

 INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA DE ENVIGADO	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-028
		Versión: 01
		Página 1 de 98

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE ENERGÍA EÓLICA PARA EL USO Y EL
ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA EN LA BATERÍA DE UN VEHÍCULO
ELÉCTRICO.**

CAMILO ANDRES HENAO MORA

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA DE ENVIGADO
FACULTAD DE INGENIERÍAS
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
ENVIGADO – ANTIOQUIA
2013**

 INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA DE ENVIGADO	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 2 de 98

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE ENERGÍA EÓLICA PARA EL USO Y EL
ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA EN LA BATERÍA DE UN VEHÍCULO
ELÉCTRICO.**

CAMILO ANDRES HENAO MORA

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO
ELECTRÓNICO**

**ASESOR
CARLOS EDUARDO BAQUERO VELEZ
INGENIERO MECANICO
ESPECIALISTA EN GERENCIA DE PROYECTOS**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA DE ENVIGADO
FACULTAD DE INGENIERÍAS
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
ENVIGADO – ANTIOQUIA
2013**

 INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA DE ENVIGADO	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 3 de 98

DEDICATORIA

Este trabajo esta dedicado a mis padres, Carlos Alberto Henao Gallego, Alba Roció Mora Agudelo, que han estado siempre en mi orientación y formación como persona, brindándome su acompañamiento en todo momento, dando su sabio consejo, y una entrega incondicional, también a mis hermanos Luis Carlos Henao Mora y Andrea Catalina Henao Mora que son mi fortaleza en todo momento, a mi tío Jairo Henao que siempre alegra cualquier día con una buena sonrisa y un gran consejo y su apoyo que dio lugar para que todo esto fuera posible, a todos mil gracias por que por ellos se pudo alcanzar esta gran meta.

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 4 de 98

AGRADECIMIENTOS

Mis gratitudes están dirigidas a todas aquellas personas que han brindado un aporte para mi formación personal y profesional, a los profesores que me han brindado y compartido tan importante conocimiento que hoy día me han hecho alguien más sabio, proyectado y educado. A mis compañeros que estuvieron siempre presentes brindándome más que una sonrisa, un brazo o ambos en todo momento, a los semilleros de investigación, Electrónica dirigido por Rolando Agudelo Álvarez con el cual se inicio y se entablo las ideas para surgir con este proyecto, a las personas que pertenecen a los semillero de Energía Eólica *Windy*, el cual hoy día el proyecto sigue su curso hasta aplicarlo y evolucionarlo con el paso del tiempo, y especialmente a mi asesor Carlos Eduardo Baquero Vélez que ha estado en el acompañamiento constante en la realización de este trabajo, también a Andrés Felipe Galvis estudiante de Mecatrónica de la EIA, que con su disponibilidad y aportes técnicos e intelectuales brindaron un conocimiento importante para que este trabajo fuera posible. A todos muchas gracias y éxitos en su camino profesional y de vida.

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 5 de 98

CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
LISTA DE TABLAS	11
LISTA DE FIGURAS	13
GLOSARIO	15
RESUMEN.....	17
ABSTRACT.....	18
INTRODUCCIÓN	19
1. PRESENTACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO	21
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	21
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	24
1.3. OBJETIVOS.....	26
1.3.1. Objetivo General.....	26
1.3.2. Objetivos específicos.....	26
1.4. DISEÑO METODOLÓGICO	27
1.5. PRESUPUESTO DEL TRABAJO DE GRADO	28
1.6. CRONOGRAMA	31
2. PARAMETROS Y SISTEMAS DE ENERGIA EOLICA Y DE UN VEHICULO ELECTRICO	33

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 6 de 98

2.1.	ANTECEDENTES.....	33
2.1.1	.Empresa Ecotricity encargo el desarrollo de un vehículo eléctrico cargado a partir de la energía eólica.....	33
2.1.2.	Dong Energy construye un sistema de adquisición de energía eólica.....	33
2.1.3.	Project Better Place y la Alianza Renault-Nissan	34
2.1.4.	Sanya Skypump.....	34
2.1.5.	Generador eólico por Jose Raul Tirapu	35
2.1.6.	<i>Mixer/Ejector Wind Turbine (MEWT)</i>	35
2.1.7.	<i>Buggy Solar Elektron</i>	36
2.2.	REFERENTES MARCO TÉORICO	37
2.2.1.	Las palas del rotor:	37
2.2.2.	El buje:.....	38
2.2.3.	Eje de baja velocidad:.....	38
2.2.4.	El multiplicador:	39
2.2.5.	Eje de alta velocidad:.....	39
2.2.6.	Generador eléctrico:	39
2.2.7.	Unidad de refrigeración:	40

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 7 de 98

2.2.8.	Rotor eólico:.....	40
2.2.9.	Esquema de un generador eólico horizontal:.....	40
2.2.10.	Batería de Ion Litio:.....	41
2.2.11.	Baterías de Plomo-Ácido:	41
2.2.12.	Alternador:	42
2.2.13.	Motor eléctrico:	43
2.3.	MARCO CONCEPTUAL:	43
2.3.1.	¿Que es energía eólica?	43
2.3.2.	Energías renovables:.....	43
2.3.3.	Aerogeneradores:	44
2.3.4.	Electrónica:	44
2.3.5.	Electrónica automotriz:	44
2.3.6.	Energía eléctrica:.....	45
2.3.7.	Vehículos eléctricos:.....	45
2.3.8.	Vehículos híbridos:	45
3.	DATOS Y DISEÑO DEL VEHICULO ELÉCTRICO	46
4.	VARIABLES Y CARACTERISTICAS NECESARIAS PARA LA ELABORACION DEL GENERADOR EÓLICO.....	50

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 8 de 98

4.1.	TIPO DE ROTOR:	50
4.2.	PARÁMETROS A TENER EN CUENTA PARA LA REALIZACIÓN DEL DISEÑO:	51
4.2.1.	Tipo de turbinas Hawt (turbinas de eje horizontal) y Vawt (turbinas de eje vertical):	51
4.2.2.	Tipo de Rotores:	52
4.2.3.	Clasificación de los generadores:	54
4.3.	ZONA PARA LA UBICACIÓN DEL GENERADOR EÓLICO	54
4.4.	ESCALA DE BEAUFORT	55
4.5.	DENSIDAD DEL AIRE	57
4.6.	TEMPERATURA DE COLOMBIA	58
4.7.	LIMITE DE BETZ	59
5.	DISEÑO Y CÁLCULOS DEL SISTEMA EÓLICO	60
5.1.	EL ROTOR DARRIEUS:	60
5.2.	DISEÑO DEL GENERADOR EÓLICO	60
5.2.1.	Análisis #1	61
5.2.2.	Diseño gráfico del rotor Darrieus:	63
5.2.3.	Cálculos de la potencia del rotor Darrieus	64
5.3.	EL ROTOR SAVONIUS:	67
5.3.1.	Diferencias de los rotores Savonius y Darrieus:	68

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 9 de 98

5.3.2.	Diseño del Rotor Savonius:	69
5.4.	DISEÑO EN 3D DEL ROTOR SAVONIUS Y DARRIEUS ACOPLADOS:	71
5.5.	ANÁLISIS #2.....	72
5.5.1.	Velocidad específica TSR:.....	72
5.5.2.	Revoluciones por minuto del rotor eólico	73
5.6.	ACOPLAMIENTO DEL ROTOR EÓLICO Y EL GENERADOR.	74
5.6.1.	Características del alternador:	75
5.6.2.	Rotor del alternador	76
5.6.3.	Estator.	76
5.6.4.	Puente rectificador de diodos.	77
5.6.5.	Regulador de voltaje.....	79
6.	BATERÍAS:	82
7.	POTENCIA GENERADA POR EL ALTERNADOR	83
8.	ESQUEMA DEL DISEÑO EÓLICO, EL ALTERNADOR, EL SISTEMA DE REGULACIÓN Y LAS BATERÍAS.	85
9.	DISEÑO FINAL, GRÁFICO DEL ROTOR EN UN VEHÍCULO ELÉCTRICO.	86
10.	RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS PLANTEADOS.....	87
11.	FACTORES A TENER EN CUENTA	89
12.	SEGUIMIENTO QUE DEJA EL PROYECTO	90

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 10 de 98

13.	CONCLUSIONES	91
14.	BIBLIOGRAFÍA:	93

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 11 de 98

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Presupuesto Global del Trabajo de Grado	28
Tabla 2. Descripción de los Gastos de Personal	28
Tabla 3. Descripción de Material y Suministro	29
Tabla 4. Descripción de Material Bibliográfico	29
Tabla 5. Descripción de Equipos	29
Tabla 6. Descripción de Otros Gastos Financieros.....	30
Tabla 7. Variables a usar	50
Tabla 8. Características principales de las turbinas HAWT y VAWT	52
Tabla 9. Características de rotores horizontales y verticales	53
Tabla 10. Características de los generadores	54
Tabla 11. Escala de Beaufort.....	56
Tabla 12. Temperatura y densidad del aire	57
Tabla 13. Potencia nominal y útil del generador eólico creado	65
Tabla 14. Potencia generada a 18 grados centígrados	66
Tabla 15. Características del Rotor Savonius y Darrieus.....	68
Tabla 16. Numero de palas en relación con al velocidad especifica.....	73
Tabla 17. Revoluciones por minuto del rotor creado.....	74
Tabla 18. Características principales de tres tipos de baterías.....	82
Tabla 19. Corriente del alternador según las RPM	83

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 12 de 98

Tabla 20. Potencia entregada por el generador eólico84

Tabla 21. Autonomía proporcionada por el sistema.....87

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 13 de 98

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Cronograma de actividades	31
Figura 2. Tiempo del cronograma de actividades.	32
Figura 3. Numero de palas de las turbinas eólicas.	38
Figura 4. Generador Asíncrono, rotor de jaula.....	39
Figura 5. Esquema interno de un Aerogenerador eólico.....	40
Figura 6. Batería de Ion Litio.....	41
Figura 7. Estado de carga y descarga de una batería de Plomo-Ácido	42
Figura 8. Carga óptima de una batería	47
Figura 9. Flujo del viento en un Buggy.....	48
Figura 10. Modelo del buggy (figura tomada del programa Google Sketchup)	49
Figura 11. Temperatura y densidad del aire	58
Figura 12. Coeficiente de potencia (C_p) en relación a la Velocidad específica (TSR)	59
Figura 13. Tipos de Generadores Darrieus.....	60
Figura 14. Diseño del rotor Darrieus (Diseño elaborado con el programa Google Sketchup).....	63
Figura 15. Rotor Savonius	67
Figura 16. Flujo del viento en un rotor Savonius.....	68
Figura 17. Área comprendida de un rotor Savonius.....	69

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 14 de 98

Figura 18. Diseño del rotor Savonius (Diseño elaborado con el programa Google Sketchup).....	70
Figura 19. Diseño final del rotor Savonius y Darrieus (Diseño realizado en Google Sketchup).....	71
Figura 20. Característica corriente-velocidad de giro de un alternador de un vehículo	75
Figura 21. Alternador	76
Figura 22. Símbolo eléctrico del estator.....	77
Figura 23. Onda completa rectificadas de un alternador	78
Figura 24. Onda de corriente rectificadas.....	78
Figura 25. Esquema eléctrico básico de un alternador	79
Figura 26. Esquema interno de un Regulador de Voltaje	80
Figura 27. Esquema eléctrico alternador-rectificador-regulador	80
Figura 28. Esquema del rotor eólico-Alternador-Rectificador-Regulador-Batería ..	85
Figura 29. Diseño final del sistema eólico acoplado al vehículo (Diseño elaborado con el programa Google Sketchup)	86

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 15 de 98

GLOSARIO¹

Voltios: m. Fís. Unidad de potencial eléctrico y fuerza electromotriz del Sistema Internacional, equivalente a la diferencia de potencial que hay entre dos puntos de un conductor cuando al transportar entre ellos un *coulomb* se realiza el trabajo de un julio. (Símb. V).

Voltaje: m. Cantidad de voltios que actúan en un aparato o sistema eléctrico.

Corriente: (Del ant. part. act. de *correr*; lat. *currens*, *-entis*). f. *Electr.* Magnitud física que expresa la cantidad de electricidad que fluye por un conductor en la unidad de tiempo. Su unidad en el Sistema Internacional es el amperio.

Corriente Alterna: f. *Electr. corriente* eléctrica que invierte periódicamente el sentido de su movimiento con una determinada frecuencia.

Corriente directa: f. *Electr. corriente* eléctrica que fluye siempre en el mismo sentido.

Potencia: f. *Fís.* Cantidad de energía producida o consumida por unidad de tiempo.

Velocidad: (Del lat. *velocitas*, *-ātis*). f. Magnitud física que expresa el espacio recorrido por un móvil en la unidad de tiempo. Su unidad en el Sistema Internacional es el metro por segundo (m/s).

Viento: (Del lat. *ventus*). m. Corriente de aire producida en la atmósfera por causas naturales.

Aire: (Del lat. *aer*, *-ēris*, y este d el gr. ἀήρ). m. Fluido que forma la atmósfera de la Tierra. Es una mezcla gaseosa, que, descontado el vapor de agua que contiene en diversas proporciones, se compone aproximadamente de 21 partes de oxígeno, 78 de nitrógeno y una de argón y otros gases semejantes a este, al que se añaden algunas centésimas de dióxido de carbono.

Renovable: adj. Que puede renovarse.

¹ Diccionario de la real academia española. Disponible en: <http://www.rae.es/rae.html>. Citado el: [8 de septiembre de 2012].

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 16 de 98

Eólico: (Del lat. *Aeolīcus*, y este der. de *Aeōlus*, Eolo, dios de los vientos y padre del pueblo eólico en la mitología clásica). adj. Perteneiente o relativo al viento.

Flujo: (Del lat. *fluxus*) m. Acción y efecto de fluir.

Diodo: (De *di*-² y el gr. *ὁδός*, camino). m. *Electr.* Válvula electrónica, empleada como rectificador, que consta de un ánodo frío y de un cátodo caldeado.

Rectificador: m. *Electr.* Aparato que transforma una corriente alterna en corriente continua.

Transistor: (Del ingl. *transistor*, acrón. de *transfer* y *resistor*). m. Semiconductor provisto de tres o más electrodos que sirve para rectificar y amplificar los impulsos eléctricos. Sustituye ventajosamente a las lámparas o tubos electrónicos por no requerir corriente de caldeo, por su tamaño pequeñísimo, por su robustez y por operar con voltajes pequeños y poder admitir corrientes relativamente intensas.

Rotor: m. *Fís.* Parte giratoria de una máquina eléctrica o de una turbina.

Fosil: (Del lat. *fossīlis*). adj. Se dice de la sustancia de origen orgánico más o menos petrificada, que por causas naturales se encuentra en las capas terrestres.

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 17 de 98

RESUMEN

Mediante el avance de la tecnología y la crisis ambiental que sufre el planeta por utilización de productos fósiles, se desea indagar de qué manera es posible rebajar un poco las partículas contaminantes de uno de los principales causantes del deterioro ambiental, el vehículo.

Con el desarrollo de este trabajo se pretende establecer un diseño que pueda ser útil, que pueda generar una tendencia sobre posibles tecnologías aplicables al medio automotriz, un aporte encaminado a la utilización de una de las energías renovables de una forma astuta, fácil y algo controversial. Para este proyecto se pretende trabajar con la energía eólica, cuya principal implementación es usada en los aerogeneradores, que son movidos por las rápidas y grandes masas de viento que ponen en funcionamiento una turbina y tienen todo un proceso para obtener energía eléctrica.

El diseño propuesto se basa en la determinación de un punto estratégico de un vehículo, para la ubicación de un sistema capaz de adquirir por medio de la energía cinética, energía mecánica y convertirla en energía eléctrica, con el objetivo de tratar de almacenarla en las baterías de un vehículo eléctrico, el diseño contará con dos análisis, el primero parte de datos teóricos ideales sobre la posible potencia generada con ciertos parámetros requeridos, y el segundo se enfatizará más en las características de un generador y el tiempo de respuesta, y de esta forma determinar la potencia que podría generar, tras una depuración del proceso, que permita la obtención de datos claros y así obtener los valores que posiblemente suministre el diseño planteado a las baterías del vehículo.

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 18 de 98

ABSTRACT

Through technological advancement and the environmental crisis that the planet suffers because of the use of fossil products, we want to investigate about how it's possible to reduce a little the contaminant particles of one of the main actors in the environmental degradation, the automobile.

With the development of this investigation we pretend to establish a design that can be helpful, that it can generate a possible trend on technologies applicable to the automotive world, a contribution oriented at the use of renewable energy in a smart, easy, and controversial way. This project aspires to work with wind power, which main implementation is used in wind turbines, which are moved by fast and large masses of wind that makes to work the turbines and then we get electric power.

The proposed design relies on the determination of a strategic point of a vehicle, for the location of a system capable of acquiring by means of the kinetic energy, mechanical energy and convert into electrical energy, with the aim of trying stored in batteries of an electric vehicle, the design will feature two analyzes, the first part of both theoretical ideal on the possible power generated with certain parameters required, and the second will emphasize more on the characteristics of a generator and the response time, and thus determine the power that could generate, after a purification process, which allows to obtain clear data and obtain values possibly raised design to provide the vehicle batteries.

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 19 de 98

INTRODUCCIÓN

El gran cambio climático que vive el planeta en el presente siglo, puede estar directamente relacionado con la humanidad según estudios de la UNESCO², esto se debe ha muchos factores que consiguieron un mayor auge y un mayor deterioro cuando llegó la era industrial, se produjeron cambios significativos en muchas regiones a nivel mundial, trayendo consigo enfermedades, sequias, perdidas de cosechas, deterioro de los polos, inundaciones y hasta muerte de ecosistemas, especies y personas. La gran problemática se intensifica diariamente cuando las industrias día a día arrojan gran cantidad de componentes tóxicos a la atmosfera, el deterior de la capa de ozono cada vez es más grande, uno de estos contribuyentes a mayor escala es el famoso CO₂ (dióxido de carbono), cuya gran emisión de este gas, a hecho que los países establezcan reglas y conductas de supervisión para controlar estas emisiones, pero aun así esta situación adversa continúa creciendo a tal punto, que el momento de darle un alto significativo a esta problemática tiene que tomar partida lo más rápido posible, lo que a hecho que muchas empresas empiecen a aportar, a generar soluciones y tecnología para contribuir al cambio y una posible mejora a las grandes permutaciones que el clima provoca a día de hoy.

Este proyecto tendrá como fin el diseño de un sistema que pueda adquirir y almacenar energía eléctrica de forma que aproveche la energía del viento, un estudio que para la industria automotriz podría resultar de sumo interés, que deja como visión la aplicación y mejora hasta llegar el punto de establecerla y distribuirla a nivel mundial, una tecnología aun con mucho que explorar y descubrir, pero que generará y contribuirá de una manera muy significativa a la problemática ambiental, un desarrollo tecnológico que disminuirá los gases tóxicos, y además aportará a la autonomía del vehículo.

El desarrollo de este proyecto se va a realizar en tres etapas, que son la indagación, el diseño del sistema eólico en un vehículo eléctrico y los cálculos del almacenamiento de la energía eléctrica obtenida por dicho sistema en las baterías del vehículo. En la primer etapa se buscará toda la información necesaria para obtener los parámetros necesarios para generar el diseño, además del modelo de vehículo el cual servirá para establecer las medidas pertinentes para la correcta elaboración del proyecto, en la segunda etapa se esbozará el diseño de

² ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACIÓN, LA CIENCIA Y LA CULTURA. Estudios de caso Cambio Climático y Patrimonio Mundial. 2009. ISBN 978-92-3-304125-7. Disponible en <http://whc.unesco.org/uploads/activities/documents/activity-473-3.PDF>.

 INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA DE ENVIGADO	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 20 de 98

adquisición de energía eólica en el vehículo, y en la tercera etapa consiste en indagar y calcular matemáticamente los parámetros necesarios para generar un almacenamiento estable en el banco de baterías de un vehículo eléctrico.

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 21 de 98

1. PRESENTACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A partir del aprovechamiento y las ventajas que ha encontrado el hombre en el uso de las energías, las cuales le han otorgado bienestar social, económico, y además de convertirse en una necesidad en el presente siglo, se ha constituido en un indicador de desarrollo de los países y de las regiones. La humanidad se ha visto forzada a analizar, estudiar, evaluar e implementar nuevas alternativas de energías como las renovables para sustentar la creciente población y contribuir a la reducción del impacto ambiental que se ha generado por la explotación de los recursos fósiles (carbón, petróleo, gas, uranio, etc)³.

Las dificultades de todo orden, ya sean políticas o económicas, han retrasado el desarrollo en el pasado del uso de la energía renovable, una opción que dejó el uso de los combustibles fósiles como materia prima para muchos campos de la industria, y no solo trajo consigo un cambio climático, factores como la lluvia ácida, los residuos radiactivos entre otros han hecho estragos hasta hoy en día, cuya solución a muchos de estos factores es el uso de las energías renovables, la mayoría de estas energías derivan directa o indirectamente del sol, hasta los combustibles fósiles que son energía solar almacenada durante millones de años, pero su daño radica en la extracción y quema de este recurso⁴, aun hoy viendo el deterioro que genera el uso de los recursos fósiles pocas regiones se están proyectando para usar una o varias de las energías renovables (solar, eólica, geotérmica entre otras), donde de seguro marcarán positivamente un avance energético y desarrollo ambiental que les brindará una mejor calidad de vida, una sociedad más consciente y un entorno más sano.

La llegada del automóvil en el siglo XVIII trajo consigo comodidad, bienestar social y personal, y una gran evolución en materia de movilidad, pero esta dejando grandes secuelas para el ecosistema, la capa de ozono de nuestro planeta la cual es afectada por la quema de basura, quema de petróleo, el bromo, el dióxido de carbono y muchos más contaminantes, han llevado a un cambio climático a nivel mundial, tan grande que los climatólogos temen que con

³ Combustibles Fósiles. disponible en: <http://www.lenntech.es/efecto-invernadero/combustibles-fosiles.htm> Tomado de: Water Treatment Solutions LENTTECH.

⁴ SANTAMARTA FLÓREZ, José. Las energías renovables son el futuro. World-Watch 2004. Disponible en: <http://www.almediam.org/PDF/Renovables.pdf>.

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 22 de 98

el paso del tiempo el planeta se siga recalentando y sea irreversible el deterioro del mismo. El 70% de este cambio climático es producido por el CO₂ (dióxido de carbono), el cual se genera por la combustión de fósiles y la mitad de esta contaminación es formada por los combustibles que se usan como alimentación para los motores de los automóviles, aunque grandes empresas como Renault confirman que los millones de vehículos que construyen anualmente consumen menos energía y proporcionan mayor eficiencia⁵. Aun así, la contaminación continua con la emisión de gases que los vehículos generan. De acuerdo con la conferencia del 13 de marzo, realizada en la universidad Autónoma de la ciudad de México denominada *Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México (Pro Aire 2002-2010)*, los principales elementos contaminantes que emite el automóvil a la atmosfera son el dióxido de azufre (SO₂), las partículas ásperas PM10 (humo, tierra y polvo toxico), los hidrocarburos totales (HC) responsable de más del 80% del muy venenoso gas CO (monóxido de carbono), y mas del 50% del NOX (óxido de nitrógeno) y las dos terceras partes de los hidrocarburos totales, por estas causas, en su conjunto los autos son los principales contaminantes del aire en las ciudades⁶.

