



Universidad Tecnológica de
Campeche



ELECTRIFICACIÓN DE ZONAS MARGINADAS MEDIANTE EL EMPLEO DE FUENTES DE ENERGÍA ALTERNAS

Autor: Eduardo Bocanegra Moo

**Directores de tesis: C. Dr. Pedro Sánchez Santiago
Dr. Emilio Álvarez García**

Índice de contenido

I Resumen	1
1 Justificación	1
2 Método	1
II Introducción	3
1 Pobreza en zonas marginadas.	3
2 Planes Gubernamentales para Mitigar la Pobreza en Zonas Marginadas.	4
3 Servicios Básicos.	5
4 Planes de Gobierno para desarrollo de infraestructura eléctrica en zonas marginadas.	6
4.1 Planes de infraestructura eléctrica en zonas marginadas de Campeche.	7
5 Planteamiento del problema	8
5.1 Objetivos De La Tesis	8
5.1.a General.	8
5.1.b Específicos.	8
6 Justificación de la Tesis	8
6.1 Contextos De La Problemática	9
6.2 Infraestructura disponible para el desarrollo de la tesis.	9
6.3 Metas De La Tesis	10
6.4 CALENDARIO DE ACTIVIDADES DEL DESARROLLO DE LA TESIS	10
III Marco Teórico	11
1 Energía Eólica Disponible en el país.	11
2 Energía Solar Disponible en el País.	13
3 Historia de los sistemas eólicos.	13
4 El viento Características y propiedades.	17
4.1 ¿De dónde viene la energía eólica?	17
4.2 Potencia eólica	18
4.3 Limite de Betz	20

4.4 Coeficiente de potencia y TSR	21
4.5 Comportamiento del viento en la tierra	23
4.6 EFECTO DEL VIENTO	23
4.7 Turbulencia	27
5 Tipos de turbinas eólicas.	29
6 Generadores eléctricos.	34
6.1 El alternador del automóvil	34
7 Controladores de velocidad.	35
IV Metodología	36
1 Revisión de patentes	36
2 Criterios de diseño.	39
3 Selección de tamaño de turbina.	39
4 Materiales y equipos de construcción de la turbinas.	39
V Resultados y Discusión	40
1 Planos de Prototipos.	40
1.1 HelixWind	40
1.2 Lenz2	41
2 Simulación de prototipos	41
2.1 HelixWind	42
2.2 Lenz2	44
VI Conclusiones.	46
VII Referencias Bibliográficas	48
VIII Anexo	52
IX Indice alfabético	55

Índice de ilustraciones

Figura 1 Porcentaje de la población con carencia por acceso a los servicios básicos en la vivienda por municipio. CONEVAL, México, 2010.	6
Figura 2 Potencia anual disponible de generación de energía por energía eólica -w/m ² -. 12	12
Figura 3 Velocidad promedio anual del viento en la México -m/s-, en el semestre de baja intensidad. 12	12
Figura 4 Radiación solar Promedio Anual kwh/m ² -día. 13	13
Figura 5: Configuración de Sistema Eólico persa, para bombeo de agua. 15	15
Figura 6: molino tradicional europeo de eje horizontal en Dinamarca. 17	17
Figura 7: Corrientes de vientos de coriolis. 18	18
Figura 8: Limite de Betz -Eficiencia contra la relación de velocidad de entrada del viento y su salida. 21	21
Figura 9: Relación de velocidad de punta -Tip Speed Ratio- y Rendimiento aerodinámico [49] 22	22
Figura 10: Relación Coeficiente potencia y Coeficiente Torque. 22	22
Figura 11: Gradientes del viento. 23	23
Figura 12: Arboles y viento. 24	24
Figura 13: Los edificios y el viento. 25	25
Ilustración 14: Perdida de velocidad de viento por la geometría de los edificios. 26	26
Figura 15: Sombra aerodinámica. 27	27
Figura 16: Área de turbulencia alrededor de edificio. 28	28
Figura 17: Turbulencia en edificios. 28	28

