema Internacional de Unidades.

2.2.5 El Manómetro

Es un instrumento de medición para la presión de fluidos contenidos en recipientes cerrados. Se distinguen dos tipos de manómetros, según se empleen para medir la presión de líquidos o de gases (Ver figura 5).



Figura 5. Manómetro simple con presión Max de 3 bares

Fuente Hansen (2004)

2.2.6 Estática de los fluidos

La estática de fluidos trata de los problemas relacionados con los fluidos en reposo. El fluido puede ser gaseoso o líquido. En general, la estática de fluidos se llama hidrostática cuando el fluido es un líquido y aeroestática, cuando el fluido es un gas. En la estática de fluidos no se tiene movimiento relativo entre capas adyacentes del fluido y, por lo tanto, no se tienen esfuerzos cortantes (tangenciales) en éste que traten de deformarlo. El único esfuerzo que se trata en la estática de fluidos es el esfuerzo

normal, el cual es la presión, y la variación de ésta sólo se debe al peso del fluido. Por lo tanto, el tema de la estática de fluidos únicamente tiene significado en campos de gravedad y las relaciones de fuerzas que se formaron de manera natural incluyen la aceleración gravitacional g . La fuerza que se ejerce sobre una superficie por un fluido en reposo es normal a esa superficie en el punto de contacto, puesto que no existe movimiento relativo entre el fluido y la superficie sólida y, como consecuencia, no pueden actuar fuerzas cortantes paralelas a la superficie. La estática de fluidos se utiliza para determinar las fuerzas que actúan sobre cuerpos flotantes o sumergidos y las fuerzas que generan algunos dispositivos como las prensas hidráulicas y los gatos para automóvil. El diseño de muchos sistemas de ingeniería, como las presas para agua y los tanques de almacenamiento de líquidos, exige determinar las fuerzas que actúan sobre las superficies aplicando la estática de fluidos.

2.2.7 Líneas de Corrientes

Las líneas de corriente son útiles como indicadores de la dirección instantánea del movimiento del fluido en todo el campo de flujo. Por ejemplo, las regiones de recirculación del flujo y de separación de un fluido de una pared sólida se identifican con facilidad por el patrón de líneas de corriente. Las líneas de corriente no se pueden observar directamente de manera experimental, excepto en los campos de flujo estacionario, en los cuales coinciden con las líneas de trayectoria y las líneas de traza

2.2.8 Conservación de la masa

La relación de conservación de la masa para un sistema cerrado que pasa por un cambio se expresa como $m_{sist} = \text{constante}$ $dm_{sist}/dt = 0$, lo cual es un enunciado del hecho obvio que la masa del sistema permanece constante durante un proceso. Para un volumen de control (VC), el balance de masa se expresa en la forma de razón como:

$$m$$

Este principio para un volumen de control se puede expresar como: la transferencia neta de masa hacia dentro un volumen de control, o hacia fuera de éste durante un intervalo t es igual al cambio neto (aumento o disminución) en la masa total que está dentro de ese volumen en el transcurso de t ; es decir:

$$m_{ent} - m_{sal} = m_{vv} \quad \text{Ec. (3)}$$

2.2.10 Flujo incompresible

En mecánica de fluidos, un flujo se clasifica en compresible e incompresible, dependiendo del nivel de variación de la densidad del fluido durante ese flujo. La incompresibilidad es una aproximación y se dice que el flujo es incompresible si la densidad permanece aproximadamente constante a lo largo de todo el flujo. Por lo tanto, el volumen de todas las porciones del fluido permanece inalterado sobre el curso de su movimiento cuando el flujo o el fluido son incompresibles. En esencia, las densidades de los líquidos son constantes y así el flujo de ellos es típicamente incompresible.

2.2.11 Pérdidas de Disponibilidad

La pérdida de disponibilidad en una tubería o canal es la pérdida de presión que se produce en un fluido debido a la fricción de las partículas del fluido entre sí y contra las paredes de la tubería que las conduce. Las pérdidas pueden ser continuas, a lo largo de conductos regulares, o accidentales o localizadas, debido a circunstancias particulares, como un estrechamiento, un cambio de dirección, la presencia de una válvula, etc.

2.2.12 Número de Reynolds

El número de Reynolds proporciona una indicación de la pérdida de energía causada por efectos viscosos. Observando la siguiente ecuación, cuando las fuerzas viscosas tienen un efecto dominante en la pérdida de energía, el número de Reynolds es pequeño y el flujo se encuentra en el régimen laminar.

$$R_e = \frac{\text{Fuerzas inerciales}}{\text{Fuerzas Viscosas}} = \frac{\rho D v}{\mu} = \frac{v D}{\nu} \quad \text{Ec. (4)}$$

ρ = Densidad del Fluido

v = Velocidad del fluido

μ = Viscosidad dinámica del Fluido

ν = Viscosidad cinemática del Fluido

D = Diámetro interno de la tubería

· Régimen laminar

Se llama al movimiento de un fluido cuando éste es ordenado, estratificado, suave. En un flujo laminar el fluido se mueve en láminas paralelas sin entremezclarse y cada partícula de fluido sigue una trayectoria suave, llamada línea de corriente. En flujos laminares el mecanismo de transporte lateral es exclusivamente molecular (Ver figura 6).

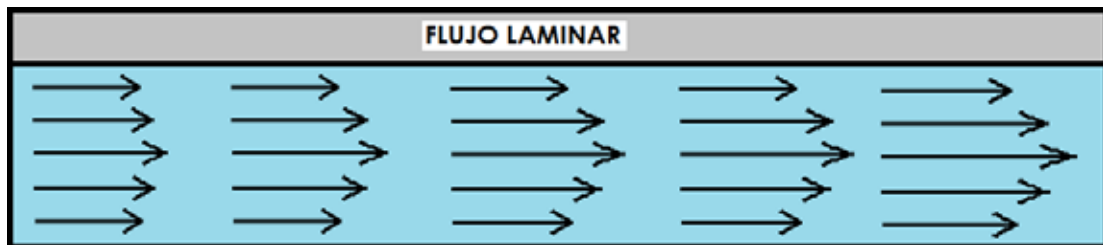


Figura 6. Representación esquemática de una flujo laminar.

Fuente Hansen (2004)

· Régimen turbulento

Se llama flujo laminar o corriente laminar, al movimiento de un fluido cuando éste es ordenado, estratificado, suave. En un flujo laminar el fluido se mueve en láminas paralelas sin entremezclarse y cada partícula de fluido sigue una trayectoria suave, llamada línea de corriente. En flujos laminares el mecanismo de transporte lateral es exclusivamente molecular (Ver figura 7).

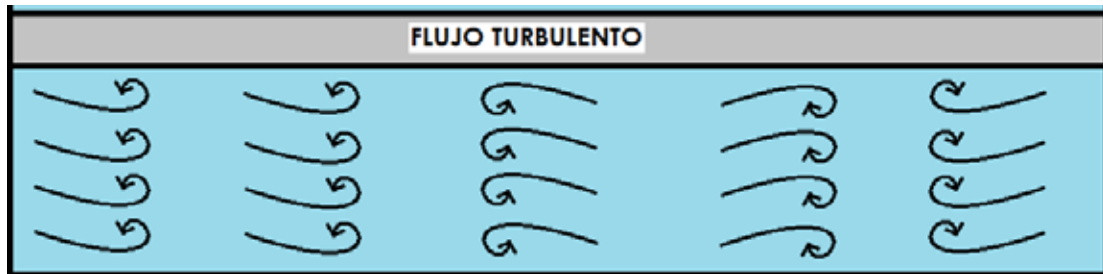


Figura 7. Representación esquemática de una flujo turbulento
Fuente Hansen (2004)

2.2.13 La ecuación de Bernoulli

La ecuación de Bernoulli es una relación aproximada entre la presión, la velocidad y la elevación, y es válida en regiones de flujo estacionario e incompresible en donde las fuerzas netas de fricción son despreciables. Pese a su simplicidad la ecuación de Bernoulli demostró que es un instrumento muy potente en mecánica de fluidos. En esta sección, se deduce la ecuación de Bernoulli a partir del principio de conservación de momento lineal, se demuestra su utilidad y se analizan sus limitaciones. La aproximación clave en la deducción de la ecuación de Bernoulli es que los efectos viscosos son despreciablemente pequeños en comparación con los efectos de inercia, gravitacionales y de la presión. Puesto que todos los fluidos tienen viscosidad (no existe un “fluido no viscoso”), esta aproximación no puede ser válida para todo un campo de flujo de interés práctico. En otras palabras, no se puede aplicar la ecuación de Bernoulli en todas partes en un flujo, sin importar qué pequeña sea la viscosidad del fluido. Sin embargo, resulta que la aproximación es razonable en ciertas regiones de muchos flujos prácticos.

Debe tenerse cuidado cuando se utiliza la ecuación de Bernoulli, porque es una aproximación que sólo se aplica a las regiones no viscosas del flujo. En general, los efectos de la fricción siempre son importantes muy cerca de las paredes sólidas (capas límite) y directamente corriente abajo de los cuerpos (estelas). Por tanto, la aproximación de Bernoulli es útil por lo general en regiones del flujo por fuera de las

capas límite y estelas, en donde el movimiento del fluido lo rigen los efectos combinados de la presión y la gravedad.

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + Z_2 \quad \text{Ec. (5)}$$

2.2.14 Postes de Alumbrado Público

El alumbrado público es el servicio público consistente en la iluminación de las vías públicas, parques públicos, y demás espacios de libre circulación que no se encuentren a cargo de ninguna persona natural o jurídica de derecho privado o público, diferente del municipio, con el objetivo de proporcionar la visibilidad adecuada para el normal desarrollo de las actividades.(ver figura 8)



Figura8: Postes de alumbrado público.

Fuente: <https://www.google.com/search?q=poste+de+alumbrado+publico&sxsrf=ACYBGNOp2YIFX>

⋮

2.2.14.1 Partes de un poste de alumbrado público

Según manual de alumbrado público, 2014

Teniendo en cuenta que un poste de alumbrado público es un sistema de iluminación de carreteras este está conformado por un sistema interconectado los cuales son un bombillo metal halide el cual enciende por una fotocélula que energiza el circuito donde este flujo de energía entra a un transformador el cual convierte la A.C a D.C el cual pasara a un inyector y luego a un condensador para así encender el bombillo.

2.2.15 Energía

La termodinámica se puede definir como la ciencia de la Aunque todo el mundo tiene idea de lo que es la energía, es difícil definirla de forma precisa. La energía se puede considerar como la capacidad para causar cambios, el término termodinámica proviene de las palabras griegas therme (calor) y dynamis (fuerza), lo cual corresponde a lo más descriptivo de los primeros esfuerzos por convertir el calor en energía. En la actualidad, el concepto se interpreta de manera amplia para incluir los aspectos de energía y sus transformaciones, incluida la generación de potencia, la refrigeración y las relaciones entre las propiedades de la materia. (Çengel y boles, 2011, p. 03).

2.2.16 Energía eléctrica

Smil (2012, p.111) identifica a la energía eléctrica como la más conveniente, flexible y útiles de las energías, ciertamente la energía eléctrica presenta un gran número de ventajas con respecto a las otras formas de energía. Smil describe que la electricidad tiene ciertas ventajas debido a que es insonora y aséptica en el punto de consumo además de eso, debido a sus bajos costos es accesible para la mayoría de los consumidores, se caracteriza también que el flujo de energía puede ser controlado con una alta precisión. Esta energía puede convertirse en energía calórica o cinética con óptimos rendimientos, así como energía electromagnética y química.

2.2.16.1 Energía Termoeléctrica

La energía eléctrica no ocurre de manera aprovechable en la naturaleza, entonces su generación depende completamente de la transformación de otros tipos de energía. Hoy en día la manera más común de producir electricidad es utilizando combustibles fósiles para calentar agua y producir vapor presurizado a altas temperaturas, es decir, se convierte la energía química presente en esa biomasa en calor, y así se hace funcionar turbogeneradores, que convierten esa energía térmica en mecánica y a su vez en energía eléctrica. Esta tecnología ha sido la fuerza dominante en la generación eléctrica sus comienzos comerciales con las plantas de carbón. Desde esos tiempos las capacidades han crecido sustancialmente gracias a avances fundamentales como la invención de las turbinas de vapor, transformadores, la conversión de corriente directa a corriente alterna y las transmisiones de alto voltaje (smill, 2012, p120)

2.2.16.2 Energía Hidroeléctrica

La energía hidroeléctrica se basa en la acumulación de energía potencial gravitatoria en agua detrás de una represa, para luego convertirla en energía cinética, mecánica y finalmente eléctrica, la cual es elevada en potencia y suplida a través de redes de distribución. El agua como fuente de energía permite un almacenamiento y regulación en su uso, proporcionando una trascendental ventaja con respecto a otras fuentes renovables de carácter aleatorio como la solar y la eólica, ventaja que nos permite considerar que, entre las renovables, la hidroeléctrica es la de mayor calidad, por la posibilidad de su dosificación y obtener su explotación en espacios estratégicos (Smil, 2012)

2.2.16.3 Energía Nuclear

La fisión nuclear (fractura del núcleo atómico) libera un calor que, en un entorno controlado, se puede aprovechar para generar vapor con el que producir electricidad. Las centrales nucleares utilizan como combustible principalmente el uranio. Este es un elemento muy abundante en la Tierra, pero la fracción que podemos aprovechar de manera rentable es limitada. (Raig, 2012, p. 11)

2.2.16.4 Energía Geotérmica

La geotermia es referida como la energía que se deriva del calor natural existente en el interior de la Tierra. La mayor parte de este calor se genera a partir de material fundido llamado magma. La mayoría del magma producido en la Tierra no llega a la superficie, sino que tiende acumularse a profundidades entre 5 y 10 km, en donde suele calentar grandes regiones de roca o reservorios de fluidos confinados, los cuales dan origen a la formación de los sistemas geotérmicos. Desde un punto de vista práctico, se denomina energía geotérmica o simplemente geotermia al estudio y utilización de la energía térmica que, transportada a través de la roca y/o de fluidos, se desplaza desde el interior de la corteza terrestre hacia los niveles superficiales de la misma. Esta energía produce en la superficie terrestre impresionantes manifestaciones tales como fumarolas, manantiales termales, géiseres, así como la manifestación más extraordinaria de todas, los volcanes(Santoyo y Alvarado, 2010, p.3)

2.2.16.5 Energía Solar

Las Centrales Solares Termoeléctricas (CET) son sin duda una de las tecnologías energéticas renovables que pueden hacer un aporte considerable de electricidad no contaminante en el medio plazo. La tecnología solar termoeléctrica consiste en el empleo de la radiación solar incidente sobre la superficie terrestre para el calentamiento de un fluido que se hace pasar posteriormente por una etapa de turbina, bien directamente, en las configuraciones sólo-primario, o a través de un sistema de intercambio térmico con otro fluido que circula por la turbina en la configuración conocida como primario-secundario. Tras la etapa compuesta por los equipos propiamente solares, concentrador óptico y receptor solar, este esquema tiene muchas similitudes con las tecnologías termoeléctricas convencionales basadas en la conversión mecánica del calor, y ulteriormente la generación eléctrica, en un alternador a partir de un movimiento mecánico rotativo. El diagrama de bloques así descrito se muestra en la Figura 1, en la que además se han insertado un lazo de almacenamiento

y un apoyo fósil discrecional, que eventualmente pueden servir para desacoplar la irradiancia y la potencia producida, en el caso de que el perfil de demanda discrepe del aporte solar. El sistema así descrito puede proporcionar una impresión de sencillez tecnológica que sin embargo, no resultaría fidedigna a la vista de la complejidad que entraña la necesidad de concentración solar. (Romero, 2006, p. 2)

2.2.16.6 Energía Eólica

La energía eólica se aprovecha mediante la transformación de la energía cinética del viento en energía eléctrica a través de aerogeneradores, que utilizan una hélice para transmitir el movimiento que el viento produce en sus palas al rotor de un alternador. Cuando una instalación eólica necesita producir electricidad para verter a la red de distribución se agrupan varios generadores, dando lugar a los denominados parques eólicos. Si su objetivo es suministrar electricidad a puntos de consumos aislados ya sean viviendas, granjas, explotaciones agrícolas entre otras, se utilizan equipos de pequeña potencia, en generar de varias decenas de kilovatios.

La energía eólica para que pueda ser utilizada con cierta eficacia en una zona determinada, las características del viento deben cumplir una serie de condiciones relativas a velocidad, continuidad, estabilidad, entre otros. Un dato de gran importancia al respecto es la densidad de potencia del viento es decir, el valor máximo de la potencia que se puede conseguir por cada unidad de área barrida por el viento. En concreto, por debajo de los 50vatios/m² no tienen interés el emplazamiento de instalaciones eólicas; y solo por encima de los 200vatios/m² comienzan a resultar auténticamente rentables. Aun así hay que tener en cuenta que hacen falta densidades de potencia del viento superior a 1000vatios/m² para que los aerogeneradores tengan un rendimiento aceptable (Espejo, 2004, p. 46).

El uso más antiguo de la energía eólica del que se tiene documentación es como medio de locomoción. Existen dibujos egipcios, de 5000 años de antigüedad, que muestran naves con velas utilizadas para trasladarse por el Nilo. Hasta el siglo XIX,

con el perfeccionamiento e introducción de las máquinas de vapor, la navegación dependió casi exclusivamente de este recurso energético. Ya en el siglo XX, con la invención de los motores de combustión interna, la navegación a vela quedó relegada solo a las actividades deportivas y a algunas actividades comerciales en pueblos costeros. Recientemente, sobre todo motivadas por los aumentos de los precios del petróleo de los años 1973 y 1979, se realizaron experiencias y construyeron barcos prototipo que utilizan la energía eólica como medio para ahorrar combustible. En transporte transoceánico, con los diseños actuales, podrían alcanzarse ahorros del orden del 10%. Las primeras máquinas eólicas de las que se tiene documentación datan del siglo VI d.c.. Eran de eje vertical y se las utilizaba para moler granos y bombear agua en la región de Sijistán, entre Irán y Afganistán. Existen indicios, aunque no demostrados, de que el uso de estos molinos, denominados panémonas, se remontase según distintos autores a entre 200 y 500 años antes de nuestra era. Moragues y Rapallini, (2003, p. 03)

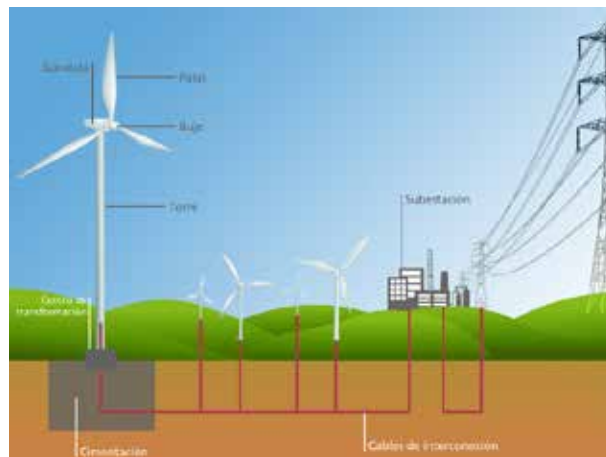


Figura9: Sistema de energía eólica

Fuente: <https://www.google.com/search?fbm=isch&sxsrf=ACYBGNOx9eK2Wz7niAYMvkhiLR3QP>

[AtvA%](#)

2.2.17 Sistema de Energía Eólica

Factores a tener en cuenta para adquirir un sistema de energía eólica

2.2.17.1 Origen del Viento

Según Moragues y Rapallini, (2003), El calentamiento dispar de la superficie terrestre por acción de la radiación solar es el principal causante de los vientos. En las regiones ecuatoriales se produce una mayor absorción de radiación solar que en las polares; el aire caliente que se eleva en los trópicos es reemplazado por las masas de aire fresco superficiales proveniente de los polos. El ciclo se cierra con el desplazamiento, por la alta atmósfera, del aire caliente hacia los polos. Esta circulación general, que sería la observada si la tierra no girase, se ve profundamente alterada por el movimiento de rotación de la tierra generando zonas de vientos dominantes que responden a patrones definidos. A lo largo de un año las variaciones estacionales de la radiación solar incidente provocan variaciones en la intensidad y dirección de los vientos dominantes encada uno de los puntos de la corteza terrestre.

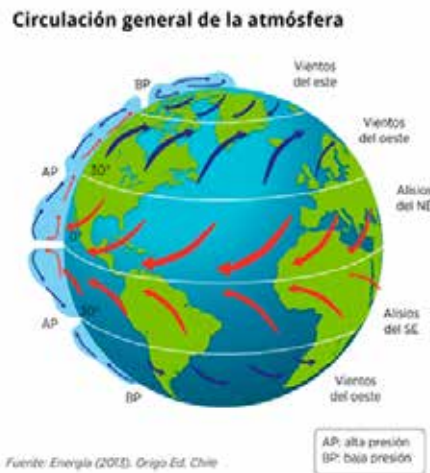


Figura10: Circulación general del viento

Fuente: Moragues y Rapallini, (2003)

2.2.17.2 Principio de operación de las maquinas eólicas

Los molinos de viento, aeromotores, máquinas eólicas (términos que pueden ser considerados sinónimos), o los aerogeneradores, o turbinas eólicas en su acepción, son

dispositivos que convierten la energía cinética del viento en energía mecánica. Aunque existen dos tipos básicos de molinos, eje horizontal y eje vertical, el principio de operación es esencialmente el mismo. La captación de la energía eólica se realiza mediante la acción del viento sobre las palas, las cuales están unidas al eje a través de un elemento denominado cubo (conjunto que recibe el nombre de rotor). El principio aerodinámico, por el cual este conjunto gira, es similar al que hace que los aviones vuelen.

Según este principio, el aire que es obligado a fluir por las caras superior e inferior de una placa o perfil inclinado genera una diferencia de presiones entre ambas caras, dando origen a una fuerza resultante (R) que actúa sobre el perfil. Descomponiendo esta fuerza en dos direcciones se obtiene:

a) la fuerza de sustentación (S), o simplemente sustentación, de dirección perpendicular al viento, y,

b) la fuerza de arrastre (A), de dirección paralela al viento.

Para favorecer la circulación del aire sobre la superficie de las palas, evitar la formación de torbellinos y maximizar la diferencia de presiones, se eligen perfiles de pala con formas convenientes desde el punto de vista aerodinámico. Según como estén montadas las palas con respecto al viento y al eje de rotación, la fuerza que producirá el par motor será predominantemente la fuerza de arrastre o la de sustentación. Con excepción de las panémonas y los rotores tipo Savonius, en todas las máquinas modernas la fuerza dominante es la de sustentación pues permite obtener, con menor peso y costo, mayores potencias por unidad de área del rotor.

2.2.17.3 Tipos de máquinas eólicas

Desde los comienzos de la utilización de la energía eólica se han desarrollado gran cantidad de máquinas de los tipos más variados. Se dice que los pedidos de

patentes superan a las de cualquier otro dispositivo que se haya ideado. De todos ellos, son relativamente pocos los que se generalizaron y alcanzaron escala de producción comercial.

Ø **Molino de eje Horizontal**

Máquinas eólicas en las cuales el eje de rotación es paralelo a la dirección del viento. Los molinos de eje horizontal son los más difundidos y los que han permitido obtener las mayores eficiencias de conversión. En su gran mayoría, la conversión de la energía disponible en el eje del rotor en otra forma de energía, se realiza mediante dispositivos ubicados sobre la torre. Tal es el caso de las turbinas eólicas destinadas a la producción de electricidad donde el generador eléctrico, acoplado al eje del rotor a través de un multiplicador, está localizado en la navecilla.

Ø Molino de eje Vertical

Máquinas eólicas en las cuales el eje de rotación es perpendicular a la superficie terrestre y a la dirección del viento. La característica principal de los molinos de eje vertical es que no requieren de sistemas de orientación. Ventaja nada despreciable pues evita complejos mecanismos de direccionamiento y elimina los esfuerzos a que se ven sometidas las palas ante los cambios de orientación del rotor. Por su disposición permite colocar los sistemas de conversión prácticamente a nivel de suelo, evitando pesadas cargas en las torres, como ocurre en los de eje horizontal.

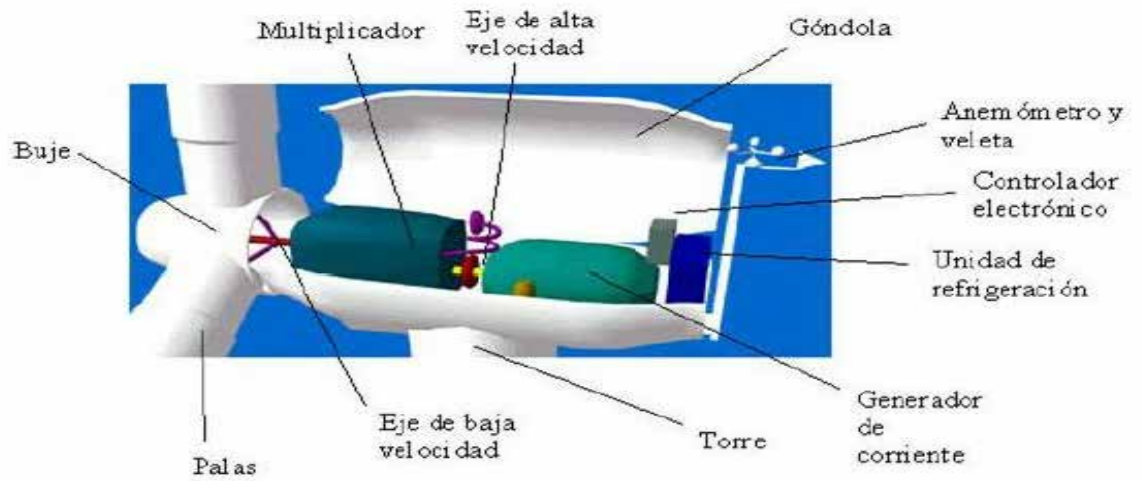


Figura11: Parte de un aerogenerador de eje horizontal
Fuente: Villarrubia (2011)



Figura12: Aerogeneradores de eje vertical tipo Darrieux y tipo Savonius
Fuente: Villarrubia (2011)

2.2.18 Aerogenerador de tipo Savonius

Los aerogeneradores como bien sabemos son máquinas encargadas de la captación de energía eólica (de viento) que luego es transformada en energía mecánica para posteriormente ser convertida en energía eléctrica, todo esto se realiza mediante un generador que se coloca en la red.