En el presente siglo aun sigue el deterioro masivo de nuestra capa de ozono y la gran explotación de nuestros recursos fósiles, pero a diferencia de los siglos anteriores hoy la industria automotriz al presenciar los grandes cambios climáticos y el deterioro constante del planeta por la utilización de los combustibles fósiles y las emisiones de CO₂, están siendo un poco más enfáticos en el desarrollo de tecnologías que permitan adquirir y utilizar las energías renovables como elemento principal para el funcionamiento de los vehículos, lo cual ha causado una gran evolución y competitividad para cada empresa automotriz, hoy día algunas de estas presentan nuevas propuestas de diseño e implementación de tecnologías en los automóviles para que funcionen óptimamente por medio de energía eléctrica, construyendo vehículos donde su fuente de energía no sea tan contaminante, sea más pura y sostenible, llevando a estudiar y mejorar las fuentes de almacenamiento y obtención de energía eléctrica convencionales y mejorándolas como lo son por ejemplo, las baterías de

⁵ IBAÑES, Hablemos de eficiencia: coche de combustión vs coche eléctrico. Motor Pasión Futuro. Disponible en: <http://www.motorpasionfuturo.com/coches-electricos/hablemos-de-eficiencia-coche-de-combustion-vs-coche-electrico> [citado en 6 enero de 2012].

⁶ VALENCIA, Miguel. EL AUTO FRENTE A LA CIUDAD: IMPACTO SOCIAL, AMBIENTAL Y ENERGÉTICO. ECOMUNIDADES Red Ecologista Autónoma de la Cuenca de México. , Conferencia en la Universidad Autónoma de la Ciudad de México Disponible en: <http://red-ecomunidades.blogspot.com/2007/03/el-auto-frente-la-ciudad-impacto-social.html> Publicado por: Aurora [citado el 19 Marzo de 2007].

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 23 de 98

ion-litio, esto genera una competencia por el liderazgo sobre tecnología e innovación en la industria automotriz, y a su vez contribuye de una forma positiva, aplicable, eficiente e innovadora a la gran crisis ambiental, que se está generando por la fabricación y el uso de los vehículos en el presente siglo.

Los grandes cambios climáticos están siendo una alerta para innovar en sistemas de adquisición y aplicación de energías renovables, limpias, puras que no contaminen el planeta ni afecten la salud de los seres vivos y que a su vez contribuyan con un mejor desempeño de los vehículos. Por esta razón se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo diseñar un mecanismo que aproveche la energía eólica para la alimentación estable de energía a la batería de un vehículo eléctrico y a su vez contribuya con el medio ambiente?

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 24 de 98

1.2. JUSTIFICACIÓN

Día a día la industria automotriz hace énfasis en el diseño y desarrollo de nuevas tecnologías para el uso del automóvil, ofreciendo avances y llevando a futuro la meta de obtener un vehículo autónomo, que pueda brindar un mejor servicio, más funcional, más práctico, seguro y con una mayor autosuficiencia para las funciones que necesita realizar, como estar en marcha sin necesidad de un combustible fósil. una de estas metas se enfoca en la alimentación de las baterías de los vehículos eléctricos, las industrias han dado pasos importantes y están generando mejoras como el cambio de la alimentación de los vehículos, otorgándole a los automóviles tecnologías distintas para su funcionamiento, hoy en día los avances de los vehículos que usan un sistema eléctrico, que necesitan la electricidad almacenada en bancos de baterías para su uso, a diferencia de los vehículos de combustión interna que necesitan algún tipo de combustible fósil, pero *“para alimentar un coche eléctrico es necesario el uso de electricidad, el proceso de obtención de energía puede ser contaminante⁷, así que este proceso no es del todo limpio”*, por este motivo el generar diseños para la obtención de energía eléctrica por medio de las energías alternativas son proyectos de gran impacto en la industria automotriz encaminándola a conseguir la autonomía en los vehículos.

En la actualidad el tema energético forma parte de una gran problemática ambiental⁸, por esta razón se acude cada vez más a la implementación de las energías alternativas entre las cuales encontramos la energía solar fotovoltaica, energía solar térmica, energía hidráulica y energía eólica, en este caso se enfatizo en la última y en su utilidad. Este tipo de energía es un recurso abundante, renovable y limpio que contribuye en forma directa en la solución de la problemática ambiental.

Con el fin de contribuir a la solución de esta problemática y mejorar el tiempo de duración de la carga de la batería de un vehículo eléctrico, se pretende presentar una propuesta en donde se diseñe un sistema que use la energía eólica de

⁷ CAMÓS, Josep. Ferrolineras 3.0, recargas rápidas para coches eléctricos con la energía sobrante del tren. Motor Pasión Futuro, Disponible en: <http://www.motorpasionfuturo.com/reciclaje/ferrolineras-3-0-recargas-rapidas-para-coches-electricos-con-la-energia-sobrante-del-tren> [citado el 8 Mayo de 2012].

⁸ ROMERO, Eduardo El problema energético mundial. CURSO FRONTERAS DE LA ENERGIA, Centro de Ciencias de Benasque “Pedro Pascual”. Disponible: http://benasque.org/2009fronterasenergia/talks_contr/064ERP-Problema_Ener.pdf . [Citado el 5-10 julio 2009].

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 25 de 98

manera que funcione como un complemento de energía alternativa en un automóvil eléctrico, la intención es obtener energía eléctrica por medio de la energía que nos ofrece el viento, cuyo principal funcionamiento se basa en el aprovechamiento de la masa del aire, esto puede ser posible y funcional por medio de una turbina diseñada con un número determinado de aspas ubicadas en alguna parte del vehículo, donde este recibe una buena cantidad de viento al momento de desplazarse y así sacar mayor beneficio de este sistema energético; debido al movimiento de esta turbina se va a generar energía y por ende será utilizada y almacenada en la batería del propio vehículo.

Esto se propone ya que se desea adquirir energía eléctrica en la batería de los vehículos eléctricos de una forma más amigable con el medio ambiente. actualmente el panorama para realizar un cambio en el sistema que abastezca eléctricamente a los vehículos sin tanto desperdicio tóxico que afecte al ambiente implica un cambio y un avance tecnológico en la infraestructura de las ciudades, sin embargo, gracias a las ideas y propuestas que puedan contribuir en la adquisición de energía eléctrica, por medio de una energía renovable como lo es la energía eólica, contribuirá y hará posible que en países con poca infraestructura y un desarrollo lento, le sea posible obtener vehículos eléctricos que se alimenten de una forma amigable, fácil y aprovechando los recursos ambientales disponibles.

Con el uso del diseño propuesto se busca que sea aprovechada la energía eólica, y contribuir con una idea, un diseño que se constituya en objeto de estudio, un punto de partida o referencia para un estudio a futuro y favorezca la adquisición de energía eléctrica de una forma natural y además contribuya a la disminución de gases del efecto invernadero, mejorando a su vez el sistema de abastecimiento eléctrico del automóvil, otorgándole mayor rendimiento, fiabilidad y ahorro económico.

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 26 de 98

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

Diseñar un sistema que aprovechando la energía eólica, ayude a cargar la batería de un vehículo eléctrico.

1.3.2. Objetivos específicos.

- Recopilar la información necesaria para la elaboración del proyecto.
- Determinar cual es el mejor lugar de un vehículo eléctrico para la ubicación del sistema.
- Organizar la información recopilada para la elaboración y correcta realización del diseño.
- Calcular de acuerdo a la información recopilada un sistema que aproveche la energía del viento, mientras el vehículo esta en movimiento.
- Diseñar una forma de acoplar el sistema de adquisición de energía obtenida por la masa del viento en la batería del automóvil eléctrico, con el fin de tener un suministro estable de energía.

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 27 de 98

1.4. DISEÑO METODOLÓGICO

El presente proyecto se aplicará el método deductivo-inductivo, porque es necesario realizar cálculos, mediciones, bocetos, partiendo de la información conocida sobre aerogeneradores, baterías y vehículos eléctricos para lograr un correcto desarrollo del diseño, y luego extraer unas conclusiones en un ámbito más general.

El proyecto es tecnológico ya que su diseño esta orientado al sector energético, automotriz y de medio ambiente, quienes podrían mirar este tipo de ideas como una opción o un aporte para contribuir con el desarrollo autónomo de los vehículos además de ayudar en la conservación del medio ambiente.

Este proceso será realizado en tres etapas:

- Indagación y organización de la información: búsqueda de toda la información, asesorías, bibliografías, artículos y demás fuentes o recursos que faciliten la indagación y clarificación de los conceptos, problemas, parámetros del vehículo y rutas factibles para la realización del diseño.
- Diseño del sistema eólico en un vehículo eléctrico: Se esbozará el dispositivo de adquisición de energía eléctrica a partir de la energía eólica en un vehículo, de manera que en la realización de los planos según mediciones y parámetros del sistema eólico y de un vehículo eléctrico pueda ser funcional, práctico y confiable. Todo esto vendrá del proceso de indagación, el cual permitirá adquirir un programa para el boceto del diseño que satisfaga los objetivos propuestos.
- Cálculos físicos y matemáticos: Se harán todas las posibles y necesarias mediciones, usando las formulas que cobijan el diseño de un generador eólico, y los demás cálculos matemáticos pertinentes, para analizar los posibles valores numéricos en términos de electricidad que el sistema pueda arrojar y así poder generar un análisis pertinente y confiable con la información indagada y el diseño propuesto para ver que tanta energía es posible almacenar dependiendo de la velocidad del viento respecto al vehículo.

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 28 de 98

1.5. PRESUPUESTO DEL TRABAJO DE GRADO

PRESUPUESTO GLOBAL DEL TRABAJO DE GRADO				
RUBROS	FUENTES			TOTAL
	Estudiante	Institución – IUE	Externa	
Personal	\$5.000.000	\$1.201.160		\$6.201.160
Material y suministro	\$310.000			\$310.000
Bibliografía	\$150.000	\$400.000		\$550.000
Equipos	\$1.100.000			\$1.100.000
Otros	\$600.000			\$600.000
TOTAL	\$7.160.000	\$1.601.160		\$8.761.160

Tabla 1. Presupuesto Global del Trabajo de Grado

DESCRIPCIÓN DE LOS GASTOS DE PERSONAL						
Nombre del Investigador	Función en el proyecto	Dedicación h/semana	Costo			Total
			Estudiante	Institución – IUE	Externa	
Camilo Andrés Henao Mora	Investigador	28	\$200.000			\$200.000
Carlos Eduardo Baquero Vélez	Asesor	2		\$60.058		\$60.058
TOTAL		30	\$200.000	\$60.058		\$260.058

Tabla 2. Descripción de los Gastos de Personal

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 29 de 98

DESCRIPCIÓN DE MATERIAL Y SUMINISTRO				
Descripción de tipo de Material y/o suministro	Costo			Total
	Estudiante	Institución – IUE	Externa	
Papelería	\$160.000			\$160.000
Material de Medición	\$150.000			\$150.000
TOTAL	\$310.000			\$310.000

Tabla 3. Descripción de Material y Suministro

DESCRIPCIÓN DE MATERIAL BIBLIOGRÁFICO				
Descripción de compra de material bibliográfico	Costo			Total
	Estudiante	Institución – IUE	Externa	
Libros Varios		\$400.000		\$400.000
Material Varios	\$150.000			\$150.000
TOTAL	\$150.000	\$400.000		\$550.000

Tabla 4. Descripción de Material Bibliográfico

DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS				
Descripción de compra de equipos	Costo			Total
	Estudiante	Institución - IUE	Exte	
Computador portátil	\$1.100.000			\$1.100.000
TOTAL	\$1.100.000			\$1.100.000

Tabla 5. Descripción de Equipos

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 30 de 98

DESCRIPCIÓN DE OTROS GASTOS FINANCIADOS				
Descripción de otros gastos	Costo			Total
	Estudiante	Institución – IUE	Externa	
Movilización y transporte	\$400.000			\$400.000
Imprevistos	\$200.000			\$200.000
TOTAL	\$600.000			\$600.000

Tabla 6.Descripción de Otros Gastos Financieros

 INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA DE ENVIGADO	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 31 de 98

1.6. CRONOGRAMA

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
[-] DISEÑO DE UN SISTEMA DE ENERGIA EOLICA PARA EL USO Y EL ALMACENAMIENTO DE ENERGIA EN LA BATERIA DE UN VEHICULO ELECTRICICO.	137 días	mar 17/07/12	mié 23/01/13
Recopilacion de la informacion	49 días?	mar 17/07/12	vie 21/09/12
Organización de la informacion	50 días?	lun 30/07/12	vie 05/10/12
Definicion de las condiciones de diseño	30 días?	lun 03/09/12	vie 12/10/12
[-] Selección de herramientas y calculos para la elaboracion del diseño	75 días	lun 03/09/12	vie 14/12/12
Boceto pertinentes del diseño.	25 días?	lun 03/09/12	vie 05/10/12
Correccion de bocetos y diseño del dispositivo	5 días?	lun 08/10/12	vie 12/10/12
Calculos fisicos y matematicos del diseño del sistema y mediciones para la ubicación en un automovil electrico.	22 días	lun 15/10/12	mar 13/11/12
Correccion de errores de los calculos.	3 días?	mié 14/11/12	vie 16/11/12
Diseño final del dispositivo en un automovil electrico	20 días	lun 19/11/12	vie 14/12/12
Elaboracion informe final	28 días?	lun 17/12/12	mié 23/01/13
Elaboracion articulo IEEE	3 días?	lun 21/01/13	mié 23/01/13

Figura 1. Cronograma de actividades

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 32 de 98

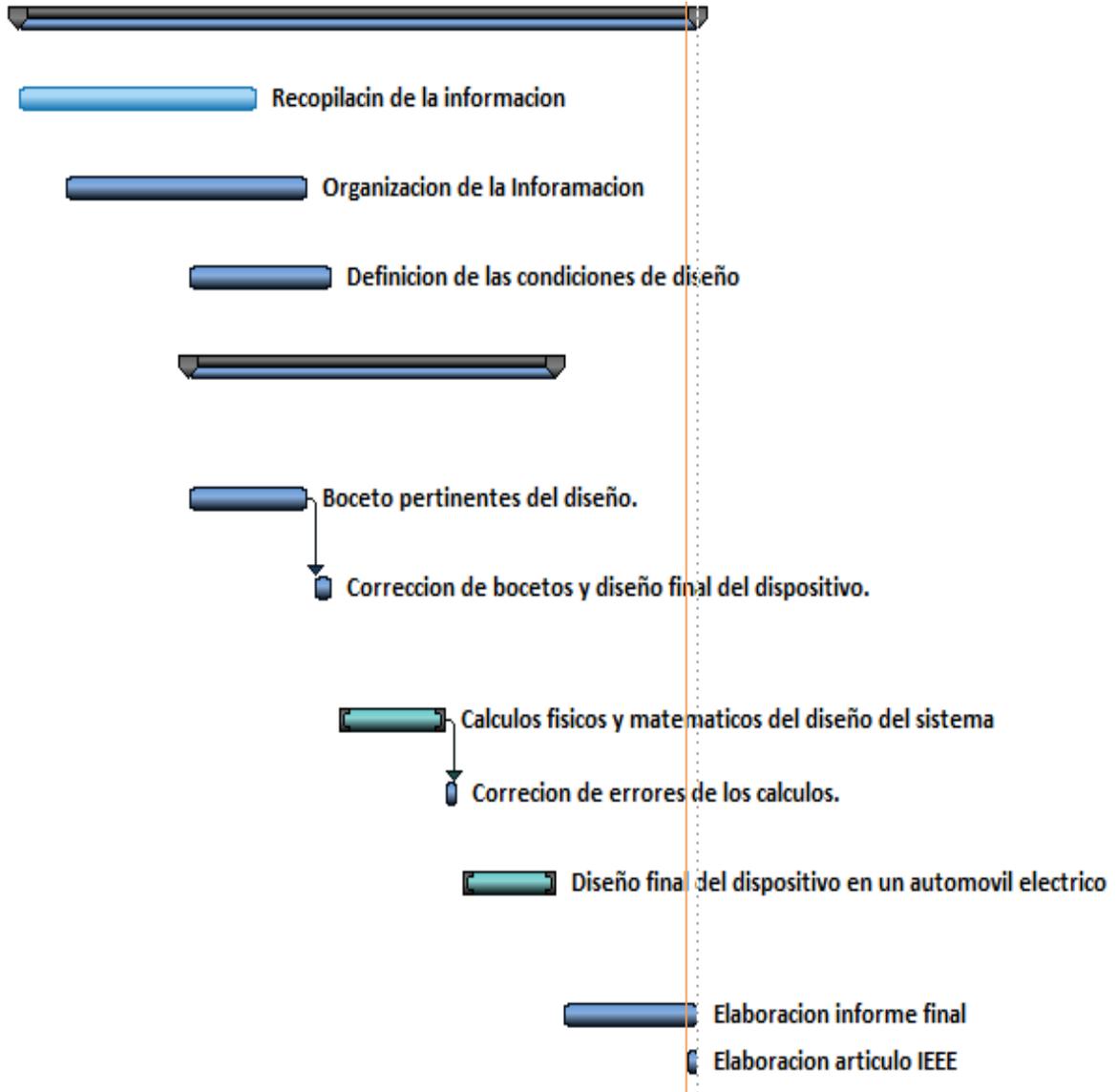


Figura 2. Tiempo del cronograma de actividades.

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 33 de 98

2. PARAMETROS Y SISTEMAS DE ENERGÍA EÓLICA Y DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO

2.1. ANTECEDENTES

A nivel mundial y viendo la problemática que los recursos fósiles están ocasionando, tanto industrias, como universidades y grandes empresarios han desarrollado medidas alternativas para generar energía limpia mediante el viento para la obtención de esta para los vehículos eléctricos, a continuación algunos de ellos:

2.1.1. Empresa Ecotricity encargo el desarrollo de un vehículo eléctrico cargado a partir de la energía eólica: La empresa Ecotricity que desempeña actividades de generación de electricidad a partir de la energía eólica, ha encargado a un equipo de ingenieros provenientes de la F1, el desarrollo de un vehículo eléctrico que se carga con energía eólica, para demostrar la viabilidad de este medio de transporte, Es más rápido que un Ferrari de 12 válvulas, y puede alcanzar 95 km/h en cuatro segundos. Su velocidad límite es 225 km/h. Pero lo más destacable de este súper coche eléctrico es que no es producto de ninguno de los grandes fabricantes de automóviles. Se trataba de demostrar a Europa que los coches eléctricos pueden ser rápidamente desarrollados, bonitos y baratos, y que además, pueden utilizar energías renovables para funcionar, asegura Dale Vince, director de Ecotricity⁹.

Este proyecto da a conocer que el desarrollo de este tipo de vehículos es algo más simple de lo que las grandes empresas nos dan a entender, que la reutilización de piezas es una manera económica y óptima para generar e impulsar nuevas ideas, además se observa lo viable que es este tipo de coches y proyectos.

2.1.2. Dong Energy construye un sistema de adquisición de energía eólica: La compañía eléctrica Dong Energy se ha asociado con la start-up californiana Project Better Place para diseñar y construir la infraestructura de una red nacional de cargadores para coches eléctricos usando la energía eólica que sobra por las

⁹ El súper coche eléctrico, SOLICLIMA Energía Solar. Disponible en: <http://news.soliclima.com/noticias/energia-eolica/el-supercoche-electrico> [citado el 20 de Marzo de 2009].

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 34 de 98

grandes ventiscas que azotan a Dinamarca “*Los coches son la pareja perfecta para la energía eólica*”, comenta Shai Agassi ¹⁰.

Este proyecto muestra que si es posible generar un cambio a un nivel muy significativo para la utilización de vehículos eléctricos alimentados por sistemas que generan energía eléctrica sin contaminantes por medio de la energía eólica, donde el planeta como los seres vivos podrían disfrutar de un ambiente más puro y gozar de avances tecnológicos que fomentan gran estabilidad y seguridad.

2.1.3. Project Better Place y la Alianza Renault-Nissan: estas dos grandes empresas alcanzaron por primera vez en la historia un éxito en las negociaciones para la comercialización de autos eléctricos a gran escala, estas dos grandes compañías ponen en marcha un proyecto de vehículo eléctrico para el mercado israelí, con el fin de reducir de manera significativa las emisiones de CO2 y partículas, es la primera vez que la adquisición del vehículo y las baterías se hace por separado. Los consumidores comprarán su vehículo y suscribirán un abono para su provisión de energía, que incluirá la utilización de la batería facturada por kilómetro recorrido¹¹.

Este gran acuerdo nos muestra un gran desarrollo en la unión de dos grandes compañías las cuales están haciendo todo lo posible para que el uso de energías renovables sea aun más creciente deteniendo la gran problemática ambiental, y las falencias que nos ha dejado los autos de combustión interna que atentan con la salud del planeta y de los seres que habitan en él.

2.1.4. Sanya Skypump: La empresa UGE (URBAN GREEN ENERGY) crea a Sanya Skypump que consiste en una electrolinea movida por energía eólica funcional gracias a unos curiosos molinos que por su original diseño apenas necesitan espacio para rotar, es una nueva posibilidad que se une a la red de recarga verde Ecotricity para la recarga de vehículos eléctricos con energías absolutamente limpias, Con la estación de recarga *Sanya Skypump* podemos cargar de energía un vehículo entre 4 y 8 horas además de producir ésta por

¹⁰ MUÑOZ, María José; MORALES, Magdalena. ANTECEDENTES DE ENERGIA. 22p. Disponible en: https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&ved=0CEAQFjAC&url=http%3A%2F%2Ftallercalidaduc.files.wordpress.com%2F2008%2F10%2Fantecedentes-de-energia-solar.doc&ei=Wbf9UKXIG4mk8gTSiYGIDw&usg=AFQjCNE6DLw1Uhy99fVxr-nAc3p_jXDg2Q&sig2=9YEMSgOOI0AMANLx2XkjinA&bvm=bv.41248874,d.eWU

¹¹ Lanzamiento a gran escala de vehículos eléctricos. RENAULT. Disponible en: <http://www.renault.es/descubre-renault/medio-ambiente/cocheselectricos.jsp>

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 35 de 98

medios renovables, descentralizando la generación y no sobrecargando de trabajo las redes eléctricas¹².

Este proyecto muestra la forma de nuevos diseños de molinos, en los cuales podemos observar sus ventajas en comparación con los convencionales, tomando provecho de esto para mitigar errores que se deben de prevenir en la generación del diseño que se esta realizando, además de mostrarnos nuevas ideas en el uso de la energía eólica para provisionar de energía a los autos eléctricos.

2.1.5. Generador eólico por Jose Raul Tirapu: El ingeniero José Raúl Tirapu Manero inventó un generador eólico para ser usado en los vehículos. Este generador se basa en el concepto de aprovechamiento del aire que entra por la rejilla frontal de un vehículo, cuando este está en movimiento, para producir energía eléctrica. Fundamentalmente funciona así: el aire que penetre por la rejilla incidirá en las palas, generando un movimiento que se transmitirá al eje rotor y este posteriormente pondrá en marcha los generadores, produciéndose energía eléctrica para recargar el grupo de baterías¹³.