Figura 18: Turbulencia y decremento de la velocidad del viento.	28
Figura 19: Tipos de turbinas eólicas por su posición.	29
Figura 20 Savonius HelixWind.	30
Figura 21 Turbina tipo Darrieus.	31
Figura 22: Simulación del comportamiento de una turbina tipo Lenz2 vawt a 6.7 m/s (112 rpm)[43]	31
Figura 23 Prototipos BarcoWM.	32
Figura 24: Sistema de bajo ruido Loopwind. Co.[52]	32
Figura 25: Sistema Eólico sin turbina WindBelt.	33
Figura 26: Comparación de los tipos de turbinas en relación a su eficiencia [52].	34
Figura 27: Sistema de construcción por secciones de generador Savonius HelixWind [50]	36
Figura 28: Dispositivos para encausar el fluido en turbinas [47]	37
Figura 29: Sistema concentrador de viento para turbinas tipo savonius [41].	37
Figura 30: Turbina Axial Vertical con puertas de direccionamiento [46]	37
Figura 31: Turbina Vertical Axial [53]	38
Figura 32: Turbina Eólica Helicoidal Cónica [51]	38
Figura 33: Dimensiones de prototipo HelixWind, Dimensiones en mm.	40
Figura 34: Dimensiones de prototipo LENZ, Dimensiones en mm.	41
Figura 35: Simulación de turbina HelixWind a 12 m/s	42
Figura 36: Simulación de turbina HelixWind a 30° y turbulencia producida.	42
Figura 37: Simulación de turbina HelixWind a 60° y turbulencia producida.	43
Figura 38: Simulación de turbina HelixWind a 90° y turbulencia producida.	43
Figura 39: Simulación de turbina Lenz2a 0° y turbulencia producida.	44

Figura 40: Simulación de turbina Lenz2a 30° y turbulencia producida.	44
Figura 41: Simulación de turbina Lenz2 a 60° y turbulencia producida.	45
Figura 42: Simulación de turbina Lenz2 a 90° y turbulencia producida.	45
Figura 43: QFD: Matriz de relaciones, definición de criterios cualitativos del producto.	52
Figura 44: Criterios de Diseño en relación a los requerimientos de los clientes	53
Figura 45: Necesidades de diseño del cliente	54

I Resumen

Se tiene como objetivo fundamental realizar una búsqueda bibliográfica que permita conocer la problemática relacionada con la generación de energía eléctrica en zonas marginadas con pobreza extrema, así como conocer las posibilidades de electrificación de esta zona, mediante fuentes de energías no convencionales tales como eólica, solar o híbridas.

Identificar las mejores practicas -Sistemas de generación eléctrica -Minieólicos, Mini Granjas Solares, Etc.- en el aprovechamiento de los recursos energéticos no convencionales. Reconocer las potencialidades de la energía no convencional en el país y regiones marginadas.

Describir los diversos tipos de sistemas de generación, sus características y cualidades que permitan su implementación a bajos costos de construcción y mantenimiento, considerando los requerimientos específicos de la zona y los requerimientos básicos de consumo eléctrico de la vivienda.

1 Justificación

Las condiciones actuales de vida en las zonas marginadas de nuestro país, pueden ser mejoradas con el uso de las energías no convencionales, ya que su aprovechamiento esta libre de costos de producción -Viento, Calor-, al ser transformados en energía eléctrica por medio de sistemas económicos, los cuales no requieren de procesos complejos de construcción y conservación. La energía eléctrica en la vivienda marginada permite aprovechar los recursos naturales para el proceso y conservación de alimentos, sistemas de comunicación -TV, Radio, Telefonía, Etc-.

2 Método

Se implementa un proceso de construcción de dos prototipos -HelixWind, Lenz2- en base a los requerimientos del cliente -Financiamiento, Requerimientos de la vivienda,

Disponibilidad de materiales-, identificando el proceso de construcción, requerimientos de mantenimiento y costo, en relación a condiciones de refuerzos mecánicos determinados por simulación de esfuerzos en la estructura de los prototipos propuestos, con el fin de mejorar sus resistencia a condiciones climáticas extremas, así como definir las condiciones de construcción que permitan una menor cantidad de recursos materiales para su construcción.

II Introducción

1 Pobreza en zonas marginadas.

La pobreza, en su acepción más amplia, está asociada a condiciones de vida que vulneran la dignidad de las personas, limitan sus derechos y libertades fundamentales, impiden la satisfacción de sus necesidades básicas e imposibilitan su plena integración social. [1].