Estos generadores poseen dos tipos en base a su eje: Vertical y Horizontal, los aerogeneradores verticales son los más conocidos, llamados comúnmente molinos de viento y funcionan con total frecuencia en la búsqueda de energías más renovables.

Estos generadores de aire funcionan con palas rotando en torno a su eje central vertical, teniendo una ejecución sencilla por su diseño; además, los mismos no precisan de una dirección específica ni un sistema de orientación ya que girando a cualquiera de los dos sentidos funcionara correctamente.

Los aerogeneradores tienen sus aplicaciones muy bien predefinidas ya que sus potencias a la hora de generar electricidad no son muy altas; sin embargo, tampoco son de menospreciar, ya que generan electricidad a elementos como boyas marinas, televisores sin capacidad de corriente altera y otros aparatos de uso cotidiano, todo esto por medio de la energía renovable del viento.

Hacer uso de un aerogenerador es una buena opción si desea ahorrar dinero en cuanto al consumo eléctrico; no obstante, se debe recordar que estos no generan la misma potencia eléctrica que un generador eólico de eje horizontal, reduciendo su carga a tan solo algunos aparatos menores. Los aerogeneradores de eje vertical tienen como base la sustitución de ejes horizontales haciendo cuenta de espacio sin torres elevadas.

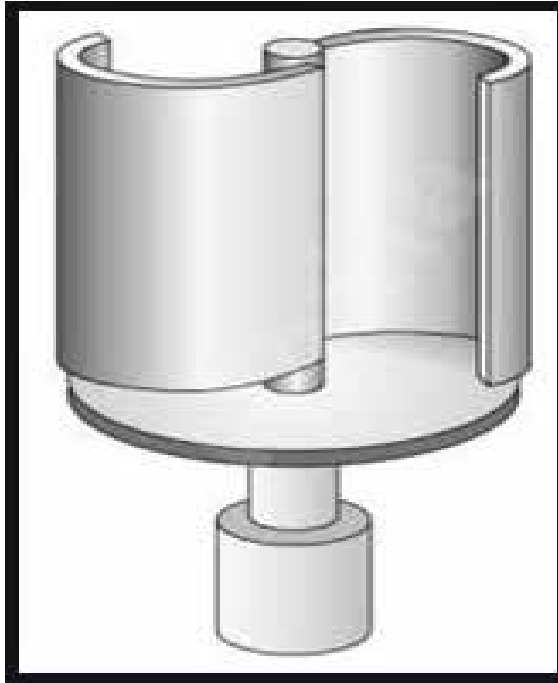


Figura13: Aerogenerador tipo Savonius

Fuente:<https://www.google.com/search?q=aerogenerador+de+tipo+savonius&sxsrf=ACYBGNR0>

2.2.19 Caracterización energética del viento

Para caracterizar el viento, se utiliza la ley de densidad de probabilidad de Weibull, que permite modelar la distribución de la velocidad del viento de tal forma que mediante una expresión matemática se puede predecir de manera aproximada el comportamiento de la velocidad del viento a lo largo de un periodo de tiempo en un lugar determinado.

2.2.19.1 Distribución de Weibull

Función de densidad de probabilidad:

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

Ec.6

Función de distribución:

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

Ec.7

Donde:

* c: factor de escala

*k: factor de forma

Tanto el factor de escala como el factor de forma variaran dependiendo de los datos que tengamos del viento, para que la expresión matemática se aproxime a los reales

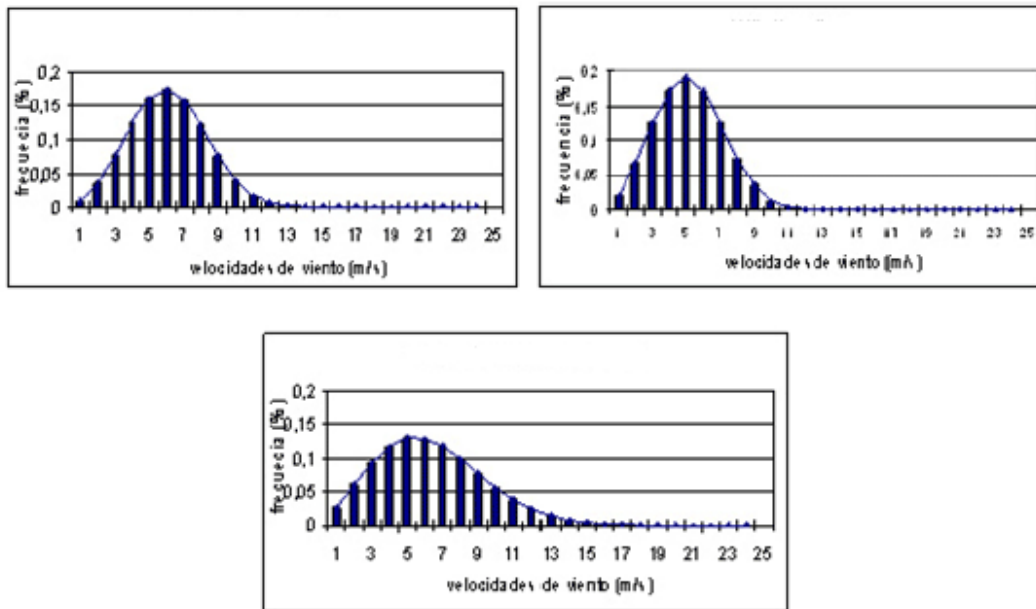


Figura14: Distribucion Weibull con diferentes factores de forma y escala.

Fuente: Avila (2015)

2.2.20 Variación de la velocidad del viento con la altura

La velocidad del viento varía con la altura debida principalmente a las turbulencias tanta de origen mecánico (causadas por las irregularidades de la superficie del terreno) como de origen térmico (causadas por el gradiente de temperatura del aire que provoca corrientes convectivas en sentido vertical).

Como en general la influencia del gradiente de temperatura del aire en una

Diferencia de altura de 100 metros (diferencia de altura razonable en el caso de los Aerogeneradores de gran potencia) es pequeña no se tendrán en cuenta los efectos de las turbulencias térmicas, y solamente se tendrán en cuenta los efectos de las irregularidades de la superficie del terreno.

Conforme nos separamos del terreno, los efectos de rozamiento disminuyen y por lo tanto, la velocidad del viento aumenta. Así, se tiene un gradiente o variación de la velocidad con la altura, y se habla del perfil vertical de la velocidad del viento. La variación de la velocidad del viento con la altura depende de la rugosidad que tenga el terreno. Así, si se tienen superficies lisas (con agua, terrenos llanos, llanuras nevadas), el gradiente de velocidad es suave. Sin embargo, si se tienen superficies con gran rugosidad (terrenos con edificaciones urbanas, superficies boscosas,) el gradiente de velocidad será mayor.

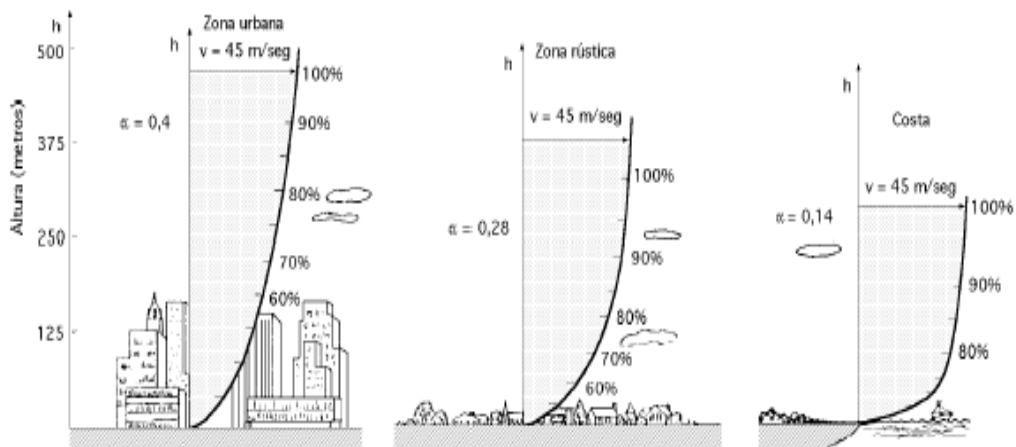


Figura15: Perfil vertical de la velocidad del viento

Fuente: Campos, (2015)

2.2.21 Variación de la velocidad del viento con la existencia de obstáculos

Los obstáculos (edificios, árboles, accidentes en el terreno,) provocan una disminución de la velocidad del viento, así como un aumento de las turbulencias. Por

lo que a la hora de instalar grandes centrales eólicas se tendrá que tener en cuenta la presencia de obstáculos en un radio de 1km en la dirección dominante del viento.

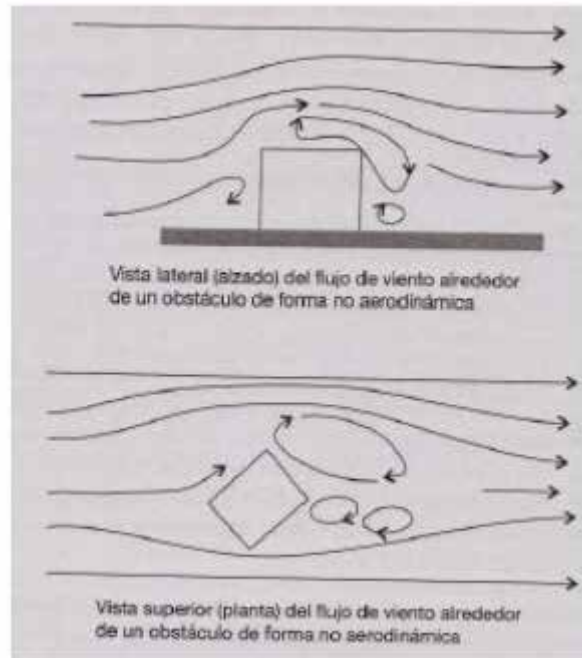


Figura16: Efectos de un obstáculo no aerodinámico sobre el flujo del viento.

Fuente: l Villarrubia (2011)

2.2.22 Potencial eólica disponible

La energía se define como la capacidad para realizar un trabajo. La potencia en cambio se define como la cantidad de trabajo realizado por unidad de tiempo. Por lo que ambas están relacionadas de la siguiente forma:

$$Potencia = \frac{Energia}{Tiempo} \quad Ec.8$$

Una masa de aire con velocidad posee una energía cinética E_c que viene dada por:

$$E_c = 0,5mv^2$$

área A perpendicular a la dirección del flujo, viene dado por la ecuación de continuidad:

$$m = \rho Av \quad \text{Ec.10}$$

La potencia disponible asociada al caudal de aire que atraviesa dicha sección es:

$$P_d = 0,5mv^2 = 0,5\rho Av^3 \quad \text{Ec.11}$$

En cuanto al valor de esta potencia disponible, hay que tener en cuenta otros factores que disminuirán su valor como son el límite de Betz, los rozamientos aerodinámicos y mecánicos, el rendimiento del generador eléctrico, permitiendo, solamente un aprovechamiento máximo del 40% de dicha potencia.

La densidad de potencia o potencia por unidad de área se define como:

$$\frac{P_d}{A} = 0,5\rho v^3 \quad \text{Ec.12}$$

2.2.23 Teorema de Betz

El Teorema de Betz es de mucha importancia para las máquinas eólicas, se puede decir que es tan importante para las máquinas eólicas como lo es el Teorema de Carnot para las máquinas térmicas. La teoría de Betz, supone que una vena fluida en una corriente no perturbada delante de una turbina eólica posee una velocidad v y que en el infinito, aguas abajo de la misma, posee una velocidad v_0 .

Vamos a suponer que la energía eólica se puede recuperar y transformar mediante un aerogenerador. La pala se supone inmersa en una corriente de aire de velocidad v que, aguas abajo, posee una velocidad v_0 no nula, lo que asegura que no es posible la transformación y recuperación de toda la energía del viento en otra forma de energía.

Se supondrá que aguas arriba de la pala, el aire que circula por el tubo de corriente, posee una velocidad v en la sección transversal ficticia A1, que es la velocidad del viento sin perturbar, mientras que la velocidad v_0 se corresponde con

otra sección transversal ficticia A2 aguas abajo de la zona en que se encuentra la pala.

En el plano que contiene la pala, la sección transversal batida por la misma sería un disco imaginario de sección A, siendo v la velocidad útil del viento en la misma.

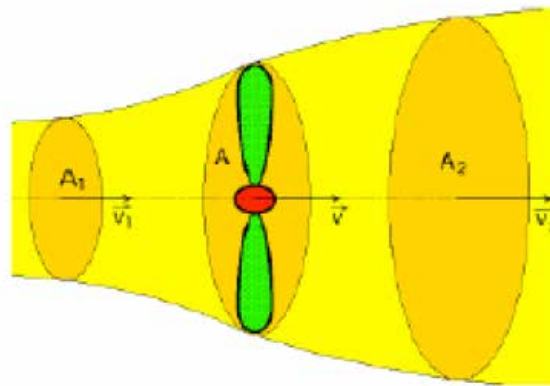


Figura17: Esquema del movimiento del aire a través de un conducto

Fuente: Villarrubia (2011)

La pala se supone como un disco de diámetro d que capta la energía del aire en movimiento que llega a él. Si el disco fuese capaz de captar toda la energía cinética del viento, aguas abajo del mismo el aire estaría en reposo y, por lo tanto, la velocidad sería $v_2 = 0$.

Suponiendo que el gasto masico G de aire que circula por el tubo es constante, se puede poner:

$$G = \rho A_1 v_1 = \rho A_2 v_2 = \rho A v \quad \text{Ec.13}$$

La variación de energía cinética del viento en unidad de tiempo de la fórmula:

$$E_{cinetica} = E_{c1} + E_{c2} = \frac{G}{2} (v_1^2 - v_2^2) = \frac{\rho A v}{2} (v_1^2 - v_2^2) \quad \text{Ec.14}$$

La fuerza "F" ejercida por el viento en la unidad de tiempo $t = 1$ sobre el área ficticia "A" barrida por la pala, es igual a la variación de la cantidad de movimiento del aire que la atraviesa; el trabajo generado por la fuerza "F" en la unidad de tiempo, es la potencia N_{util} , de la forma:

$$N_{util} = Fv = \rho Av(v_1 - v_2)v = \rho Av^2(v_1 - v_2) \quad \text{Ec.15}$$

Que es igual a la variación de la energía cinética del aire en el mismo tiempo púdiéndose poner:

$$\rho Av^2(v_1 - v_2) = \frac{\rho Av}{2}(v_1^2 - v_2^2) \quad v = \frac{v_1 + v_2}{2} \quad \text{Ec.16}$$

Si se hace el cambio $v_2 = bv_1$ con $(0 < b < 1)$, resulta

$$N_{util} = \frac{\rho Av_1^3}{4}(1 + b)(1 - b^2) \quad \text{Ec.17}$$

El máximo valor de N_{util} se obtiene haciendo $\frac{dN_{util}}{db} = 0$, resultanto:

$$(1 - b^2) + (1 + b)(-2b) = 0; (1 + b)(1 - 3b) = 0 \quad \text{Ec.18}$$

Cuyas soluciones son:

$$\begin{cases} b = 1, \text{ que no cumple con la condicion } (0 < b < 1) \\ b = \frac{1}{3} = \frac{v_2}{v_1}; v_1 = 3v_2 \end{cases} \quad \text{Ec.19}$$

Que permita hallar la potencia máxima suministrada por el rotor de valor:

$$N_{util\ max} = 0.37v_1^3 \quad \text{Ec.20}$$

Que se conoce como ecuación de Betz y en la que se ha tomado como densidad media del aire $\rho = 1,25 \frac{Kg}{m^3}$

De todo esto se deduce que la potencia máxima teórica es proporcional al diámetro D del circulo barrido por la pala y al tubo de la velocidad nominal del viento v_1 .

Como la potencia del viento aguas arriba de la pala viene dada por la expresión

$$N_{disponible\ viento} = \frac{\rho Av_1^3}{2} = 0,625Av_1^3 \quad \text{Ec.21}$$

El rendimiento máximo aerodinámico (factor de potencia máximo) es:

$$N_{maximo} = \frac{N_{util\ maxi}}{N_{viento}} = \frac{16}{27} = 0,595 = 59,5\% \quad \text{Ec.22}$$

Que es el límite teórico o coeficiente de Betz, resultando que ninguna maquina eólica, por sofisticada que sea pueda superar esto.

2.2.24. Fuerza aerodinámica (Ley de Betz)

El aerogenerador SAVONIUS se trata de un aerogenerador de arrastre, es decir su funcionamiento se basa en las distintas fuerzas aerodinámicas que ejerce un flujo de aire sobre objetos de diferentes formas. La fuerza aerodinámica que ejerce una corriente de aire sobre un objeto es:

$$F = C \frac{1}{2} \rho A \omega^2 \quad \text{Ec. 23}$$

Donde:

C: Coeficiente aerodinámico

ρ : Densidad

A: área transversal

ω : Velocidad relativa del aire respecto al objeto

La potencia del viento viene dada por la siguiente expresión:

$$P_v = \frac{1}{2} A \rho v^3 \quad \text{Ec.24}$$

Sin embargo, la Ley de Betz nos dice que es imposible que una maquina extraiga toda esa potencia del viento. Asi, la potencia extraida por el aerogenerador dependerá de su coeficiente de potencia:

$$P_{aerog} = C_p P_v \quad \text{Ec.25}$$

$$P_{aerog} = C_p P_v = C_p \frac{1}{2} A \rho v^3 \quad \text{Ec.26}$$

Además de esto, la potencia final que se conseguirá dependerá también de los rendimientos tanto del generador eléctrico como el sistema de transmisión. Por lo que la expresión de la potencia eléctrica conseguida final que dará de la siguiente forma:

$$P_{elect} = N_e N_t P_{aerog} = C_p \frac{1}{2} A \rho v^3 N_e N_t \quad \text{Ec.27}$$

2.2.24.1 Forma de las palas de un aerogenerador tipo Savonius

Si se supone que el rotor está formado por un conjunto de alabes en forma de cazoletas semicilíndricas colocadas de la forma en que se indica en la siguiente figura, la acción del viento originará fuerzas distintas en la parte cóncava y convexa de estas cazoletas, lo que dará lugar a un par que provocará el giro del rotor

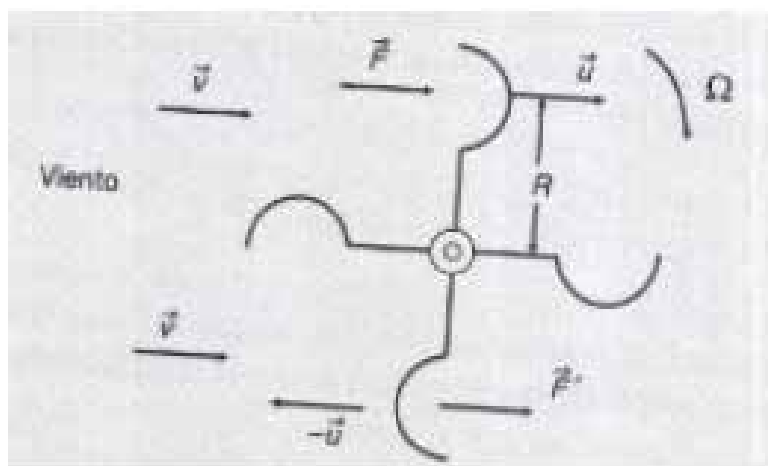


Figura18: Acción del viento sobre un rotor de arrastre diferencial.

Fuente: Villarrubia (2011)

Así, se tienen dos fuerzas F y F'' , que actúan en las cazoletas opuestas que vendrán determinadas por las siguientes expresiones:

$$F = C \frac{1}{2} \rho A (v - u)^2 \quad \text{Ec. 28}$$

$$F'' = C'' \frac{1}{2} \rho A (v + u)^2 \quad \text{Ec.29}$$

Donde:

u : Velocidad lineal de las cazoletas ($u = \omega R$)

v : Velocidad del viento

$v - u$: Velocidad relativa del viento en la cazoleta superior

$v + u$: Velocidad relativa del viento en la cazoleta inferior

2.2.24.3 Velocidad de rotación

Para obtener la velocidad a la que gira el rotor se utiliza la siguiente expresión:

$$\alpha = \frac{\omega R}{v} \quad \text{Ec. 30}$$

Donde:

α : *Velocidad específica (Velocidad tangencial de la pala/velocidad del viento)*

ω : *Velocidad angular [rd/s]*

R : *radio del rotor de aerogenerador [m]*

v : *Velocidad de diseño del viento [m/s]*

2.2.24.3 Fuerza del Viento

El viento al chocar contra las palas del aerogenerador provoca unas presiones en estas que viene determinada por la siguiente expresión:

$$P = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad \text{Ec. 31}$$

Donde:

ρ = *Densidad del aire*

v = *velocidad del viento*

2.2.24.4 Fuerza Centrifuga

La fuerza centrifuga se debe a la rotación del equipo y es la que tiende a alejar las palas del eje de rotación.

$$F = m\omega^2 R \quad \text{Ec. 32}$$

Donde:

m : *masa del cuerpo*

ω : *velocidad de rotacion del cuerpo*

R : *radio de rotacion*

2.2.25 Clasificación de las maquinas eólicas

Las clasificaciones de las maquinas eólicas pueden realizarse atendiendo los siguientes aspectos

- Usos
- Potencias
- Numero de palas
- Velocidades de trabajo

Ø Clasificación por usos

Esta clasificación de las maquinas tienen en cuenta el tipo de trabajo que se va a realizar con ella. Este trabajo puede ser bombeo de agua, generación de energía eléctrica, moliendo de granos

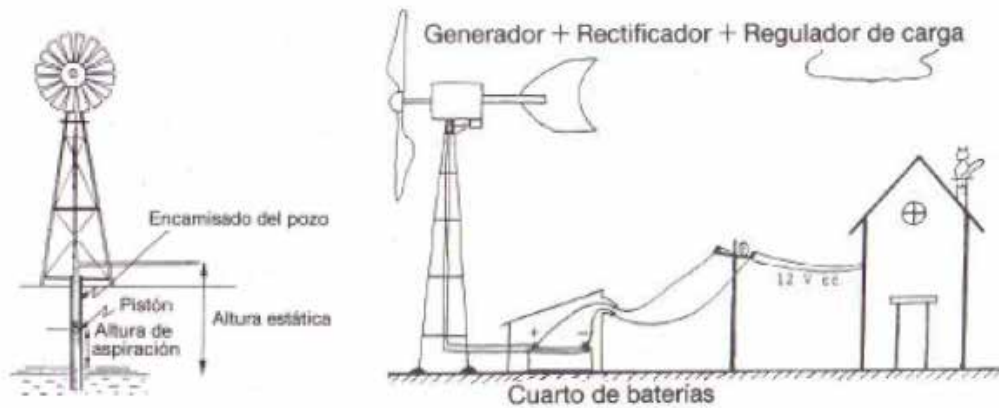


Figura19: a) Maquina eólica para bombeo de agua de pozo. B) Maquina eólica para la generación eléctrica.

Fuente: Rosato.(2017)

Ø Clasificación por potencias

La clasificación por potencia nominal divide las máquinas eólicas en los siguientes grupos

- **Microturbinas (<3kW):**

Suelen ser utilizadas en sistemas aislados para generar electricidad que posteriormente servirá para cargar unas baterías de almacenamiento. El generador eléctrico que normalmente utilizan es de imanes permanentes, y no suelen contar con caja multiplicadora entre el eje del rotor del aerogenerador y el generador eléctrico.

Habitualmente se trata de máquinas de eje horizontal con tres palas y diámetros pequeños (entre 1 y 5 metros) que trabajan a velocidades de rotación elevadas y generalmente variables. La electricidad que producen está en forma de corriente alterna de frecuencia variable, por lo que ésta es rectificadora, almacenada en baterías y posteriormente se convierte de nuevo en alterna pero de frecuencia constante mediante un inversor. Finalmente un transformador es el que se encarga de subir la tensión a la que requiera el servicio.

Ejemplo: máquinas eólicas que se encargan de accionar bombas hidráulicas para la extracción de agua de los pozos.

- **Pequeños aerogeneradores (<50kW):**

También suelen ser utilizados en sistemas aislados para generar electricidad que posteriormente servirá para cargar unas baterías de almacenamiento, es decir, cubren una demanda similar a la del grupo anterior, pero teniendo una mayor potencia.

Además, también suelen utilizarse para formar sistemas híbridos, es decir, sistemas que combinan la energía eólica con otro tipo de energía como puede ser solar, hidráulica, diesel, si la potencia es hasta 10kW el tipo de generador eléctrico sigue siendo de imanes permanentes y sin hacer uso de caja multiplicadora. Sin embargo,

para una gama de potencias más alta se introducen cajas de engranajes entre el eje del rotor y el del generador, ya que el generador eléctrico funciona a unas velocidades mucho mayores que las del rotor del aerogenerador.

Ejemplo: máquinas eólicas que se encargan de la iluminación de granjas de animales.

- Grandes aerogeneradores (<850kW):

En este caso, la producción de electricidad ya se inyecta a la red. Suelen ser aerogeneradores rápidos de eje horizontal que cuentan normalmente con tres palas.

Sus potencias suelen estar comprendidas entre 200 y 850 kW y sus diámetros entre 25 y 55 metros. Cuentan con cajas de engranajes para aumentar la velocidad y así poder accionar el generador eléctrico y sus palas suelen contar con un sistema de regulación (ya sea activo o pasivo) mediante el que se controla la potencia del rotor en función de la velocidad del viento.

Ejemplo: parques eólicos cuando éstos se encuentran en terrenos complejos.

- Aerogeneradores multimegawat (1-3MW):

La electricidad que producen también se inyecta a la red. Son similares a los anteriores en cuanto a cajas de engranajes y sistemas de regulación, sin embargo sus diámetros son mucho mayores (entre 50 y 90 metros) y su altura suele estar entre 60 y 100 metros.

Ejemplo: parques eólicos offshore.

- Hélices de una pala:

La utilización de una turbina eólica monopala aumenta la velocidad de rotación del rotor y por tanto reduce las masas y costos de los demás elementos como el multiplicador y el generador eléctrico. Además, económicamente hablando el costo es muy pequeño, ya que la fabricación es sencilla y la cantidad de materiales también, por el hecho de contar sólo con una pala.