Este proyecto muestra de una manera muy cercana, un tipo de diseño muy similar al diseño del proyecto, tomamos en cuenta las ideas del ingeniero Jose Raul Tirapu las cuales se estudiarán para tomar la decisión en que parte de un vehículo es más factible poner el sistema de energía eólica.

2.1.6. Mixer/Ejector Wind Turbine (MEWT): turbina de viento con mezcladores y eyectores, la empresa FloDesign acaba de presentar un nuevo concepto en el diseño de turbinas para aerogeneradores, El diseño puede producir 50% más energía que una turbina de tres palas, ya que el Mewt es más pequeño permite reducir los costos de producción entre un 25% y un 35% de un aerogenerador

¹² Sanya Skypump, recargando baterías con el viento, Motor Pasión, Disponible en: <http://www.motorpasionfuturo.com/espaciorenaultze/sanya-skypump-recargando-baterias-con-el-viento> [citado el 22 Agosto de 2011].

¹³ TIRAPU MANERO, José Raúl. GENERADOR EOLICO PARA VEHICULOS. Boletines de la propiedad Industrial 2011-2013. Disponible en: <http://bopiweb.com/elemento/120099/> Publicado: 21-07-2010

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 36 de 98

común¹⁴, “*El Mewt mismo es más seguro y más tranquilo ofrecer mejores opciones de aerogeneradores en las zonas pobladas*”¹⁵.

Este proyecto da ideas sobre la construcción y planeación de nuevos tipos de aerogeneradores que se están presentado y que tan importantes son los nuevos diseños y las mejoras que se presentan, tomando en cuenta que el tamaño no es una problemática si el diseño esta bien estructurado, tomando precauciones para sacar el mejor provecho. Es un gran aporte que brinda más sostenibilidad y mayor eficiencia para el uso de esta gran energía renovable a nivel mundial.

2.1.7. Buggy Solar Elektron: El grupo humano que conforma *Elektron*, desarrollo un buggy solar, mide 150 cm de longitud por 110 cm de ancho, y con unas ruedas de 40 cm de diámetro, un motor LEM-200 de la firma inglesa *Lynch Electric Motor, ltd.* Es un motor de corriente continua diseñado especialmente para vehículos eléctricos, este se puede alimentar con 1 a 60 voltios, obteniendo 8,4 Kw a 48 voltios, su batería es una Fulmen modelo FGB5 de 12 voltios, esta cumple la función de ayudar en caso de que el sol no de la energía requerida, sus demás características son el panel solar, control de consumo, control de velocidad. Alimentando el motor con 1 v se pone en movimiento consumiendo 4A¹⁶.

Este proyecto muestra la implementación de una de las energías renovables como fuente de alimentación en un vehículo, obteniendo datos valederos, claros y puestos a prueba por el grupo de trabajo *Elektron*, quienes además nos comparten lo que se utilizó para la construcción y las características de funcionamiento del buggy solar, es un proyecto importante que muestra avances sobre una forma de obtención de energía pura y limpia con una tecnología que esta contribuyendo mucho al cuidado del ambiente.

¹⁴ La Nueva Generación de Aerogeneradores. S.LOW.ENERGY. Disponible en: http://tecno.sostenibilidad.org/index.php?option=com_content&task=view&id=301&Itemid=2 [citado el 09 Mayo de 2008].

¹⁵ Walter M. Presz, Jr. Michael J. Werle. Turbina de Viento con Mezcladores y Eyectores. Disponible en: <http://www.google.com/patents/US7976269> [citado el 23 septiembre de 2009].

¹⁶ Buggy Solar Elektron, ELEKTRON. 2000. Disponible en: <http://adts.info/vehicules/buggy%20solar.pdf>

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 37 de 98

2.2. REFERENTES MARCO TEÓRICO

Para el correcto diseño del sistema que adquiera energía eólica en un automóvil eléctrico es necesario definir los siguientes términos que hacen referencia a las partes de los aerogeneradores y autos eléctricos para la obtención y el almacenamiento de dicha energía y así tener las bases o conceptos definidos para la correcta elaboración del diseño a realizar. (Se definirán sólo los conceptos que puedan tomar partida a la hora de diseñar el sistema que generará energía eléctrica por medio del sistema eólico, ya que la construcción de un aerogenerador tiene muchas piezas que no hacen parte del alcance del presente proyecto).

2.2.1. Las palas del rotor:

Son las partes móviles que se mueven por el viento y capturan este otorgándole potencia al buje o al rotor directamente, son fabricadas en distintos materiales, el número de estas varía dependiendo del generador eólico que se desea construir, los rotores horizontales normalmente tiene 3 palas, ya que con este número proporcionan una mayor suavidad de giro, pero no todos son así.

- Rotores Monopala: estos permiten una mayor velocidad de rotación, reducción de costos, sus inconvenientes se dan al necesitar un contrapeso de compensación y existe un riesgo de desequilibrio aerodinámico, además del aumento de ruido que produce¹⁷.
- Rotores Bipala: presentan una reducción de costos no más que el monopala pero si más que el tripala, también produce un mayor esfuerzo mecánico por los cambios de velocidad y dirección que produce el viento a la altura del aerogenerador, su desventaja yace en necesitar mayor esfuerzo dinámico, ofrecen además mayor nivel de vibración y de ruido¹⁸.
- Rotores Tripala: su principal ventaja es la suavidad en el giro y su uniformidad, esto se debe a la propiedad de su momento de inercia, estos giran a una velocidad más lenta que los rotores monopala y bipala generando menos ruido y menor vibración ya que rebaja los esfuerzos de la

¹⁷ VILLARUBIA, Miguel, ENERGÍA EÓLICA. Tipos de Energía. ISBN: 84-329-1062-7. Disponible en: <http://tipos-de-energia.blogspot.com/2006/02/energa-elica-tipos-de-generadores.html> Publicado por: GIORDANO, Martin. [Citado el 09 Febrero de 2012].

¹⁸ Ibíd.

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 38 de 98

fuerza centrífuga, usualmente son los más usados en la industria de los aerogeneradores¹⁹.

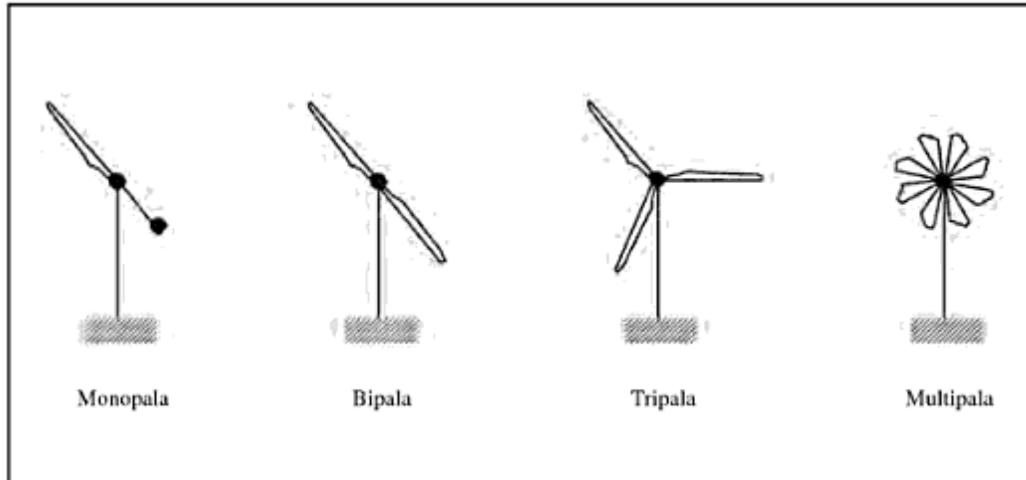


Figura 3. Numero de palas de las turbinas eólicas.²⁰

2.2.2. El buje:

Es el elemento donde se apoya y gira un eje, en los aerogeneradores el buje es aquel que esta acoplado y une las palas del rotor con el variador de velocidad²¹.

2.2.3. Eje de baja velocidad:

Es aquel que conecta el buje del rotor al multiplicador, por dentro de este se encuentran unos conductores del sistema hidráulico usados para los frenos hidráulicos²².

¹⁹ *Ibíd.*

²⁰ TALAYO NAVALES, Ana Patricia; TELMO MARTÍNEZ, Enrique. Energías Renovables, Energía eólica. 2008. 91p ISBN: 978-84-92521-21-0. Disponible en: http://books.google.com.co/books?id=wsPBkbKWd-YC&pg=PA85&lpg=PA85&dq=figura+monopala+-bipala+tripala&source=bl&ots=CaaMExHxbs&sig=05PAJx6o9GA3uZvTenv_ocrNsw&hl=es&sa=X&ei=c4T9UNnBJYKm8gSos4DYBw&ved=0CC8Q6AEwAA#v=onepage&q&f=false

²¹ CUESTA SANTIANES, María José; *et al.* AEROGENERADORES DE POTENCIA INFERIOR A 100 kW. Julio 2008. 12p, Disponible: en: http://www.ciemat.es/CIEMATportal/recursos/doc/Areas_Actividad/Prospectiva_Tecnologica/34301686_211200911951.pdf

²² SALINAS MARTÍNEZ, Jesús. CONTROL DE UN AEROGENERADOR. Universitat Politècnica de Catalunya, Julio 2008. 10p, Disponible: en: http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/11274/2/PFC_1.pdf. Publicado: 15/06/10

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 39 de 98

2.2.4. El multiplicador:

Es el elemento que permite multiplicar la velocidad de giro del rotor, este esta acoplado al rotor eólico y al del generador, su sistema de transmisión (engranajes, eléctrico, mecánico, poleas entre otros), varia según el uso y la eficiencia que se desea en el aerogenerador.

2.2.5. Eje de alta velocidad:

Este gira a grandes revoluciones por minuto, esto permite el correcto funcionamiento del generador eléctrico, además lleva acoplado en caso de emergencia un freno aerodinámico (freno de disco)²³.

2.2.6. Generador eléctrico:

Es aquel que transforma energía mecánica en energía eléctrica. Normalmente se usan dos tipos de generadores, síncronos y asíncronos, dependiendo de como se use la turbina del aerogenerador y como vaya conectada a la red se establece que tipo de generador se va a usar, ya que se toma en cuenta los picos que genera el viento y cada generador responde de una manera diferente.

Generador síncrono, es usado frecuentemente en la industria para corregir el factor de potencia, en los casos de los aerogeneradores se usa para igualar la velocidad del rotor y el estator.

Generador asíncrono, estos son los contrarios del síncrono, ya que la velocidad del estator nunca es igual al del rotor, suelen usarse generadores asíncronos de jaula de ardilla, para mejorar su factor de potencia y suelen usarse con baterías de condensadores.²⁴

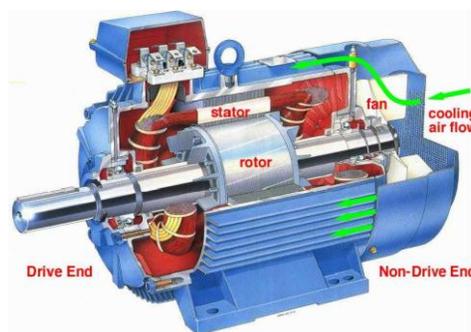


Figura 4. Generador Asíncrono, rotor de jaula²⁵.

²³ Ibíd, 10P.

²⁴ Generadores Síncronos y Asíncronos. OPEX energy. Disponible en: http://www.opex-energy.com/eolica/generador_sincrono_y_asincrono.html

²⁵ Ibíd.

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 40 de 98

2.2.7. Unidad de refrigeración:

Son sistemas que permiten la refrigeración del generador y todos los sistemas eléctricos, ya que estos componentes alcanzan grandes temperaturas por su trabajo, fricción o rozamiento a los cuales están sometidos²⁶.

2.2.8. Rotor eólico:

El rotor es todo el conjunto de elementos de la turbina eólica que gira por delante y fuera de la carcasa. El más usado para producir energía eléctrica es el rotor tipo hélice. El rotor convierte la energía del viento en rotación y, por lo tanto, es el motor de generación de energía²⁷.

2.2.9. Esquema de un generador eólico horizontal:

A continuación una imagen que muestra el esquema de un generador eólico actual, muchas de las partes que conforman este aerogenerador son necesarias para el correcto desarrollo del diseño, por tal motivo se han definido con anterioridad.

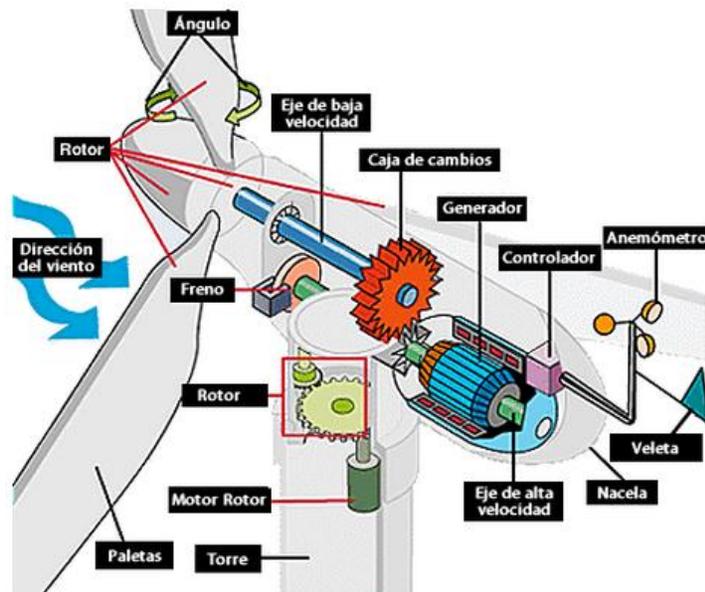


Figura 5. Esquema interno de un Aerogenerador eólico²⁸.

²⁶ Ibíd.

²⁷ MORENO FIGUEREDO, Conrado. El rotor de una turbina eólica. Disponible en: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia38/HTML/articulo04.htm>

²⁸ Energía Eólica en Alicante. Energy SPAIN. Disponible en: <http://www.energy-spain.com/energia-eolica>

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 41 de 98

2.2.10. Batería de Ion Litio:

Estas baterías son una de las últimas tecnologías creadas en este campo, la industria automotriz esta siendo muy enfática en el uso de esta, y su auge en la electrónica ya se dio a conocer, un ejemplo claro son los nuevos teléfonos móviles.

Esta compuesta por Litio (LI) es el metal más ligero que existe lo que hace de esta batería sea muy liviana, la primer compañía en fabricar este tipo de baterías fue la empresa Sony, después muchas otras compañías han optado por fabricar esta tecnología, sus principales ventajas son: no necesitan mantenimiento, no sufren el denominado término efecto memoria (efecto que reduce la capacidad de las baterías por cargarlas cuando aun tienen carga) y pueden ser recargadas en cualquier momento, de igual forma nunca se debe perforar una batería de ion litio ya que produce una reacción química lo que provocaría una explosión²⁹.



Figura 6. Batería de Ion Litio³⁰

2.2.11. Baterías de Plomo-Ácido:

Son las baterías más usadas en el presente, se debe a su bajo costo ya que como su nombre lo indica están construidas a base de plomo, el cual es barato y abundante por este motivo y su buen funcionamiento aun son las preferidas, esta hecha de dos electrodos de plomo (Pb) y el electrolito es una solución de agua destilada y ácido sulfúrico, en la figura 7 Se muestra el estado de carga y descarga y su proceso químico, el cual ocurre internamente.

²⁹ CARRASCO, Ismael Simón. Baterías de Litio. 8-9p. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/22631266/BATERIAS-DE-LITIO>

³⁰ CEÑA, Alberto; SANTAMARTA, José. El coche eléctrico: el futuro del transporte, la energía y el medio ambiente. World Watch. 2009. 42p. Disponible en <http://www.nodo50.org/worldwatch/ww/pdf/cocheelectrico.pdf>

 INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA DE ENVIGADO	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 42 de 98

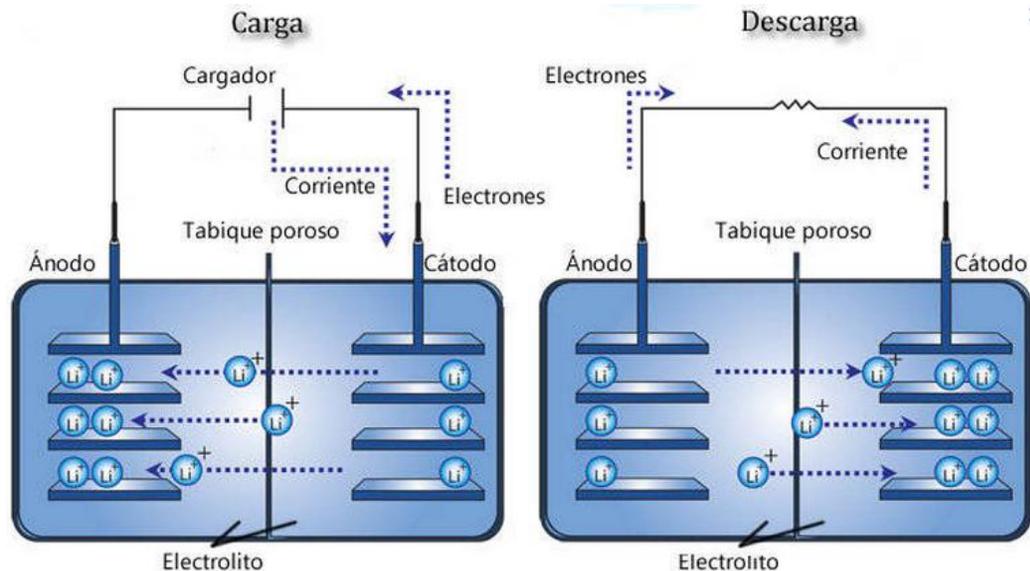


Figura 7. Estado de carga y descarga de una batería de Plomo-Ácido³¹

2.2.12. Alternador:

Es una máquina que transforma energía mecánica en eléctrica, la cual produce corriente alterna, su funcionamiento se basa en el giro de un rotor y de un campo magnético y su principal diferencia con los demás generadores eléctricos rotativos es la fuerza electromotriz (FEM) que alcanza a generar³².

Sus principales características son³³:

- Puente rectificador con diodos Zener
- Regulador de voltaje incorporado, el cual soporta grandes temperaturas
- Pueden trabajar a velocidades superiores de las 20000 RPM
- Corriente de salida de 80 a 110 A.
- Buen amperaje de salida a RPM bajas

³¹ ARTÉS G. David. Baterías de coches eléctricos e híbridos, hoy [estado de la tecnología del automóvil]. Ingeniero Técnico Industrial. TECMOVIA. Disponible en: <http://www.tecmovia.com/2012/03/14/baterias-de-coches-electricos-e-hibridos-hoy-estado-de-la-tecnologia-del-automovil/> Citado el: [14 de marzo de 2012]

³² F.R Quintela, R.C Redondo. Definición de alternador. Universidad de Salamanca. 1-5p. Disponible en <http://campus.usal.es/~electricidad/Principal/Circuitos/Descargas/DefinicionAlternador.pdf>

³³ MANUAL DE TALLER ALTERNADORES, *indiel La Marca Segura, Prestolite indiel Motores de San Luis S.A.* 2004-2005. 8p. Disponible en: <http://www.prestolite.com.ar/images/catalogos/2010/manual%20de%20alternadores.pdf>

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 43 de 98

2.2.13. Motor eléctrico:

Los motores eléctricos son máquinas que funcionan por medio de la electricidad y convierten este tipo de energía en energía mecánica, su funcionamiento es diferente a los motores de combustión ya que su fuente de alimentación es completamente diferente, una ventaja clara es su peso que es evidentemente más liviano, su tamaño puede variar dependiendo de las solicitudes hacia el fabricante, su rendimiento es muy bueno y estable. La conversión de energía eléctrica a mecánica se debe a la interacción de la corriente eléctrica y un campo magnético, que ejercen una fuerza entre dos polos ya sean varios campos magnéticos o determinados metales, y así esta fuerza produce el movimiento de un eje.

2.3. MARCO CONCEPTUAL

2.3.1. ¿Que es energía eólica?

Es aquella energía renovable que se obtiene por medio del viento, es decir, que se adquiere de la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire y así mismo de las vibraciones que el aire produce, la cual es transformada en formas útiles para las actividades y necesidades del hombre.

Casi todas las fuentes de energía renovables provienen del sol a excepción de la mareomotriz y la geotérmica. Alrededor de un 1 a un 2 por ciento de la energía proveniente del sol es convertida en energía eólica³⁴.

2.3.2. Energías renovables:

Son todas aquellas energías que tienen un ciclo rápido, constante para obtenerlas, casi todas las energías renovables derivan directa o indirectamente del sol a excepción de la geotérmica. Exceptuando los últimos años las energías renovables han sostenido y brindado las necesidades energéticas del hombre, pese a la llegada del carbón, el petróleo, el gas natural y la energía nuclear han desplazado a gran escala el uso de esta fuente de energía que esta disponible todos los días³⁵.

Se denominan energías renovables:

³⁴Energía Eólica. Curso de Física Ambiental, 13p. Disponible en: <http://www.almediam.org/PDF/Renovables>.

³⁵ SANTAMARCA, José Las energías renovables son el futuro. 2004. Disponible en: <http://www.almediam.org/PDF/Renovables.pdf>.

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 44 de 98

- Energía solar
- Energía eólica
- Energía mareomotriz
- Energía hidráulica
- La biomasa
- Energía geotérmica

2.3.3. Aerogeneradores:

Los aerogeneradores son generadores eléctricos los cuales necesita la energía natural del viento para accionar una turbina, transforma la energía cinética en energía eléctrica sin producir deterioro o emisiones para el medio ambiente ya que el viento es una de las energías renovables. Estos son la evolución de los molinos de viento, la mayoría de los generadores producen energía cuando la velocidad del viento esta entre 3 o 4 metros por segundos³⁶.

2.3.4. Electrónica:

La electrónica es un campo de la ingeniería que busca diseñar y dar aplicación a dispositivos, que son considerados generalmente como circuitos integrados o elementos electrónicos, estos dispositivos funcionan gracias al flujo de electrones, permitiendo al ser humano dar solución a una parte de los problemas que diariamente se le presentan³⁷.

La electrónica puede ser análoga o digital, su diferencia consiste en sus señales, para la electrónica análoga los valores son continuos, sus valores cambian continuamente pero para la electrónica digital los valores son discretos y “finitos”, la representación más común es su sistema digital 0 y 1³⁸.