Las actividades y condiciones sanitarias de los habitantes de las comunidades marginadas depende de los servicios de agua potable y electricidad con que cuente su vivienda y no solo como se considera por los materiales con que se construye la vivienda, muros y piso firme. La CONAVI considera en pobreza las personas que habitan una vivienda que de faltar algún servicio como: agua potable la cual no tenga que acarrear o tomarse directamente de un afluyente, energía eléctrica, drenaje o sistema de tratamiento de aguas residuales, o el no contar con chimenea para cocinar con leña o carbón.[1] [2]

*De acuerdo con la Ley General de Desarrollo Social, el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) contempla en la medición oficial de la pobreza ocho dimensiones: ingresos, rezago educativo, acceso a los servicios de salud, acceso a la seguridad social, calidad y espacios en la vivienda, **acceso a los servicios básicos en la vivienda**, acceso a la alimentación y grado de cohesión social.[3]*

En las definiciones Lineamientos y criterios generales para la definición, identificación y medición de la pobreza, . en el Título Segundo de la Definición de la Pobreza Artículo OCTAVO.- La población en situación de pobreza multidimensional será aquella cuyos ingresos sean insuficientes para adquirir los bienes y los servicios que requiere para satisfacer sus necesidades y presente carencia en al menos uno de los siguientes seis indicadores: rezago educativo, acceso a los servicios de salud,

*acceso a la seguridad social, calidad y espacios de la vivienda, **servicios básicos en la vivienda y acceso a la alimentación.** [4]*

En relación a la vivienda se define en el Título Tercero De La Identificación De La Pobreza Capítulo III De las Carencias Sociales Artículo Décimo Cuarto Sección V se Define: V.- *En materia de acceso a los servicios básicos en la vivienda, la población que resida en viviendas con al menos una de las siguientes características:*

a) El agua se obtiene de un pozo, río, lago, arroyo, pipa, o bien, el agua entubada la obtienen por acarreo de otra vivienda, o de la llave pública o hidrante.

b) No disponen de drenaje, o el desagüe tiene conexión a una tubería que va a dar a un río, lago, mar, barranca o grieta.

c) No disponen de energía eléctrica. [4]

2 Planes Gubernamentales para Mitigar la Pobreza en Zonas Marginadas.

Como cita El Plan de Desarrollo en la *ESTRATEGIA 15.11 Ampliar la cobertura del servicio eléctrico en comunidades remotas utilizando energías renovables en aquellos casos en que no sea técnica o económicamente factible la conexión a la red [5].* Debemos contar con programas que permitan abatir la pobreza en las zonas de marginación en la región de campeche aprovechando los recursos naturales propios de esta.

La energía eléctrica generada con fuentes renovable permitirá abatir en gran medida estas deficiencias ya que el contar con iluminación, refrigeración, bombeo de agua para el sistema de llenado de tanque elevado como sistema de agua a presión permanente, sistema de purificación de agua potable y estufas de inducción de alta eficiencia para prepara los alimentos con higiene permitirá mejorar la calidad de vida y poder considerar a esta población que se beneficie con un sistema de generación de energía eléctrica con energía solar o eólica, como población no vulnerable[1].

3 Servicios Básicos.

En nuestro país se tienen registrados cerca de 28.6 millones de viviendas de las cuales el 98.6% cuentan con servicio de energía eléctrica, el resto cerca de 550 mil carecen de este servicio, lo que coloca a sus habitantes en la clasificación de pobreza, la gran mayoría se encuentra en zonas marginadas de nuestro país [6].

Esto coloca a la población de zonas marginadas como vulnerables y con lleva una mortalidad registrada en los últimos 10 años de cerca de 18 mil defunciones por año ocasionadas por enfermedades infecciosas parasitarias, esto puede ser mitigado si esta población cuenta con los servicios básicos de la vivienda, como agua potable, agua corriente dentro de la vivienda, sistemas de refrigeración para conservación de alimentos y medicamentos, estufa que no utilice combustibles fósiles para evitar enfermedades respiratorias y hasta la muerte por asfixia ocasionada por la disminución de oxígeno por la combustión y drenaje entubado que no contamine mantos de agua.[6]

En registros del censo de población y vivienda del INEGI del 2010 en Campeche se tienen registradas 211447 viviendas de las cuales solo el 96.8 % (204681) cuentan con energía eléctrica es decir 6766 viviendas se encuentran en condiciones de pobreza considerando los criterios de CONAVI, ya que la falta de este servicio considera a sus inquilinos como grupos vulnerables.[7]

4 Planes de Gobierno para desarrollo de infraestructura eléctrica en zonas marginadas.

La SEDESOL cuenta con el *Programa para el Desarrollo de Zonas Prioritarias* para el mejoramiento de la infraestructura de la vivienda en zona marginadas, con este programa se puede ser instrumento de financiamiento del desarrollo del sistema de generación de energía eléctrica y cubrir la necesidad básica de la población marginada [8].