Sin embargo, estas turbinas requieren un contrapeso para que se compense la única pala, y además, el desequilibrio aerodinámico en este modelo es muy grande y causa problemas de fatiga. Otra desventaja es que la velocidad en punta de pala al ser muy alta provoca mucho ruido aerodinámico. Si comparamos este rotor con los rotores tripalas vemos que la velocidad en punta de pala es dos veces mayor en los monopala, por lo que el nivel sonoro resultante es bastante elevado.



Figura20: Hélice monopala

Fuente: Villarrubia (2011)

- Hélices de dos palas:

El costo del rotor es menor que en uno tripala, sin embargo debido a los fluctuantes esfuerzos dinámicos que se originan con esta configuración se requieren dispositivos especiales para disminuir el estado de carga, lo que eleva finalmente el costo global de la máquina, perdiéndose las ventajas económicas respecto a la tripala.

Además, en cuanto a vibraciones, los bipala son más sensibles que los tripala, ya que tienen mayores velocidades en punta de pala.

Además, igual que ocurría en los monopala, los bipala poseen la posibilidad de fijarse al cubo del rotor mediante un dispositivo de oscilación, efecto denominado teetering, una especie de bisagra que permite compensar los esfuerzos que provoca la variación del perfil de velocidad del viento con la altura, lográndose un patrón de esfuerzos externos algo más plano a lo largo del área barrida por la pala.

Otras ventajas se dan en la fabricación, ya que si es de poca potencia y con sistema de control Stahl, su fabricación se puede hacer en un único bloque.



Figura21: Hélice Bipala

Fuente: Villarrubia (2011)

- Hélices de tres palas:

Una de las razones principales para la utilización de tres palas es el momento debido a Coriolis constante, casi nulo, del rotor respecto a los movimientos operacionales alrededor del eje longitudinal de la torre. Todos los rotores con tres o más palas tienen esta propiedad favorable. Por lo que no induce ninguna carga sobre la

estructura debido a éste fenómeno lo que acontece en una simplificación estructural y reducción en los costos de fabricación.

La característica fundamental de esta configuración es su mayor suavidad de funcionamiento respecto a las anteriores. Los rotores de tres palas tienen velocidades de rotación relativamente bajas, lo son también las de punta de pala, constituyendo una gran ventaja respecto a los monopalas y bipalas debido a la reducción en el nivel de ruido que esto conlleva.

Asimismo, de manera diferente a las hélices mono y bipalas las de tres palas gozan de una gran aceptación pública en cuanto al impacto visual que ocasionan.



Figura22: Hélices Tripala

Fuente: Villarrubia (2011)

- Hélices multipalas:

Los rotores multipala, tipo americano, tienen por uso casi excluyente el bombeo de agua. Su elevada fuerza de arranque y su relativo bajo costo los hace muy aptos para accionar bombas de pistón. Se estima que en el mundo existen más de 1.000.000 de molinos de este tipo en operación.



Figura23: Hélices Multipalas

Fuente: Villarrubia (2011)

La clasificación de las máquinas eólicas según su velocidad de funcionamiento hace dividir las en los siguientes grupos:

- Máquinas eólicas rápidas:

En este caso, el número de palas suele ser pequeño y como su potencia por unidad de peso es mayor y además son más ligeros, se pueden construir con radios mucho mayores y situar el buje a alturas también mayores, aprovechando de esta forma el aumento de la velocidad del viento con la altura. Actualmente se construyen rotores de hasta 90 metros de diámetro, alcanzando su potencia nominal los 300kW.

Requieren mayores velocidades de viento para su arranque que las eólicas lentas (necesitan 4-5m/s frente a los 2-3m/s que necesitan las lentas), alcanzan su potencia nominal a velocidades de viento entre 12 y 15 m/s y a partir de 25-30m/s se produce la parada del rotor para evitar daños en la máquina. El valor máximo del coeficiente de potencia C_p está en torno al 0,4 y se da para valores de velocidad específica entre 7 y 10 (valores mayores que en el caso de las eólicas lentas).

Además, como tienen un menor número de palas, es más fácil incorporar mecanismos de control de variación de ángulos de ataque con respecto a la dirección del viento, para así proteger mejor el equipo.

- Máquinas eólicas lentas:

Normalmente cuenta con un elevado número de palas (entre 12 y 24) y su sistema de orientación se da mediante un timón-veleta que hace que el plano de la hélice esté siempre situado perpendicular al viento. Su diámetro es menor que en las máquinas eólicas rápidas (entre 1 y 3 metros), ya que éste está limitado por el peso del rotor y para que arranquen necesitan velocidades de viento entre 2-3m/s.

Sus aplicaciones son sobre todo en instalaciones de extracción y bombeo.

2.2.26 Medida de la velocidad: anemómetro

Los anemómetros son instrumentos para medir la velocidad del viento. Éstos miden la velocidad instantánea del viento, sin embargo, las ráfagas de viento desvirtúan la medida que recogen si lo que se quiere es tener una idea de velocidades medias. Por ello, para conocer velocidades medias lo mejor es realizar diferentes mediciones en intervalos de unos 10 minutos y tomar como medida válida el valor medio de todas las mediciones levadas a cabo.

Hay diferentes tipos de anemómetros:

- Anemómetro de rotación dispone de cazoletas o hélices unidas al eje central, cuyo giro es proporcional a la velocidad del viento y se queda registrado. En el caso de

los anemómetros magnéticos, este giro activa un diminuto generador eléctrico para dar una medida mucho más precisa.

-Anemómetro de compresión: se basa en el tubo de Pitot y está formado por dos pequeños tubos. Uno de ellos cuenta con un orificio frontal (que mide la presión dinámica) y otro lateral (que mide la presión estática). El otro tubo sólo cuenta con un orificio lateral. La diferencia entre las presiones medidas permite determinar la velocidad del viento.

En el caso de los aerogeneradores de baja potencia, los anemómetros suelen ser montados sobre éstos para determinar si sopla el viento suficiente como para poner el aerogenerador en marcha. Por ello, dichos anemómetros no necesitan tener una gran precisión y suelen resultar bastante baratos. Sin embargo, en lo que a la industria eólica se refiere, sí son necesarios anemómetros mucho más precisos y bien calibrados. Por lo que éstos ya no resultan tan baratos.



Figura24: Anemómetro de rotación

Fuente: www.aerogeneradores.blogspot.com

2.2.27 Escala Beaufort

En casos especiales en los que no se dispone del instrumento de medida para la velocidad del viento, se lleva a cabo una estimación de la misma observando los efectos que éste tiene en cuanto a humo, vegetación, superficie del mar,

La escala que se utiliza en este caso se denomina escala de Beaufort, la cual tiene un origen marino y se utiliza desde el año 1848.(Ver tablas de la 1 a la 3)

Tabla1: Escala Beaufort para intensidades de viento

Grados Beaufort	Nudos		m/s		km/h		Descripción	Presión s/superficie Planta en daN/m ²	
	de	a	de	a	de	a		de	a
0	<	1	0	0.2	<	1	Calma		
1	1	3	0.3	1.5	1.0	3.0	Ventolina	0.0	0.3
2	4	6	2.1	3.1	7.4	11.1	Brisa Suave	0.6	1.2
3	7	10	3.6	5.1	13.0	18.5	Brisa Leve	2	3
4	11	16	5.7	8.2	20.4	29.7	Brisa Moderada	4	9
5	17	21	8.8	10.8	31.5	38.9	Viento Refrescante	10	15
6	22	27	11.3	13.9	40.8	50.0	Viento Fuerte	17	25
7	28	33	14.4	17.0	51.9	61.2	Viento muy Fuerte	27	38
8	34	40	17.5	20.6	63.0	74.1	Temporal	40	55
9	41	47	21.1	24.2	76.0	87.1	Temporal Fuerte	58	76
10	48	55	24.7	28.3	89.0	101.9	Temporal muy Fuerte	79	104
11	56	63	28.8	32.4	103.8	116.8	Tempestad	108	137
12	64	71	32.9	36.5	118.6	131.6	Huracán	141	174
13	72	80	37.1	41.2	133.4	148.3		179	220
14	81	89	41.7	45.8	150.1	164.9		226	273
15	90	99	46.3	51.0	166.8	183.5		279	338
16	100	108	51.5	56.6	185.3	200.1		344	402
17	109	118	56.1	60.7	202.0	218.7	Ciclón	409	480

Fuente: Sabino Mastrangelo (2017)

Tabla2: Criterios de apreciación de la intensidad del viento en la escala Beaufot en el mar

Grados Beaufort	Criterios de Apreciación en el Mar
0	Mar en calma
1	Se forman rizas con aspecto de escamas pero sin espuma en las crestas
2	Rizas cortas, pero pronunciadas. Crestas con aspectos cristalinos que no se rompen
3	Grandes Rizas. Las crestas comienzan a romper. Espuma de aspecto cristalino
4	Los olas cortas se alargan
5	Se forman crestas en las undas de aguas acumuladas e estueros y lagunas
6	Comienzan a formarse grandes olas. Las crestas de espuma blanca se forman por todas partes. Brumazones
7	Se agita y la espuma de blanco de las olas comienza a formar regueros
8	Olas altas de mayor longitud. Las crestas comienzan a pulverizarse en brumas. La espuma se escapa
9	Las olas muy altas comienzan a romperse. Las brumas reducen la visibilidad
10	Se rompen violentamente las olas muy altas. Masas de espuma. Superficie del agua blanca. Visibilidad pobre

Fuente: Sabino Mastrangelo (2017)

Tabla3: Criterios de apreciación de la intensidad del viento en la escala Beaufort en la tierra

Grados Beaufort	Criterios de Apreciación en Tierra
0	El humo se eleva verticalmente
1	El viento inclina el humo pero no hace girar las veletas
2	Las hojas se mueven. El viento se siente en el rostro, giran las veletas
3	Las hojas y ramas pequeñas se mueven continuamente. Las banderas de tejido suave se extienden
4	El viento levanta el polvo y papeles sueltos, las ramas se agitan
5	Los árboles pequeños frondosos empiezan a balancearse
6	Se mueven ramas grandes. Vibran los hilos eléctricos, se oye el silbido. Resulta difícil utilizar el paraguas
7	Los árboles se agitan. Es molesto caminar contra el viento
8	Se rompen las ramas pequeñas. Se hace difícil caminar
9	Las ramas medianas se quiebran. Pequeños daños en las estructuras edilicias (se arrancan sombreretes de chimeneas, tejas de los techos, etc.)
10	Los árboles son arrancados de cuajo y daños estructurales considerables
> 11	Destrozos extensos. Techos arrancados, etc.

Fuente: Sabino Mastrangelo (2017)

2.2.28 Generación de electricidad

Según Moragues y Rapallini, (2003). Para obtener electricidad a partir del viento es necesario accionar máquinas que, por arrancar prácticamente en vacío no exigen al rotor eólico un gran par de arranque. Si a esto agregamos las mayores eficiencias de los rotores rápidos es fácil comprender por qué son los que se emplean casi con exclusividad para generación de electricidad.

Los generadores eléctricos pueden ser de corriente continua (dínamos) o de corriente alterna, existiendo en este último caso dos tipos: generadores sincrónicos o

alternadores y generadores asincrónicos o de inducción. Las dínamos tienen el inconveniente de utilizar escobillas, que exigen mantenimiento periódico, y son más pesadas y caras que los generadores de corriente alterna (C.A.) de igual potencia; aunque tienen la ventaja de no necesitar de sistemas especiales para cargar baterías, su uso se ha ido abandonando reemplazándolos por los generadores de C.A., con la excepción de algunos equipos para proveer muy bajas potencias, de construcción artesanal.

2.2.28.1 Circuito equivalente a generador eléctrico

El circuito equivalente del generador, sabiendo que se trata de un generador de imanes permanentes que cuenta con un estator donde se encuentran los bobinados y 2 discos rotor donde se alojan los imanes.

$$V = E - I(R + X_f) \text{ Ec.33}$$

Donde:

V: Voltaje en bornes de las baterías

E: Fuerza electromotriz en circuito abierto

I: Intensidad de corriente que pasa por el conductor

R: Resistencia del conductor

X: Reactancia del bobinado

- **Generador sincrónico**

El generador síncrono, también conocido como alternador síncrono o sincrónico, es un tipo de máquina eléctrica rotativa capaz de transformar energía mecánica en energía eléctrica. Su velocidad de rotación se mantiene constante y tiene un vínculo rígido con la frecuencia f de la red.

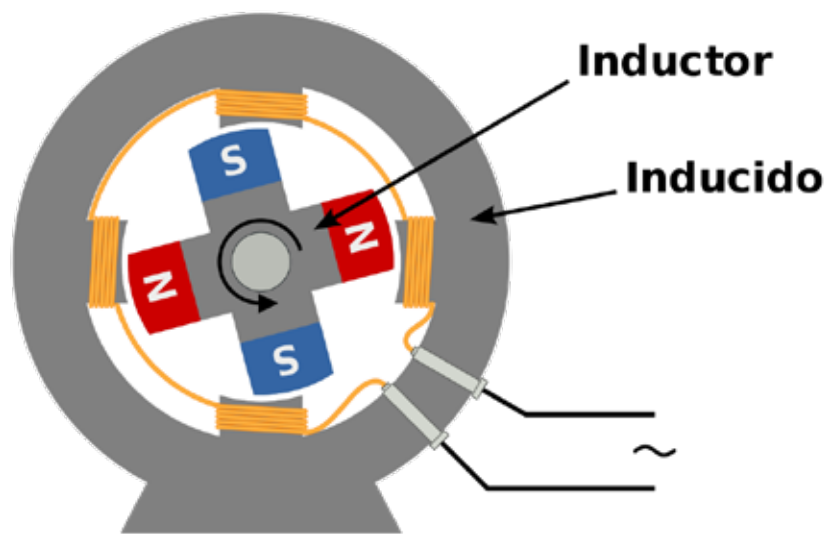


Figura25: Generador Monofasico simple

Fuente: <https://www.google.com/search?q=generador+sincronico&sxsrf=ACYBGNSnRMquZ0YF3kBb-24icTXc3wDNnA:1569897049041&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi-oM:>

Al tratarse de un generador sincrónico, se cumple la siguiente expresión:

$$n = \frac{60f}{P} \quad \text{Ec. 34}$$

Donde:

n: velocidad de giro en rpm

f: frecuencia

P: numero de pares de polos

- **Número de espiras por bobinas**

$$E = 4,4N.f.B.A \text{ Ec. 35}$$

Donde:

E: Fem inducida en cada bobina

N: Numero de espiras/bobina

f: frecuencia

B: Campo magnético creado por lo imanes

A: Área magnética

- **Calculo de voltaje final**

Sabiendo que el voltaje en bornes de las baterías tiene que ser superior a 12V para que la conexión funcione correctamente.

$$V = E - I(R + W_j) \text{ Ec.36}$$

Donde:

E: fem inducida en cada bobina

I: corriente que circula por el conductor

R: Resistencia del bobinado

X: reactancia del bobinado

2.2.28.2 Baterías y Acumuladores

El fundamento de los acumuladores es la transformación de la energía química en eléctrica. Almacenan energía química en su interior para convertirla en eléctrica en el exterior.

Los acumuladores eléctricos mantienen una tensión entre sus dos polos gracias a un proceso químico que sucede en su interior y que luego explicaremos. Esta tensión hace que al conectar un receptor (lámpara, motor, timbre, etc.) entre los dos polos, circule una corriente eléctrica de un polo al otro (del negativo al positivo). Por el receptor pasará esta corriente y se pondrá en funcionamiento.

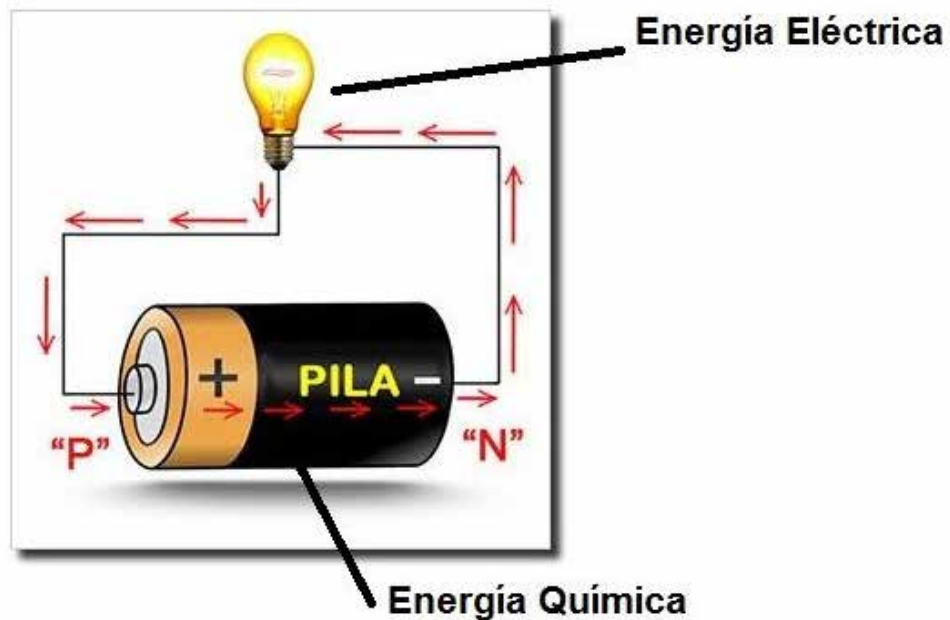


Figura26: Representación de baterías y acumuladores

Fuente: <https://www.areatecnologia.com/baterias-y-acumuladores.htm>

2.2.28.3 Reguladores de carga

Estos elementos son indispensables para el correcto funcionamiento de la instalación en cuanto la unión del aerogenerador con las baterías. Las características eléctricas que lo definen son, su tensión nominal y la intensidad de corriente máxima que es capaz de disparar.

Su principal función es la de impedir que la batería continúe recibiendo energía de aerogenerador, una vez esta haya alcanzado su carga máxima. Si se continuara introduciendo energía al alcanzar este valor máximo la batería podría comenzar procesos de gasificación o calentamiento que acotarían la vida de la misma, haciendo que en ciclos posteriores disminuyera la capacidad de carga de la batería.



Figura27: Regulador de Carga

Fuente:https://www.google.com/search?q=regulador+de+carga&sxsrf=ACYBGNOtx2qScAIIN519e9WioQIDiDuiHQ:1569958043657&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiYnYS85fvkAhUjp1kKHS8lCugQ_AUIEigB&biw=1280&bih=640#imgrc=kRogCZ-wgHyv3M:

- Rectificadores

La función de este dispositivo es convertir la corriente alterna que viene del generador eléctrico a corriente continua para que esta pueda ser almacenada en la batería. Los más utilizados en estos casos son los construidos mediante diodos y tríodos.



Figura28: Rectificador de corriente

Fuente :Smil (2012)

-Inversores:

Tienen como tarea adaptar las características de la corriente generada a la demandada. Las características de este proyecto son que las baterías trabajan en corriente continua y la demanda energética del alumbrado en corriente alterna. Por tanto, será necesaria la presencia de un inversor que transforme la corriente continua en corriente alterna. En el caso de este proyecto se adoptara también por equipos sencillos y que estén diseñados para aplicaciones de autogeneración.



Figura 29 :Inversor CD-AD

Fuente: Smil (2012)

-Variadores de frecuencia:

Este componente realiza el trabajo de pasar de una corriente que tenía una frecuencia variable a convertirla a corriente que tenga una frecuencia constante. Nuestro generador eléctrico, debido a que el viento es variable se consigue corriente con frecuencia variable, que habrá que convertirla en constante, e igual a las bombillas LED que se usen. Así de esta forma, los variadores de frecuencia tienen integrado un rectificador, normalmente de diodos o tríodos, para la conversión de esta corriente alterna de frecuencia variable en corriente continua. a continuación, la corriente continua que es la que se almacena en las baterías, se convertirá mediante un inversor, también integrado dentro del propio variador, en corriente alterna de frecuencia constante con el valor necesario para su utilización.

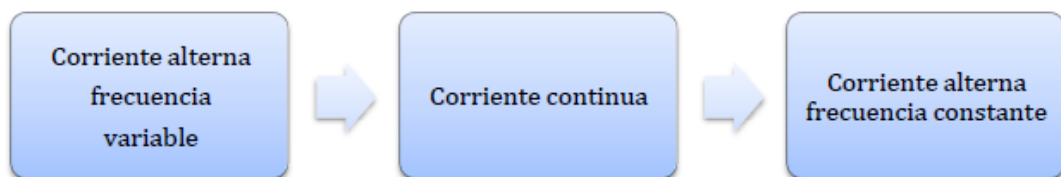


Figura 30 : Etapas de la corriente.

Fuente Smil (2012)

2.2.29 Energía Eólica en el mundo

La energía eólica instalada en el mundo creció un 9,6% en el 2018, hasta situarse en 591000Mwatts, según datos del global Wind Energy Council. China, Estados Unidos, Alemania e India son los primeros productores mundiales.

2.2.30 Energía eólica en Latinoamérica

En el año 2015 fue un año importante para las energías renovables. Se dieron las mayores incorporaciones a nivel mundial marcando records de nuevas instalaciones para la generación eléctrica, y por primera vez el total de inversiones de los países en desarrollo supero a el de los industrializados. La energía eólica domina el crecimiento del sector energético en el mundo y podrá suministrar hasta el 20% de la electricidad global en el 2020, según el último informe del Consejo Mundial de Energía Eólica. En el 2016 la energía eólica se mantiene como el principal sector de las energías renovables de américa latina y el caribe, atrayendo 15500 millones de dólares en inversión

2.2.31 Energía Eólica en Venezuela

Según eoi.es.com en la web. Venezuela presenta vientos con velocidad promedio de 7m/s y 9m/s durante la mayor parte del año, el primer parque eólico venezolano está ubicado en La Guajira Edo Zulia al noreste de Venezuela; sus orígenes se debe a la planificación de la corporación eléctrica de Venezuela, en el que se prevé la instalación de 302Mv; para ello se contrató la empresa de origen argentino IMPSA.



Figura 31: Parque eólico en Venezuela

Fuente:<https://www.google.com/search?biw=1280&bih=640&tbn=isch&sxsrf=ACYBGNSjwN3Y9E>

2.3 Bases Legales

LA ASAMBLEA NACIONAL DE LA REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA Decreta la siguiente, **LEY DE USO RACIONAL Y EFICIENTE DE LA ENERGÍA**

Capítulo I Disposiciones generales

Objeto

Artículo 1. Esta Ley tiene por objeto promover y orientar el uso racional y eficiente de la energía en los procesos de producción, generación, transformación, transporte, distribución, comercialización, así como el uso final de la energía, a fin de preservar los recursos naturales, minimizar el impacto ambiental y social, contribuir con la equidad y bienestar social, así como, con la eficiencia económica del país, mediante el establecimiento de políticas enfocadas en el uso racional y eficiente de la

energía, la educación energética, la certificación de eficiencia energética y la promoción e incentivos para el uso racional y eficiente de la energía.

Sujetos

Artículo 2. Son sujetos de aplicación de la presente Ley, las personas naturales

Definiciones

Artículo 6. o jurídicas, públicas o privadas, nacionales o extranjeras vinculadas con los procesos tecnológicos de producción, generación, transformación, transporte, distribución, comercialización y uso final de la energía, en todo el territorio nacional.

Declaratoria de interés social, público y de prioridad nacional

Artículo 3. Por su importancia estratégica en todos los niveles de la sociedad, a fin de preservar los recursos naturales y el bienestar de las generaciones futuras, se declara de interés social, público y de prioridad nacional el uso racional y eficiente de la energía.

Principios

Artículo 4. Son principios rectores de esta Ley, el control de gestión, la cooperación, la coordinación, la corresponsabilidad, la diversificación de la matriz energética, la eficacia, la eficiencia, la equidad social, la participación social, la preservación del ambiente, la soberanía tecnológica y la transparencia.

Cooperación interinstitucional

Artículo 5. Los órganos y entes del Poder Público deberán colaborar entre sí en la consecución de los objetivos y fines planteados en la presente Ley.

A los efectos de la correcta interpretación y aplicación de la presente Ley, se definen los siguientes términos:

1.Eficiencia Energética: Es la relación entre la cantidad de energía consumida y los productos y servicios finales obtenidos.

2.Energías Alternativas: son aquellas que permiten la generación de energía eléctrica en sustitución de las fuentes de energía convencional, que en la República son los hidrocarburos líquidos y gaseosos, así como la hidroelectricidad.

3.Energía Renovable: Aquella que se obtiene del aprovechamiento de fuentes de energía primaria naturales capaces de regenerarse, entre otras: energía solar, energía eólica, bioenergía, energía hidráulica, energía geotérmica, energía mareomotriz, gases de desechos, gases de plantas de depuración y biogás.

4. Uso eficiente de la energía: Es el óptimo aprovechamiento de cada unidad de energía recibida, mediante el uso de equipos, sistemas y procesos tecnológicos adecuados para satisfacer las necesidades de los usuarios.

5. Uso racional de la energía: Modelo de conducta que permite satisfacer las necesidades de cada usuario o usuaria, con el menor consumo posible.

6. Certificado de Eficiencia Energética: Documento que expresa la conformidad con los parámetros establecidos en las normativas de eficiencia para un equipo, sistema, edificación y material.

Capítulo II

Del desarrollo tecnológico y del aprovechamiento de las fuentes de energía.

Capital productivo nacional

Artículo 7. En ejecución del principio de soberanía tecnológica, el Poder Público debe propiciar las condiciones necesarias para que se desarrolle el capital productivo nacional, para el suministro de servicios especializados, insumos, productos y bienes propios en general que, a su vez, conduzcan a la transformación tecnológica de los procesos y sistemas instituidos en el territorio nacional.

Promoción de nuevas tecnologías

Artículo 8. El Estado venezolano promoverá el establecimiento y desarrollo en el territorio nacional, de industrias, fábricas y unidades de producción que empleen nuevas tecnologías para el diseño y elaboración de bienes de consumo masivo, dando

un tratamiento prioritario al aprovechamiento de energías renovables. Para el logro de estas acciones, se podrán ejecutar las cláusulas sobre transferencia tecnológica contenidas en los instrumentos internacionales vigentes.