2.3.5. Electrónica automotriz:

La electrónica automotriz es un campo donde se propone mejorar y otorgar componente electrónicos que brinden mayor seguridad, confort, y autonomía a los

³⁶ ¿Cómo funciona un aerogenerador? EOLICCAT. Disponible en: <http://www.eoliccat.net/energia-eolica/la-tecnologia/com-funciona-un-aerogenerador.html?L=1>

³⁷ A. SCHULER, Charles. ELECTRONICA PRINCIPIOS Y APLICACIONES, , Editorial Reverte, S.A. Barcelona, España 2002, ISBN 84-291-3452-2, 341p [En línea], Disponible en: http://books.google.com.co/books?id=_50ty8YvPHEC&pg=PA1&dq=que+es+la+electronica&hl=es&ei=ucKpTvqoLIXhiAK_p6SvCw&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CCoQ6AEwAA#v=onepage&q&f=false

³⁸ INTRODUCCIÓN A LA ELECTRÓNICA DIGITAL. Dpto. Ingeniería Electrónica de Sistemas Informáticos y Automática. Disponible en: http://www.uhu.es/raul.jimenez/DIGITAL_/dig1_i.pdf

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 45 de 98

vehículos, es una rama de la electrónica donde se busca una mejora tecnológica que brindará nuevos aspectos de innovación hacia la industria automotriz.

2.3.6. Energía eléctrica:

Es una forma de manifestación de la energía, para que pueda ocurrir se necesita una diferencia de potencial entre dos puntos, la dificultad principal consiste en almacenar esta energía, su mayor cualidad es su fácil cambio de energía ha trabajo. Por medio de la transformación química, por inducción, por calentamiento, por acción de luz, por fricción, y por presión se puede adquirir la diferencia de potencia para generar una corriente eléctrica³⁹.

2.3.7. Vehículos eléctricos:

Es un vehículo donde el motor no tiene el funcionamiento por combustión interna, sino, que su alimentación esta generada por electricidad suministrada por un banco de baterías, lo que hace que su motor y forma de recarga sea completamente distinta a los vehículos que requieren recursos fósiles (gasolina, gas) para su funcionamiento.

Un vehículo eléctrico necesita a día de hoy solo 10 a 20 kw/h (kilovatios/hora) para recorrer 100 kilómetros, el motor eléctrico es 4 veces más eficiente que el motor de combustión interna, su principal inconveniente se genera en la tecnología actual de las baterías. Países como Israel, Dinamarca, China, Portugal, Irlanda, Reino Unido, Australia, Nueva Zelanda y Francia harán que irrumpa cada vez más el auto eléctrico en sus respectivos mercados⁴⁰.

2.3.8. Vehículos híbridos:

Son aquellos vehículos que funcionan por medio de dos sistemas, uno de estos es por medio de electricidad proveniente de un banco de baterías y alternativamente de un motor de combustión interna alimentado por combustibles, estos vehículos tienen un sistema electrónico, el cual permite, que motor se use o no, dependiendo de las condiciones y factores que se están presentado en el momento⁴¹.

³⁹ DE MONROY, Cristóbal. Dpto. de Tecnología. LA ENERGIA ELECTRICA. 1-2p. Disponible en: https://tecnologiafuentenueva.wikispaces.com/file/view/e_electrica.pdf

⁴⁰ CEÑA, Alberto; SANTAMARTA, José. El Coche Eléctrico: el futuro del transporte, la energía y el medio ambiente. 2009. 32p. Disponible en <http://www.nodo50.org/worldwatch/ww/pdf/cocheelectrico.pdf>

⁴¹ MARTÍNEZ, Javier. AUTOS HIBRIDOS. Universidad Católica. 3-8p. Disponible en http://www.jeuazarru.com/docs/Autos_Hibridos.pdf

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 46 de 98

3. DATOS Y DISEÑO DEL VEHICULO ELÉCTRICO

Se tomará un vehículo eléctrico ligero, los cuales normalmente cumplen con las siguientes características:

- Peso de 290 kg – 600 kg
- Demanda de energía entre 9 y 20 kw/h-/100km
- Velocidad máxima entre 50 a 90 km/h
- Generalmente son alimentados con baterías de plomo-ácido
- Generalmente usan 6-8 a 12 baterías para dar marcha al motor eléctrico cada una ofreciendo 12 voltios y conectadas en serie normalmente por dos grupos del mismo numero de baterías⁴².

Para la carga de las baterías es necesario suministrar un voltaje mayor al que ellas ofrecen, normalmente se diseñan los reguladores de voltaje para entregar 14 VD, esto es importante ya que los vehículos eléctricos entregan por cada celda 12 voltios y van conectadas en paralelo con las demás proporcionando el voltaje necesario para el funcionamiento del motor, pero esto indica que si ha cada batería se le ofrece un valor menor o igual no haría efecto alguno para almacenar energía en ellas, si el caso es contrario y se presenta un exceso de carga representaría fallas graves que causaría daños eléctricos y físicos a todos los sistemas del vehículo. En la figura 8 se muestra una carga regulada, estable y correcta, para el almacenamiento de energía en las baterías.

⁴² Ficha Técnica: Vehículo Eléctrico. COMISIÓN NACIONAL PARA EL AHORRO DE ENERGÍA. México. 2p, Disponible en: <http://4dlab.info/vehiculos-electricos/ve-ficha-tecnica-vehiculo-electrico.pdf>

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 47 de 98

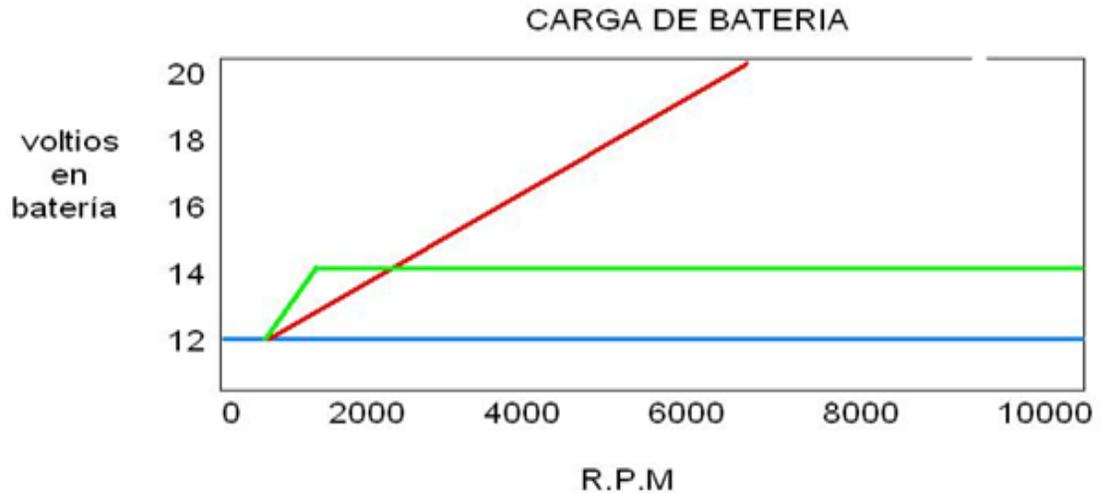


Figura 8.Carga óptima de una batería⁴³

Se tomará como referencia para la realización del diseño un vehículo tipo Buggy, la ubicación del diseño eólico se posicionará en la parte trasera del vehículo, este fue escogido por que es ligero, su estructura hace más fácil la ubicación del diseño, y en la figura 9 se muestra el área por donde pasa el flujo del aire en dirección del eje X, lo cual resulta de gran ayuda, ya que este diseño se realizo tomando solo el flujo del viento en esta dirección, y sobre todo lo más importante es un vehículo fácil de construir, su diseño es muy flexible y para la construcción del mismo no se requiere de maquinaria industrial costosa, ni de gran tecnología, por lo tanto un grupo de investigación de universidad lo podría elaborar.

⁴³ Humber. Diagnóstico del sistema de carga de batería en una moto. Disponible en: <http://entrecablesyelectrones.blogspot.com/2010/01/dagnostico-del-sistema-de-carga-de.html>. [citado el 31 de Enero del 2010].

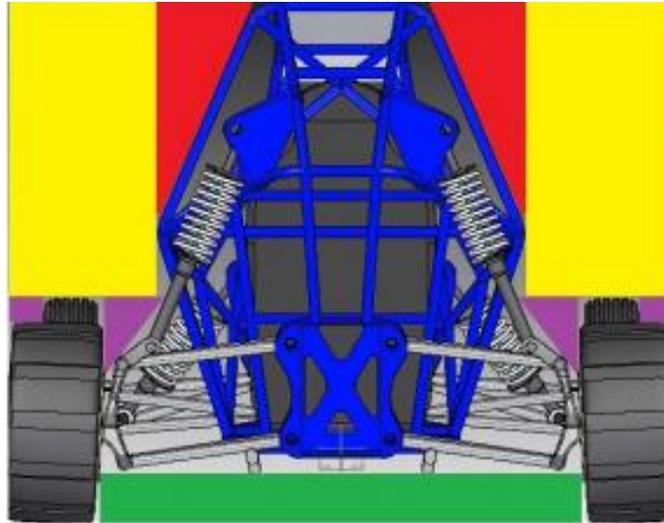
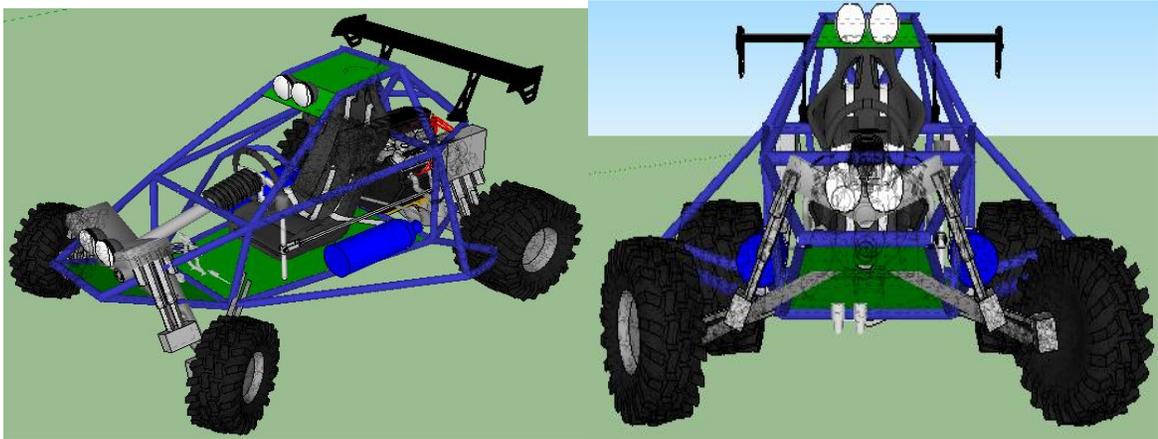


Figura 9. Flujo del viento en un Buggy⁴⁴

Buggy tomado del programa Google Sketchup como referencia para la ubicación del diseño del generador eólico:



⁴⁴ REGO GARCÉS, Guillermo. Adaptación de un buggy a eléctrico para la competición Panáfrica'12. ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERIA (ICAI). INGENIERO TÉCNICO MECÁNICO. Madrid. Agosto 2012. 45p Disponible en: <http://entrecablesyelectrones.blogspot.com/2010/01/dagnostico-del-sistema-de-carga-de.html>.

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 49 de 98

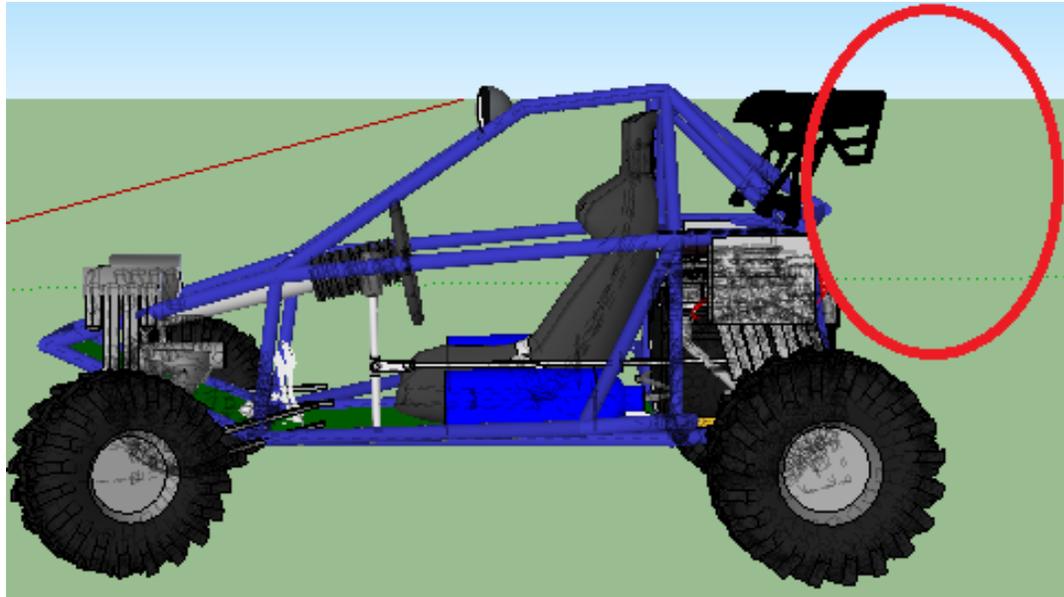


Figura 10. Modelo del buggy (figura tomada del programa Google Sketchup)

Se observa que el diseño de este vehículo no tiene un carenaje aerodinámico recubriendo todo el vehículo, por tal motivo el aire también fluye a través de este y se optó por ubicar el sistema eólico en la parte trasera (área señalada círculo rojo), como se observo en la figura 9 el área más crítica por donde pasa el aire es en la parte frontal (parte roja) llegando a la posterior, por ende es un buen lugar para aprovechar la energía ofrecida por las ráfagas de viento que se generará por la velocidad del automóvil.

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 50 de 98

4. VARIABLES Y CARACTERISTICAS NECESARIAS PARA LA ELABORACION DEL GENERADOR EÓLICO

Variables a usar para la elaboración del diseño del sistema eólico:

η	Revoluciones por minuto (RPM)
V	Velocidad del viento (m/s)
η_m	Rendimiento mecánico (%)
η_e	Rendimiento Eléctrico (%)
η_t	Rendimiento total del sistema (%)
Cp_{max}	Rendimiento aerodinámico máximo (%)
P_n	Potencia nominal (w)
P_{util}	Potencia útil (w)
P_a	Potencia eólica aprovechada
P_d	Potencia eólica disponible
P	Densidad del aire (Kg/m^3)
T	Temperatura (grados centígrados)
V	Velocidad del viento (m/s)
A	Área barrida por el rotor (m^2)
H_d	Altura del rotor Darrieus (m)
D	Diámetro del rotor Darrieus (m)
R_h	Radio del rotor Darrieus (m)
H_s	Altura del rotor Savonius (m)
D_s	Diámetro del rotor Savonius (m)
R_s	Radio del rotor Savonius (m)
TSR	Velocidad específica del rotor
P	Potencia (w)
I	Corriente (A)
V_t	Voltaje (v)

Tabla 7. Variables a usar

4.1. TIPO DE ROTOR:

Para la elaboración del diseño se tomará un generador de eje vertical combinando dos modelos, el modelo Savonius y el modelo Darrieus. Se realizará el diseño tomando en cuenta que los generadores de eje vertical no necesitan para su funcionamiento la orientación del viento, lo cual es un punto clave para el

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 51 de 98

proyecto, ya que en un vehículo en movimiento, el viento rompe en múltiples direcciones. El rotor Savonius fue diseñado en 1924, una de las principales ventajas de este tipo de diseño es su forma cóncava tipo C, la fuerza que ejerce el viento en sus dos caras es distinta lo que permite el autoarranque a baja velocidad, mientras que el rotor Darrieus es óptimo a grandes velocidades pero a diferencia del Savonius requiere corrientes elevadas de viento para su arranque y funcionamiento, fue patentado por G.J.M Darrieus, su diseño está basado en 2 o 3 palas de forma ovalada lo cual permite ser muy aerodinámico⁴⁵. Tomando en cuenta que el vehículo no siempre está en movimiento se desea combinar estos dos tipos de rotores ya que con esta clase de diseño se sacará mayor provecho y energía sin importar el estado en que se encuentre el vehículo, ya sea parqueado, en un embotellamiento o en movimiento constante.

4.2. PARÁMETROS A TENER EN CUENTA PARA LA REALIZACIÓN DEL SISTEMA

Se expondrán un cierto número de tablas con características técnicas importantes, donde su análisis es necesario para escoger y plantear el tipo de rotor que se desea realizar.

4.2.1. Tipo de turbinas Hawt (turbinas de eje horizontal) y Vawt (turbinas de eje vertical):

La tabla 8 muestra las características principales de los tipos de turbinas, el proyecto fue diseñado con turbinas tipo VAWT donde al observar las características en la tabla 8 se resalta el uso de estas mediante vientos turbulentos y la ubicación cercana al suelo.

⁴⁵ CUESTA SANTIANES, María José; *et al.* AEROGENERADORES DE POTENCIA INFERIOR A 100 kW. Julio 2008. 9p, Disponible: en: http://www.ciemat.es/CIEMATportal/recursos/doc/Areas_Actividad/Prospectiva_Tecnologica/34301686_211200911951.pdf

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 52 de 98

Características	HAWT rápidas (pocas palas)	VAWT rápidas (Darrieus)
Rendimiento	Generalmente alto	Algo inferior a las HAWTs
Sistema de orientación	Siempre necesario	En la mayoría de los casos no necesita
Ubicación del generador	A la altura del eje (difícil acceso para mantenimiento)	Puede estar a nivel del suelo (fácil acceso)
Torre	Más alta, y con las masas concentradas en el extremo superior	Generalmente Más corta, y las masas pueden estar más distribuidas (generador al nivel del suelo, extremo superior puede estar soportando la mitad de las cargas horizontales)
Palas	De cuerda variable, perfiles asimétricos complejos, con alabeo, empotrada solo en un extremo	De cuerda constante, perfiles simétricos simples, sin alabeo, empotrada en sus extremos o dos puntos cercanos a ellos
Comportamiento ante flujo turbulento	No aptas	Soportan mejor los flujos turbulentos
Costo / Kw instalado	Menor que los VAWT	Mayor que los HAWT

Tabla 8. Características principales de las turbinas HAWT y VAWT⁴⁶

4.2.2. Tipo de Rotores:

La tabla 9 muestra las características de los tipos de rotores, donde podemos analizar su rendimiento, y por qué escogimos rotores tipo Darrieus y Savonius para la elaboración del proyecto:

⁴⁶ Ahrtz G.D, Fernandez R.D, Munneemann A. DISEÑO DE UNA TURBINA EÓLICA DE BAJA POTENCIA ADECUADA A LA AGRESIVIDAD DEL CLIMA PATAGONICO. Cuarto Congreso Nacional. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. HYFUSEN. 2011. 2p, Disponible en: http://www2.cab.cnea.gov.ar/ieds/hyfusen_2011/extras/trabajos/10-005.pdf

Eje	Tipo de Rotor	Rendimiento Máximo	Características
HORIZONTAL	Holandés	0,17	<ul style="list-style-type: none"> -30-60 kW -Alto par de arranque -Velocidades medias(*) -Diseño ineficiente de las palas -4 palas
	Multipala Americano	0,15	<ul style="list-style-type: none"> -0,4-6 kW -Alto par de arranque -Bajas velocidades -Muchas pérdidas -12-15 palas
	Perfil Aerodinámico (hélices)	0,47	<ul style="list-style-type: none"> -0,5-3.200 kW -Bajo par de arranque -Altas velocidades -Alto rendimiento -1 a 3 palas
VERTICAL	Savonius	0,30	<ul style="list-style-type: none"> -0-1,5 kW -No requiere ser orientado -Alto par de arranque -Bajas velocidades -2 a 4 palas
	Darrius	0,35	<ul style="list-style-type: none"> -5-500 kW -No requiere ser orientado -No arranca solo -Altas velocidades -Buen rendimiento -2 a 3 palas

Tabla 9. Características de rotores horizontales y verticales⁴⁷

⁴⁷ MORAGUES, Jaime. RAPALLINI, Alfredo. ENERGÍA EÓLICA. INSTITUTO ARGENTINO DE LA ENERGÍA "GENERAL MOSCONI". 15p, Disponible en https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CC4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.cedecap.org.pe%2Fdescarga.php%3Ff%3DMzZiaWJfYXJjaC5wZGY%3D&ei=FFf_UIzkGIm69gSRtoGQDA&usg=AFQjCNFEI-0BLQK9-xInRlca-5Eu5Xw61w&sig2=9WKacYvAKSxCKrFod0UFQQ&bvm=bv.41248874,d.eWU

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 54 de 98

4.2.3. Clasificación de los generadores:

La tabla 10 muestra los usos más frecuentes de los generadores dependiendo de la potencia que ofrecen. Los aerogeneradores más pequeños llamados micro y mini aerogeneradores dan una potencia muy baja normalmente son usados en muchas aplicaciones y entre esas esta la carga de baterías, el cual es el objetivo principal del proyecto y es el tipo de generador que se diseñará.

Denominación	kW	Utilización
Muy baja ¹	< 1	Embarcaciones, sistemas de comunicación, refugios de montaña, iluminación, etc.
	1-10	Granjas, viviendas aisladas (sistemas EO-FV), bombeo, etc.
Baja	10-100	Comunidades de vecinos, PYME's (sistemas mixtos EO-Diesel), drenaje, tratamientos de aguas, etc.
Media	100-1 000	Parques eólicos (terreno complejo)
Alta	1 000-10 000	Parques eólicos (terreno llano, mar adentro)
Muy alta	> 10 000	En fase de investigación y desarrollo, requieren nuevos diseños y materiales no convencionales. No antes del año 2010

1.- Esta clase se divide según la potencia en microaerogeneradores (< 1 kW) y miniaerogeneradores (1-10 kW).

Fuente: Energía Eólica, IDAE

Tabla 10. Características de los generadores⁴⁸

4.3. ZONA PARA LA UBICACIÓN DEL GENERADOR EÓLICO

La energía suministrada por una turbina eólica depende a gran medida del flujo del viento, ya que este es una masa de aire en constante movimiento por ende posee energía, para la ubicación de los aerogeneradores es necesario estudiar las características del viento en la zona donde se va aplicar esta tecnología, para la realización de este proyecto no tiene sentido hablar de la ubicación de la turbina eólica en una zona, ya que esta viene adaptada en alguna parte de un vehículo eléctrico, donde el movimiento del mismo produce flujo del aire, y por ende las

⁴⁸ CUESTA SANTIANES, María José; *et al.* AEROGENERADORES DE POTENCIA INFERIOR A 100 kW. Julio 2008. 3p, Disponible: en: http://www.ciemat.es/CIEMATportal/recursos/doc/Areas_Actividad/Prospectiva_Tecnologica/34301686_211200911951.pdf

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 55 de 98

condiciones del terreno (rugosidad del terreno, relieve del terreno, presencia de obstáculos) aunque pueden causar un efecto no son consideradas para el proyecto, puesto que, se realizarán los cálculos de las velocidades del viento que genera el propio vehículo a un determinado kilometraje.

4.4. ESCALA DE BEAUFORT

La tabla 11 muestra la escala de Beaufort, llamada así por el creador Sir Francis Beaufort quien nos muestra de una manera sencilla y entendible la forma de medir la intensidad del viento.