Actuación coordinada para la ejecución de proyectos

Artículo 9. El Ejecutivo Nacional por órgano del Ministerio del Poder Popular con competencia en materia de ciencia y tecnología, el Ministerio del Poder Popular con competencia en materia de comercio, el Ministerio del Poder Popular con competencia en materia de energía eléctrica y el Ministerio del Poder Popular con competencia en materia de petróleo y minería, deberán establecer mecanismos que fomenten la ejecución de proyectos productivos nacionales que involucren el uso de tecnologías que aprovechen las energías renovables.

Equipos y productos de energías renovables

Artículo 10. El sector comercial favorecerá la distribución y venta de equipos y productos que empleen bajo consumo, alta eficiencia y energías renovables como fuente energética sustitutiva.

Registros y certificaciones

Artículo 11. El aprovechamiento de las energías renovables, está sujeto a los registros y las certificaciones que emita el Ejecutivo Nacional, por órgano del Ministerio del Poder Popular con competencia en materia de energía eléctrica.

Norma Venezolana COVENIN 3290 Alumbrado. Diseño

Normas COVENIN:

COVENIN 3126: Alumbrado publico. Definiciones:

COVENIN 11: 10-011 alumbrado publico. Construccion

COVENIN 200-90 codigo eléctrico nacional.

1. Criterios para dotar de alumbrado a una vía

1.1 Naturaleza de la via, tipo y volumen del trafico.

Las vías interurbanas con tránsito vehicular a velocidad 50km/h o mas debe al menos iluminarse a una extensión no menor de 100m en cada extremo de las comunidades.

Las autopistas u otras vías expresas interurbanas ubicadas en zona rural, deben iluminarse si se dan algunas de las condiciones siguientes:

- El valor de las perdidas por accidentes nocturnos es igual o mayor que la inversión anual del alumbrado.
- El volumen de tráfico nocturno justifica en tiempo de recorrido, la inversión en la instalación.
- La vía interconecta dos centros poblados muy cercanos en proceso de integración.
- Las condiciones de visibilidad de la vía amerita para la mayor seguridad de los usuarios o de las instalaciones adyacentes, un sistema de alumbrado.

1.2 Beneficios económicos del alumbrado publico

El alumbrado de vías fuera de las zonas urbanas, resulta de la creciente valorización de los beneficios económicos obtenidos por la reducción de accidentes nocturnos al instalarse el alumbrado público.

Para abordar la tarea las vías rurales del país, los planificadores del alumbrado público deben definir:

- El presupuesto anual para los programas de alumbrado público.
- Las prioridades de longitudes de vías a iluminar de acuerdo a dichos programas.

Las rutas más importantes son las que tienen mayor flujo de tráfico y para un mismo tipo de vía el número de accidentes será proporcional al flujo de vehículos, este último parámetro puede ser considerado como un factor cualitativo para determinar la necesidad de alumbrado.

Es recomendable, sin embargo, que se haga un estudio de la relación coste/beneficio, para establecer la factibilidad tanto del programa de alumbrado de vías como del orden de prioridades en que se debe realizarse, en función de los recursos financieros que deben ser aportados.

Los costos a ser considerados en un sistema de alumbrado público son los siguientes:

- Costo del capital para las instalaciones, incluyendo su amortización
- Costos anuales de operación y mantenimiento, incluyendo los reemplazos de equipos
- Costo anual del consumo de energía

Los posibles beneficios que se derivan son:

- Reducción del número de gravedad de los accidentes de tránsitos nocturnos
- mayor comodidad para los usuarios
- Reducción del tiempo de viaje
- Incremento en el número de viajes nocturnos
- Mejoramiento de las condiciones ambientales

De estos factores, el único cuantificable en términos de dinero es el relativo a la reducción de accidentes nocturnos que se espera con la instalación.

El ahorro en accidentes continuara a lo largo de la vida del sistema y es de esperarse que aumente al tras año a medida que el número de accidente se eleve, en proporción con el mayor volumen de tráfico que se espera.

Los costos de operación y mantenimiento así como las de las energías, siempre estarán presente y posiblemente también experimentan aumentos a parte de los debidos a la inflación.

2.Criterios para la clasificación del alumbrado publico

2.1 Según la velocidad del tráfico

Muy importante	Mayor de 90 km/h
Importante	Entre 60 km/h y 90 km/h
Media	Entre 30 km/h y 60 km/h
Reducida	Menor a 30 km/h
Muy reducida	Al paso

Figura27: Importancia de iluminación según la velocidad del tráfico

Fuente: Norma COVENIN

2.2 Según el Volumen de tráfico

Muy importante	Mayor de 1000 vehículos/h
Importante	Entre 500 y 1000 vehículos/h
Medio	Entre 250 y 500 vehículos/h
Reducido	Entre 100 y 250 vehículo/h
Muy reducido	Menos de 100 vehículo/h

Figura28: Importancia de iluminación según el volumen del tráfico

Fuente: Norma COVENIN

3. Criterios Generales de diseño

3.1 Generales

- Permitir a los usuarios de la red vial, circular por ella con toda seguridad y con máxima comodidad
- Visualizar cómoda y rápidamente, no solo los bordes de las vías y sus superficies, sino también las curvas, irregularidades, y los objetos fijos y móviles situados sobre la calzada.
- Mejorar las condiciones de visibilidad, lo cual construye un medio eficaz para reducir la frecuencia de accidentes y para aumentar la capacidad de tránsito

-Permitir a los otros usuarios de la vía (peatones, ciclista, otro) ver sin riesgo de error o de deslumbramiento, todo vehículo que se acerque. Esto es aplicable que está atravesando la vía, como el que se dispone a hacerlo.

3.2 Seguridad

-La seguridad se logra si el alumbrado permite a los usuarios que circulan a paso normal, evitar un obstáculo cualquiera ubicado sobre la acera o la calzada.

-Se puede considerar que el criterio de seguridad consiste en visualizar un objeto fijo o móvil, constituido por una superficie de 15cm x 15 cm con un factor de reflexión de 0,15

-la seguridad de un peatón se logra si puede distinguir este objeto a una distancia de 10m.

-La seguridad de un conductor dependerá de su velocidad de desplazamiento. A velocidad media (60km/h), debe percibir este objeto a una distancia de hasta 100m. Para velocidades más altas, esta distancia varía entre 100m y 200m.

3.3 Comodidad

-La comodidad de una instalación de alumbrado público depende del patrón de luminancia, de la ausencia de deslumbramiento, de la disposición y de la naturaleza de las fuentes luminosas. Estos criterios deben ser escogidos de manera tal que reduzca al mínimo la fatiga del conductor y disminuya su tensión nerviosa.

-En las carreteras y vías de penetración, la iluminación debe además asegurar una continuidad óptica para permitir a los conductores circular a buena velocidad y observar fácilmente toda la geometría de la vía.

3.4 Economía

-Aumento de la eficiencia de las vías en horas nocturnas (el tráfico nocturno de una vía es como máximo la prevista para el día).

-Disminución de costos de transporte por tiempo de recorrido.

-Disminución en las pérdidas económicas por accidentes y actos delictivos.

-Mejoramiento de la actividad nocturna.

-Permitir la ejecución durante la noche de trabajos que de otra manera solo podrían ejecutarse sobre el día.

3.5 Estética

-Resaltar o permitir la visión nocturna de valores estéticos, como pueden ser, monumentos, jardines, fuentes y sitios pintorescos.

-Mejorar el aspecto de las calles de ciudades y pueblos

4. Teoría de la iluminación vial

Los aspectos teóricos y experimentales más importantes que deben tomarse en cuenta para juzgar y enfocar adecuadamente el problema de la iluminación de vías., son:

-Funcionamiento del sistema vial del ser humano

-funcionamiento de la visión del conductor de vehículos

-Comportamiento del conductor de vehículos ante las condiciones de estímulos visuales

-Cálculos de iluminación

-Diseño geométrico de vías

-La iluminación desde el punto de vista estético

-Mediciones en las instalaciones

2.4 Definición de términos Básicos

Alternador: es una máquina eléctrica, capaz de transformar energía mecánica en energía eléctrica, generando una corriente alterna mediante inducción electromagnética.

Condensador eléctrico: Un condensador eléctrico (también conocido frecuentemente con el anglicismo capacitor, proveniente del nombre equivalente en inglés) es un

dispositivo pasivo, utilizado en electricidad y electrónica, capaz de almacenar energía sustentando un campo eléctrico

Corriente eléctrica: es el flujo de carga eléctrica que recorre un material.² Se debe al movimiento de las cargas (normalmente electrones) en el interior del mismo. Al caudal de corriente (cantidad de carga por unidad de tiempo) se le denomina intensidad de corriente eléctrica.

Eficiencia eléctrica: es el objetivo de reducir la cantidad de energía requerida para proporcionar productos y servicios.

Flujo eléctrico: es una magnitud escalar que expresa una medida del campo eléctrico que atraviesa una determinada superficie, ² o expresado de otra forma, es la medida del número de líneas de campo eléctrico que penetran una superficie.

Fotocélula: es un dispositivo electrónico que permite transformar la energía lumínica (fotones) en energía eléctrica (flujo de electrones libres) mediante el efecto fotoeléctrico, generando energía solar fotovoltaica.

Generador Eléctrico: Un generador eléctrico es todo dispositivo capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrica entre dos de sus puntos (llamados polos, terminales o bornes) transformando la energía mecánica en eléctrica.

Generador Síncronico: El generador síncrono, también conocido como alternador síncrono o sincrónico, es un tipo de máquina eléctrica rotativa capaz de transformar energía mecánica en energía eléctrica.

Lámpara metal Halide: también conocidas como lámparas de aditivos metálicos, lámparas de halogenuros metálicos, lámparas de mercurio halogenado o METALARC, son lámparas de descarga de alta presión, del grupo de las lámparas llamadas HID (High Intensity Discharge). Son generalmente de alta potencia y con una buena reproducción de colores, además de la luz ultravioleta.

Turbina: Turbina es el nombre genérico que se da a la mayoría de las turbomáquinas motoras. Estas son máquinas de fluido, a través de las cuales pasa un fluido en forma continua y éste le entrega su energía a través de un rodete con paletas o álabes.

Turbogenerador: Generador eléctrico movido por una turbina hidráulica, de vapor o de gas.

Voltaje: es una magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos. También se puede definir como el trabajo por unidad de carga ejercido por el campo eléctrico sobre una partícula cargada para moverla entre dos posiciones determinadas. Se puede medir con un voltímetro.³ Su unidad en el Sistema Internacional de Unidades (SI) es el voltio.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de Investigación

El marco metodológico representa el plan o metodología a seguir como un conjunto ordenado de procedimientos que van a permitir obtener, clasificar, comprender y organizar los datos relevantes y poder así, plantear las soluciones al problema investigado. Así mismo, Arias (2006), destaca que aquellos valores o datos que se pueden expresar numéricamente, son llamados variables de tipo cuantitativa, el cual es el tipo de variable a utilizar en este trabajo.

Arias (2006) señala que se realizará el estudio para responder al problema planteado, e incluye el tipo o tipos de investigación, las técnicas y los instrumentos que serán utilizados para llevar a cabo la indagación. A su vez describe que un proyecto factible como la elaboración de una propuesta viable, destinada a entender necesidades específicas a partir de un diagnóstico.

Así mismo, el presente trabajo se desarrollará como tipo proyecto factible, dado que es un modelo viable para solventar problemas y requerimientos de la Autopista Regional del Centro Tramo Peaje Guacara-Tunel la Cabrera, de allí, que la delimitación de planteamiento final sea única y exclusivamente dirigida a la instalación de postes de alumbrado público abastecidos mediante energía eólica.

3.2 Diseño de la Investigación

Arias (2012), pronuncia que un diseño de campo consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios). Claro está, en una investigación de campo también se emplean datos secundarios, sobre todo los provenientes de fuentes bibliográficas, a partir de los cuales se elabora el marco teórico. En concordancia con los objetivos propuestos, los datos necesarios para esta evaluación serán recolectados de forma

directa en basea las impresiones tanto de los directivos y fundadores como por los diseñadores, lo que enmarca como un diseño de campo.

Cabe destacar, que los datos se recogerán en el sitio donde ocurra la problemática en estudio y a su vez se ejecuta un proceso de análisis de los datos obtenidos. Es por eso, que esta investigación quiere indagar en la búsqueda de una solución efectiva que pueda ser aplicado a la Autopista Regional del Centro tramo peaje de Guacara-Tunel la Cabrera, a través del diseño de postes de alumbrado público auto abastecidos mediante la energía eólica.

3.3 Nivel de Investigación

Arias. (2012), destaca que una investigación de tipo descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere. Es por ello que Este trabajo se encontrara enmarcado en una investigación de tipo descriptiva.

En este orden de ideas, la investigación se basara en describir la situación y las variables que afectan o que deben estudiarse en la Autopista Regional del Centro Tramo peaje Guacara-Tunel la Cabrera, y de esta manera fijar los parámetros por los cuales se registrá la investigación.

3.4 Población y Muestra

Arias (2012), argumenta que la población, o en términos más precisos población objetivo, es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Así mismo se seleccionara una población de tipo finita ya que Arias lo denomina como aquella cuyo elemento en su totalidad son identificables por el investigador, que realmente se tiene acceso y de la cual se extrae una muestra representativa. El tamaño de la población accesible depende del tiempo y de los recursos del investigador. Espor

ello que se tomara como población finita los 19.5km de distancia que hay desde el peaje de Guacara hasta el Túnel la Cabrera.

Arias (2012), señala que la muestra es un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población, cuando en diversas razones se hace imposible abarcar la totalidad de los elementos que conforman la población, se recurre a la selección de una muestra, el cual permite hacer inferencia o generalizar los resultados con un margen de error conocido. Basado en esto, se tomaran los 19.5km de distancia para así poder calcular la cantidad de postes de alumbrado público a utilizar.

3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Sabino (1992), señala que una técnica de recolección de información es “cualquier recurso de que se vale el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información”. Información que ha de ser usada en este trabajo para comprender el proceso que se llevara cabo en el área de motores. A su vez, Arias (2006) destaca que un instrumento de recolección de datos es cualquier recurso, dispositivo o formato (papel o digital), que se utiliza para obtener, almacenar o registrar información. Por ello, las técnicas e instrumentos a ser usadas serán:

Observación directa:

Para Arias (2012), esta técnica consta en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función, a los objetivos de la investigación preestablecidos, por ende, haciendo acto de presencia en el campo de estudio, se atestiguará el estado actual del área, con la finalidad de obtener y registrar información para su posterior análisis, de forma pasiva. Los instrumentos a ser usados son: Cuaderno de notas y una cámara fotográfica.

3.6 Fases Metodológicas

Fase I. Determinación del consumo de energía eléctrica por el alumbrado público en la ARC tramo peaje Guacara-túnel la Cabrera.

1. Observación directa del alumbrado público en la totalidad del tramo
2. Recopilación de datos obtenidos para posteriores cálculos del consumo total de energía
3. Informes del INAME sobre el viento para Carabobo

Fase II. Diseñar postes de alumbrado público con hélices para aplicar la energía eólica

1. Evaluar las variables del flujo de viento en la zona
2. Adaptación del mas óptimo sistema de hélices para la generación de energía
3. Ubicación correcta del sentido de absorción de las hélices

Fase III. Establecer plan de instalación, montaje, mantenimiento y seguridad del aerogenerador..

1. Para la instalación y montaje : tipo de poste, altura .Buscar normas COVENIN
2. Mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo
3. Instalación de pararrayos y altura suficiente para evitar robos

Fase IV. Evaluación del impacto social y ambiental que se genera con la implementación del sistema de alumbrado público con aerogeneradores en la ARC tramo peaje Guacara-Tunel la Cabrera.

1. Justificar con estadísticas de accidentes viales falta de alumbrado
2. Para la parte ambiental mostrar contaminación de bombillos usados

Fase V. Factibilidad de la instalación del sistema de alumbrado público con aerogeneradores en la ARC tramo peaje Guacara-Túnel la Cabrera.

1. Indagar precios de cada equipo y materiales a utilizar.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Determinar el consumo de energía eléctrica por el alumbrado público en la autopista regional del centro tramo Peaje Guacara-Túnel la Cabrera

Para determinar el consumo de energía eléctrica en el tramo peaje Guacara túnel la Cabrera, se desarrolló una serie de investigaciones de distintos tipos de consumos eléctricos, tiempos meteorológicos, estandarizaciones bajo las normas de CORPOELEC y COVENIN acerca del alumbrado público, mediante esto se observó que para un poste de alumbrado público de vías principales como una autopista de canales altamente transitados se pueden usar bombillos para la iluminaria tales como, sodio 250 con un consumo de arranque de 250 watts, metal halide con un consumo de arranque de 150 watts y bombillos led con consumo de 60watts de arranque, a raíz de esto se tomó la decisión de seleccionar el bombillo led con un consumo de 60watts debido que posee un menor consumo eléctrico y un menor impacto ambiental.

Venezuela se encuentra al Norte de Sur América, entre latitudes 2° y 12° N, por lo tanto se estima un promedio de 12 horas sin luz solar desde las 19:00 hasta las 7:00 es por ello que se asume un consumo de 12 horas al día de energía eléctrica. A raíz de esto se calculó que un bombillo consume 60 watts al estar encendido, su consumo anual por 12 horas continuas cada día, en su totalidad consumirá 262,8 KWatts en un año.

A su vez se hizo el análisis de la longitud total del tramo a ser estudiado (Peaje Guacara-Tunel la Cabrera) el cual arrojo unos resultados de 19.5Km por cada sentido

de la autopista dándonos un total de 39Km a ser iluminados.

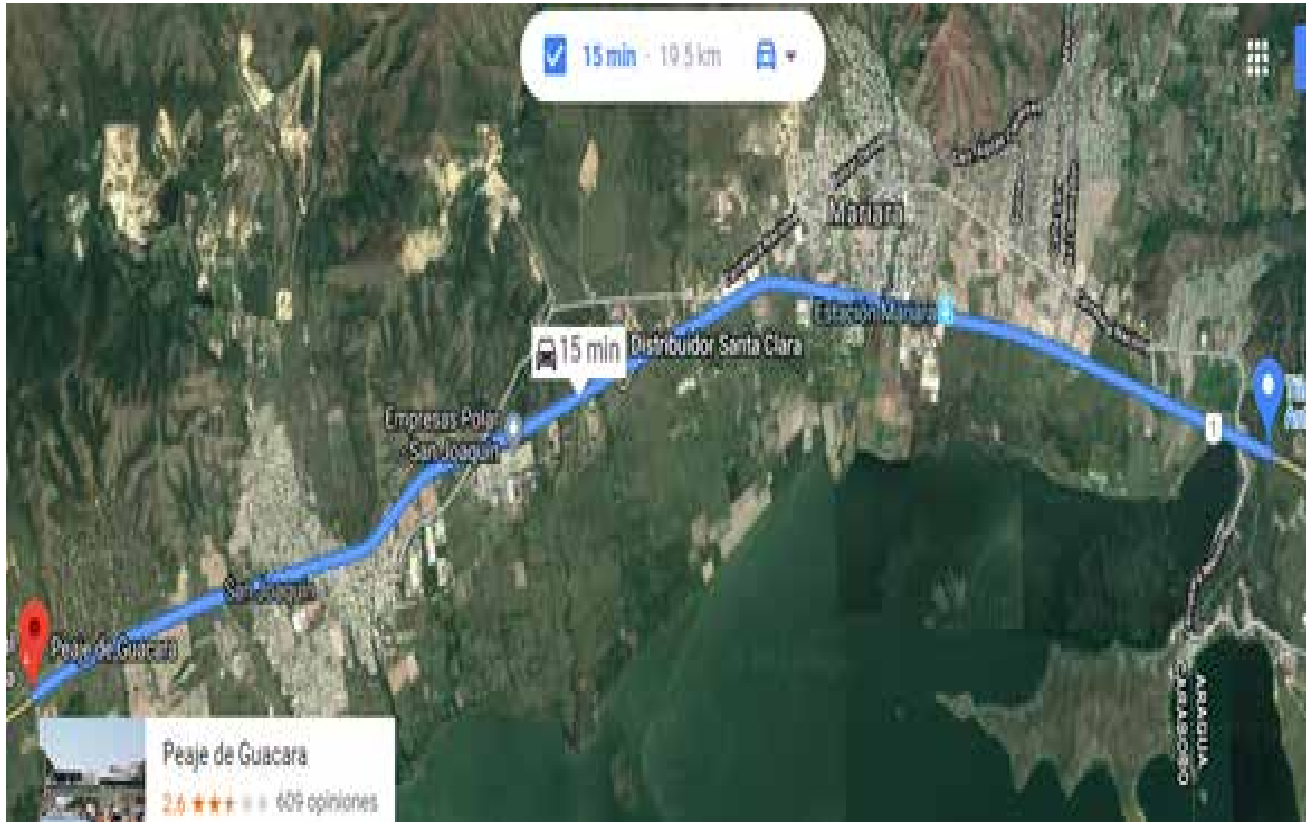


Figura 32 :Tramo peaje Guacara-Túnel la Cabrera

Fuente: GoogleMaps

Por lo tanto rigiéndose bajo la normalización y estandarización COVENIN 3290:1997 (Alumbrado Público Diseño) la cual establece que las iluminarias en catenarias consiste en la fijación de la iluminaria a lo largo de un cable suspendido a su vez de otro, soportados desde postes o torres separadas de 60 o 90 metros entre si y la altura de las luminarias con relación a la vía normalmente está entre 10 metros y 15 metros, y la interdistancia varia de dos a cuatro veces la altura del montaje. Guiándonos por esto se estableció que la altura de cada poste será de 15 metros y su interdistancia será de 60 metros, por lo tanto al tener una distancia de 39mil metros totales a iluminar con un poste de luz a cada 60 metros lo cual nos indica que tendremos un total de 650

postes de alumbrado público cada uno con su bombillo led correspondiente para así tener un consumo total de energía de 48750watts al encendido teniendo un consumo diario de 585Kwatts de energía eléctrica.

4.2 Diseñar postes de alumbrado público con aerogeneradores para la transformación de energía eólica a energía eléctrica

4.2.1 Determinación del recurso eólico en la autopista regional del centro tramo Peaje de Guacara- Túnel la Cabrera.

En Venezuela el recurso eólico se encuentra presente en la mayoría del territorio nacional, pero para conocer con certeza cuales lugares o zonas son más susceptibles para generar electricidad mediante el recurso del viento se toman dos fuentes de información la primera de ellas es el servicio de meteorología de la fuerza aérea venezolana, esta institución suministra información y alertas climatológicas para garantizar en operaciones aéreas de la fuerza armada y otras instituciones que necesiten de esta información, el servicio de meteorología de la fuerza aérea venezolana cuenta con una red de estaciones climatológicas que permiten coleccionar, resumir y procesar datos sobre la temperatura, velocidad del viento, dirección del viento, humedad, entre otros. Estas estaciones se encuentran tanto en zonas rurales como urbanas, normalmente en aeropuertos y bases militares.

Para la elaboración del diseño de los aerogeneradores se recolectaron los datos climatológicos pertinentes en la estación militar climatológica Base Sucre Maracay. Para la estación Maracay base sucre 80413 se tienen los valores mostrados en las tablas del 4 a la 6 .

Tabla 4

Temperatura media en la autopista regional del centro tramo peaje Guacara-Túnel la
Cabrera

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2011	24,5	24,8	25,2	26,1	25,5	25,9	25,2	25,3	25,2	26,7	25,7	24,3
2012	24,2	24,6	25,8	26,4	25,6	25,6	25,5	24,6	25,1	25,5	26,1	25,4
2013	25,1	25,7	27,8	27,6	26,0	25,4	25,4	25,2	25,6	25,6	25,1	25,2
2014	25,1	25,8	26,1	28,3	27,6	27,1	26,1	25,4	25,8	25,7	25,6	25,7
2015	25,4	26,3	26,2	28,0	28,0	27,1	26,6	26,4	26,8	26,6	26,5	26,7
2016	26,1	27,5	28,0	27,8	26,8	26,1	26,2	25,6	25,5	25,8	25,7	24,8
2017	24,4	25,3		27,0								

Fuente: Climatología INAME

Tabla 5 Humedad relativa media en la autopista regional del centro tramo peaje
Guacara-Túnel la Cabrera

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2011	76	74	71	73	83	80	83	81	79	82	74	68
2012	76	66	67	64	72	68	70	77	75	74	71	74
2013	68	67	62	64	70	74	74	77	78	78	77	72
2014												
2015	75	74	77	70	69	73	77	66	67	66	71	57
2016	54	52	54	59	63	62	62	69	70	73	72	83
2017	75	67		69								

Fuente: Climatología INAME (2019)

Tabla 6 Viento medio en la ARC

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2011	4,0	4,2	4	5,0	4,2	4,2	4,8	5,0	5,5	5,9	5,5	4,4
2012	5	5,3	4,9	4,7	5,5	4,3	5,0	6,0	6,2	4,8	5,9	5,0
2013	4,5	4,6	4,6	5,3	4,7	5,4	5,8	6,1	6,0	5,6	5,3	5,4
2014	4,5	5,4	5,2	4,6	5,4	4,5	5,2	5,9	6,1	5,4	5,5	5,1
2015	4,4	5,2	4,5	4,3	5,2	5,6	5,7	6,0	6,2	5,6	5,3	5,2
2016	4,8	5,0	4,3	4,5	5,3	4,8	5,5	6,1	6,1	5,4	5,6	5,6
2017	4,5	4,0	4,4	5,6	5,3	5,0	4,8	5,5	5,8	6,3	-	-

Fuente: Climatología INAME (2019)

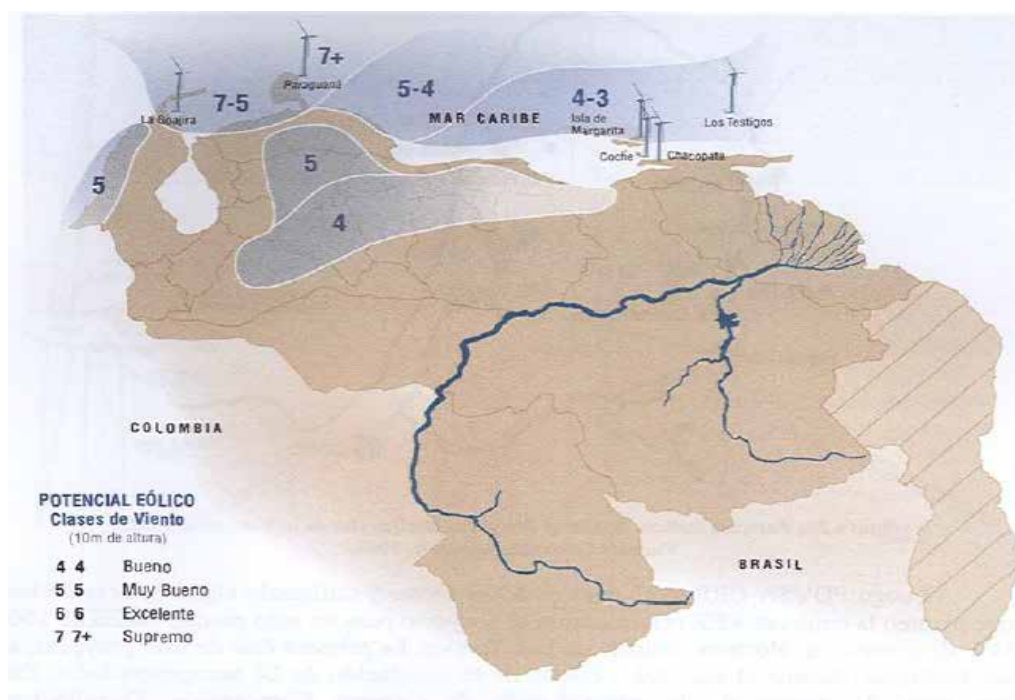


Figura33 : Mapa del potencial Eólico en Venezuela. 2011

Fuente: Climatología INAME (2019)

Tomando en cuenta las variables de la velocidad del viento en este sector del país se observó que la velocidad promedio alcanza un nivel óptimo para la implementación de aerogeneradores, analizando la figura se visualiza que la región centro occidental del país consta con un nivel 4 (bueno) para aprovechar la fuerza aerodinámica que genera la velocidad del viento.

4.2.2 Determinación del tipo de aerogenerador a implementar en los postes de alumbrado público.

A partir del análisis completo de las variables anteriormente mencionadas, se tomó la decisión de implementar un aerogenerador de tipo SAVONIUS, debido que está dentro de la familia de los aerogeneradores de eje vertical, los cuales son más sencillos en su fabricación e instalación, donde también se destacan por un mantenimiento mínimo, siendo su mejor ventaja la facilidad de arranque con poca velocidad del viento y no necesita un sistema de orientación del viento, debido que funciona con vientos de cualquier dirección. No obstante el mayor inconveniente que tiene es que su rendimiento es de los más bajos en cuanto a aerogeneradores de eje vertical, pero suficiente para generar la energía deseada.

El aerogenerador SAVONIUS se trata de un aerogenerador de arrastre, es decir su funcionamiento se basa en las distintas fuerzas aerodinámicas que ejerce un flujo de aire sobre objetos de diferentes formas.

El dimensionamiento de la máquina debe realizarse para la velocidad de diseño dada por una velocidad media extraída de los datos reflejados en la tabla 6, además por la potencia de consumo de los bombillos LED a colocar.

Sin embargo, la Ley de Betz nos dice que es imposible que una máquina extraiga toda esa potencia del viento. Así, la potencia extraída por el aerogenerador dependerá de su coeficiente de potencia (ver ecuación 25)

Además de esto, la potencia final que se conseguirá dependerá también de los rendimientos tanto del generador eléctrico como el sistema de transmisión. Por lo que

la expresión de la potencia eléctrica conseguida final que dara de la siguiente forma.
(Ver ecuación 26)

4.2.3 Cálculo del Área del aerogenerador

La Ley de Betz nos dice que el mecanismo solo aprovechara un 59,5% de la potencia generada por el viento, debido a las perdidas mecánicas en conjunto con el choque del viento. Asumiendo esto, se tomo un $C_p = 0,6$. La potencia eléctrica total a generar de 65Watts, la velocidad media del viento en ese sector es de 5 m/s y la densidad del viento es de $1,25 \text{ Kg}/\text{m}^3$. Asumiendo un rendimiento eléctrico y de transmisión de 95% se procede a calcular el área requerida del dispositivo mecánico para la generación de energía necesaria del foco. (ver ecuación 27)

Despejando la ecuación 27 obtenemos el área de nuestro aerogenerador

$$P_{elect} = C_p \frac{1}{2} A \rho v^3 N_e N_t \quad A = \frac{2P_{elect}}{C_p \rho v^3 N_e N_t} \quad \text{Ec27}$$

$$A = 1,536\text{m}^2$$

En el caso de los rotores tipo SAVONIUS este área es el área barrida por el rotor, por lo que $A = HD$

Además, por razones de diseño se realizo una relación optima entre el diámetro y la altura, por lo que H será 1,5D.

Por lo que las dimensiones del rotor serán:

$$D = 1\text{m}, H = 1,5\text{m}.$$

Ø Determinación de la forma de la Palas para el aerogenerador tipo SAVONIUS

Si se supone que el rotor está formado por un conjunto de alabes en forma de cazoletas semicilíndricas colocadas de la forma en que se indica en la figura 34, la

acción del viento originara fuerzas distintas en la parte cóncava y convexa de estas cazoletas, lo que dará lugar a un par que provocara el giro del rotor .

Al ser nuestro $C_p = 0,6$ esta expresión es no viable debido que se observa que quedara un coeficiente de potencia muy pequeño por lo que seria necesaria un area muy grande para conseguir la potencia deseada en los postes de alumbrado publico. Por ello, se siguieron revisando estudios sobre el aerogenerador SAVONIUS de este tipo y se llevo a la conclusión que colocando una apantallamiento, direccionado mediante un sistema de timon-valeta, el coeficiente de potencia aumentaba considerablemente. A raíz de esto, en este proyecto se va optar por otro diseño del Savoinus que tenga un C_p razonable y que no necesite un sistema de protección mediante el direccionamiento del viento, ya que nos quitaría nuestra principal ventaja la cual es, que el viento en cualquier dirección pueda entrar a las palas y generar energía.

De esta manera, se opta por la forma de las palas de la figura 34

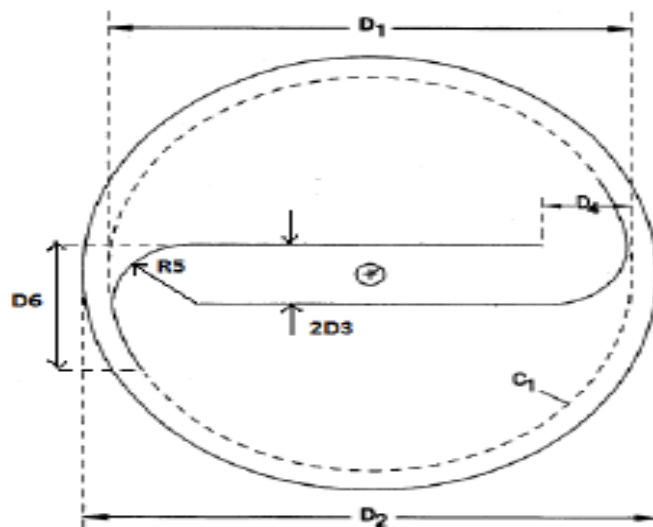


Figura 34: Forma del rotor.

Fuente: Wind Turbine with Savonius Type roto, Alvin H, Benesh

De esta forma, el resto de las dimensiones del rotor, serán:

$$D_2 = 1,1D = 1,1m$$

$$D_3 = 0,075D = 0,075m$$

$$D_4 = 0,172D = 0,172m$$

$$D_5 = 0,3D = 0,3m$$

$$D_6 = 0,32D = 0,32m$$

(Ver apéndice C)

4.2.4 Determinación de la velocidad de rotación

En el caso de los aerogeneradores de tipo Savonius la velocidad específica a la que se consigue la máxima potencia tiene un valor de 0,8. La velocidad de diseño y el radio del rotor ya se han calculado con anterioridad por lo que: (ver ecuación 30)

$$\omega = \frac{\alpha v}{R} = \frac{(0,8)(5)}{0,5} = 8rad/s$$

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad n = 76,4rpm$$

Ø Estudio de las palas del aerogenerador

Para llevar a cabo el estudio de las palas del rotor del aerogenerador se utilizo el programa CAD INVENTOR, para su utilización, será necesario obtener el valor de todas las fuerzas que actúan sobre las palas. Así, se determinará el espesor que deberán tener estas para que no se produzcan deformaciones plásticas.

Inicialmente se considera un espesor determinado de las palas, se hallan las fuerzas que actúan en estas y después de realizar el estudio mediante elementos finitos, se valora si el espesor elegido es válido para el correcto funcionamiento de las palas o

se deberá aumentar o disminuir su tamaño. El espesor seleccionado inicialmente es de $e=3,25\text{mm}$.

Las fuerzas que actúan en la palas son las fuerzas de viento y las fuerzas centrifugas.

Para el cálculo de las fuerza se considera un modelo simplificado de las palas. Así, se considera que las formas de las mismas consta de una parte recta y una parte curva en forma de semicircunferencia.

Considerando que es espesor de las palas $e=3,25\text{mm}$, los radios de la parte curva serán:

$$R_e = 150\text{mm} \quad R_i = 146,75\text{mm}$$

En la siguiente figura se puede observar la distancia desde el centro de rotación hasta el centro de gravedad de la parte curva como de la recta

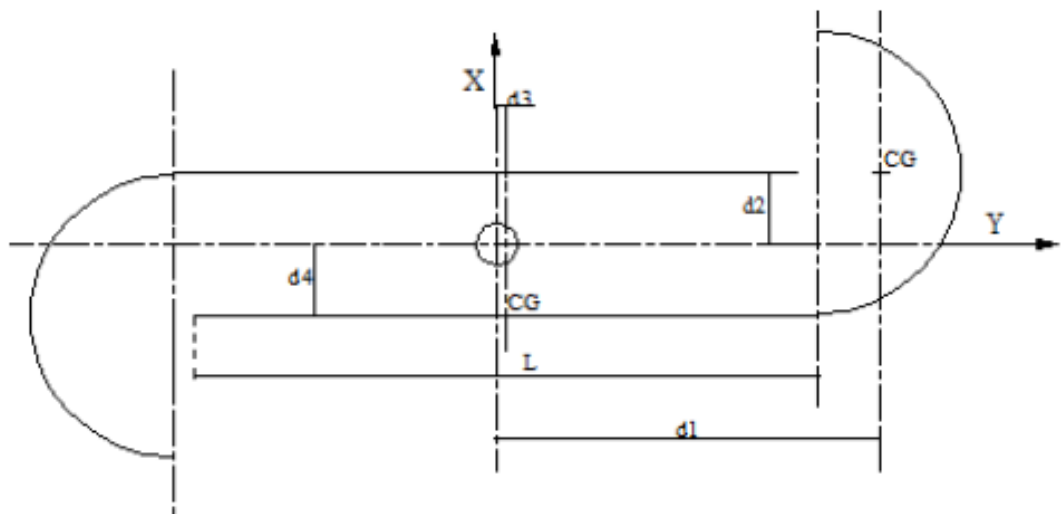


Figura 35 Distancia del centro de rotación a los centro de gravedad de las parte curva y recta de la pieza.

Fuente: Chacón, González (2019)

Las medidas de esta distancia teniendo en cuenta las dimensiones del rotor son:

$$d_1 = R_1 \quad R_5 + \frac{4R_e}{3\pi} = 500 \quad 150 + \frac{(4)(150)}{3\pi} = 413,7mm$$

$$d_2 = D_3 = 75mm$$

$$d_3 = R_1 \quad \left(R_5 + \frac{L}{2}\right) = 500 \quad \left(150 + \frac{678}{2}\right) = 11mm$$

$$\text{Donde: } L = D_1 \quad R_5 \quad D_4 = 678mm$$

$$d_4 = D_3 + \frac{e}{2} = 76,65mm$$

-Material Utilizado:

El material utilizado es aluminio. Las características que se consideraron fueron las mostradas en la tabla 7

Tabla 7 Características del aluminio

Característica	Valor
Módulo de Young	E=70GPa
Coefficiente de Poisson	$\sigma=0,34$
Densidad	$\rho=2700kg/m^3$

Fuente :Avila Davis (2015)

4.2.5 Fuerza del Viento

Los cálculos se van a realizar para las condiciones mas desfavorables. Por ello, la velocidad del viento se considera 20m/s, la cual se da en el caso de ráfagas de viento,

ya que aunque estas no sean muy comunes, la estructura del aerogenerador deberá soportarlas aunque solo se den en momentos puntuales.

Así, la presión ejercida por el viento será: (ver ecuación 21)

$$P = \frac{1}{2} (1,25) 20^2 = 250Pa$$

4.2.6 Fuerza centrífuga

La velocidad de rotación se considera para hacerlo de forma aproximada la calculada en el apartado anterior. Sin embargo, a la hora de calcular tanto la masa como el radio de rotación, para hacerlo de manera más exacta, se calcula por separado la parte curva y la parte recta. (ver ecuación 32)

-Parte curva:

En este caso, el radio de rotación de cada uno de los puntos de la parte curva no varía mucho, por lo que se toma como radio de rotación la distancia que hay desde el centro de rotación del aerogenerador hasta el centro de gravedad de la parte curva.

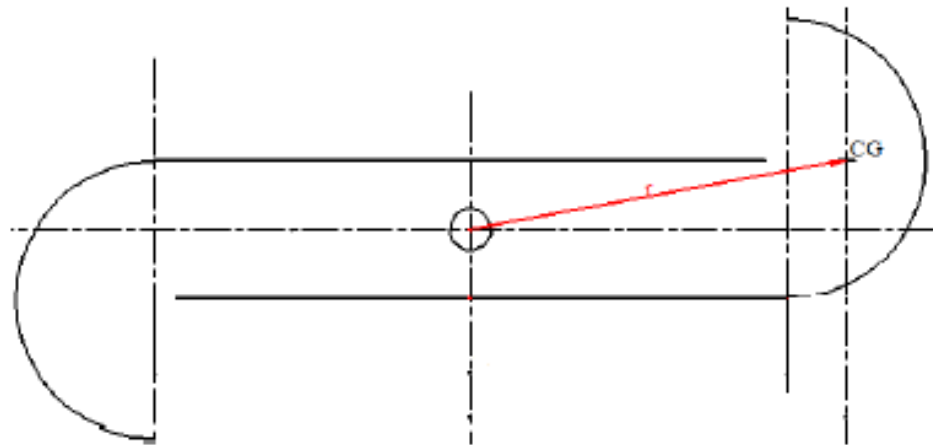


Figura36 Radio de rotación de la parte curva

Fuente: Chacón, González (2019)

En este caso con las distancias del centro de gravedad calculados anteriormente, se tendrá:

$$r_{CG} = \sqrt{X_{CG}^2 + Y_{CG}^2} \quad \sqrt{413,7^2 + 75^2} = 420mm$$

$$m = \rho v = \rho \frac{\pi}{2} (R_e^2 - R_i^2) H, \text{ siendo } \rho = 2700 \frac{Kg}{m^3} \quad m = 6,13kg$$

$$\omega = 8rad/s$$

En este caso la fuerza centrifugas será de:

$$F = 165N$$

-Parte recta:

En este caso, tal y como se observa en la figura, el radio de rotación de cada uno de los puntos que conforman la parte recta varia mucho, siendo muy grande en los extremos y mucho mas pequeño en el centro. Por ello, si se tomara como radio el valor de uno de estos radios puntuales el error cometido al hallar la fuerza seria bastante grande.

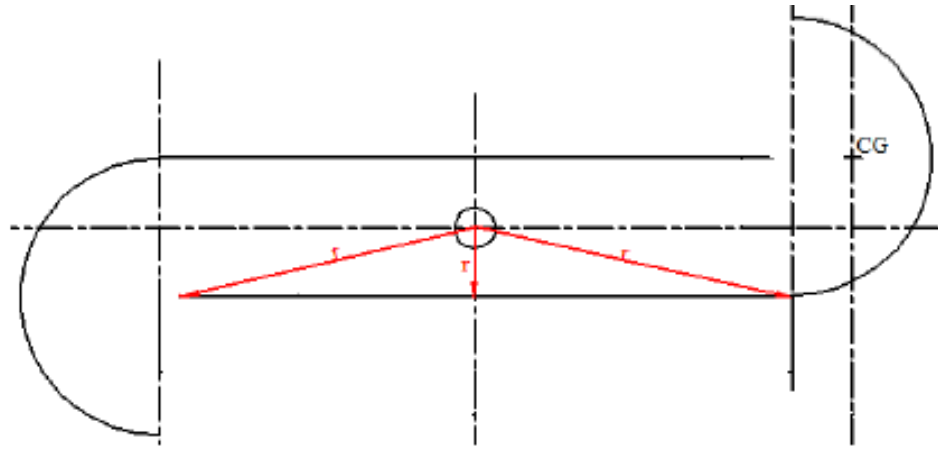


Figura37 : Variación del radio de rotación de la parte recta

Fuente: Chacón, González (2019)

Para solucionar esto, lo que se hace es dividir la parte recta en tres tramos, como se observa en la siguiente figura, tomando en cada uno de los tramos un radio medio. De esta forma, los errores en el cálculo de esta fuerza disminuirán considerablemente.

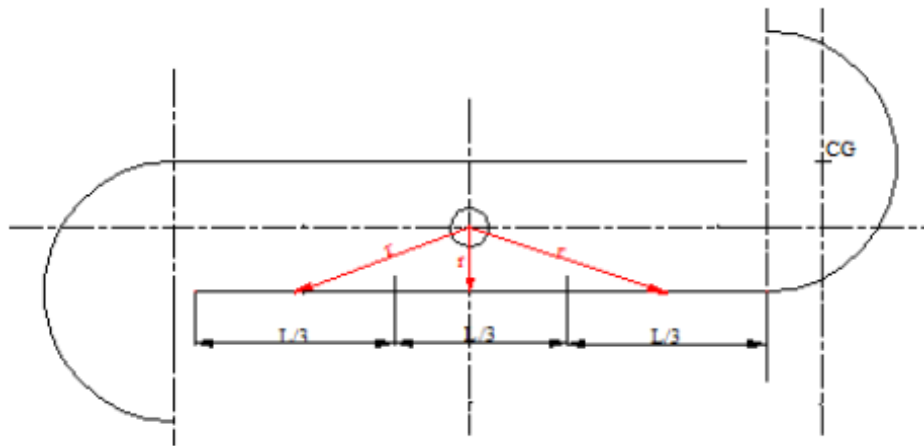


Figura 38 División en tramos de la parte recta

Fuente: Chacón, González (2019)

De esta forma, los radios que se toman tendrán los siguientes valores:

- Tramo 1: $r_1 = 226m$
- Tramo 2 (tramo central): $r_2 = 76,65m$
- Tramo 3: $r_3 = 226m$

Los valores de las masas de cada tramo serán aproximadamente un tercio del valor de la masa de la parte recta total, por lo que:

$$m = \rho v = \rho(HLe) = 2700 (1.5) (0.678) (0.00325) = 9kg$$

$$m_1 = m_2 = m_3 = \frac{9}{3} = 3kg$$

Por tanto, los valores de las diferentes fuerzas centrífugas que actúan en la parte recta de las palas serán:

$$F_1 = m_1 \omega^2 r_1 = 3 \cdot 8^2 \cdot 0,226 = 43,3N$$

$$F_3 = F_1 = 43,3N$$

$$F_2 = m_2 \omega^2 r_2 = 3 \cdot 8^2 \cdot 0,0766 = 14,7N$$

(Ver apéndice C)

4.2.7 Eje principal

El eje es un componente muy importante a tener en cuenta en el diseño del equipo. En este caso, para realizar un cálculo aproximado del mismo se va a considerar, aunque realmente no sea exactamente así, que este eje recorre todo el rotor, desde la parte que se encuentra apoyada en la parte inferior de la estructura de sujeción, hasta la parte que está apoyada en la superior de dicha estructura

De esta forma, se puede considerar el eje como una viga que se encuentra apoyada en sus dos extremos y que está sometida a flexión, como consecuencia de la acción del viento. La fuerza del viento será considerada como una carga repartida a lo

largo de la longitud de la viga donde se encuentran las palas del rotor, es decir, a lo largo de una altura de 1,5m por lo que se cumplirá

$$F_{viento} = 1,5 q = P_{viento} \cdot A = (375)(1,5) = 562,5N$$

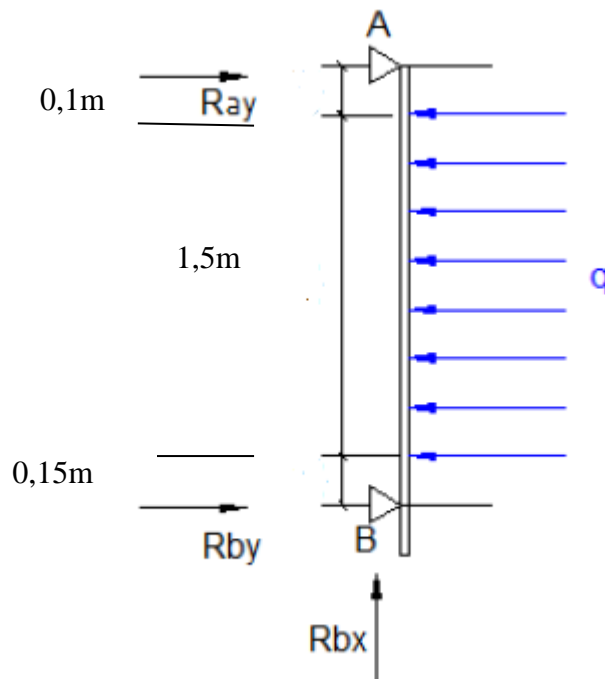


Figura 39 diagrama de cuerpo libre del eje principal

Fuente: Chacón, González (2019)

Fuerza del viento sobre el eje:

Donde se cumple que:

$$\sum Fy = R_{bx} = 0$$

$$\sum Fx = R_{ay} + R_{by} \quad q1,5$$

$$\sum Mb = R_{ay}(1,75) + q(1,5) \left(0,15 + \frac{1,5}{2} \right) = 0$$

Los resultados de las reacciones de los apoyos son:

$$R_{bx} = 0$$

$$R_{ay} = 192,8N$$

$$R_{by} = 182,14N$$

El momento flector máximo se dará en el punto medio de aplicación de la fuerza distribuida, es decir, a la distancia de 0,9 del apoyo B, este momento tendrá un valor de:

$$M_{max} = 225N.m$$

Para que el eje soporte este momento se deberá cumplir:

$$\frac{M}{W_{elast\ res}} \leq \frac{\sigma_e}{C.S} \quad \text{Ec 38}$$

Donde:

M: Momento en el eje

$W_{elast\ res}$: *modulo resistente del eje*

σ_e : *Limite eleasctico de material del eje*

C.S: *Factor de seguridad*

En este caso, se toma como factor de seguridad un valor de 2. El límite elástico al ser el eje de acero será $\sigma_e = 275\text{Mpa}$

Por lo que el modulo resistente deberá tener un valor mayor o igual que:

$$W_{elast\ res} = \frac{M.C.S}{\sigma_e} = 1,81.10^3\text{mm}^3$$

Este modulo resistente depende de la geomtria del eje, de sus diámetro y de su espesor. En este caso el eje va a ser cilíndrico hueco, por lo que mirando en tablas se obtiene un modulo resistente $W_{elast\ res} = 5,11.10^3\text{mm}^3$ con un eje de 60mm de diámetro y un espesor de 2mm.

Estos cálculos se han realizado para la parte superior del eje, es decir, para la parte que está por encima del apoyo del mismo, sobre la estructura de sujeción. Para la parte que se encuentra por debajo de este apoyo, se va a considerar un diámetro menor ya que esta parte no tiene tanto peligro de fractura y por tanto, no es necesario un eje de dimensiones tan grandes.

-Características del material:

El material utilizado para el eje es Acero 1020.

(Ver apéndice A)

4.2.8 Diseño del Generador Eléctrico

Para realizar el cálculo y dimensionamiento del generador eléctrico se tendrá en cuenta una serie de expresiones que aplican el funcionamiento del mismo. Así, en la siguiente expresión se hace referencia al circuito equivalente del generador, sabiendo que se trata de un generador de imanes permanentes que cuenta con un estator donde

se encuentran los bobinados y 2 discos rotor donde se alojan los imanes. (ver ecuación 33)

El generador eléctrico va a ir conectado a una batería de 12V. por lo que mediante la siguiente expresión, se deberá asegurar que el voltaje V sea siempre superior a 12 voltios.

Mediante los siguientes cálculos se va a hallar la intensidad que va a circular por el conductor, y se va a seleccionar el conductor a utilizar y además, se va a calcular el número de espiras que tiene que tener cada bobinado. Para ello, se considerará que la fuerza electromotriz que tendrá un valor de $E=20V$.

De esta forma, una vez realizado todos los cálculos se comprobó si realmente se cumple que $V > 12V$.

Al tratarse de un generador sincrónico, se cumple la siguiente expresión (ver ecuación 34)

Despejando de la ecuación 34 tenemos el número de polos el cual es:

$$P = \frac{60f}{n} = \frac{60(60)}{76,4} = 47,1$$

Al ser 47,1 un número de pares muy elevado, debido que a la hora de dimensionar el rotor del generador eléctrico, tendríamos un rotor de dimensiones muy grande. Por ello, va a ser necesario un sistema de transmisión.

Por lo tanto, asumiremos 10 pares de polo, en la que nuestra velocidad de giro aumentará.

$$n = \frac{60(60)}{10} = 360rpm$$

Debido a esto, tendremos una relación de transmisión de:

$$i = \frac{360}{76,4} = 4,7 \quad i \quad 5$$

Determinación del número de bobinas

Se van a considerar tres bobinas por fase. Porque al ser un sistema trifásico se tiene un total de nueve bobinas en el estator del generador.

Estas bobinas van a ser conectadas en serie, por lo que entre las tres bobinas que hay por fase hay que conseguir $E=20V$. es decir, cada bobina tendrá $E_i = \frac{20}{3}V$

-Selección de Imanes

En cuanto a la selección de imanes hay una gran gama de diferentes materiales y formas, después de hacer un análisis se llega a la conclusión de seleccionar imanes circulares de neodimio-hierro-boro (Nd-Fe-B) con diámetro de 30mm y altura de 10mm, por se uno de los mas económicos en el mercado.

El valor del campo magnético máximo de estos imanes es de 1,3T. sin embargo, se sabe que los imanes nunca llegan a crear un campo magnético con este valor máximo, como en este caso no se conoce las curvas del funcionamiento de los imanes se considerara que dicho imanes crean un campo magnético de 1,2T.