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 56 de 98

Nombre	Beaufort	Nudos	Metros / Segundo	Kilómetros / Hora	Millas / Hora	Condiciones en	
	B	kt	m/s	Km/h	MPH	Mar	Tierra
Calma	0	menor a 1	menor a 0.5	menor a 2	menor a 1	Como espejo	Humo sube verticalmente.
Aire Ligero	1	1 a 3	0.5 a 1.4	2 a 5	1 a 4	Pequeñas ondas de agua.	Humo se va lentamente de forma diagonal dejando estela.
Brisa Ligera	2	4 a 6	1.5 a 2	6 a 11	5 a 7	Ondas pequeñas de agua menores a 20 cm. Crestas tienen una formación tipo vidrio.	Se siente el aire ligero en el cuerpo.
Brisa Suave	3	7 a 10	3 a 4	12 a 19	8 a 11	Ondas de agua grandes entre 21 y 60 cm. La cresta de la onda empieza a romper.	Banderas semiextendidas, las hojas se empiezan a mover.
Brisa Moderada	4	11 a 16	5 a 7	20 a 29	12 a 18	Olas pequeñas entre 61 y 100 cm. Pocas olas una tras otra.	Polvo y pequeñas ramas se mueven.
Brisa Fresca	5	17 a 21	8 a 10	30 a 39	19 a 24	Olas medias entre 1.1 y 1.8 m. Muchas olas una tras otra.	Árboles pequeños empiezan a moverse.
Brisa Fuerte	6	22 a 27	11 a 13	40 a 50	25 a 31	Olas grandes entre 1.9 y 3 m. Al romper la ola, te llega el aire con moléculas de agua.	Ramas grandes se mueven, sombrillas difíciles de controlar.
Viento Moderado	7	28 a 33	14 a 16	51 a 61	32 a 38	Mar picado, olas entre 3.1 y 4 m.	Árboles enteros en movimiento, molestias al caminar.
Viento Fresco	8	34 a 40	17 a 20	62 a 74	39 a 46	Olas moderadamente altas, entre 4.1 y 5.5 m. Las crestas se rompen formando un cilindro.	Difícil de caminar en contra del viento, ramas pequeñas son sopladadas y rotas de los árboles.
Viento Fuerte	9	41 a 47	21 a 23	76 a 87	47 a 54	Olas altas, entre 5.6 y 7 m. Visibilidad afectada con un poco de niebla de agua.	Daños estructurales pueden surgir a edificios o viviendas, tejas y láminas del techo se pueden soltar.
Gran Viento	10	48 a 55	24 a 27	88 a 102	55 a 63	Olas muy altas, entre 7.1 a 9 m. Visibilidad altamente afectada por la niebla de agua. Superficie del mar, blanca en su mayoría.	Árboles arrancados desde sus raíces, daños estructurales a edificios y viviendas.
Tempestad	11	56 a 63	28 a 33	103 a 118	64 a 73	Olas excepcionalmente altas, entre 9.1 y 11 m., visibilidad pobre.	Daños estructurales importantes a edificios y viviendas.
Huracán	12 ó más	64 ó más	33 ó más	119 ó más	74 ó más	Olas de 11 a 14 m ó más, aire lleno de niebla de agua, visibilidad mala.	Daños estructurales catastróficos, devastación.

Tabla elaborada por VentDepot 1996.

Tabla 11. Escala de Beaufort⁴⁹

⁴⁹ ESCALA DE BEAUFORT Información Técnica. VentDepot. México 1996. Disponible en: <http://www.ventdepot.net/mexico/informaciontecnica/Escala%20Beaufort%20VentDepot.pdf>

4.5. DENSIDAD DEL AIRE

La tabla 12 muestra la variación que presenta la densidad del aire dependiendo de las temperaturas en las que se encuentre, esto es importante ya que depende de las estaciones del año una turbina puede producir más energía o menos.

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

Tabla 12. Temperatura y densidad del aire⁵⁰

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 58 de 98

4.6. TEMPERATURA DE COLOMBIA

La siguiente figura muestra las temperaturas en las distintas regiones del país Colombia, con este mapa climático es posible establecer la densidad del aire que más sobresale en Colombia, para el proyecto se tomaran una escala de temperatura de 5-18-30 grados, por ende cada una tendrá una densidad del aire única que servirá para hallar la potencia nominal y útil en distintas regiones del país con el diseño del rotor eólico.

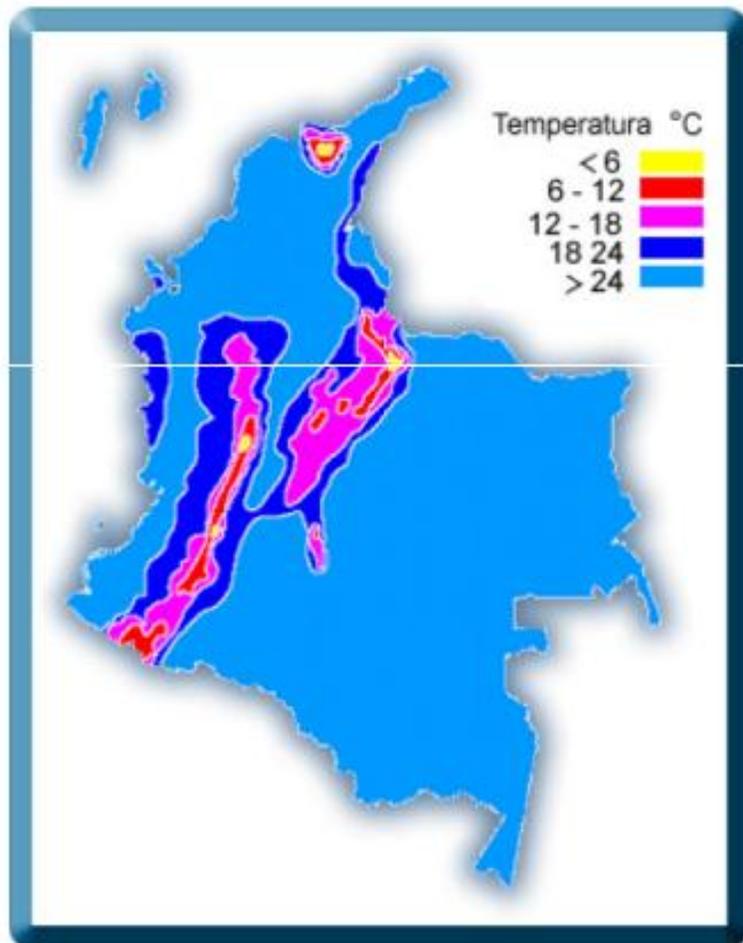


Figura 11. Temperatura y densidad del aire⁵¹

⁵¹ DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. Calentamiento Global en Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Museo Interactivo Samoga. 15p. Disponible en:

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 59 de 98

4.7. LIMITE DE BETZ

La ley de betz, o limite de betz nombrado asi por su fundador el físico aleman Albert Betz en 1919, quien dicta que en los mejores casos solo el 40% de la energia suministrada por el viento se puede extraer y utilizar, betz dice que el motivo de esto es porque todo el proceso que se requiere para la extraccion de dicha energia tiene ciertas limitaciones, de una forma entendible se puede explicar que el viento que fluye por el rotor del aerogenerador no va hacer el mismo a comparación con el que sale de este, ya que en el momento en que este fluye por el generador se ira “frenando”, por tal motivo betz formula que solo es posible usar un 40% de la potencia eólica disponible (P_d). Su ecuación esta representada de la siguiente forma.

$$C_p = \frac{P_a}{P_d}$$

La figura 12 muestra las distintas variaciones del coeficiente de potencia (C_p) en función de la velocidad específica (TSR) para distintos tipos de aerogeneradores.

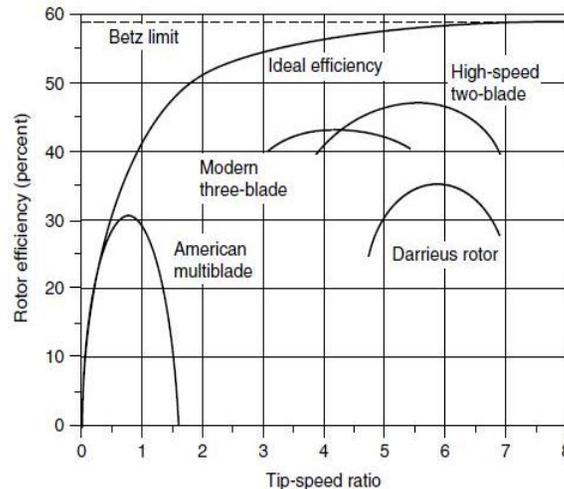


Figura 12. Coeficiente de potencia (C_p) en relación a la Velocidad específica (TSR)⁵²

<http://www.bdigital.unal.edu.co/3673/1/gonzaloduqueescobar.201138.pdf> pdf [citado el 5 de Junio de 2011].

⁵² J284: Los diseños de turbinas eólicas van el límite de Betz. Disponible en: <http://jmirez.wordpress.com/2011/07/18/j284-los-disenos-de-turbinas-eolicas-van-el-limite-de-betz/>. [citado el 18 de Julio de 2011].

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 60 de 98

5. DISEÑO Y CÁLCULOS DEL SISTEMA EÓLICO

5.1. EL ROTOR DARRIEUS:

Se construye normalmente con 2 o 3 hojas para su correcto funcionamiento requiere vientos de a 4 a 5 metros por segundo, en el proyecto se usará un rotor Darrieus tipo H, se escogió este tipo de diseño por la facilidad que presenta al poder ser ubicado en algún lugar del vehículo, además por su diseño rígido y estable. Este tipo de rotor tiene un área de barrido del viento muy favorable, donde soporta grandes velocidades de viento proporcionando dependiendo de su diseño una potencia muy significativa, que nos servirá en este caso, suministrarle carga a la batería de un vehículo eléctrico.

Tipos de generadores Darrieus:

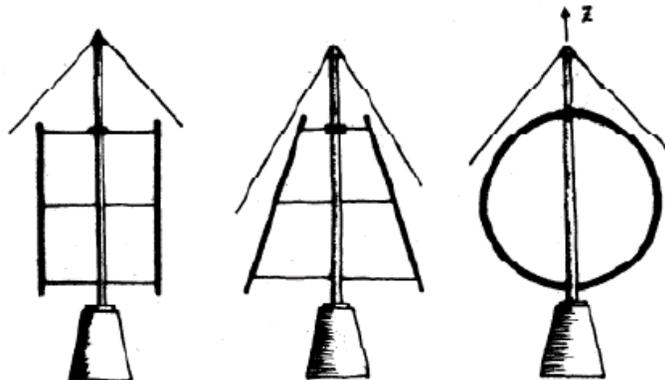


Figura 13. Tipos de Generadores Darrieus⁵³

5.2. DISEÑO DEL GENERADOR EÓLICO

Para obtener un diseño confiable se propone realizar dos tipos de análisis, ambos se harán con valores teóricos, de forma ideal. El primero se realizará con fórmulas donde el diseño planteado usa una eficiencia óptima de todo el sistema, la densidad

⁵³ FRANQUESA VONESCHEN, Manuel. Breve introducción a las turbinas eólicas Darrieus. LA VERITAT. 2p. Disponible en: http://www.amics21.com/laveritat/introduccion_aerogenerador_darrieus.pdf

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 61 de 98

del aire y otros valores. El segundo análisis contará con los parámetros de un generador, las revoluciones por minuto que genera el rotor para al fin obtener la potencia del sistema, al final se realizan las comparaciones sobre la potencia generada.

5.2.1. Análisis #1

Este análisis es ideal, y toma en cuenta los resultados por medio del cálculo de la potencia que puede generar el diseño eólico a realizar, planteando rendimientos mecánicos y eléctricos muy estables y eficientes.

Para obtener la potencia del generador se deben de tener en cuenta ciertas variables, como la velocidad del viento, la densidad del aire, número de palas del rotor, el rendimiento mecánico y eléctrico, especificaciones del generador otorgado por el fabricante, entre otras variables. En este proyecto se tomarán las variables en condiciones óptimas.

Cálculo de la potencia nominal: Para calcular la potencia nominal es necesario considerar las pérdidas de energía del sistema.

Para esto, se estima:

(Valor estimado: El grupo de trabajo conformado por Ahrtz G.D. *et al*⁵⁴, estiman un valor mecánico y eléctrico del sistema eólico basándose en el funcionamiento del generador, donde este tipo de datos son otorgados por el fabricante. Teniendo en cuenta las pérdidas por acoplamiento, fricción, calentamiento mecánico, entre otros, se establecerá para este diseño un rendimiento mecánico de 85% y uno eléctrico de 95%, otorgándole teóricamente al sistema un acople y funcionamiento eficiente, y útil para la realización de los cálculos)

- Rendimiento mecánico (η_m) = 85% (Valor estimado)
- Rendimiento eléctrico (η_e) = 95% (Valor estimado)
- Rendimiento aerodinámico máximo del rotor Darrieus ($C_{p_{max}}$) = 35% (Valor calculado de la figura 11)

⁵⁴ Ahrtz G.D. *et al*. DISEÑO DE UNA TURBINA EÓLICA DE BAJA POTENCIA ADECUADA A LA AGRESIVIDAD DEL CLIMA PATAGÓNICO. Cuarto Congreso Nacional. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. HYFUSEN 2011. 5p. Disponible en: http://www2.cab.cnea.gov.ar/ieds/hyfusen_2011/extras/trabajos/10-005.pdf

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 62 de 98

Con estos valores es posible hallar el rendimiento total del sistema (η_t) para este análisis.

$$\eta_t = (\eta_m \cdot \eta_e \cdot C_{p_{max}})$$

$$\eta_t = (0.85 \cdot 0.95 \cdot 0.35)$$

$$\eta_t = 0.282625$$

Con el dato obtenido del rendimiento total del sistema es posible calcular la potencia nominal (P_n) del sistema, si se desea que el generador entregue una potencia útil (P_{util}) de 1kw, entonces:

$$P_{util} = 1 \text{ kw}$$

$$\eta_t = 0.282625$$

$$P_n = \frac{P_{util}}{\eta_t}$$

Donde:

$$P_n = 3538.26 \text{ w}$$

Pero para el diseño del generador se desean observar las diferentes potencias que puede entregar dependiendo de la densidad del aire, los parámetros de diseño, la eficiencia del sistema y la velocidad del viento que fluye por el vehículo, por tal motivo se elaborará un cuadro el cual presenta la potencia nominal y útil teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

El diseño del rotor para el vehículo eléctrico se establecerá con los siguientes valores.

Hd (altura de rotor Darrieus)= 0.6 m

D (diámetro del rotor Darrieus) = 1 m

t (temperatura)= 5 – 18 – 30 grados centígrados

η_t (eficiencia total del sistema) = 0.282625

Es necesario recordar que por cada valor de temperatura ahí un valor de densidad del aire distinto, Ver tabla 12.

 INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA DE ENVIGADO	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 63 de 98

$$t = 5 \text{ C} \rightarrow \rho = 1.2693 \text{ Kg/m}^3$$

$$t = 18 \text{ C} \rightarrow \rho = 1.2130 \text{ Kg/m}^3$$

$$t = 30 \text{ C} \rightarrow \rho = 1.1650 \text{ Kg/m}^3$$

5.2.2. Diseño gráfico del rotor Darrieus:

Planteando las medidas del rotor Darrieus (número de palas, tipo de rotor, diámetros) se procede a simularlo en Google Sketchup un programa gratuito el cual permitirá visualizar el rotor diseñado en 3D. Se tomaron las medidas teniendo en cuenta la ubicación del sistema en la parte trasera del vehículo.

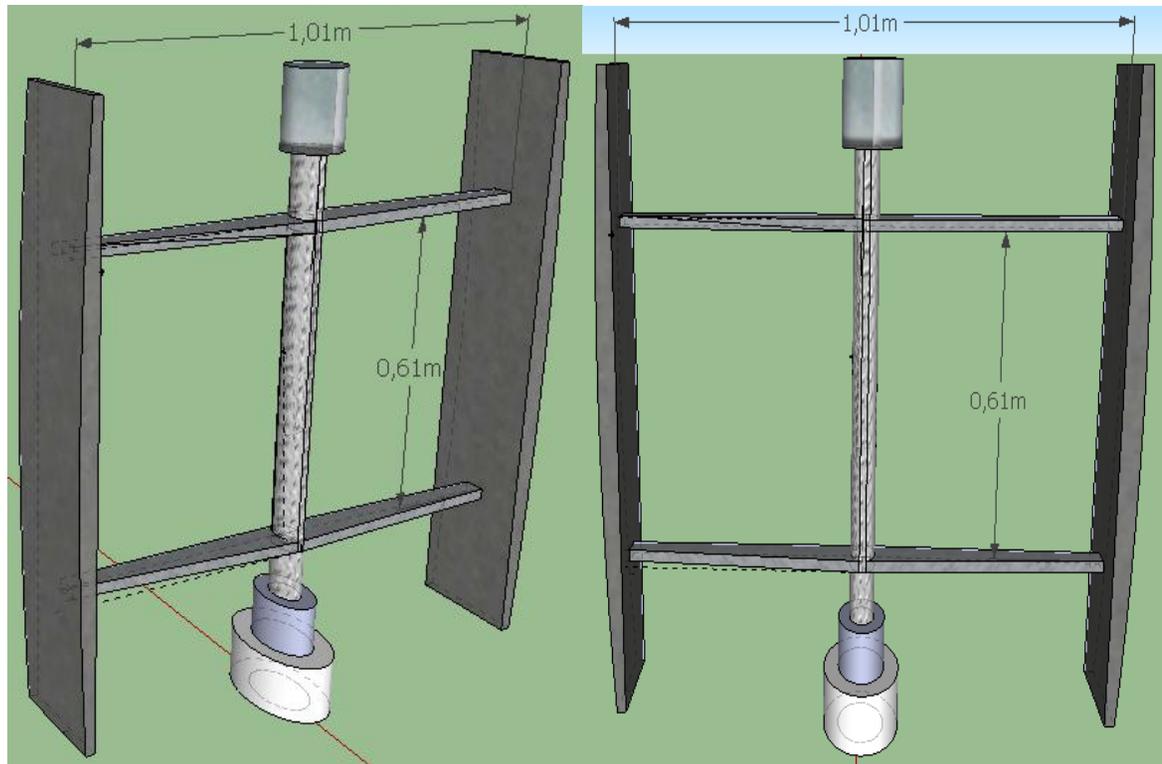


Figura 14. Diseño del rotor Darrieus (Diseño elaborado con el programa Google Sketchup)

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 64 de 98

5.2.3. Cálculos de la potencia del rotor Darrieus

Visualizando el tipo de rotor y teniendo todos los datos necesarios (densidad del aire, velocidad del viento, eficiencia del sistema), se procede a obtener la energía suministrada por el viento.

Formulas a usar⁵⁵:

Potencia Nominal:

$$P_n = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3$$

$$P_n = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (Hd \cdot d) \cdot V^3$$

Potencia Útil:

$$P_{util} = P_n \cdot \eta_t$$

⁵⁵ Ahrtz G.D. *et al.* DISEÑO DE UNA TURBINA EÓLICA DE BAJA POTENCIA ADECUADA A LA AGRESIVIDAD DEL CLIMA PATAGÓNICO. Cuarto Congreso Nacional. HYFUSEN 2011. 2-5p. Disponible en: http://www2.cab.cnea.gov.ar/ieds/hyfusen_2011/extras/trabajos/10-005.pdf

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 65 de 98

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Velocidad (Km/h)	Velocidad (m/s)	$\rho=1.2693 \text{ Kg/m}^3$		$\rho=1.2130 \text{ Kg/m}^3$		$\rho=1.1650 \text{ Kg/m}^3$	
		Potencia generada o Nominal (w).	Potencia Util (w)	Potencia generada o Nominal (w).	Potencia Util (w)	Potencia generada o Nominal (w).	Potencia Util (w)
menor a 2	0,4	0,024371	0,006887854	0,02329	0,006582336	0,022368	0,006321756
2 a 5	0,5	0,047599	0,013452667	0,045488	0,012856046	0,0436875	0,01234718
	1,4	1,04489	0,295312036	0,998542	0,282212933	0,959028	0,271045289
6 a 11	1,5	1,28517	0,363221171	1,22816	0,34710872	1,1795625	0,333373852
	2	3,04632	0,86096619	2,9112	0,8227779	2,796	0,7902195
12 a 19	3	10,2813	2,905752413	9,8253	2,776875413	9,4365	2,666990813
	4	24,3706	6,887740825	23,2896	6,5822232	22,368	6,321756
20 a 29	5	47,5988	13,45261085	45,4875	12,85590469	43,6875	12,34717969
	7	130,611	36,91393388	124,818	35,27668725	119,8785	33,88066106
30 a 39	8	194,964	55,1017005	186,317	52,65784213	178,944	50,574048
	10	380,79	107,6207738	363,9	102,8472375	349,5	98,7774375
40 a 50	11	506,831	143,2431114	484,351	136,8897014	465,1845	131,4727693
	13	836,596	236,4429445	799,488	225,955296	767,8515	217,0140302
51 a 61	14	1044,89	295,3120363	998,542	282,2129328	959,028	271,0452885
	16	1559,72	440,815865	1490,53	421,2610413	1431,552	404,592384
62 a 75	17	1870,82	528,7405025	1787,84	505,28828	1717,0935	485,293504
	20	3046,32	860,96619	2911,2	822,7779	2796	790,2195
76 a 87	21	3526,5	996,6770625	3379,08	955,012485	3236,7195	914,7778487
	23	4633,07	1309,421409	4427,57	1251,341971	4252,3665	1201,825082
88 a 102	24	5264,04	1487,749305	5030,55	1421,759194	4831,488	1365,499296
	27	7495,09	2118,299811	7162,64	2024,34113	6879,2085	1944,236302
103 a 118	28	8359,1	2362,490638	7988,33	2257,701766	7672,224	2168,362308
	32	12477,7	3526,509963	11924,3	3370,105288	11452,416	3236,739072
119 ó más	≥ 33	13684,5	3867,581813	13077,5	3696,028438	12559,9815	3549,764771

Tabla 13. Potencia nominal y útil del generador eólico creado

Se hará un análisis tomando solo la densidad $\rho = 1.2130 \text{ Kg/m}^3$ correspondiente a 18 grados centígrados.

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 66 de 98

		$\rho=1.2130 \text{ Kg/m}^3$	
Velocidad (Km/h)	Velocidad (m/s)	Potencia generada o Nominal (w).	Potencia Util (w)
menor a 2	0,4	0,02329	0,006582336
2 a 5	0,5	0,045488	0,012856046
	1,4	0,998542	0,282212933
6 a 11	1,5	1,22816	0,34710872
	2	2,9112	0,8227779
12 a 19	3	9,8253	2,776875413
	4	23,2896	6,5822232
20 a 29	5	45,4875	12,85590469
	7	124,818	35,27668725
30 a 39	8	186,317	52,65784213
	10	363,9	102,8472375
40 a 50	11	484,351	136,8897014
	13	799,488	225,955296
51 a 61	14	998,542	282,2129328
	16	1490,53	421,2610413
62 a 75	17	1787,84	505,28828
	20	2911,2	822,7779
76 a 87	21	3379,08	955,012485
	23	4427,57	1251,341971
88 a 102	24	5030,55	1421,759194
	27	7162,64	2024,34113
103 a 118	28	7988,33	2257,701766
	32	11924,3	3370,105288
119 ó más	≥ 33	13077,5	3696,028438

Tabla 14. Potencia generada a 18 grados centígrados

En la tabla 14 es notable el aumento de la potencia dependiendo de la velocidad en que fluye el viento, observando que para velocidades de 40 km/h es posible obtener una potencia nominal de 484,351 w (vatios), a los 62 km/h su potencia es de 1.787 kw (kilo vatios), y si el vehículo pudiera alcanzar una velocidad de 120 km/h generaría una potencia de 13 kw, contando además de que el rotor tendría que soportar este gran flujo de viento.

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 67 de 98

5.3. EL ROTOR SAVONIUS:

Este rotor se usará como fuerza de arranque cuando las condiciones de viento sean desfavorables, es un rotor que opera fácilmente a bajas velocidades de viento, lo cual resulta de gran ayuda cuando el vehículo se encuentre parqueado y el viento somete levemente, se propone esto ya que este rotor puede facilitar el arranque del rotor Darrieus a bajas velocidades y tal vez llegue a generar una carga a las baterías del vehículo.

La forma del rotor Savonius y su flujo del viento en él se ilustran a continuación:

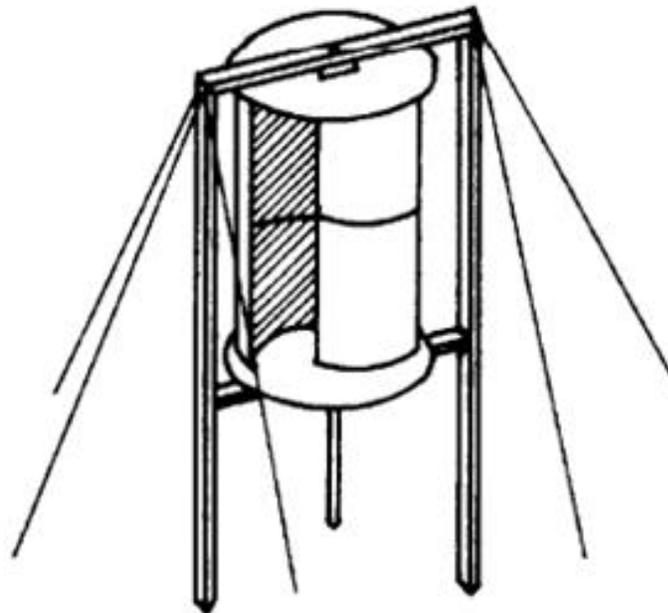


Figura 15. Rotor Savonius⁵⁶

⁵⁶ LECUONA NEUMANN, Antonio. LA ENERGÍA EÓLICA: Principios básicos y tecnología. Universidad Carlos III de Madrid, Leganés, 2002. 11p. Disponible en: http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49917eec3c3bd/1234272455_eolica_AL.ecuona.pdf

Corriente del viento en un rotor Savonius

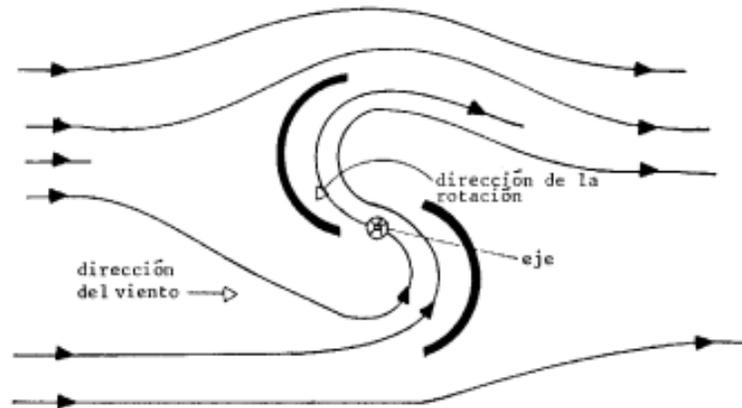


Figura 16. Flujo del viento en un rotor Savonius⁵⁷

5.3.1. Diferencias de los rotores Savonius y Darrieus:

	SAVONIUS	DARRIEUS
Velocidad de trabajo	Baja	Alta
Par de arranque	Alto	Bajo
Necesitan mecanismos de arranque	No	Si
W/m^2	0-500 W	5-500 kW
Emisiones de ruido	Bajas	Altas
Vibraciones mecánicas	Altas	Bajas

Tabla 15. Características del Rotor Savonius y Darrieus⁵⁸

⁵⁷ RUIZ O, Leonardo J. VELIZ A. Elviz R. DISEÑO DE UN GRUPO EOLICO PARA BOMBEO DE AGUA, Universidad Central de Venezuela, Caracas 2002. 9p. Disponible en: <http://saber.ucv.ve/jspui/bitstream/123456789/231/1/Dise%C3%B1o%20grupo%20eolico%20para%20bomdeo%20de%20agua.pdf>

⁵⁸ PICHARDO CALBERT, Vicente. Cargador de baterías para aerogenerador Savonius helicoidal, Escola Técnica Superior Enginyeria. Junio de 2010. 3p, Disponible en: https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CDkQFjAA&url=http%3A%2F%2Fkimerius.com%2Fapp%2Fdownload%2F5783124057%2FCargador%2Bde%2Bbater%25C3%25ADas%2Bpara%2Baerogenerador%2BSavonius%2Bhelicoidal.pdf&ei=7Oz1UPupHYGS9gS1zYDoAQ&usg=AFQjCNEtU039BC1Ab5P2vqIvDCXeJVrl_w&sig2=yk783fQd5Lk8WI8tBC-VUw&bvm=bv.41018144,d.eWU

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 69 de 98

El funcionamiento de los aerogeneradores inicia a muy poca velocidad, para el caso del generador Savonius su arranque empieza con una velocidad mínima de 2 m/s por tal motivo es de gran ayuda este tipo de rotor para el proyecto, considerando que el vehículo eléctrico no siempre estará en movimiento.

5.3.2. Diseño del Rotor Savonius:

Para diseñar el rotor Savonius el cual servirá como “palanca” de arranque del rotor Darrieus cuando la velocidad del viento sea baja se toman ciertas medidas para su diseño, ya que la elaboración de este puede causar problemas, dependiendo de las dimensiones que tenga, en la figura 17 se puede observar que si esta sobre dimensionada el área del rotor Savonius puede afectar la eficiencia del rotor Darrieus, y por otra parte si es muy pequeño no ayudará en la iniciación del giro del rotor.

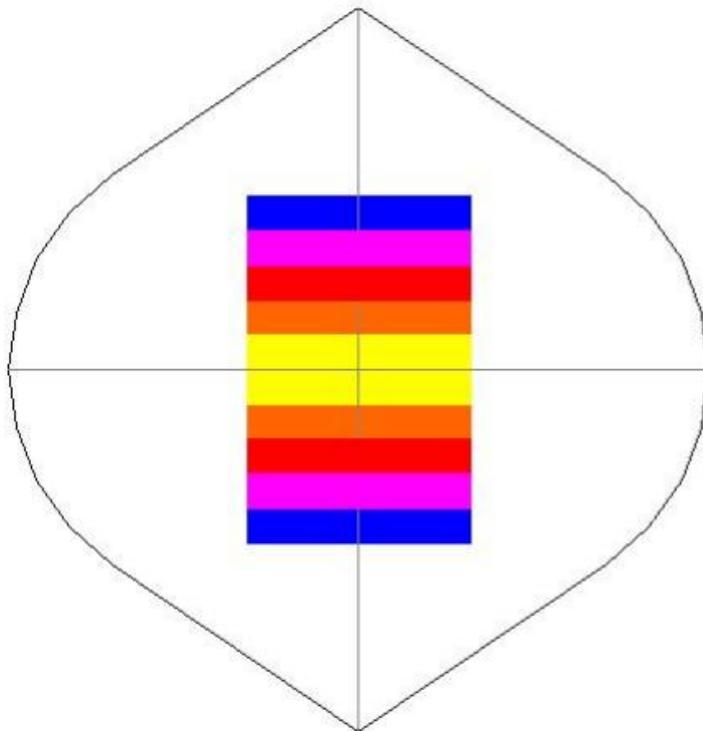


Figura 17. Área comprendida de un rotor Savonius⁵⁹

⁵⁹ VÁSQUEZ LEIVA, Mauricio Andrés. “DISEÑO DE UNA TURBINA EÓLICA DE EJE VERTICAL CON ROTOR MIXTO”. Escuela de Ingeniería Civil Mecánica. VALVIDIA-CHILE 2007. 58p, Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/bmfciv335d/doc/bmfciv335d.pdf>.

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 70 de 98

Para el diseño del generador Savonius se debe de tener en cuenta factores como el material a usar, el torque que genera y el área que ocupará, ya que estos afectan en mayor medida al rotor Darrieus, quien es en si el principal elemento del diseño del proyecto, por tal motivo se tomará un factor mínimo en una escala de 1:5⁶⁰, lo cual es aconsejable para un diseño estable y confiable donde el arrastre del rotor Darrieus no se verá afectado en gran medida, y además el rotor Savonius cumple la función básica de funcionar a velocidades del vientos bajos.

Hs = 0.12 m = 12 cm (Centímetros)

ds = 0.20 m = 20 cm

rd = 0.10 m = 10 cm

El diseño del rotor Savonius para el proyecto esta establecido así:

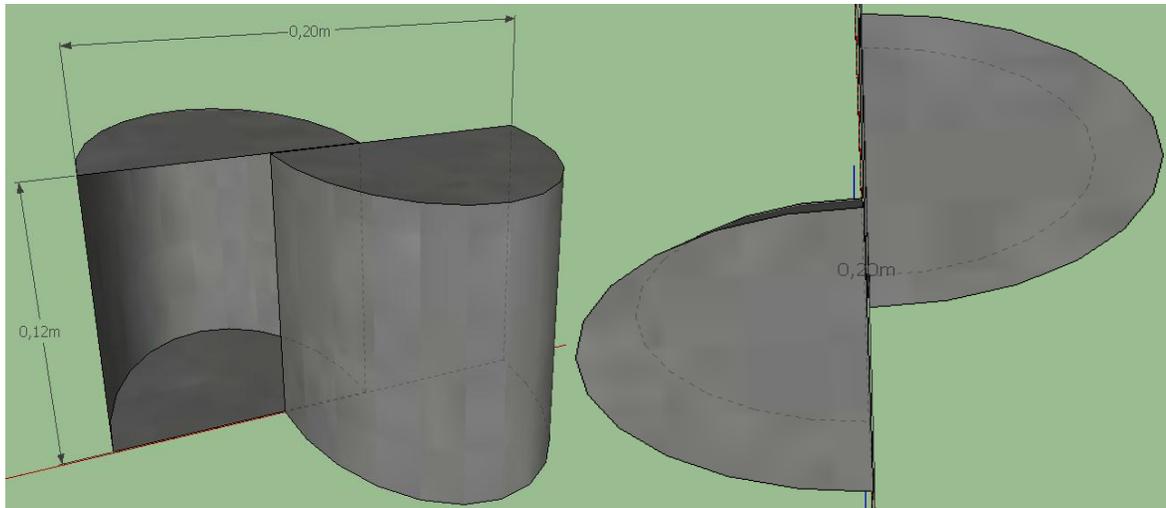


Figura 18. Diseño del rotor Savonius (Diseño elaborado con el programa Google Sketchup)

⁶⁰ Ibíd, 59p.

5.4. DISEÑO EN 3D DEL ROTOR SAVONIUS Y DARRIEUS ACOPLADOS:

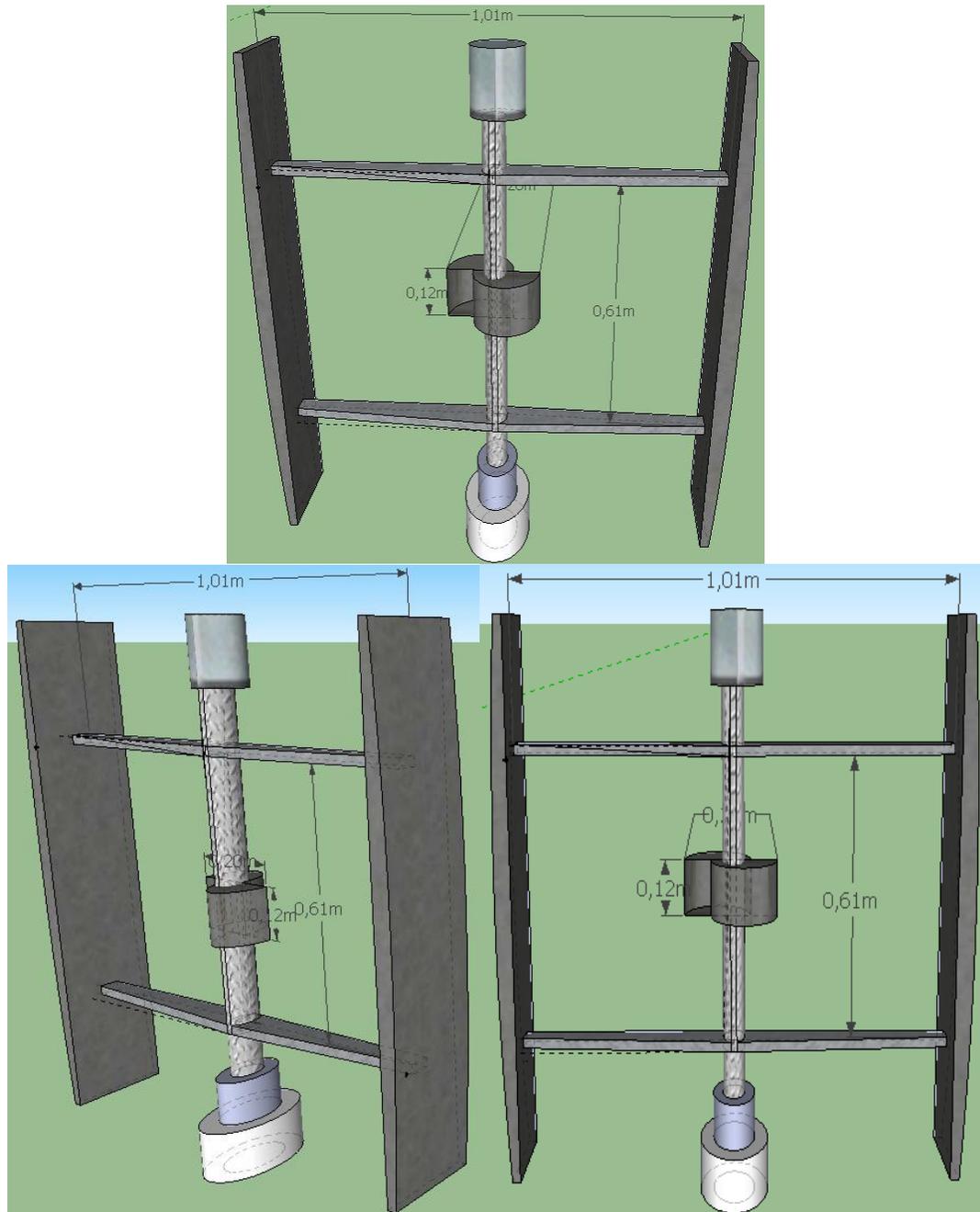


Figura 19. Diseño final del rotor Savonius y Darrieus (Diseño realizado en Google Sketchup)

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 72 de 98

5.5. ANÁLISIS #2

Para este análisis se tomarán como variables las revoluciones en las que gira el rotor, el acople con un generador y la forma más simple para en un futuro poder desarrollarlo, con estos datos es posible calcular la corriente del sistema y al fin la potencia que entrega el generador eólico.

5.5.1. Velocidad específica TSR:

La velocidad específica es una representación de las revoluciones por minuto del rotor, esto se define como *la relación de velocidad de la pala y la velocidad del viento real*⁶¹.

VPP: Velocidad de la periferia de la pala

V: Velocidad del viento

$$TSR = \frac{VPP}{V}$$

Para poder obtener esta velocidad específica se debe de conocer, el radio de la pala, las revoluciones con las que funciona y la velocidad del viento, aunque normalmente en la figura 5 se puede observar la curva característica del TSR según el tipo de rotor que se va a usar. En este diagrama podemos analizar que la velocidad específica (TSR) del aerogenerador Darrieus varía entre 3,5 – 7. Se tomará un TSR igual a 5, el cual, es un valor estable que representa la velocidad específica del rotor Darrieus.

$$TSR = 5$$

La tabla 16 Muestra el número de palas requeridas o normalmente usadas dependiendo de la velocidad específica (TSR) del generador.

⁶¹ CANALEJO SANCHEZ, Daniel. GENERADOR EÓLICO PARA USO DOMÉSTICO. UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA. 2011. 6p, Disponible en: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/12868/1/TFC-%20Daniel%20Canalejo%20S%C3%A1nchez.pdf>
http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/12868/1/TFC-dor%2BSavonius%2Bhelicoidal.pdf&ei=7Oz1UPupHYGS9gS1zYDoAQ&usg=AFQjCNEtU039BC1Ab5P2vqlvDCXeJVrl_w&sig2=yk783fQd5Lk8WI8tBC-VUw&bvm=bv.41018144,d.eWU.

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 73 de 98

TSR	1	2	3	4	5 a 8	8 a 15
Número de palas	6 a 20	4 a 12	3 a 8	3 a 5	2 a 4	1 a 2

Tabla 16. Numero de palas en relación con al velocidad específica⁶²

Se observa que con el TSR establecido en el proyecto el número de palas entra en el rango requerido para la construcción de un generador eólico.

5.5.2. Revoluciones por minuto del rotor eólico

Teniendo los datos necesarios, obtenemos las revoluciones por minuto (n) del rotor, con la siguiente formula:

$$n = \frac{(60 \cdot TSR \cdot V)}{\pi \cdot d}$$

La tabla 17 muestra las distintas revoluciones por minuto en las que gira el rotor diseñado, con el fin de poder establecer a que velocidades gira este dependiendo del flujo del viento y si es necesario el uso de un multiplicador en el momento de acoplar el rotor con el generador.

TSR = 5		
Velocidad (Km/h)	Velocidad (m/s)	Revoluciones X minuto (n)
menor a 2	0,4	38,19709702
2 a 5	0,5	47,74637128
	1,4	133,6898396
6 a 11	1,5	143,2391138
	2	190,9854851
12 a 19	3	286,4782277
	4	381,9709702
20 a 29	5	477,4637128
	7	668,4491979

⁶² FERNÁNDEZ DÍEZ, Pedro. Energía Eólica. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética. Universidad de Cantabria. 71p. Disponible en: https://mail-attachment.googleusercontent.com/attachment/?ui=2&ik=2d02f82b74&view=att&th=13c64a5f7eca6b8f&attid=0.1&disp=inline&realattid=f_hc9ovw0i0&safe=1&zw&saduie=AG9B_P9jVH4gra_P-hX28fuM1Nif&sadet=1358899625607&sads=yFKNqHdpsVzkZaMS-FQD5uTs7PI

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 74 de 98

30 a 39	8	763,9419404
	10	954,9274255
40 a 50	11	1050,420168
	13	1241,405653
51 a 61	14	1336,898396
	16	1527,883881
62 a 75	17	1623,376623
	20	1909,854851
76 a 87	21	2005,347594
	23	2196,333079
88 a 102	24	2291,825821
	27	2578,304049
103 a 118	28	2673,796791
	32	3055,767762
119 ó más	33	3151,260504

Tabla 17. Revoluciones por minuto del rotor creado

Los resultados obtenidos dan muestra que el rotor girará con velocidades muy rápidas, lo cual brinda una ventaja al momento de acoplarlo con el generador, ya que no habrá en mayor medida que multiplicar las revoluciones por minuto (esto depende mucho del generador que se va a utilizar), para este análisis no multiplicaremos las revoluciones del rotor, se realizará un análisis simple tomando los datos como funciona cada componente sin tener que modificar alguna de sus partes. Más adelante se da un consejo de como multiplicar las RPM de una forma fácil y económica.

5.6. ACOPLAMIENTO DEL ROTOR EÓLICO Y EL GENERADOR.

Para el acoplamiento del rotor eólico se usará un alternador convencional de un vehículo, aunque su rendimiento es bajo y no llama mucho la atención a comparación con los generadores que se usan normalmente en los sistemas eólicos, es una buena elección tomando en cuenta que son fáciles de adquirir, baratos y tienen una larga duración, además que estos generalmente vienen con el rectificador y el regulador de voltaje lo cual es de gran ayuda ya que ambos convierten la corriente alterna en directa, evitan que la corriente rebote, se devuelva y cause daños a la batería o el alternador, además permiten mantener constante el voltaje (14VD) que se le otorga a la batería para su carga y funcionamiento, es una opción fácil y al alcance de todos.

5.6.1. Características del alternador:

Característica corriente-velocidad de giro de un alternador de un vehículo

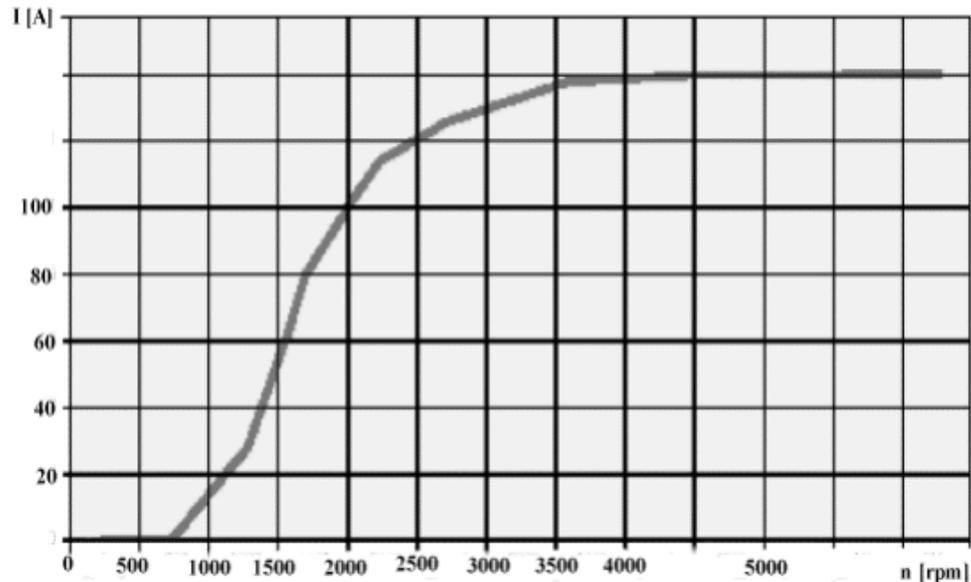


Figura 20. Característica corriente-velocidad de giro de un alternador de un vehículo⁶³

Se puede visualizar que alrededor a las 750 rpm (revoluciones por minuto) empieza a suministrar corriente, con lo cual podemos analizar de la tabla 17 que el sistema empieza a suministrarle carga a las baterías con una velocidad de viento 8 m/s por segundo, lo cual equivale que el vehículo vaya a una velocidad de 30 km/h.