4.2.9.-Selección del conductor

En esta parte se tendrá en cuenta tanto la potencia que se quiere conseguir como el voltaje. De esta manera se conocera la intensidad que circula por dicho cable conductor. En este caso, considerando $V=18v$ para que se cumpla que $V > 12V$.

$$P = V.I \quad I = \frac{250}{18} = 13,18A$$

Considerando que el generador estara al aire libre y por lo tanto con un flujo de viento que haara que el mismo se refrigete se pondrá una densidad de corriente de $J = \frac{10A}{mm^2}$. Por lo tanto, con la siguiente expresion se hallara la seccion transversal del conductor.

$$J = \frac{I}{A} \quad A = \frac{I}{J} = \frac{13,88}{10} = 1,388mm^2$$

Observando en la tabla, el conductor seleccionado es AWG 15, el cual tiene una seccion de $1,65mm^2$. Siendo este el mas indicado para usar.

Tabla 8 Característica del conductor seleccionado

Número AWG	Diámetro (mm)	Sección (mm ²)	Kg/Km	Resistencia (Ω/Km)
15	1,45	1,65	14,7	10,3

. Fuente: _____

Determinación del número de espiras por bobinas

Para la determinación del número de espiras por bobina utilizamos la (ecuación 35) en la cual despejamos N

$$N = \frac{E}{f \cdot B \cdot A \cdot 4,4} = \frac{20/3}{(60)(1,2)(4,4)(1,1\pi\left(\frac{0,03}{2}\right)^2)} \quad N = 26,8 \quad 27$$

Se considerara un favor de seguridad, por lo que $N= 30$ espiras.

-Longitud del bobinado

Las 30 espiras que hay por bobina, estas distribuidas en forma rectangular en 6 filas y 6 columnas. Dada la forma del estator el bobinado de la primera fila tendrá unas dimensiones de 40x2mm. A partir de esta fila se irán superponiendo las demás, cada una con sus 6 columnas.

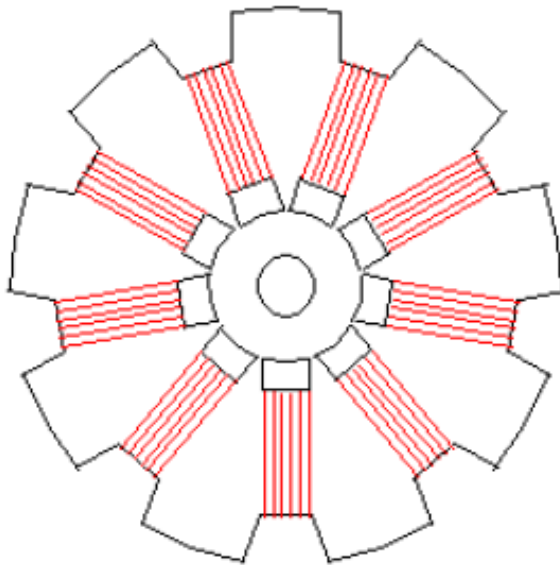


Figura 40 Configuración y tamaño de las bobinas en el estator.

Fuente Chacón, González (2019)

A continuación, se presentaran longitudes de cada fila del bobinado.

Tabla 9 Longitud del bobinado

Número de fila	Longitud/columna [mm]	Longitud total de la fila [mm]
1	$2 \cdot 40 + 2 \cdot 2 = 84$	504
2	$2(40 + 2 \cdot 1,45) + 2(2 + 2 \cdot 1,45) = 95,6$	573,6
3	$2(40 + 4 \cdot 1,45) + 2(2 + 4 \cdot 1,45) = 107,2$	643,2
4	$2(40 + 6 \cdot 1,45) + 2(2 + 6 \cdot 1,45) = 118,8$	712,8
5	$2(40 + 8 \cdot 1,45) + 2(2 + 8 \cdot 1,45) = 130,4$	782,4
6	$2(40 + 10 \cdot 1,45) + 2(2 + 10 \cdot 1,45) = 142$	852

Fuente: Smil (2012)

Teniendo esto si sumando las longitudes de todas las filas, cada bobina tiene 4068mm, es decir, alrededor de 4metros.

Teniendo en cuenta que hay un total de 9 bobinas en el estator la longitud total necesaria será de 36,6mm.

4.2.10 -Cálculo de voltaje final

A continuación, se va a comprobar que esto se cumple. Como se realizan los cálculos por bobinas y no por fase el valor de V debe ser mayor que $\frac{12}{3}V$. por lo tanto. (ver ecuación 36)

$$R = 10,3 \frac{1km}{km} \frac{1}{10^3m} \cdot 4m \quad R = 0,0412$$

$$X = 2\pi fL$$

Donde:

F: frecuencia

L: inductancia magnetica, de la forma $L = 1,257\mu \frac{N^2 S}{10^8 L_a}$

Donde:

: permeabilidad relativa del vacio

N: numero de espiras por bobina

S: sección de las espiras

L_a : largo de la bobina

La permeabilidad magnética relativa del vacio es 1 y el número de espiras 30. Para calcular la sección por espiras, se clacula la sección de una espira media(ni de la primera fila ni de la ultima). Por tanto, su sección será:

$$S = (40 + (5)(1,45))(2 + 5(1,45)) = 437mm^2$$

$$L_a = 6(1,45) = 8,7mm$$

Por tanto la inductancia será:

$$L = 1,257\mu \frac{N^2 S}{10^8 L_a} = 1,257(1) \frac{30^2 (0,437)}{10^8 (0,87)} = 5,7 \cdot 10^{-6} H$$

Por lo que el valor de la reactancia será:

$$X = 2\pi fL = 2\pi(60)(5,7 \cdot 10^{-6}) = 0,0021$$

Por lo que el voltaje final será:

$$V = E - I(R + X_j) = \frac{20}{3} - 13,88(0,0412 + 0,0021j) = 6,06V$$

$$V = 6,06 > \frac{12}{3}$$

De esta forma se observa que con esta configuración de las bobinas se podría llevar a cabo una conexión correcta con las baterías.

Ø Cálculo de los rodamientos y de la estructura de sujeción

La estructura de sujeción consiste en unas barras de acero soldadas. El objetivo de esta estructura de sujeción es soportar el eje, así como todo el peso de los componentes que se encuentran unidos a él (tapas, palas, sistema de transmisión), y por otro lado, la de sujeta la parte superior del equipo, para que no se produzca mucha flexión cuando la fuerza del viento sea muy grande. Ambas uniones del equipo con la estructura se realizan mediante rodamientos, los cuales permiten el giro libre del rotor.

-Cálculo del peso del aerogenerador

Tabla 10 Características de las tapas

Dimensiones	Diámetro= 1m, Espesor= 3,25m
Volumen	$V = \pi r^2 e = 2,5 \cdot 10^{-3} m^3$
Densidad	$\rho = 2700 \frac{kg}{m^3}$
Masa	$M = 6,9Kg, 6,9Kg(2) = 13,8Kg$

Fuente: Chacón, González (2019)

Peso de las palas:

En la sección anterior ya se había calculado esta masa. Siendo en la parte recta 9kg y en la parte curva 6kg. Teniendo un total de 15kg. Siendo dos palas, se obtuvo un total de 30kg.

Tabla 11 :Características del eje principal

	Parte Superior	Parte Inferior
Dimensiones	$R_e = 0,03m, R_i = 0,028m$ $altura = 0,15m$	$R_e = 0,02m, R_i = 0,018$ $altura = 0,1m$
Volumen	$V = \pi(R_e^2 - R_i^2)H$ $V = 54,7 \cdot 10^{-6}m^3$	$V = \pi(R_e^2 - R_i^2)H$ $V = 2,38 \cdot 10^{-5}m^3$
Densidad	$\rho = 7850kg/m^3$	$\rho = 7850kg/m^3$
Masa	$m = 0,4kg$	$m = 0,2kg$
Masa total	$m_{total} = 0,6kg$	

Fuente: Chacón González (2019)

Tabla 12 Características del sistema de transmisión:

	Polea grande	Polea Pequeña
Dimensiones	$D = 0,4m,$ $espesor = 0,015m$	$D = 0,08m,$ $espesor = 0,015m$
Volumen	$V = \pi r^2 \cdot e$ $= 1,88 \cdot 10^{-3} m^3$	$V = \pi r^2 \cdot e$ $= 7,53 \cdot 10^{-5} m^3$
Densidad	$\rho = 7850 kg/m^3$	$\rho = 7850 kg/m^3$
Masa	$m = 14kg$	$m = 0,5kg$
Masa total	14,5kg	

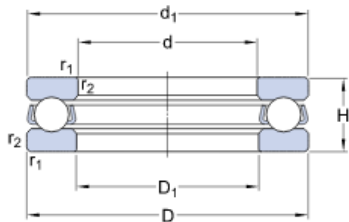
Fuente: Chacón González (2019)

Estos cálculos se suponen para unas poleas macizas, en nuestro caso las poleas son huecas para así tratar de eliminar el mayor peso, lo que supone que sería de la mitad de ese peso, teniendo un total de 7,25kg.

Por ende, el valor de la masa total del aerogenerador es: 57kg.

En la parte superior se utiliza un rodamiento radial capaz de soportar la fuerza del viento. La cual en condiciones más desfavorables o extremas tiene un valor de 375N. En este caso se ha seleccionado un rodamiento SKF-61812, con 60mm diámetro interior mismo diámetro con el que soporte tubular sujeta y un diámetro exterior de 78mm. En la unión inferior tendrá un rodamiento axial el cual sea capaz de soportar

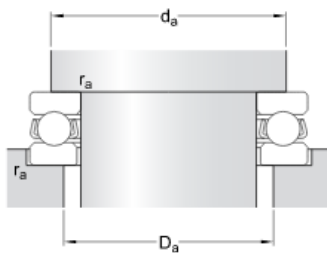
todo el peso del rotor, palas y tapas. El peso total que tiene que soportar es de 57Kg, es decir 570N, lo cual nos ha llevado a seleccionar un rodamiento SKF-51208. Cuyo diámetro interior es de 40mm y el exterior es de 68mm. (ver anexo I)



d	40	mm
D	68	mm
H	19	mm
d ₁	≈ 68	mm
D ₁	≈ 42	mm
r _{1,2}	min. 1	mm

Figura 41: Rodamiento SKF-51208

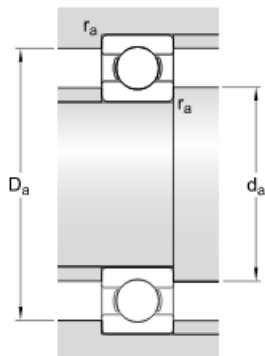
Fuente: catalogo SKF



d _a	min. 57	mm
D _a	max. 51	mm
r _a	max. 1	mm

Figura 42: Rodamiento SKF-51209

Fuente: Catalogo SKF (2008)



d_a	min.	62	mm
D_a	max.	76	mm
r_a	max.	0.3	mm

Figura 43 Dimensiones del rodamiento SKF-61812

Fuente: catalogo SKF (2008)

Datos del cálculo

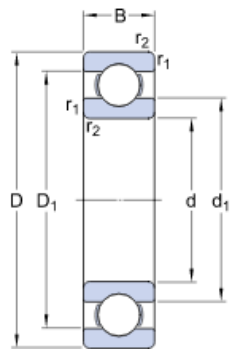
Capacidad de carga dinámica básica	C	44.2	kN
Capacidad de carga estática básica	C_0	96.5	kN
Carga límite de fatiga	P_u	3.6	kN
Velocidad de referencia		3800	r/min
Velocidad límite		5300	r/min
Factor de carga mínima	A	0.058	

Masa

Rodamiento de masa (incluida la arandela de asiento, cuando corresponde)	0.28	kg
--	------	----

Figura 44 Datos de cálculo Rodamiento SKF-51208

Fuente: catalogo SKF(2008)



d	60	mm
D	78	mm
B	10	mm
d ₁	≈ 65.4	mm
D ₁	≈ 72.9	mm
D ₂	≈ 0	mm
r _{1,2}	min. 0.3	mm

Figura 45: Dimensiones del rodamiento SKF-61812

Fuente: Catalogo SKF (2008)

A continuación, se va a calcular las dimensiones que tiene que tener la barra de la estructura de sujeción para que soporte todo el peso del eje y los componentes unidos a este. Así, se va a considerar esta barra como una viga que se encuentra apoyada en sus dos extremos, sobre la cual actúa una fuerza puntual en su punto medio que es la fuerza debida al peso del equipo.

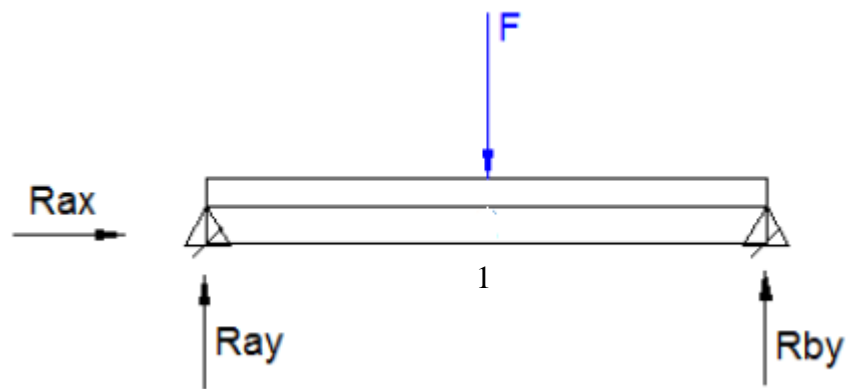


Figura 46: Fuerza sobre la estructura de sujeción

Fuente: Chacón González (2019)

$$\sum x = 0$$

$$\sum y = R_{ay} + R_{by} \quad F = 0$$

$$\sum M_a = R_{by}(1) \quad F(0.5) = 0$$

$$R_{ax} = 0$$

$$R_{ay} = 285N$$

$$R_{by} = 285N$$

El momento flector máximo se dará en el punto de aplicación de la fuerza. Por lo tanto, tendrá un valor de $M_{max} = R_{ay}(0,5) = 142,5N.m$

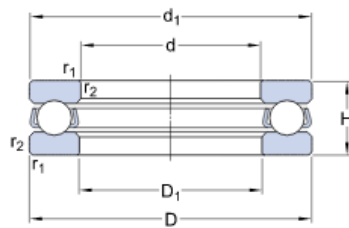
Al igual que en el eje principal, para la barra de la estructura de sujeción este momento deberá cumplir (ver ecuación 38)

En este caso, el factor de seguridad también era de 2 y el límite elástico también será: $\sigma_e = 275Mpa$ debido que el material de la barra también es de acero.

Por lo que el módulo resistente deberá tener un valor mayor o igual que:

$$W_{elast\ res} = \frac{M \cdot fs}{\sigma_e} = 1,03 \cdot 10^3 mm^3$$

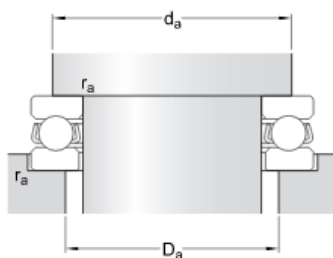
Por último, hay que considerara en cuanto los rodamientos, la parte del generador eléctrico también contara con un rodamiento axial. Este, permitirá que el disco inferior del rotor gire solidario con le disco superior y que le eje que esta apoyado sobre el mismo permanezca quieto, consiguiendo de esta forma que el estator también se mantenga sin movimiento. Este rodamiento deberá soportar el peso de este pequeño eje que soporta al estator y el peso del propio estator, por lo que la fuerza a soportar será bastante pequeña, en comparación con la que tiene que soportar los otros 2 rodamientos, el rodamiento escogido es SKF-BA-7, el cual tiene un diámetro interior 7mm y diámetro exterior de 17mm, los cuales coinciden con el eje que soporta al estator. (ver anexo J)



d	7	mm
D	17	mm
H	6	mm
d ₁	≈ 16.8	mm
D ₁	≈ 7.2	mm
r _{1,2}	min. 0.2	mm

Figura 47 : Rodamiento SKF-BA 7

Fuente: Catalogo SKF (2008)



d _a	min. 12.5	mm
D _a	max. 11	mm
r _a	max. 0.2	mm

Figura 48: Rodamiento SKF-BA 7

Fuente: Catalogo SKF (2008)

Datos del cálculo

Capacidad de carga dinámica básica	C	2.51	kN
Capacidad de carga estática básica	C_0	2.9	kN
Carga límite de fatiga	P_u	0.108	kN
Velocidad de referencia		14000	r/min
Velocidad límite		19000	r/min
Factor de carga mínima	A	0.000044	

Masa

Rodamiento de masa (incluida la arandela de asiento, cuando corresponde)		0.0065	kg
--	--	--------	----

Figura 49 : Datos del cálculo del Rodamiento SKF-BA 7

Fuente: Catalogo SKF (2008)

Ø Componentes del sistema de almacenamiento y conversión de energía eléctrica.

-Baterías y acumuladores:

Como se observa en este proyecto la mayoría de energía a consumir es durante la noche, ya que es en este momento cuando es necesario proporcionar luz en los postes de alumbrado público. Por ello, será necesario un banco de baterías para almacenar la energía del viento, ya que no coinciden los horarios de producción de energías con los del consumo.

Y este tipo de baterías son utilizadas tanto en vehículos como en generación eólica. Suelen utilizarse las de tipo inundado, debido que resultan mejor que las de gel económicamente hablando. Las utilizadas en eolia se conocen como baterías de ciclo

profundo. También se utilizan bastantes en aplicaciones fotovoltaicas, debido que se adaptan bien a cualquier corriente de carga y su precio no es muy elevado

Tabla13: Comparación de baterías plomo-acido

Baterías de vehículo	Baterías de ciclo profundo (aerogeneradores)
<ul style="list-style-type: none"> • Diseñadas para suministrar mucha energía en periodos cortos de tiempo. • Pueden recargarse a velocidades tanto rápidas como lentas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Diseñadas para suministrar pequeñas cantidades de energía durante periodos largos de tiempo. • Se recargan únicamente a velocidades lentas.

Fuente Smil (2012)

Para el sistema propuesto se seleccionó un acumulador de carga de marca: RED TOP RTS21 el cual cumple los requisitos de carga/amperaje y también costo-peso. Para ver especificaciones completas ir al anexo A.

-Reguladores de Carga.

En este caso, al tratarse de una instalación pequeña se utilizaran unos reguladores que sean bastantes sencillos que sean funcionales y además el precio no sea muy elevado.

Para la realización del proyecto se selección un regulador de carga PWM EPsolar el cual cumple con los requisitos de voltaje/amperaje y costo-montaje. Para ver el siguiente controlador de carga ver catálogo en el anexo B.

-Rectificadores

La función de este dispositivo es convertir la corriente alterna que viene del generador eléctrico a corriente continua para que esta pueda ser almacenada en la

batería. Los más utilizados en estos casos son los construidos mediante diodos y tríodos.

Se escogió un rectificador de diodo SGL34-60 el cual sus especificaciones se encuentran en el catalogo del anexo C El cual cumple con todos los requisitos de nuestro diseño.

-Inversores:

Tienen como tarea adaptar las características de la corriente generada a la demandada. Las características de este proyecto son que las baterías trabajan en corriente continua y la demanda energética del alumbrado en corriente alterna. Por tanto, será necesaria la presencia de un inversor que transforme la corriente continua en corriente alterna. En el caso de este proyecto se adoptara también por equipos sencillos y que estén diseñados para aplicaciones de autogeneración.

En este caso el inversor de carga escogido es, RBP-3500S-LED el cual se ajusta al diseño del aerogenerador. Para ver especificaciones, ver catalogo en el anexo D

-Variadores de frecuencia:

Este componente realiza el trabajo de pasar de una corriente que tenía una frecuencia variable a convertirla a corriente que tenga una frecuencia constante. Nuestro generador eléctrico, debido a que el viento es variable se consigue corriente con frecuencia variable, que habrá que convertirla en constante, e igual a las bombillas LED que se usen. Así de esta forma, los variadores de frecuencia tienen integrado un rectificador, normalmente de diodos o tríodos, para la conversión de esta corriente alterna de frecuencia variable en corriente continua. a continuación, la corriente continua que es la que se almacena en las baterías, se convertirá mediante un inversor,

también integrado dentro del propio variador, en corriente alterna de frecuencia constante con el valor necesario para su utilización.

Se utilizó un inverso de frecuencia BOSCH de tipo EFC3610-OK45-3P4 el cual cumple con todos los requisitos necesarios para el funcionamiento óptimo del dispositivo. Para ver sus especificaciones ir a al anexo F.

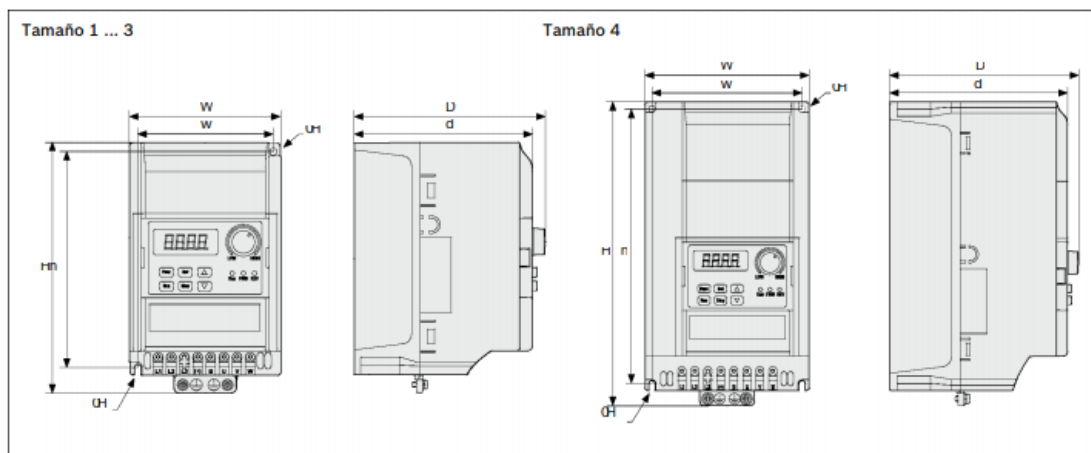


Figura:50 Variador de frecuencia EFC3610-OK45-3P4

Fuente: <https://dc->

[es.resource.bosch.com/media/es/documents_177/homepage/Katalog_EFC_3610_5610_media_ES.pdf](https://dc-es.resource.bosch.com/media/es/documents_177/homepage/Katalog_EFC_3610_5610_media_ES.pdf)

4.3 Establecer plan de instalación, montaje, mantenimiento y seguridad del aerogenerador

Para lograr este objetivo habrá que tener en cuenta una serie de aspectos, además, serán requeridos una serie de elementos adicionales, como pueden ser elementos estructurales (celosía, cable tensores, entre otros) y elementos de almacenamiento y conversión de energía (baterías)

4.3.1 Instalación y montaje

El aerogenerador ira montado sobre una estructura, en este caso un poste de alumbrado público con una altura de 15m lo suficientemente alto para que el viento no se encuentre perturbado por el suelo y lo suficientemente bajo para que puedan llevarse a cabo acciones de reparación del equipo sin ningún problema. Para llevar a cabo el montaje del dispositivo se tiene en cuenta una serie de aspectos que hacen mas sencillo su montaje y sus desmontajes (en el caso de averias). Así, como ya se ha explicado como el eje del rotor se encuentra en voladizo para que sus elementos puedan intercambiarse sin que sea necesario desmontar todo el equipo.

4.3.2 Mantenimiento del aerogenerador

La principal tarea de este objetivo es determinar métodos de mantenimiento del equipo para lograr así, un correcto funcionamiento del mismo. Hay que tener en cuenta que debido a la situación país la zona no cuenta con muchos avances tecnológicos, por ello, se ha intentado que tanto la fabricación como el montaje del equipo sea sencillo para evitar reparaciones de mucha dificultad. Por lo tanto, gracias a que el aerogenerador cuenta con un diseño simple sin muy altas tecnologías no se va a llevar a cabo un mantenimiento predictivo, pues las reparaciones de las piezas en caso de fallo son muy rápidas, y por tanto solamente se tendrá en cuenta mantenimiento preventivo y correctivo.

Ø Mantenimiento preventivo:

Como ya se ha hablado este diseño está compuesto por piezas mecánicas sencillas tales como, rodamientos, tuercas, tornillos entre otros. En el caso de estas piezas se realizara un mantenimiento programado en la siguiente forma:

-A los tres meses: reapriete y comprobación de las tuercas y tornillos de las palas, tapas y otras piezas mecánicas.

-**Mantenimiento menor:** comprobación de pares de apriete, engrases y otros lubricantes a usar.

-**Mantenimiento mayor:** revisión integral de todos los componentes del aerogenerador (rotor, sistema eléctrico, eje, rodamientos, imanes, sistema de transmisión, correas, bobinado de baterías)

-**Cada 6 meses:** cambio de lubricante.

Ø **Mantenimiento correctivo:**

El mantenimiento correctivo es el que se lleva a cabo una vez ya se haya producido un fallo en el sistema. Por ello, se recomienda realizar un buen mantenimiento preventivo para no tener que llegar a este tipo de mantenimiento. Aun así, cuando se lleve a cabo un buen mantenimiento preventivo, al estar funcionando este aerogenerador en condiciones externas difíciles de controlar, se producirán comúnmente fallos de este tipo. En este caso se realizara lo siguiente:

-**Mantenimiento menor correctivo:** este es cuando se producen pequeñas averías que provocan pequeños cambios de componentes del sistema.

-**Mantenimiento mayor correctivo:** este se da cuando las averías ya son en una escala mayor, necesitan un cambio de componentes principales o más importantes del sistema, tales como palas, generador eléctrico, ejes.

4.3.3 Seguridad en el aerogenerador

Las seguridad es un factor de gran importancia para el equipo para que no esté expuesto a factores externos que puedan llegar a afectar sus funcionamiento en incluso a destruirlo.

Un aspecto importante es la gran atracción a los rayos en tormentas eléctricas. Debido a la altura y de ser un generador eléctrico hay altas posibilidades de que el equipo atraiga rayos. Por ello, se deben instalar y dimensionar de forma de adecuada un sistema de puesta a tierra así como un buen para rayos.

Estos para rayos están formados por un mástil metálico, bien sea de acero inoxidable, de aluminio o de cobre, y consta de un cabezal que se encuentra unido a tierra mediante un cable conductor que es de cobre. La puesta a tierra se realiza mediante picas hincadas en el terreno o mediante placas conductoras también enterradas. El para rayos en principio protege una zona teórica en forma cónica con vértice en el cabezal. Por lo tanto, esta zona dependerá de la forma del cabezal. Con un elemento como este, se consigue reducir los daños que pudiera causar un rayo en los elementos de este equipo los cuales serían perjudiciales llegando a destruirlo.

4.4 Evaluación del impacto social y ambiental que se generaría con la implementación del sistema de alumbrado público con aerogenerador en la autopista regional del centro tramo peaje Guacara- túnel la Cabrera

Partiendo que el proyecto es innovador y nunca antes visto en el país, tendrá un impacto social elevado debido que se muestra que las energías renovables son aptas y accesibles en el territorio nacional. Así mismo, siendo de vista pública el diseño, para los usuarios de la autopista regional del centro, este abriría caminos y conocimientos en cuanto a energías renovables, demostrando que es posible trabajar con ellas para futuras implementaciones en otras regiones del país, así como para sustentar empresas de desarrollo, organizaciones como también zonas urbanísticas, el cual se traduciría en un importante avance no solo para una estabilidad energética.

Debido a que en el país la generación de energía se ha visto afectada en el año en curso, donde principalmente alimentos, hospitales y producción nacional se ha visto afectada por la problemática energética, además de eso no solo ayudaríamos a la

reconstrucción de energía en nuestro país para los intereses propios, sino también ayudaríamos con la reducción del impacto ambiental donde también se han presenciado el movimiento de placas tectónicas en el territorio nacional, siendo los dos últimos años cursantes, los años con más movimientos sísmicos permitiendo así convertir a Venezuela en un país con contaminación térmica.

Esto se traduce en beneficios para la sociedad en cuanto a alumbrado, así reduciendo posibles futuros accidentes causados por la falta de visibilidad en horas nocturnas incluso salvando vidas. También beneficiando, a transportistas los cuales evitan transitar de noche esta autopista para evitar accidentes por efecto de la pobre iluminación, siendo esta la principal autopista del país.

Se puede analizar que en la implementación de este sistema posee ventajas y desventajas, sin embargo es conveniente pensar que cada vez las energías alternativas principalmente eólica y solar, han tomado un gran auge a nivel mundial, debido a distintos factores, siendo el principal la contaminación ambiental, como ya se ha dicho y los cada vez más agotados recursos naturales que a lo largo de la historia han sido nuestro sustento.

4.5 Factibilidad de la instalación del sistema de alumbrado público con aerogeneradores en la autopista regional del centro tramo peaje Guacara-tunel la Cabrera.

En este objetivo para el análisis de factibilidad de este proyecto a nivel económico, se decidió hacer los cálculos de los principales equipos necesarios para el sistema del aerogenerador de tipo Savonius basado en USD\$, para que dichos costos se mantengan estables y no tener variación en el tiempo.

Tabla: 14 Costo total del material y equipos

Material	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Aluminio	30kg	1\$/kg	30\$
Rodamiento radial SKF-61812	1Unidad	50\$	50\$
Rodamiento axial SKF-51208	1Unidad	50\$	50\$
Porta rodamientos	2Unidades	9\$	18\$
Alambre de cobre AWG-15	37m	10\$	10\$
Rodamiento axial SKF-BA-7	1Unidad	50\$	50\$
Porta rodamientos	1Unidad	9\$	9\$
Rotor	1Unidad	280\$	280\$
Generador eléctrico	1Unidad	230\$	230\$
Sistema de transmisión	1Unidad	60\$	60\$
Estructura de sujeción	1Unidad	40\$	40\$
Total			827\$

Fuente: Chacón González (2019)

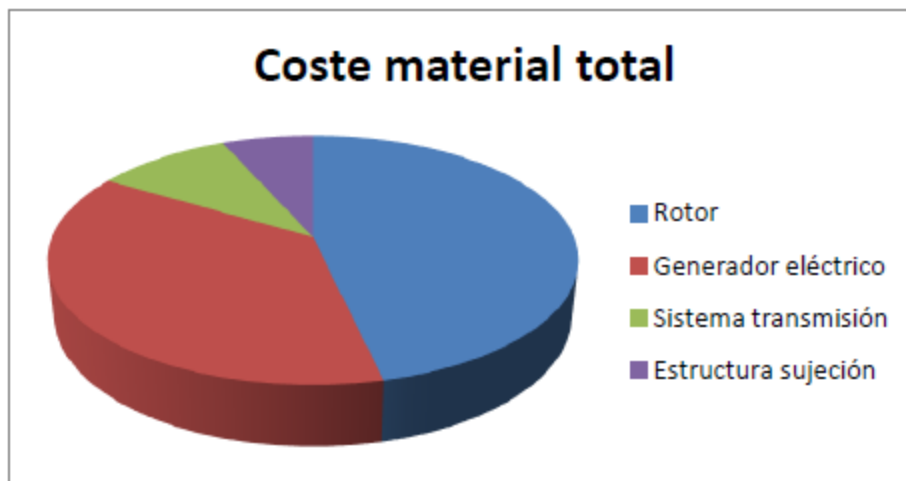


Figura 51 Costo total Equipos

Fuente Chacón González (2019)

Después de haber analizado el costo total de estos equipos vemos que cada aerogenerador tendrá un costo total de alrededor de 830\$ lo cual es multiplicado por el número total de aerogeneradores a utilizar el cual serán 650 aerogeneradores dándonos un total de 540.000\$ lo cual es un gasto aceptable en lo que concierne a proyectos públicos.

Adicionalmente a esto se añadió los postes de alumbrado público más los bombillos LED de 60watts. Donde cada poste de luz tiene un valor alrededor de 300\$ mientras que los bombillos LED tienen un valor aproximado de 60\$. El cual dio un valor total del proyecto de $234.000\$ + 540.000\$ = 774.000\$$

CONCLUSIÓN

Se realizó un estudio en el tramo por el cual se determinó el total de postes a implementar basándonos en las norma COVENIN para así diagnosticar el consumo en todo el tramo de la autopista producido por cada uno de los bombillos. Donde además, se analizó por medio de diferentes catálogos el más óptimo bombillo a utilizar.

Se diseñó un aerogenerador basándonos en las comparaciones de los diferentes aerogeneradores de tipo vertical y horizontal, seleccionando el más apto para este proyecto tomando en cuenta las variables que allí se presentan, los resultados de los cálculos de potencia se hicieron a partir de la ley de Betz con la cual se determinó las dimensiones del aerogenerador. Además, se consultaron diferentes catálogos para así determinar los distintos elementos pertenecientes al sistema de almacenamiento y de conversión de energía eléctrica.

Se estableció un plan de mantenimiento, instalación y seguridad del aerogenerador para que así tuviese el más alto rendimiento en su funcionamiento, y durabilidad más prolongada posible, donde se conocieron los tipos de materiales y elementos a utilizar para así generar un plan de mantenimiento óptimo, ya que existe una estrecha relación entre la eficiencia de un aerogenerador y su mantenimiento.

Este proyecto tendrá un impacto social no solo en la realización de nuevas tecnologías abriendo puertas para futuras investigaciones públicas de generación de energía renovable, si no también tendrá un impacto social en la seguridad de la vía ya que se iluminaría todo un tramo de la autopista altamente transitado reduciendo así los accidentes que allí se puedan causar por falta de iluminación. Por otro lado, en cuanto a lo ambiental sería una energía renovable no contaminante a su vez autosustentable lo cual daría independencia energética a este tramo de iluminación

Este proyecto es factible en cuanto a lo económico ya que representa una alta inversión inicial pero al ser una obra de ámbito público los presupuestos son elevados estando el nuestro dentro de un rango factible, pero no solo en lo económico, el proyecto también es factible en lo social, ya que daría un alto beneficio a la comunidad que utiliza esta autopista. A demás, dando oportunidades de empleo al realizar estos aerogeneradores debido a que su construcción podría ser nacional.

RECOMENDACIONES

Las recomendaciones para futuros trabajos a realizarse en el mismo campo que este, se pueden identificar en:

Realizar un estudio con el tramo donde en realidad sea necesario la iluminación para así reducir el número de postes e iluminaria por lo cual se reduciría el consumo energético y costos.

Proponer la unión de dos energías renovables como la solar y la eólica para que así sea más eficiente la generación de energía eléctrica, ya que con solo la energía eólica se dan muchas pérdidas de potencia, también la realización de un prototipo para que así, verificar que todas las variables incluidas en el diseño sean correctas si no realizar los cambios pertinentes para su correcto funcionamiento.

Estandarizar y normalizar cada uno de los postes en la totalidad del tramo para facilitar el mantenimiento de cada uno de ellos ya que al ser un tramo de una longitud considerable así como también el número total de postes, se localizara de manera más eficaz para su mantenimiento, como también, tener un seguimiento de los distintos tipos de mantenimiento realizados.

Promover, educar y generar conciencia ecológica mostrando los beneficios que conlleva la utilización de los sistemas de generación de energías alternativas, sin la utilización de combustibles fósiles

Analizar cuáles serían los mejores proveedores para la compra de materia prima y los elementos de generación y almacenamiento de energía como también ubicar un taller donde se producirían estos generadores cerca de la zona de la autopista para así asegurar un bajo costo de traslado de equipos y personal

REFERENCIAS

- Arias, F. (2012), **El proyecto de Investigación: Introducción a la investigación científica** Edición: 6ta, Editorial: Episteme
- Avila Davis (2015) **Ingeniería Mecánica** Editorial Mc Grall Hill
- Campos Raúl (2015) **Diseño estructural de aerogeneradores**. Editorial Universidad de Chile
- Catálogo SKF (2008) **Rodamientos**
- Chachapoya, Cesar (2015). **Estudio Técnico Económico Para el Suministro de electricidad de baja potencia a través de energía eólica**, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ingeniería Mecánica
- Colegio de Ingenieros de Venezuela (1996) **Código de Ética Profesional**
- Cortes C (2014), “**Diseño de una Luminaria para la Ciudad de Bogotá alimentada por Energía Eólica** Tesis de grado . Universidad Javeriana de Colombia,
- Faroh, J y Pérez, A (2015). **Estado Actual del Aprovechamiento de la Energía Eólica en Venezuela**. Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela, Facultad de Ingeniería Civil
- F. White (2003). **Mecánica de los Fluidos**, quinta edición, México Editorial Mc Grall Hill
- González, F. (2015). **Plan de gestión Municipal Para Alumbrado Público en la Ciudad de Maracaibo**, Universidad del Zulia, Facultad de arquitectura y diseño, Zulia, Venezuela
- Hanse Arthur (2004) **Mecánica de los fluidos**. Editorial Origo Chile
- Hernández, Fernández y Baptista (2006), **Metodología de la investigación**, Cuarta edición, Caracas.
- INAME (2019) **Climatología Temperatura Media**. Carabobo
- Javeriana, Facultad de arquitectura y Diseño, Carrera de Diseño Industrial Bogotá D.C.

- Moragues y Rapallini, (2003) **Calentamiento y temperatura**. Editorial Limusa.Mexico
- Nuñez, F (2015). **Utilización de Sistema de Energías Renovables no Convencionales Híbrido Solar-Eólico**, aplicado al sistema de iluminación del borde costero de la ciudad de Puerto Montt, Universidad Austral de Chile, Escuela de Ingeniería Civil **Industrial**
- Paredes, P (2014). **Diseño de una luminaria para la ciudad de Bogotá alimentada por energía eólica**. Trabajo de grado publicado, Pontificia Universidad
- Rosatto Mario (2017) **Diseño de pequeñas máquinas eólicas de baja potencia**, Editorial Cuerva .España
- Sabino Mastrangelo(2017) **Energía eólica. Teoría y características de instalaciones**. Primera Edición, España
- Smil Chapman (2012), **Máquinas eléctricas**, quinta edición, México Editorial Mc Graw Hill
- Van Whayle (2002) **Termodinámica aplicada**
- Villarrubia Miguel (2011) **Energía Eólica** . Editorial Limusa Mexico
- Y. Çengel, M. Boles (2011), **Termodinámica**, Séptima edición, México. Editorial Mc Graw Hill

ANEXOS

ANEXO A

Catálogo de acumuladores Optima Batteries

OPTIMA® con diseño exclusivo SPIRALCELL® ofrece la tecnología más avanzada a la hora de ofrecer una fuente de energía potente y limpia.

REDTOP

TIPO	JCI SAE	BCI	ESQUEMA (EN)	TERMINAL (EN)	LISTÓN	DIMENSIONES (mm)		CAP. C20 A	RESERVA CAP. 25 A	CAP. C55 A	RESERVA CAP. 55 A	MEDIDAS (mm)			PESO KG
						CA (D)	CA (E)					L	A	H	
RT C 4.2	98921	34C	8	1	-	815	1000	50	100	-	3.0	254	172	184	17,2
RT S 4.2	98202	34	1	1	-	815	1000	50	100	-	3.0	254	172	173	17,2
RT R 4.2	98494	34R	0	1	B11	815	1000	50	100	-	3.0	254	172	173	17,2
RT U 4.2	98203	3478	1	1 & 21	-	815	1000	50	100	-	3.0	254	172	173	17,2
RT F 4.2	54924	78	1	1	B11	815	1000	50	100	-	3.1	254	172	184	17,2
RT S 3.7	98201	25	1	1	B1	730	910	44	90	-	3.0	237	172	168	14,4
RT R 3.7	98814	35	0	1	B1	730	910	44	90	-	3.0	237	172	168	14,4
RT U 3.7	98410	7505	1	1 & 21	B1	730	910	44	90	-	3.0	237	172	168	15,0
RT S 2.1	98496	6 Voltas	8	1	B11	815	1000	50	100	-	1.9	252	90	185	8,4

YELLOWTOP

TIPO	JCI SAE	BCI	ESQUEMA (EN)	TERMINAL (EN)	LISTÓN	DIMENSIONES (mm)		CAP. C20 A	RESERVA CAP. 25 A	CAP. C55 A	RESERVA CAP. 55 A	MEDIDAS (mm)			PESO KG
						CA (D)	CA (E)					L	A	H	
YT S 5.5	98923	D31A	8	1	-	975	1125	75	155	88	2.5	325	158	218	26,5
YT R 5.0*	98305	D27	0	1	-	845	1000	68	140	81	2.5	304	172	200	22,7
YT S 4.2	98204	D34	1	1	-	765	870	55	120	52	2.8	254	172	173	19,5
YT U 4.2	98205	D34/78	1	1 & 21	-	765	870	55	120	52	2.8	254	172	173	19,9
YT R 3.7	98873	D35	0	1	B1	680	870	48	98	44	3.2	237	172	168	16,6
YT S 2.7	98148	D51	1	1	-	480	575	38	68	33	4.8	237	129	201	11,8
YT R 2.7	98148	D51R	0	1	-	480	575	38	68	33	4.8	237	129	201	11,8
YT S 2.1	98498	6 Voltas	8	1	-	765	870	55	120	52	4.0	252	90	185	9,0

BLUETOP

TIPO	JCI SAE	BCI	ESQUEMA (EN)	TERMINAL (EN)	LISTÓN	DIMENSIONES (mm)		CAP. C20 A	RESERVA CAP. 25 A	CAP. C55 A	RESERVA CAP. 55 A	MEDIDAS (mm)			PESO KG
						CA (D)	CA (E)					L	A	H	
BT DC 5.5	98922	D31M	8	1 & 21	-	975	1125	75	155	88	2.5	325	158	218	26,5
BT DC 5.0	551039	D27M	1	1 & 21	-	845	1000	68	140	81	2.5	309	172	200	22,7
BT DC 4.2	98497	D34M	1	1 & 21	-	765	870	55	120	52	2.8	254	172	173	19,7
BT SU 4.2	98495	34M	1	1 & 21	-	815	1000	50	100	-	3.0	254	172	173	17,4

*Primer introducción

TERMINALES:

- 1 SAE / EN
- 8 Rápido 38-16 UNCA CRES
- 21 Rápido 38-16 UNCA CRES OM
- 8 Rápido 516 UNCA CRES

ESQUEMA:

- 0 Positivo derecha
- 1 Positivo izquierda
- 8 Continuo Simétrico

* La garantía por defecto de fabricación de las baterías OPTIMA es de 6 meses mínimo, según aplicación.

ANEXO B

Catálogo Controladores de carga VICTRON ENERGY.

Controladores de carga BlueSolar con conexión roscada- o MC4 PV MPPT 150/45, MPPT 150/60, MPPT 150/70, MPPT 150/85, MPPT 150/100

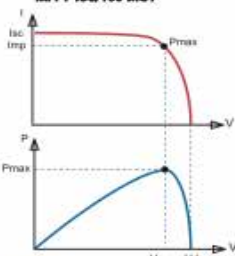
www.victronenergy.com



Controlador de carga solar
MPPT 150/100-Tr



Controlador de carga solar
MPPT 150/100-MC4



Seguimiento del punto de potencia máxima

Curva superior:

Corriente de salida (I) de un panel solar como función de tensión de salida (V). El punto de máxima potencia (MPP) es el punto Pmax de la curva en el que el producto de I x V alcanza su pico.

Curva inferior:

Potencia de salida $P = I \times V$ como función de tensión de salida. Si se utiliza un controlador PWM (no MPPT) la tensión de salida del panel solar será casi igual a la tensión de la batería, e inferior a V_{mp} .

Seguimiento ultrarrápido del punto de máxima potencia (MPPT, por sus siglas en inglés)

Especialmente con cielos nublados, cuando la intensidad de la luz cambia continuamente, un controlador MPPT ultrarrápido mejorará la recogida de energía hasta en un 30%, en comparación con los controladores de carga PWM, y hasta en un 10% en comparación con controladores MPPT más lentos.

Detección Avanzada del Punto de Máxima Potencia en caso de nubosidad parcial

En casos de nubosidad parcial, pueden darse dos o más puntos de máxima potencia (MPP) en la curva de tensión de carga.

Los MPPT convencionales tienden a seleccionar un MPP local, que pudiera no ser el MPP óptimo.

El innovador algoritmo de BlueSolar maximizará siempre la recogida de energía seleccionando el MPP óptimo.

Excepcional eficiencia de conversión

Sin ventilador. La eficiencia máxima excede el 98%.

Algoritmo de carga flexible

Algoritmo de carga totalmente programable (consulte la sección Asistencia y Descargas > Software en nuestra página web), y ocho algoritmos preprogramados, seleccionables mediante interruptor giratorio (ver manual para más información).

Amplia protección electrónica

Protección de sobretemperatura y reducción de potencia en caso de alta temperatura.

Protección de cortocircuito y polaridad inversa en los paneles FV.

Protección de corriente inversa FV.

Sensor de temperatura interna

Compensa la tensión de carga de absorción y flotación, en función de la temperatura.

Opciones de datos en pantalla en tiempo real

- Smartphones, tablets y otros dispositivos Apple y Android
- consulta "Mochila inteligente de conexión VE.Direct a Bluetooth"
- Panel ColorControl



Controlador de carga BlueSolar	MPPT 150/45	MPPT 150/60	MPPT 150/70	MPPT 150/85	MPPT 150/100
Tensión de la batería	Selección automática 12 / 24 V (o necesita una herramienta de software para seleccionar 36 V)				
Corriente de carga nominal	45A	60A	70A	85A	100A
Potencia PV nominal, 12V 5A/h	650W	860W	1000W	1200W	1450W
Potencia PV nominal, 24V 5A/h	1300W	1720W	2000W	2400W	2900W
Potencia PV nominal, 48V 5A/h	2600W	3440W	4000W	4800W	5800W
Corriente de cortocircuito máxima (V _{OC})	50A	60A	70A	80A	100A
Tensión máxima del circuito abierto (V _{OC})	150V máximo absoluto en las condiciones más frías 145 V en promedio y funcionamiento al máximo				
Eficiencia máxima	98%				
Autocorriente	10mA				
Tensión de carga de "absorción"	Valores predeterminados: 14.4 / 28.8 / 43.2 / 57.6V (ajustable)				
Tensión de carga de "flotación"	Valores predeterminados: 13.8 / 27.6 / 41.4 / 55.2V (ajustable)				
Algoritmo de carga	variable multietapas				
Compensación de temperatura	-16 mV / -32 mV / -64 mV / °C				
Protección	Polaridad inversa de la batería (si aplica, no accesible por el usuario) Polaridad inversa/Cortocircuito de salida/Sobretemperatura				
Temperatura de trabajo	-30 a +60°C (potencia nominal completa hasta los 40°C)				
Humedad	85%, sin condensación				
Puerto de comunicación de datos y on-off remoto	VE.Direct (consulte el libro blanco sobre comunicación de datos en nuestro sitio web)				
Funcionamiento en paralelo	Sí (no sincronizado)				
CARCAZA					
Color	Azul (RAL 5012)				
Terminales FV 2)	35 mm ² /AWG2 (modelos 70), Dici conjuntos de conexiones MC4/MC4 (modelos de hasta 150/70)				
Bornas de batería	Tres conjuntos de conexiones MC4/MC4 (modelos 150/85 y 150/100)				
Tipo de protección	35 mm ² / AWG2				
Tipo de protección	IP43 (componentes electrónicos), IP22 (área de conexión)				
Peso	3kg		4,5kg		
Dimensiones (al x an x p)	Modelo 70: 185 x 250 x 95mm Modelo MC4: 215 x 250 x 95mm		Modelos 70: 216 x 295 x 103mm Modelos MC4: 246 x 295 x 103mm		
ESTÁNDARES					
Seguridad	EN/IEC 62109-1, UL 1741, CSA C22-2				
1)	Si se conecta más potencia PV, el controlador limitará la potencia de entrada.				
2)	La tensión PV debe ascender en 0,1 V (tensión de la batería) para que arranque el controlador. Una vez arrancado, la tensión PV mínima será de $V_{bat} + 1V$.				
3)	Un sistema PV con una corriente de cortocircuito más alta dañará el controlador.				
4)	Modelos MC4 se pueden necesitar varios apertureros para conectar en paralelo las cadenas de paneles solares. Corriente máxima por conexión MC4: 10A (los conectores MC4 están conectados en paralelo a un rastreador MPPT)				

Victron Energy B.V. | De Paal 35 | 1351 JG Almere | The Netherlands
General phone: +31 (0)36 535 97 00 | Fax: +31 (0)36 535 97 40
E-mail: sales@victronenergy.com | www.victronenergy.com



ANEXO C

Catálogo Controladores de carga EP SOLAR.

Controlador de Carga PWM EPsolar



La principal función del controlador es la de proteger a la batería frente a sobrecargas y sobredescargas profundas. El regulador de tensión controla constantemente el estado de carga de las baterías y regula la intensidad de carga de las mismas para alargar su vida útil. Los controladores PWM son adecuados para sistemas pequeños. Tiene una salida de terminal + 5V / 1.2A USB que puede cargar teléfonos móviles, ventiladores y otros dispositivos electrónicos.



Ventajas

- Controlador PWM de bajo coste
- Protegido contra sobrecorriente
- Protegido contra cortocircuitos
- Protegido contra la polaridad inversa de los paneles solares y/o de la batería
- Existe en 12/24V

CARACTERISTICAS	12/24V-10A	12/24V-20A	12/24V 30A
Tensión de la baterías (V)	12 V/24 V		
Corriente de carga nominal (A)	10 A	20 A	30 A
Tensión solar máxima (V)	30 V/50 V		
Autoconsumo	8.4 mA (12V) / 7.8mA (24V)		6mA (12/24V)
Rango de temperatura de trabajo	-35 a +55°C (carga completa)		
Tensión de carga de absorción (V)	14.6 V		
Tensión de carga de flotación (V)	13.8 V		
Dimensiones	67 x 120.3 x 21.8 mm	85.6 x 148 x 34.8 mm	101.3 x 200.6 x 57 mm
Peso	0.102 kg	0.180 kg	0.5 kg
Indice de Protección (IP)	IP 20		IP 30



ANEXO D

Catálogo Inversores de carga Power Reliable.



4000W Off Grid DC to AC Pure Sine Wave Solar Power Inverter

RBP-4000S-LED

- ▶ 4000w pure sine wave inverter
- ▶ off grid DC to AC converter
- ▶ solar power inverter

[Inquiry](#)

[Specifications](#) [Features](#) [Application](#) [Download](#)

Model	RBP-4000S-LED
DC Voltage	12V or 24V or 48V or 110V
Voltage Range	10-15VDC or 21-30VDC or 42-60VDC or 90-135VDC
No Load Current Draw	< 1.8A
Efficiency	> 90%
DC Connector	Cables With Clips
AC Voltage	100/110/120VAC or 220/230/240 VAC
Continuous Power	4000W
Surge Power	8000W
Waveform	Pure Sine Wave
Frequency	50Hz or 60Hz
AC Regulation	3%
Low Voltage Alarm	10DC±0.5V or 20.5DC±1V or 44VDC±1V or 92VDC±1V
Low Voltage Shut Down	9.5DC±0.5V or 19.5DC±1V or 42VDC±1V or 90VDC±1V
Over Load	Shut Off Output
Over Voltage Shut Down	15.5V or 30.5V or 61.2V or 135V
Over Thermal	Shut Off Output Automatically
Fuses	Short Circuit
Working Temperature	Between -10°C and +50°C
Working Humidity	20%~90%RH
Storage Temperature	Between -30°C and +70°C
Start	Soft Start
Cooling Ways	Cooling Fan
Total Harmonic Distortion	THD < 5%
Machine size(mm)	460*207*93

ANEXO E

Catálogo Inversores de carga Power Reliable.