Para poder saber como es el funcionamiento de este y que componentes son necesarios para convertir de carga alterna a directa se expondrán los elementos principales de un alternador.

⁶³ FRANQUESA VONESCHEN, Manuel. Cómo construir un generador eólico con un barril de petróleo de 200 litros para producir energía sin el contenido del mismo (generador Savonius). LA VERITAT. 9p, Disponible en: http://www.amics21.com/laveritat/generador_savonius.pdf. [citado el 19 de agosto de 2008].

Alternador

Vista interna de los componentes principales de un alternador.

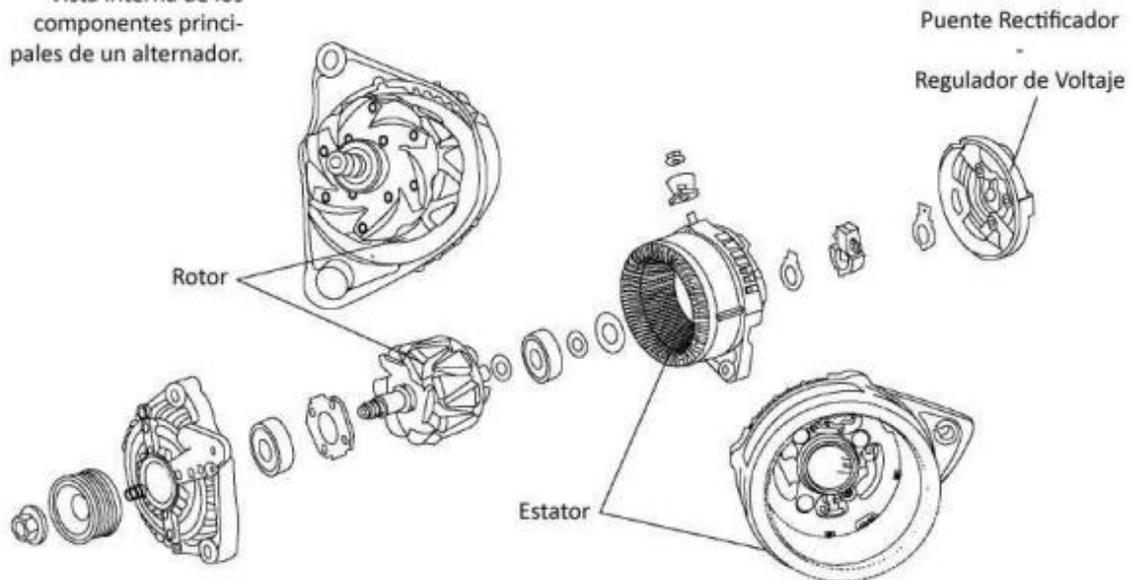


Figura 21. . Alternador⁶⁴

1. Rotor
2. Estator
3. Puente rectificador de diodos
4. Regulador de voltaje

5.6.2. Rotor del alternador: Este se encarga de generar el campo magnético, el cual induce al bobinado del estator, y este genera la corriente eléctrica. Se le considera como la parte móvil del alternador, ya que esta es la pieza que gira a gran velocidad. Consta de un eje, el cual tiene el núcleo magnético formado por dos piezas que constituyen los polos del campo magnético del inductor.

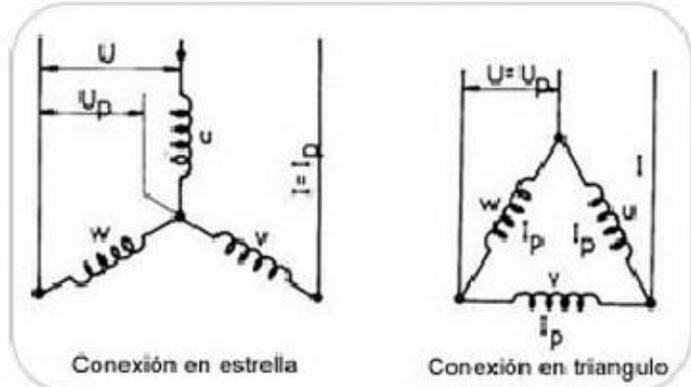
5.6.3. Estator: Esta es la parte que no tiene movimiento en el alternador, esta conformado por las bobinas inducidas las cuales generan la corriente eléctrica, generalmente están constituidas por 3 bobinados cada una separada entre si y de las mismas dimensiones, tienen dos formas de ir conectado, conexión en delta o conexión en estrella, esto depende del uso que se le desee dar.

⁶⁴ BOOSTER, Beto. Curso de Sistemas de Carga. 4p. Disponible en: <http://automecanico.com/auto2027/bbooster07.pdf>

Estator o inducido



Símbolo eléctrico del estator



El estator esta formado por tres bobinas (u, v, w) unidas formando un circuito, donde "Up" es la tensión de fase y "U" la tensión de línea o total. "Ip" es la intensidad de fase e "I" la intensidad de línea o total

Figura 22. Símbolo eléctrico del estator⁶⁵

5.6.4. Puente rectificador de diodos: generalmente esta conformado por 6 o 9 diodos de potencia, estos van conectados a las fases del alternador, este proceso es realizado para hacer la "conversión" de la corriente generada por el alternador a la necesitada por la batería, en la figura 23 podemos apreciar en el grafico 1 la forma de ondas que el alternador ofrece, y la rectificación que ejecuta el puente de diodos en el grafico 2, idealmente se desea una corriente lineal (línea roja), sin variación pero esto no es del todo posible sin ayuda de otros componentes (capacitores u otros componentes dependiendo del grado de exactitud requerido).

⁶⁵ Ibíd, 16p.

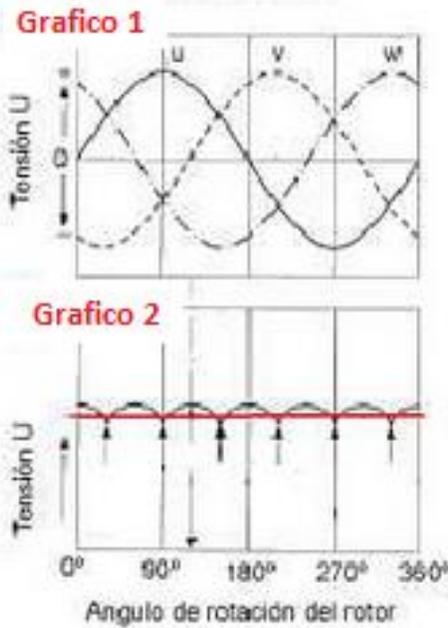


Figura 23. Onda completa rectificada de un alternador⁶⁶

Funcionamiento de rectificación de los diodos:

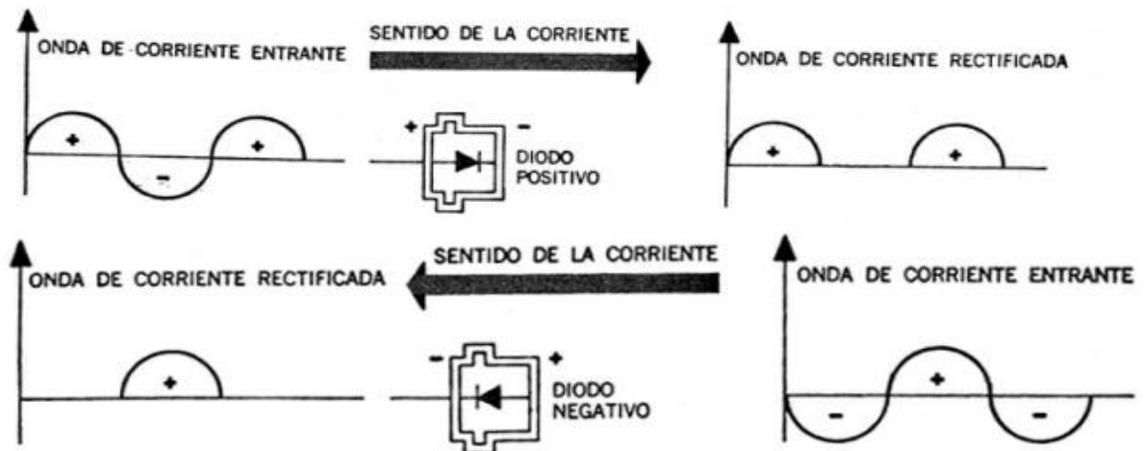


Figura 24. Onda de corriente rectificada⁶⁷

⁶⁶Ibíd, 18p.

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 79 de 98

En la siguiente figura podemos ver una conexión en delta de un alternador con su puente de rectificación perfectamente conectados:

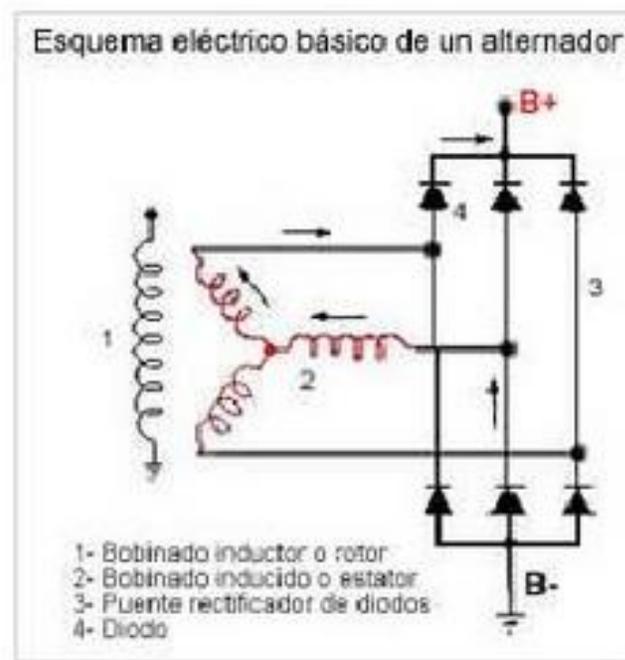


Figura 25. Esquema eléctrico básico de un alternador⁶⁸

5.6.5. Regulador de voltaje: este es el encargado de mantener constante el voltaje de salida del alternador sin importar las revoluciones en las que este se encuentre y la corriente que se esté generando, esto es importante y estabiliza el voltaje, lo vuelve constante para evitar daños eléctricos, mecánicos y posiblemente físicos si alguien se encuentra cerca. Al paso de los años se han mejorado los reguladores siendo cada vez más precisos con la ayuda de la electrónica.

⁶⁷ MANUAL DE TALLER ALTERNADORES, *indiel La Marca Segura, Prestolite indiel Motores de San Luis S.A.* 2004-2005. 6p. Disponible en: <http://www.prestolite.com.ar/images/catalogos/2010/manual%20de%20alternadores.pdf>

⁶⁸ BENJAMÍN VELÁSQUEZ, José. Alternadores y reguladores de tensión. 16p. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/51996533/Alternadores-y-reguladores-de-tension>.

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 80 de 98

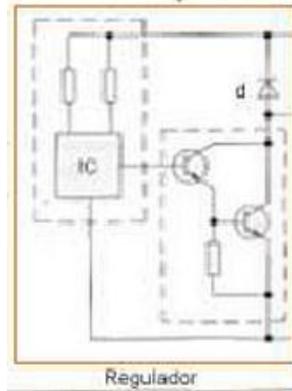


Figura 26. Esquema interno de un Regulador de Voltaje⁶⁹

Hay distintas clases de reguladores, un regulador óptimo para este proyecto sería un regulador con técnica híbrida, es compacto, fiable, y tiene pocos componentes que puedan generar posibles errores, en la figura 27 se puede apreciar el alternador, el puente rectificador y el regulador, quien internamente como vemos en la figura 26 se compone principalmente de un circuito integrado y de un transistor Darlington NPN, este transistor se compone por dos transistores en forma de “cascada” su característica principal es que tiene una alta ganancia de corriente.

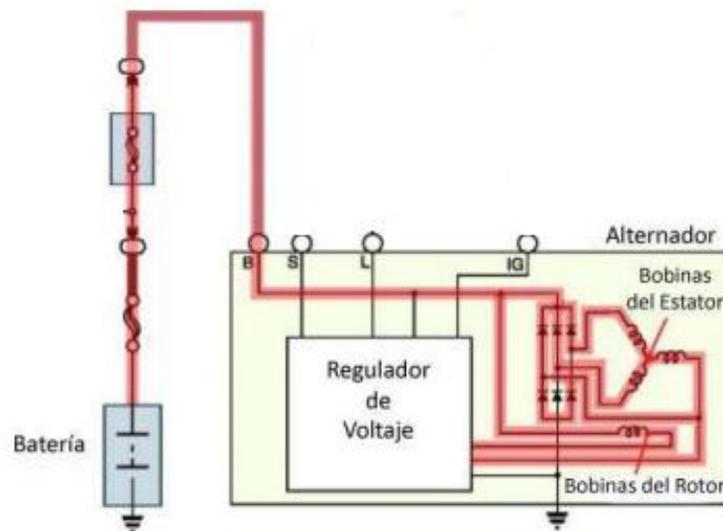


Figura 27. Esquema eléctrico alternador-rectificador-regulador⁷⁰

⁶⁹ Alternadores y reguladores de tensión. Pág. 31 [En línea], Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/51996533/Alternadores-y-reguladores-de-tension>. Publicado por: José Benjamín Velásquez.

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 81 de 98

En la figura 27 y en la 28 se observa el esquema eléctrico y físico del sistema, el cual empieza funcionando con la obtención de la energía cinética del viento, capturado por las palas del rotor, y transformando esta en mecánica, donde el rotor de este sistema eólico esta acoplada al alternador, quien por medio del campo magnético, induce las bobinas del estator y genera la corriente eléctrica, estas pasa por el puente rectificador de diodos, se encargan de poder cambiar la corriente alterna generada en corriente directa, la cual es la requerida para cargar las baterías, esta sin antes ir regulada por un sistema electrónico, el cual se ocupa de mantener el voltaje fijo, un suministro constante de voltaje, esto es posible gracias al regulador de voltaje, el cual va conectado a las escobillas del rotor, a medida que este amerite ira cortando la corriente que circula por el estator, para poder garantizar un voltaje estable, su funcionamiento es semejante al de un “switcher”, ya que este detecta el voltaje que ofrece el alternador, y cuando siente que se alcanzó el voltaje adecuado (14V), hace que el rotor deje de suministrar corriente, el voltaje empieza a descender e inmediatamente se activa de nuevo, y repite este ciclo, así da un voltaje estable y seguro a la batería.

⁷⁰ Ibíd, 9p.

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 82 de 98

6. BATERÍAS:

Los vehículos eléctricos usan a día de hoy distintos tipos de baterías, cada una de ellas tiene sus ventajas y desventajas, el siguiente cuadro ilustra algunas características de 3 tipos de baterías que se usan para la alimentación del motor eléctrico.

BATERIAS		
Plomo- Ácido	Metal-Níquel	Ion-Litio
Bajo costo	Costo elevado	Costo Alto
Buen comportamiento en amplios rangos de temperatura	Alto índice de descarga en periodos de inactividad	Existen distintas variedades (Litio-Cobalto, Litio-Hierro-Fosfato, Litio-Manganeso)
Buena retención de carga en el tiempo	No produce problemas medioambientales	Voltaje, densidad energética, potencia específica, carga utilizable, eficiencia de recarga y ciclo de vida son superiores a las de Plomo-Ácido y Metal-Níquel.
Fáciles de reciclar	Ciclo de vida largo	
Pueden almacenar 40Wh/kg	Almacena 60Wh/kg	Necesitan costosos sistemas de control electrónico para su protección y correcto funcionamiento, debido a que son poco flexibles con la variación de voltaje.

Tabla 18. Características principales de tres tipos de baterías⁷¹

Subrayando otras características de las baterías de Plomo-Acido, es que permiten recibir cargas parciales para su funcionamiento, son baratas, pueden conseguirse en cualquier chatarrería, esto permite que sea viable y cómodo usarlas para el diseño del proyecto, por tal motivo se hará el análisis final teniendo en cuenta que el vehículo eléctrico tiene un banco de baterías de este tipo.

Para la carga de la batería, es necesario una conexión adecuada, usando la polaridad correcta, positivo con positivo y negativo con negativo, del mismo modo se deben de conectar si el caso amerita, las demás baterías.

⁷¹ ARTÉS G. David. Baterías de coches eléctricos e híbridos, hoy [estado de la tecnología del automóvil]. Ingeniero Técnico Industrial. TECMOVIA. Disponible en: <http://www.tecmovia.com/2012/03/14/baterias-de-coches-electricos-e-hibridos-hoy-estado-de-la-tecnologia-del-automovil/> Citado el: [14 de marzo de 2012]

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 83 de 98

7. POTENCIA GENERADA POR EL ALTERNADOR

Para la potencia de este análisis hay que tener en cuenta el rango en el cual el sistema eólico diseñado entrega carga a la batería, y la velocidad máxima que puede alcanzar el vehículo (se tomará como velocidad máxima 90km/h), en la tabla 17 se ven las RPM con las que funciona el rotor eólico dependiendo de la velocidad del viento, si suponemos que al acoplar el rotor eólico con el rotor del alternador no se generan pérdidas por la fricción, se puede analizar que con un flujo del viento de 8m/s equivalentes a 30km/h el sistema alcanza un poco más de las 750 RPM necesarias para que el alternador empiece a entregar carga, comparando la tabla 17 con la figura 20 es posible obtener la corriente dependiendo de la velocidad del vehículo.

(Datos de la corriente calculada de forma visual por medio de la figura 20)

km/h	m/s	RPM	I (A)
30 a 39	8	763,94194	4
	10	954,927426	15
40 a 50	11	1050,42017	18
	13	1241,40565	21
51 a 61	14	1336,8984	28
	16	1527,88388	58
62 a 75	17	1623,37662	68
	20	1909,85485	97
76 a 87	21	2005,34759	101
	23	2196,33308	110

Tabla 19. Corriente del alternador según las RPM

Con el dato de la corriente es posible sacar la potencia útil que va a generar el sistema eólico, sabiendo que el voltaje ofrecido por la batería es igual a 12V.

Formula a usar:

$$P = Vt \cdot I$$

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 84 de 98

P: Potencia (w)

Vt: Voltaje (V)

I: Corriente (A)

km/h	m/s	RPM	I (A)	V	P (w)
30 a 39	8	763,94194	4	12	48
	10	954,927426	15	12	180
40 a 50	11	1050,42017	18	12	216
	13	1241,40565	21	12	252
51 a 61	14	1336,8984	28	12	336
	16	1527,88388	58	12	696
62 a 75	17	1623,37662	68	12	816
	20	1909,85485	97	12	1164
76 a 87	21	2005,34759	101	12	1212
	23	2196,33308	110	12	1320

Tabla 20. Potencia entregada por el generador eólico

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 85 de 98

8. ESQUEMA DEL DISEÑO EÓLICO, EL ALTERNADOR, EL SISTEMA DE REGULACIÓN Y LAS BATERÍAS.

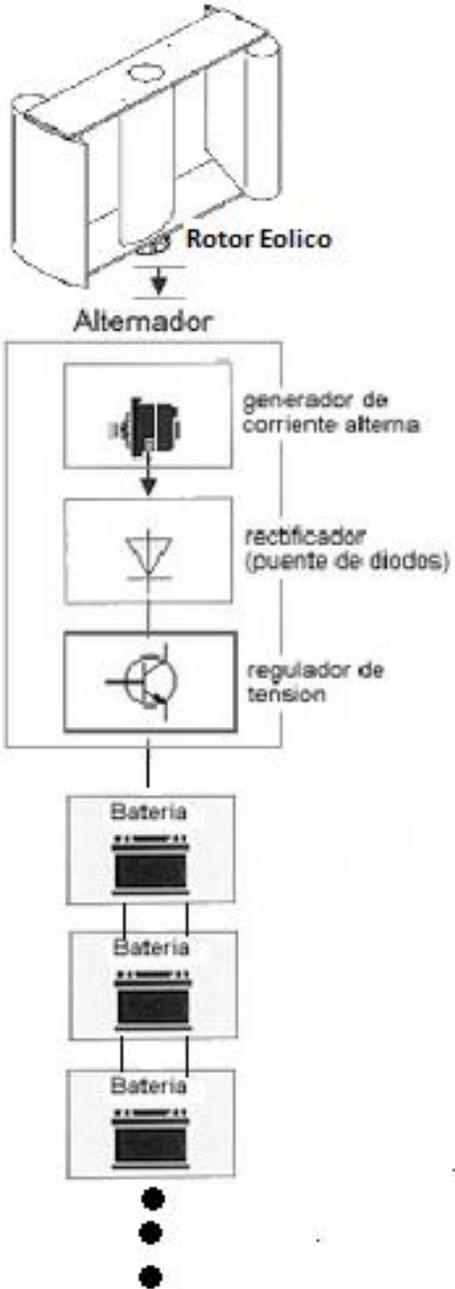


Figura 28. Esquema del rotor eólico-Alternador-Rectificador-Regulador-Batería

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 86 de 98

9. DISEÑO FINAL, GRÁFICO DEL ROTOR EN UN VEHÍCULO ELÉCTRICO.

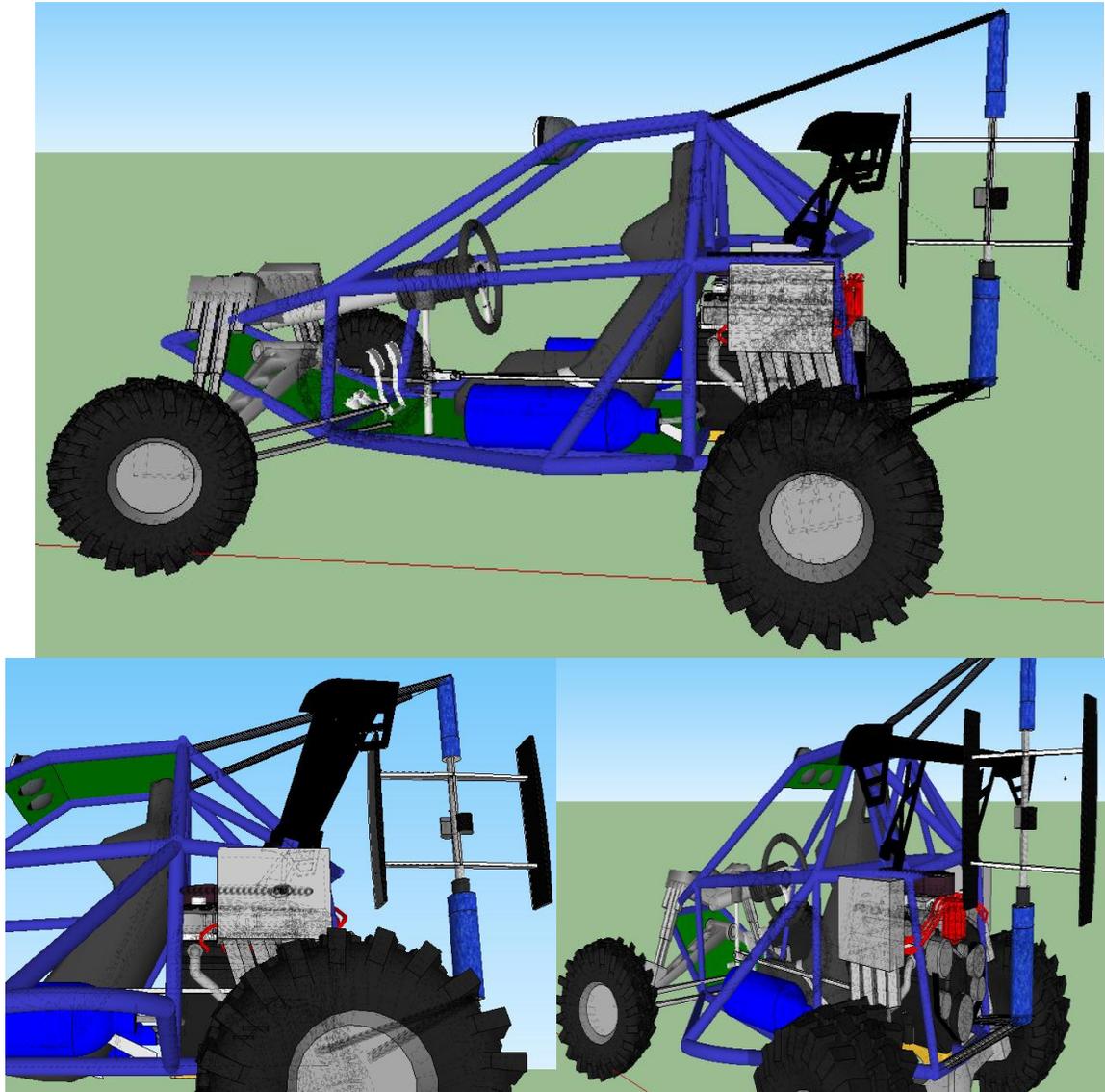


Figura 29. Diseño final del sistema eólico acoplado al vehículo (Diseño elaborado con el programa Google Sketchup)

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 87 de 98

10. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS PLANTEADOS

Comparando los datos de la tabla 14, Potencia generada a 18 grados centígrados y la tabla 20, Potencia entregada por el generador eólico, podemos observar que la potencia que entrega el sistema eólico usando los dos análisis es similar, y su rango de diferencia no es muy grande si partimos del hecho, de que el análisis#2 se hizo observando la curva de RPM que genera el alternador. Para obtener los resultados de la autonomía que brinda el sistema se tomarán los resultados logrados de este análisis ya que sus componentes se asemejan más a la realidad.