5000W Off Grid DC to AC Pure Sine Wave Solar Power Inverter

RBP-5000S-LED

- ▶ 5000w pure sine wave inverter
- ▶ off grid DC to AC converter
- ▶ solar power inverter

[Inquiry](#)

Specifications	Features	Application	Download
Model	RBP-5000S-LED		
DC Voltage	12V or 24V or 48V or 110V		
Voltage Range	10-15VDC or 21-30VDC or 42-60VDC or 90-135VDC		
No Load Current Draw	< 1A		
Efficiency	> 90%		
DC Connector	Cables With Clips or Car Adaptor		
AC Voltage	100/110/120VAC or 220/230/240 VAC		
Continuous Power	5000W		
Surge Power	10000W		
Waveform	Pure Sine Wave		
Frequency	50Hz or 60Hz		
AC Regulation	3%		
Low Voltage Alarm	10DC±0.5V or 20.5DC±1V or 44VDC±1V or 92VDC±1V		
Low Voltage Shut Down	9.5DC±0.5V or 19.5DC±1V or 42VDC±1V or 90VDC±1V		
Over Load	Shut Off Output		
Over Voltage Shut Down	15.5V or 30.5V or 61.2V or 135V		
Over Thermal	Shut Off Output Automatically		
Fuses	Short Circuit		
Working Temperature	Between -10°C and +50°C		
Working Humidity	20%~90%RH non-condensing		
Storage Temperature	Between -30°C and +70°C		
Start	Soft Start		
Cooling Ways	Cooling Fan		
Total Harmonic Distortion	THD < 5%		
Machine size(mm)	550*240*90		

ANEXO F

Catálogo de variadores de frecuencia BOSCH

Datos técnicos

Tipo (200...240 V AC ±10 %)	Funcionamiento carga pesada		Funcionamiento carga normal	
	Corriente nominal continua	Caract. motor	Corriente nominal continua	Caract. motor
	A	W	A	W
A	2.4	0.4	-	-
EFC3610-0K75-1P2- / EFC5610-0K75-1P2-	4.1	0.75	-	-
EFC3610-1K50-1P2- / EFC5610-1K50-1P2-	7.3	1.5	-	-
EFC3610-2K20-1P2- / EFC5610-2K20-1P2-	10.1	2.2	-	-
<hr/>				
(3P 380...480 V AC -15%/+10 %)	Corriente nominal continua	Caract. motor	Corriente nominal continua	Caract. motor
	A	kW	A	kW
EFC3610-0K40-3P4- / EFC5610-0K40-3P4-	1.3	0.4	-	-
EFC3610-0K75-3P4- / EFC5610-0K75-3P4-	2.3	0.75	-	-
EFC3610-1K50-3P4- / EFC5610-1K50-3P4-	4	1.5	-	-
EFC3610-2K20-3P4- / EFC5610-2K20-3P4-	5.6	2.2	-	-
EFC3610-3K00-3P4- / EFC5610-3K00-3P4-	7.4	3	-	-
EFC3610-4K00-3P4- / EFC5610-4K00-3P4-	9.7	4	-	-
EFC3610-5K50-3P4- / EFC5610-5K50-3P4-	12.7	5.5	16.8 ¹⁾	7.5 ¹⁾
EFC3610-7K50-3P4- / EFC5610-7K50-3P4-	16.8	7.5	24.3 ¹⁾	11 ¹⁾
EFC3610-11K0-3P4- / EFC5610-11K0-3P4-	24.3	11	32.4 ¹⁾	15 ¹⁾
EFC3610-15K0-3P4- / EFC5610-15K0-3P4-	32.4	15	39.2 ¹⁾	18.5 ¹⁾
EFC3610-18K5-3P4- / EFC5610-18K5-3P4-	39.2	18.5	45 ¹⁾	22 ¹⁾

¹⁾ Disponible únicamente para EFC 3610

Tipo		EFC 3610 / EFC 5610
Tensión de red	V	3 AC 380 ... 480 (-15%/+10%)
Frecuencia de alimentación	Hz	50 ... 60 (±5%)
Tensión nominal del motor	V	3-phase, 0 ... tensión de red
Tensión de salida	V	0 ... tensión de red
Frecuencia de salida	Hz	0 ... 400
Capacidad de sobrecarga		Funcionamiento HD: 150% en 60s, 200% en 1s; funcionamiento ND: 120% en 60s

Fuentes: https://dc-es.resource.bosch.com/media/es/documents_177/homepage/Katalog_EFC_3610_5610_media_ES.pdf

ANEXO G

Catálogo Inversores de carga Power Reliable



3500W Off Grid DC to AC Pure Sine Wave Solar Power Inverter

RBP-3500S-LED























- ▶ 3500w pure sine wave inverter
- ▶ off grid DC to AC converter
- ▶ solar power inverter

Inquiry

Specifications	Features	Application	Download
Model		RBP-3500S-LED	
Input	DC Voltage	12V or 24V or 48V or 110V	
	Voltage Range	10-15VDC or 21-30VDC or 42-60VDC or 90-135VDC	
	No Load Current Draw	< 1.5A	
	Efficiency	> 90%	
	DC Connector	Cables With Clips or Car Adaptor	
Output	AC Voltage	100/110/120VAC or 220/230/240 VAC	
	Continuous Power	3500W	
	Surge Power	7000W	
	Waveform	Pure Sine Wave	
	Frequency	50Hz or 60Hz	
	AC Regulation	3%	
Protection	Low Voltage Alarm	10DC±0.5V or 20.5DC±1V or 44VDC±1V or 92VDC±1V	
	Low Voltage Shut Down	9.5DC±0.5V or 19.5DC±1V or 42VDC±1V or 90VDC±1V	
	Over Load	Shut Off Output	
	Over Voltage Shut Down	15.5V or 30.5V or 61.2V or 135V	
	Over Thermal	Shut Off Output Automatically	
	Fuses	Short Circuit	
Environment	Working Temperature	Between -10°C and +50°C	
	Working Humidity	20%~90%RH non-condensing	
	Storage Temperature	Between -30°C and +70°C	
Others	Start	Soft Start	
	Cooling Ways	Cooling Fan	
	Total Harmonic Distortion	THD < 5%	
	Machine size(mm)	460*207*93	

ANEXO H

Catálogo de rectificadores DACHS

	<u>100145</u>	<u>1.5SMCJ100CA</u>		0	0	SMD Diodo TVS Bidireccional 100V 1500W 1.5SMCJ100CA SMD DO-214AB/SMC DIOTEC
	<u>100146</u>	<u>1.5SMCJ120CA</u>		0	0	SMD Diodo TVS Bidireccional 120V 1500W 1.5SMCJ120CA SMD DO-214AB/SMC DIOTEC
	<u>100223</u>	<u>SGL34-60</u>		0	0	SMD Diodo Rectificador Schottky 0A5 60V SGL34-60 SMD DO-213AA/MiniMef DIOTEC
	<u>100360</u>	<u>DBI25-08A</u>		0	0	Puente Rectificador 25A 800V DBI25-08A SIL 35 x 25 x 4 DIOTEC
	<u>100361</u>	<u>DBI25-16A</u>		0	0	Puente Rectificador 25A 1600V DBI25-16A SIL 35 x 25 x 4 DIOTEC
	<u>100597</u>	<u>P6KE24A</u>		465	0	DIODO TSIL 24V 600W 5% (P6KE24A) UNIDIRE C. D0204A C ST.
	<u>100883</u>	<u>S3A</u>		10	0	SMD DIODO RECTIFICADOR S3A 3A 50V SMC T9C.
	<u>100885</u>	<u>E83A</u>		10	0	SMD Diodo Rectificador 3A 50V E83A SMD DO-214AB/SMC DIOTEC
	<u>101089</u>	<u>RGL34J</u>		0	0	SMD Diodo Rectificador 0A5 600V RGL34J SMD DO-213AA/MiniMef DIOTEC
	<u>101108</u>	<u>5KP10A</u>		0	0	Diodo TVS Unidireccional 10V 5000W 5KP10A Axial D 8 x 7.5 DIOTEC
	<u>101109</u>	<u>5KP11A</u>		0	0	Diodo TVS Unidireccional 11V 5000W 5KP11A Axial D 8 x 7.5 DIOTEC

<https://www.dachs.es/semiconductores/semiconductores-discretos/diodos-y-rectificadores>

ANEXO I

Catálogo de rodamientos SKF

Dimensiones principales				Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Designaciones	
d	D	H	H ₁	C	C ₀	P _u	Velocidad de referencia	Velocidad límite	Rodamiento	Arandela de asiento
mm				kN		kN	r/min			
▲	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
3	8	3.5		0.806	0.72	0.027	26000	36000	▶ BA 3	
4	10	4		0.761	0.72	0.027	22000	30000	▶ BA 4	
5	12	4		0.852	0.965	0.036	20000	28000	▶ BA 5	
6	14	5		1.78	1.92	0.071	17000	24000	▶ BA 6	
7	17	6		2.51	2.9	0.108	14000	19000	▶ BA 7	
8	19	7		3.19	3.8	0.143	12000	17000	▶ BA 8	
9	20	7		3.12	3.8	0.143	12000	16000	▶ BA 9	
10	26	11		12.7	18.6	0.695	8000	11000	▶ 51200	
10	24	9		8.71	12.2	0.45	9500	13000	▶ 51100	
12	28	11		13.3	20.8	0.765	8000	11000	▶ 51201	
12	26	9		10.4	16.6	0.62	9000	13000	▶ 51101	
12	28	11.4	13	13.3	20.8	0.765	8000	11000	▶ 53201	U 201
15	32	12		15.9	25	0.915	7000	10000	▶ 51202	
15	28	9		10.6	18.2	0.67	8500	12000	▶ 51102	

Fuente: <https://www.skf.com/ve/products/bearings-units-housings/ball-bearings/thrust-ball-bearings/single-direction/index.html>

ANEXO J

Catálogo de rodamientos SKF

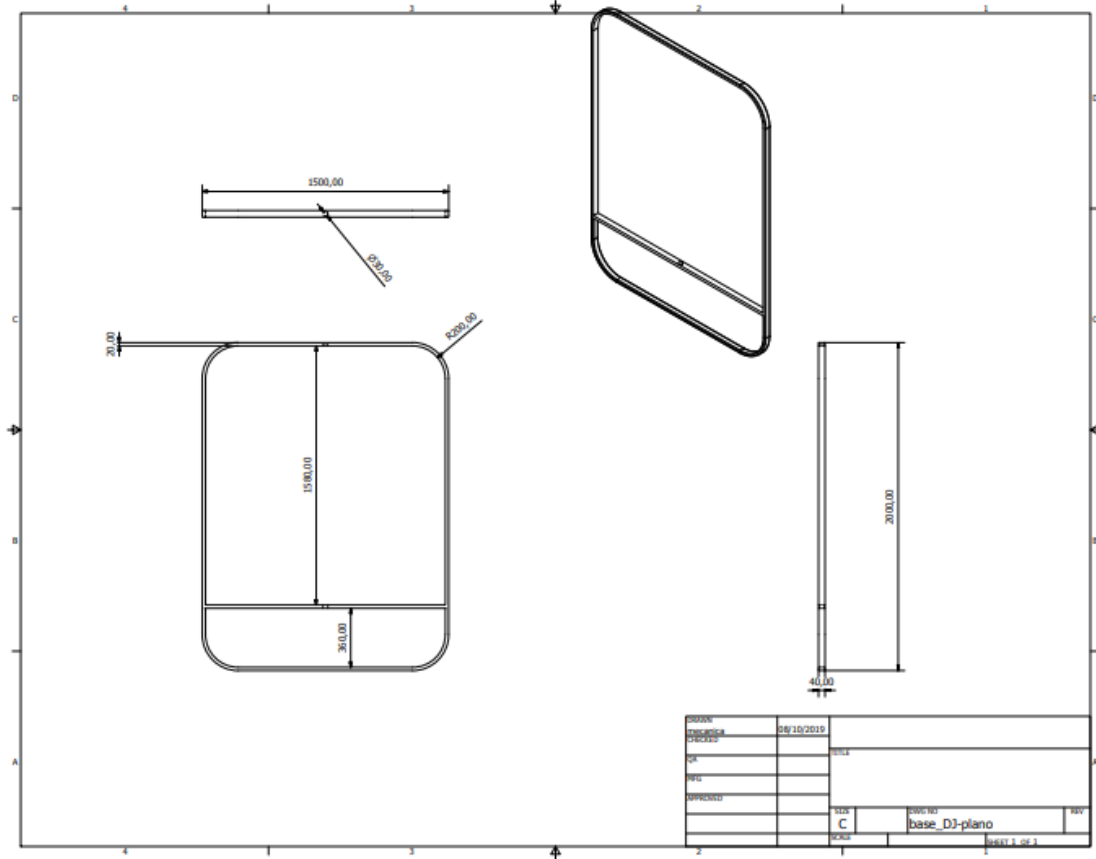
Dimensiones principales					Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Designaciones	
d	D	H	H ₁	C	C ₀	P _u	Velocidad de referencia	Velocidad límite	Rodamiento	Arandela de asiento	
mm				kN		kN	r/min				
⌀	⌀	⌀	⌀	⌀	⌀	⌀	⌀	⌀	▶	⌀	
30	52	16		25.1	51	1.86	4800	6700	▶ 51206		
30	47	11		19	43	1.6	6000	8500	▶ 51106		
30	60	22.6	25	35.8	65.5	2.4	3800	5300	▶ 53306	U 306	
30	52	17.8	20	25.1	51	1.86	4500	6300	▶ 53206	U 206	
35	80	32		76.1	137	5.1	2600	3600	▶ 51407		
35	68	24		49.4	96.5	3.55	3400	4800	▶ 51307		
35	62	18		35.1	73.5	2.7	4000	5600	▶ 51207		
35	52	12		19.9	51	1.86	5600	7500	▶ 51107		
35	68	25.6	28	49.4	96.5	3.55	3200	4500	▶ 53307	U 307	
35	62	19.9	22	35.1	73.5	2.7	4000	5600	▶ 53207	U 207	
40	90	36		95.6	183	6.8	2400	3400	▶ 51408		
40	78	26		61.8	122	4.5	3000	4300	▶ 51308		
40	68	19		44.2	96.5	3.6	3800	5300	▶ 51208		
40	60	13		25.5	63	2.32	5000	7000	▶ 51108		
40	90	38.2	42	95.6	183	6.8	2400	3200	▶ 53408	U 408	
40	78	28.5	31	61.8	122	4.5	2800	4000	▶ 53308	U 308	
40	68	20.3	23	44.2	96.5	3.6	3600	5300	▶ 53208	U 208	
45	100	39		124	240	9	2200	3000	▶ 51409		
45	85	28		76.1	153	5.6	2800	4000	▶ 51309		
45	73	20		39	86.5	3.2	3600	5000	▶ 51209		
45	65	14		26.5	69.5	2.55	4500	6300	▶ 51109		

Fuente: <https://www.skf.com/ve/products/bearings-units-housings/ball-bearings/thrust-ball-bearings/single-direction/index.html>

APPENDICES

APENDICE B

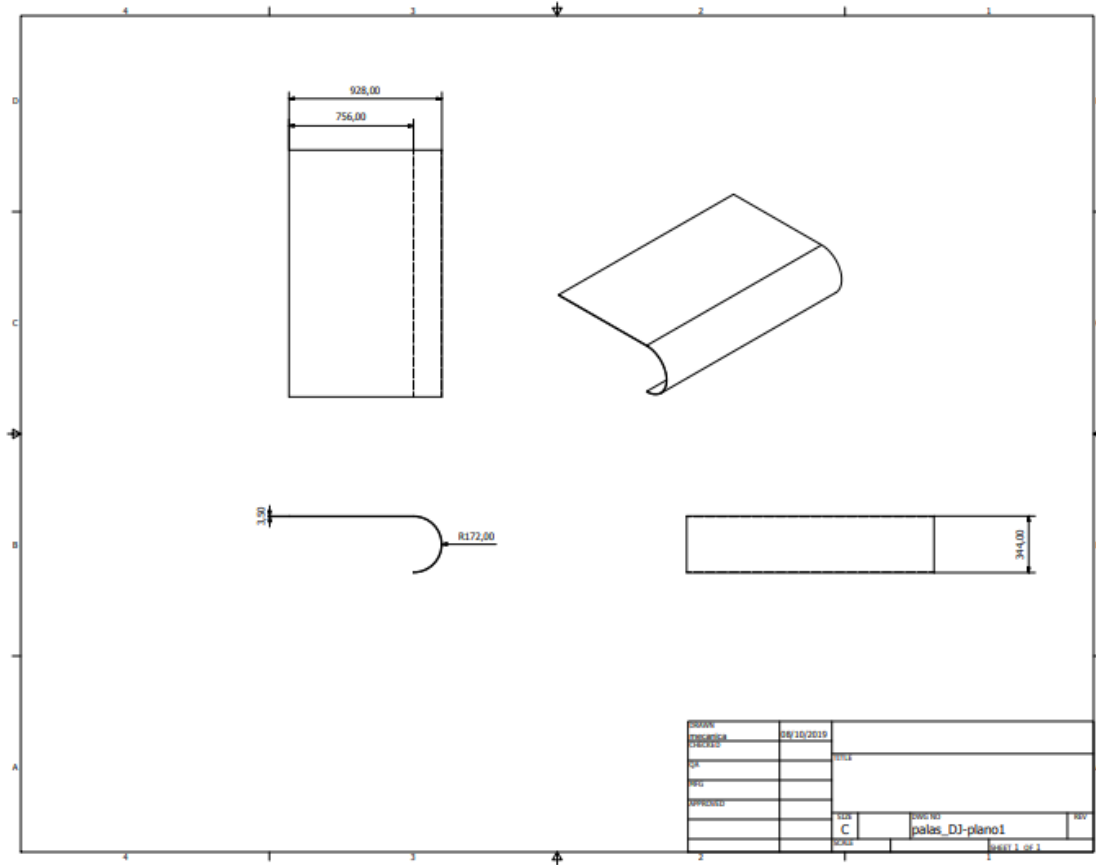
Plano de la base del aerogenerador



Fuente Chacón, González (2019)

APENDICE C

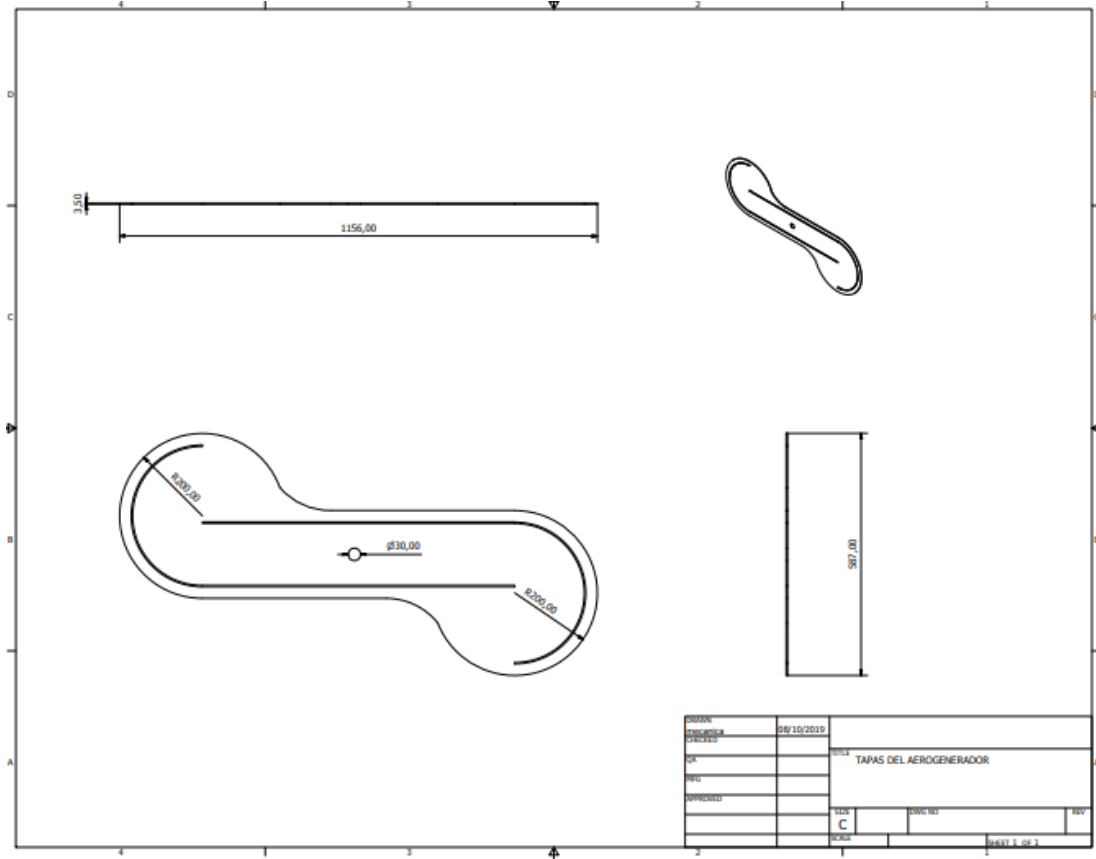
Plano de las palas del aerogenerador



Fuente Chacón, González (2019)

APENDICE D

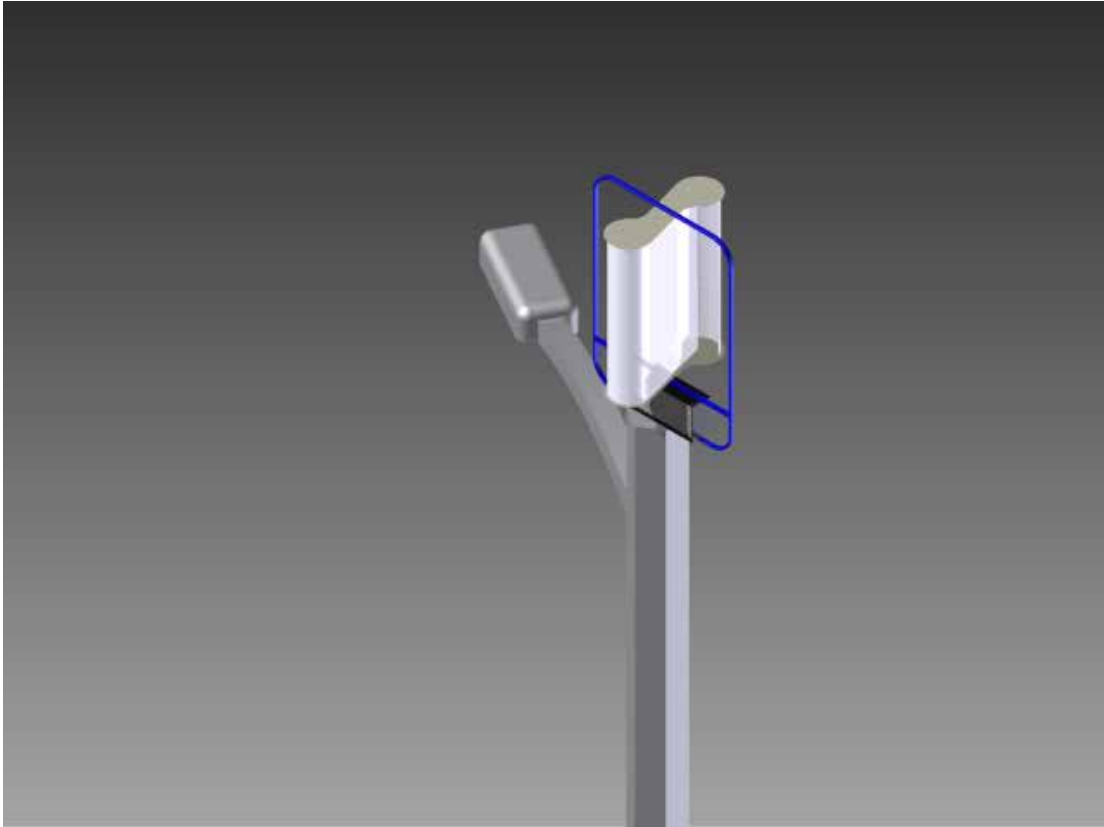
Plano de las tapas del aerogenerador



Fuente Chacón, González (2019)

APENDICE F

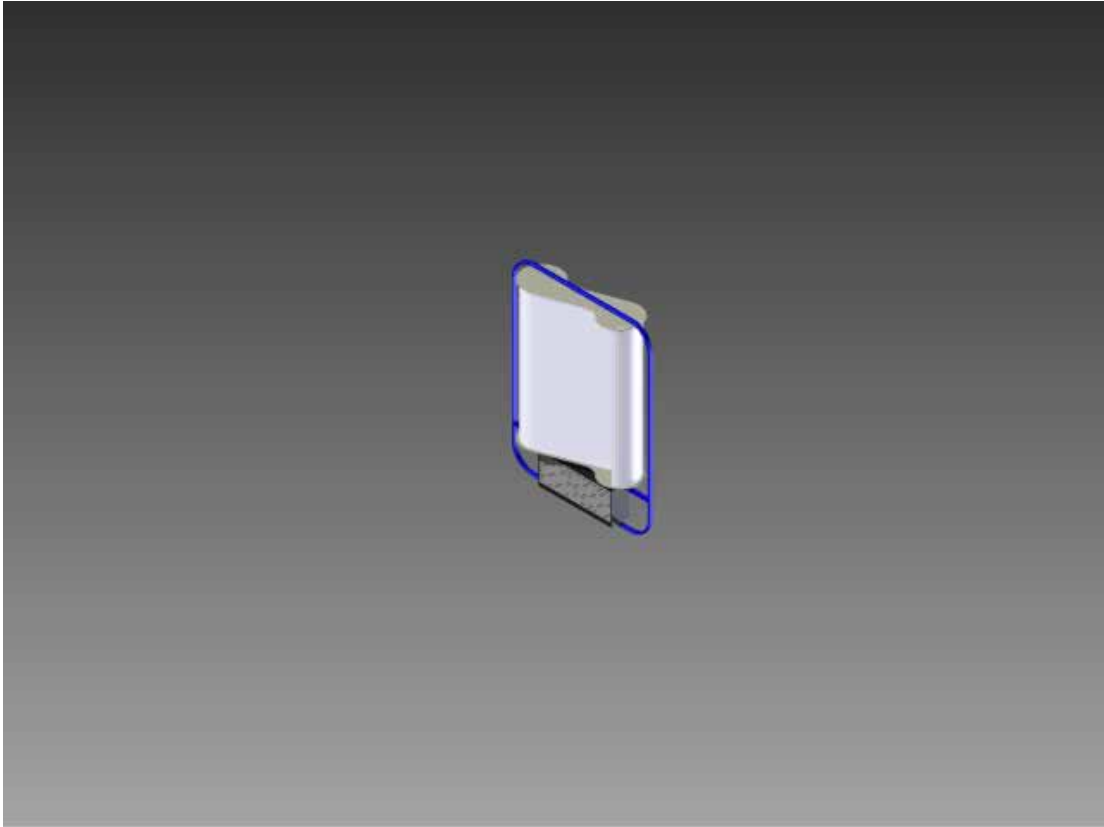
Imagen del aerogenerador y el poste de alumbrado público



Fuente Chacón, González (2019)

APENDICE G

Imagen del aerogenerador



Fuente Chacón, González (2019)