La media de autonomía de los vehículos eléctricos esta alrededor de 28,25Kw/h⁷², con los datos alcanzados, se calculará que tanto se demora el sistema propuesto en cargar las baterías del vehículo, y para este análisis se tomaran 3 velocidades, 40km/h, 60km/h y 80Km/h.

Formula a usar:

$$\text{Tiempo de carga} = \text{Media (Kw/h)} / \text{Potencia brindada (w)}$$

Autonomía Promedio VE Media (kw/h)	Velocidad (km/h)	Potencia (w)	Tiempo total de carga (horas)
28,25	40	216	131
28,25	60	816	35
28,25	80	1250	23

Tabla 21. Autonomía proporcionada por el sistema.

La tabla 21 muestra que el sistemas diseñado necesita de velocidades constantes y largos tiempos en operación para poder suministrar la autonomía por completo del vehículo, lo cual hace que el diseño no sea la herramienta ideal para suministrar la carga por completo, sin necesidad de conectarlo algún tipo de red, ya que en el menor de los casos habría que conducir 23 horas a 80km/h, algo realmente imposible físicamente para el hombre, y además las baterías del vehículo no poseen tal autonomía de funcionamiento, pero, si es interesante el hecho, de que el vehículo se mantiene a una velocidad constante y rápida se podrían obtener varios minutos, o tal vez un para de horas de autonomía propia

⁷² Mapa tecnológico Movilidad Eléctrica, Observatorio Tecnológico de la Energía, Ministro de Industria, Energía y Turismo. 11p. Disponible en: http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_Movilidad_Electrica_ACC_c603f868.pdf. Citado el: 12 de enero del 2012

 INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA DE ENVIGADO	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 88 de 98

sin depender de ninguna otra fuente de energía mas que la proporcionada por la naturaleza.

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 89 de 98

11. FACTORES A TENER EN CUENTA

- En el diseño realizado no se especificó el material a usar, aunque es posible utilizar material barato, pero sin garantizar que resista las velocidades a las cuales estará expuesto, por tanto es aconsejable utilizar materiales de gran resistencia.
- Los datos obtenidos se hicieron con formulas que suponen un funcionamiento óptimo.
- En el sistema diseñado no se tuvo en cuenta el ruido que pueda generar el rotor eólico.
- No se tuvo en cuenta la resistencia que ofrecen los cables, todo el sistema del alternador, ya que esto varía dependiendo del tipo de generador, el metraje y el calibre de cable a utilizar, estableciendo esto, se debe de considerar la correcta conexión de los componentes y el circuito eléctrico a utilizar.
- Para la conexión del rotor y el alternador en este diseño no se uso un multiplicador, se descartó porque el método más económico, fácil y práctico para conseguir uno, es por medio de una polea con distinta dimensión, la cual va sujeta a un extremo del rotor y el otro al alternador, no se descarta la importancia de este y más en el análisis#2 donde el uso de un alternador requiere de muchas revoluciones para entregar carga a las baterías. Se recomienda para una conexión más estable una conexión por medio de engranajes, es un sistema más optimo y eficiente.
- El sistema creado genera grandes revoluciones por minuto tanto en su rotor como en las palas, lo que resulta peligroso, y más a las velocidades analizadas.

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 90 de 98

12. SEGUIMIENTO QUE DEJA EL PROYECTO

- Principalmente el diseño se realizó con materiales económicos y de forma simple para que en un futuro algún semillero de investigación opte por la realización física del sistema y se puedan comparar los resultados teóricos con los reales.
- La posibilidad de generar un proyecto basándose únicamente en el acoplamiento y la regulación electrónica de algún generador eólico con las baterías de ion-litio las cuales son tecnológicamente más avanzadas que las de plomó-ácido.
- Generar un diseño mejorado con un generador más potente que pueda brindar una mayor autonomía a los vehículos eléctricos.

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 91 de 98

13. CONCLUSIONES

- El trabajo refuerza los conocimientos vistos en la formación académica, aclarando el funcionamiento de los generadores, el sistema que los compone y la adquisición de la energía usando distintos medios.
- Los datos que proporcionó el sistema, advierten que para la elaboración del proyecto se necesita tener en cuenta el uso de materiales resistentes y alto rendimiento de la parte mecánica para evitar posibles daños, los rotores tienen que ir acoplados de la forma precisa, ya que estos girarán a grandes velocidades y el fallo de alguno de sus componentes, ocasionaría la avería de todo el sistema.
- Con el crecimiento continuo de la población, y por ende, el uso del automóvil, es posible encontrar la forma de usar este tipo de diseños como un punto de referencia para proporcionar mejor desplazamiento y autonomía a los vehículos, como por ejemplo, la existencia de redes viales en las ciudades, donde los vehículos se desplacen de un lugar fijo a otro, a X velocidades sin tener que bajar la marcha, el diseño podría llegar a ser viable, teniendo en cuenta ciertos parámetros de seguridad.
- De acuerdo a lo con lo analizado, la parte frontal del vehículo es donde resulta un mayor flujo de aire, lo cual con un diseño no tan ostentoso, y con materiales adecuados, resultaría conveniente implementar físicamente el diseño en este lugar.
- La autonomía que ofrece el diseño propuesto para la industria automotriz es bajo, pero muy significativa según los datos obtenidos y habría que reevaluar las condiciones desfavorables del sistema como serían el ruido, el peligro por las aspas que giran a gran velocidad, la carencia de estética, entre otras, pero al mismo tiempo es útil como referencia, para el logro de un resultado satisfactorio en un futuro.
- Un sistema de esta naturaleza resulta algo ostentoso y poco confiable hoy día para usarlo en las vías de las ciudades, ya que esta diseñado para generar energía partiendo del hecho de que el vehículo necesita velocidades altas y constantes, el mayor provecho se genera en carretera abierta, en donde los vehículos siempre tengan que estar desplazándose y mantengan un ritmo continuo.

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 92 de 98

- El trabajo en si deja conocimientos solidos sobre el funcionamiento y la adquisición de la energía eólica, otorgando un mayor interés para seguir indagando, diseñando y desarrollando sistemas que sean útiles al hombre, a la vez que cuidamos del planeta donde vivimos.
- Las mayores desventajas del diseño propuesto son: el ruido que puede generar, el peligro que representen las aspas del sistema eólico, que alcanza grandes revoluciones por minuto, siendo un peligro para todo aquello que este a su alrededor.
- El proyecto abre otras posibilidades para la construcción de soluciones que busquen mejorar la autonomía de los vehículos a la vez que promueven el cuidado por el medio ambiente.
- El sistema diseñado sirve como punto de partida para hacer un prototipo en la IUE, el cual servirá para confrontar los datos obtenidos, y usarlos para generar mejoras al diseño, la comparación de la teoría con la práctica, e incrementar los conocimientos en este tipo de energía alternativa.

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 93 de 98

14. BIBLIOGRAFÍA

Alternadores y reguladores de tensión. Pág. 31 [En línea], Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/51996533/Alternadores-y-reguladores-de-tension>.

Publicado por: José Benjamín Velásquez.

A. SCHULER, Charles. ELECTRONICA PRINCIPIOS Y APLICACIONES, , Editorial Reverte, S.A. Barcelona, España 2002, ISBN 84-291-3452-2, 341p [En línea], Disponible en: http://books.google.com.co/books?id=_50ty8YvPHEC&pg=PA1&dq=que+es+la+el+electronica&hl=es&ei=ucKpTvqoLIXhiAK_p6SvCw&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CCoQ6AEwAA#v=onepage&q&f=false

ARTÉS G. David. Baterías de coches eléctricos e híbridos, hoy [estado de la tecnología del automóvil]. TECMOVIA. Disponible en: <http://www.tecmovia.com/2012/03/14/baterias-de-coches-electricos-e-hibridos-hoy-estado-de-la-tecnologia-del-automovil/> Citado el: [14 de marzo de 2012]

Ahrtz G.D. *et al.* DISEÑO DE UNA TURBINA EÓLICA DE BAJA POTENCIA ADECUADA A LA AGRESIVIDAD DEL CLIMA PATAGÓNICO. Cuarto Congreso Nacional. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. HYFUSEN 2011. 2-5p. Disponible en: http://www2.cab.cnea.gov.ar/ieds/hyfusen_2011/extras/trabajos/10-005.pdf

Buggy Solar Elektron, ELEKTRON. 2000. Disponible en: <http://adts.info/vehiculos/buggy%20solar.pdf>

BENJAMÍN VELÁSQUEZ, José. Alternadores y reguladores de tensión. 16p. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/51996533/Alternadores-y-reguladores-de-tension>.

BOOSTER, Beto. Curso de Sistemas de Carga. 4p. Disponible en: <http://automecanico.com/auto2027/bbooster07.pdf>

CANALEJO SANCHEZ, Daniel. GENERADOR EÓLICO PARA USO DOMÉSTICO. UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA. 2011. 6p, Disponible en: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/12868/1/TFC-%20Daniel%20Canalejo%20S%C3%A1nchez.pdf>

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 94 de 98

dor%2BSavonius%2Bhelicoidal.pdf&ei=7Oz1UPupHYGS9gS1zYDoAQ&usg=AFQjCNEtU039BC1Ab5P2vqlvDCXeJVrl_w&sig2=yk783fQd5Lk8WI8tBC-VUw&bvm=bv.41018144,d.eWU.

Capitulo 13 Psicrometría. VALCO. 3p. Disponible en:
http://www.valycontrol.com.mx/mt/mt_cap_13.pdf

CARRASCO, Ismael Simón. Baterías de Litio. 8-9p. Disponible en:
<http://es.scribd.com/doc/22631266/BATERIAS-DE-LITIO>

CEÑA, Alberto; SANTAMARTA, José. El coche eléctrico: el futuro del transporte, la energía y el medio ambiente. World Watch. 2009. 42p. Disponible en:
<http://www.nodo50.org/worldwatch/ww/pdf/cocheelectrico.pdf>

¿Cómo funciona un aerogenerador? EOLICCAT. Disponible en:
<http://www.eoliccat.net/energia-eolica/la-tecnologia/com-funciona-un-aerogenerador.html?L=1>

CUESTA SANTIANES, María José; *et al.* AEROGENERADORES DE POTENCIA INFERIOR A 100 kW. Julio 2008. 9p, Disponible: en:
http://www.ciemat.es/CIEMATportal/recursos/doc/Areas_Actividad/Prospectiva_Tecnologica/34301686_211200911951.pdf

DE MONROY, Cristóbal. Dpto. de Tecnología. LA ENERGIA ELECTRICA. 1-2p. Disponible en:
https://tecnologiafuentenueva.wikispaces.com/file/view/e_electrica.pdf

DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. Calentamiento Global en Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Museo Interactivo Samoga. 15p. Disponible en:
<http://www.bdigital.unal.edu.co/3673/1/gonzaloduqueescobar.201138.pdf> pdf
 [citado el 5 de Junio de 2011].

Energía Eólica en Alicante. Energy SPAIN. Disponible en: <http://www.energy-spain.com/energia-eolica>

Energía Eólica. Curso de Física Ambiental, 13p. Disponible en:
<http://www.almediam.org/PDF/Renovables>.

ESCALA DE BEAUFORT Información Técnica. VentDepot. México 1996. Disponible en:

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 95 de 98

[http://www.ventdepot.net/mexico/informaciontecnica/Escala%20Beaufort%20Vent Depot.pdf](http://www.ventdepot.net/mexico/informaciontecnica/Escala%20Beaufort%20VentDepot.pdf)

FRANQUESA VONESCHEN, Manuel. Breve introducción a las turbinas eólicas Darrieus. LA VERITAT. 2p. Disponible en: http://www.amics21.com/laveritat/introduccion_aerogenerador_darrieus.pdf

FRANQUESA VONESCHEN, Manuel. Cómo construir un generador eólico con un barril de petróleo de 200 litros para producir energía sin el contenido del mismo (generador Savonius). LA VERITAT. 9p, Disponible en: http://www.amics21.com/laveritat/generador_savonius.pdf. [Citado el 19 de agosto de 2008].

FERNÁNDEZ DÍEZ, Pedro. Energía Eólica. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética. Universidad de Cantabria. 71p. Disponible en: https://mail-attachment.googleusercontent.com/attachment/?ui=2&ik=2d02f82b74&view=att&th=13c64a5f7eca6b8f&attid=0.1&disp=inline&realattid=f_hc9ovw0i0&safe=1&zw&sa=AG9B_P9jVH4gra_P-hX28fuM1Nif&sadet=1358899625607&sads=yFKNqHdpsVkzZaMS-FQD5uTs7PI

Ficha Técnica: Vehículo Eléctrico. COMISIÓN NACIONAL PARA EL AHORRO DE ENERGÍA. México. 2p, Disponible en: <http://4dlab.info/vehiculos-electricos/ve-ficha-tecnica-vehiculo-electrico.pdf>

F.R Quintela, R.C Redondo. Definición de alternador. Universidad de Salamanca. 1-5p. Disponible en <http://campus.usal.es/~electricidad/Principal/Circuitos/Descargas/DefinicionAlternador.pdf>

Generadores Síncronos y Asíncronos. OPEX energy. Disponible en: http://www.opex-energy.com/eolica/generador_sincrono_y_asincrono.html

Humber. Diagnóstico del sistema de carga de batería en una moto. Disponible en: <http://entrecablesyelectrones.blogspot.com/2010/01/dagnostico-del-sistema-de-carga-de.html>. [Citado el 31 de Enero del 2010].

INTRODUCCIÓN A LA ELECTRÓNICA DIGITAL. Dpto. Ingeniería Electrónica de Sistemas Informáticos y Automática. Disponible en: http://www.uhu.es/raul.jimenez/DIGITAL_I/dig1_i.pdf

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 96 de 98

J284: Los diseños de turbinas eólicas van el límite de Betz. Disponible en: <http://jmirez.wordpress.com/2011/07/18/j284-los-disenos-de-turbinas-eolicas-van-el-limite-de-betz/>. [citado el 18 de Julio de 2011].

Lanzamiento a gran escala de vehículos eléctricos. RENAULT. Disponible en: <http://www.renault.es/descubre-renault/medio-ambiente/cocheselectricos.jsp>

La Nueva Generación de Aerogeneradores. S.LOW.ENERGY. Disponible en: http://tecno.sostenibilidad.org/index.php?option=com_content&task=view&id=301&Itemid=2 [citado el 09 Mayo de 2008].

LECUONA NEUMANN, Antonio. LA ENERGÍA EÓLICA: Principios básicos y tecnología. Universidad Carlos III de Madrid, Leganés, 2002. 11p. Disponible en: http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49917eec3c3bd/1234272455_eolica_ALecuona.pdf

MANUAL DE TALLER ALTERNADORES, *indiel La Marca Segura, Prestolite indiel Motores de San Luis S.A.* 2004-2005. 8p. Disponible en: <http://www.prestolite.com.ar/images/catalogos/2010/manual%20de%20alternadores.pdf>

MARTÍNEZ, Javier. AUTOS HIBRIDOS. Universidad Católica. 3-8p. Disponible en http://www.jeuazarru.com/docs/Autos_Hibridos.pdf

Mapa tecnológico Movilidad Eléctrica, Observatorio Tecnológico de la Energía, Ministro de Industria, Energía y Turismo. 11p. Disponible en: http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_Movilidad_Electrica_ACC_c603f868.pdf. Citado el: 12 de enero del 2012

MORAGUES, Jaime. RAPALLINI, Alfredo. ENERGÍA EÓLICA. INSTITUTO ARGENTINO DE LA ENERGÍA "GENERAL MOSCONI". 15p, Disponible en: https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CC4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.cedecap.org.pe%2Fdescarga.php%3Ff%3DMzZiaWJfYXJjaC5wZGY%3D&ei=FFf_UIzkGlm69gSRtoGQDA&usg=AFQjCNFEI-0BLQK9-xInRlca-5Eu5Xw61w&sig2=9WKacYvAKSxCKrFod0UFQQ&bvm=bv.41248874,d.eWU

MORENO FIGUEREDO, Conrado. El rotor de una turbina eólica. Disponible en: <Http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia38/HTML/articulo04.htm>

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 97 de 98

MUÑOZ, María José; MORALES, Magdalena. ANTECEDENTES DE ENERGIA. 22p. Disponible en: https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&ved=0CEAQFjAC&url=http%3A%2F%2Ftallercalidaduc.files.wordpress.com%2F2008%2F10%2Fantedentes-de-energia-solar.doc&ei=Wbf9UKXIG4mk8gTSiYGIDw&usg=AFQjCNE6DLw1Uhy99fVxr-nAc3p_jXDg2Q&sig2=9YEMSGOOIOAMANLx2XkjnA&bvm=bv.41248874,d.eWU

PICHARDO CALBERT, Vicente. Cargador de baterías para aerogenerador Savonius helicoidal, Escola Técnica Superior Enginyeria. Junio de 2010. 3p, Disponible en: https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CDkQFjAA&url=http%3A%2F%2Fkimerius.com%2Fapp%2Fdownload%2F5783124057%2FCargador%2Bde%2Bbater%25C3%25ADas%2Bpara%2Baerogenerador%2BSavonius%2Bhelicoidal.pdf&ei=7Oz1UPupHYGS9gS1zYDoAQ&usg=AFQjCN EtU039BC1Ab5P2vqlvDCXeJVrl_w&sig2=yk783fQd5Lk8WI8tBC-VUw&bvm=bv.41018144,d.eWU.

REGO GARCÉS, Guillermo. Adaptación de un buggy a eléctrico para la competición Panáfrica '12. ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERIA (ICAI). INGENIERO TÉCNICO MECÁNICO. Madrid. Agosto 2012. 45p Disponible en: <http://entrecablesyelectrones.blogspot.com/2010/01/dagnostico-del-sistema-de-carga-de.html>.

RUIZ O, Leonardo J. VELIZ A. Elviz R. DISEÑO DE UN GRUPO EOLICO PARA BOMBEO DE AGUA, Universidad Central de Venezuela, Caracas 2002. 9p. Disponible en: <http://saber.ucv.ve/jspui/bitstream/123456789/231/1/Dise%C3%B1o%20grupo%20eolico%20para%20bombeo%20de%20agua.pdf>

SALINAS MARTÍNEZ, Jesús. CONTROL DE UN AEROGENERADOR. Universitat Politècnica de Catalunya, Julio 2008. 10p, Disponible: en: http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/11274/2/PFC_1.pdf. Publicado: 15/06/10

SANTAMARCA, José Las energías renovables son el futuro. 2004. Disponible en: <http://www.almediam.org/PDF/Renovables.pdf>.

	INFORME DEL PROYECTO	Código: F-PI-28
		Versión: 01
		Página 98 de 98

Sanya Skypump, recargando baterías con el viento, Motor Pasión, Disponible en: <http://www.motorpasionfuturo.com/espaciorenaultze/sanya-skypump-recargando-baterias-con-el-viento> [citado el 22 Agosto de 2011].

Súper coche eléctrico, SOLICLIMA Energía Solar. Disponible en: <http://news.soliclima.com/noticias/energia-eolica/el-supercoche-electrico> [citado el 20 de Marzo de 2009].

TALAYO NAVALES, Ana Patricia; TELMO MARTÍNEZ, Enrique. Energías Renovables, Energía eólica. 2008. 91p ISBN: 978-84-92521-21-0. Disponible en: http://books.google.com.co/books?id=wsPBkbKWd-YC&pg=PA85&lpg=PA85&dq=figura+monopala+-+bipala+-+tripala&source=bl&ots=CaaMExHxbs&sig=05PAJx6o9GA3uZvTenv_ocrNsw&hl=es&sa=X&ei=c4T9UNnBJYKm8gSos4DYBw&ved=0CC8Q6AEwAA#v=onepage&q&f=false

TIRAPU MANERO, José Raúl. GENERADOR EOLICO PARA VEHICULOS. Boletines de la propiedad Industrial 2011-2013. Disponible en: <http://bopiweb.com/elemento/120099/> Publicado: 21-07-2010

VÁSQUEZ LEIVA, Mauricio Andrés. "DISEÑO DE UNA TURBINA EÓLICA DE EJE VERTICAL CON ROTOR MIXTO". Escuela de Ingeniería Civil Mecánica. VALVIDIA-CHILE 2007. 58p, Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/bmfciv335d/doc/bmfciv335d.pdf>.

VILLARUBIA, Miguel, ENERGÍA EÓLICA. Tipos de Energía. ISBN: 84-329-1062-7. Disponible en: <http://tipos-de-energia.blogspot.com/2006/02/energa-elica-tipos-de-generadores.html> Publicado por: GIORDANO, Martin. [Citado el 09 Febrero de 2012].

Walter M. Presz, Jr. Michael J. Werle. Turbina de Viento con Mezcladores y Eyectores. Disponible en: <http://www.google.com/patents/US7976269> [citado el 23 septiembre de 2009].