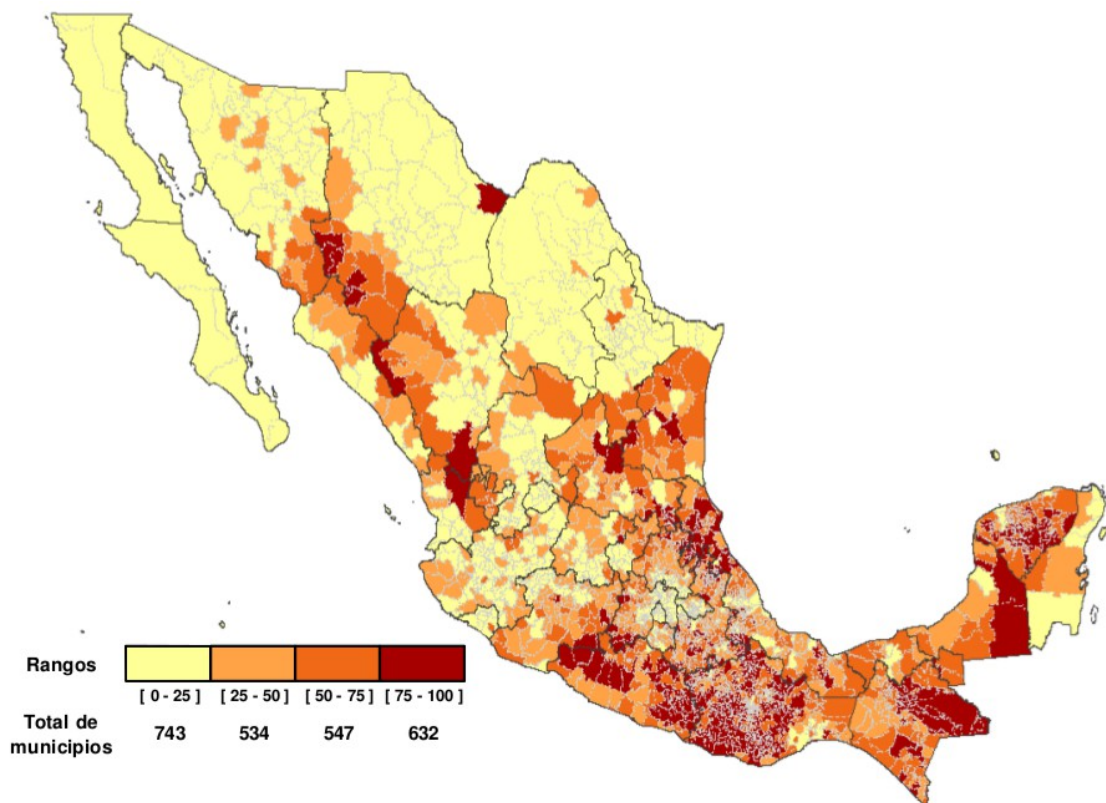


Figura 1 Porcentaje de la población con carencia por acceso a los servicios básicos en la vivienda por municipio. CONEVAL, México, 2010.

En el folleto *Energías Renovables para el Desarrollo sustentable de México* editado por la SENER, se describe el programa “*Servicios Integrales de Energía para Pequeñas Comunidades Rurales en México (SIEPCRM)*” en el cual los planes a partir del 2006 de proveer energía eléctrica a zonas marginadas, que debido a su situación

geográfica no es viable económicamente la construcción de una red eléctrica se consideran planes de financiamiento para programa de desarrollo de sistemas de generación de energía eléctrica por energías renovables.[9]

Es evidente que en la zonas sur-sureste del país se concentran la mayor necesidad de servicios básicos de la vivienda y de mitigar las carencias que obstaculizan mejorar la calidad de vida, esto nos lleva a la búsqueda de soluciones que contribuyan a cubrir los requerimientos de energía eléctrica que permitan contar con los servicios de iluminación artificial, bombeo de agua, refrigeración (almacenamiento de medicamentos), comunicación (Telefonía Rural, Radio, Tv), uso de equipos de computo para educación así como calefacción de habitación [6].

4.1 Planes de infraestructura eléctrica en zonas marginadas de Campeche.

Dentro de los programas de electrificación se muestra en los registro del INEGI que a a partir del año 2008 se realizo el ultimo presupuesto para electrificación en el estado de campeche, eso nos lleva a considerar que las zonas marginadas que no cuentan con el servicio son vulnerables al no haber planes de llevarles el servicio eléctrico a sus comunidades, debido a la anualidad de los planes de gobierno para la mitigación de la pobreza se ven retrasados en su implementación [6].

5 Planteamiento del problema

5.1 Objetivos De La Tesis

5.1.a General.

Establecer un sistema de generación de energía eléctrica para regiones marginadas, considerando los requerimientos específicos de la zona, a través de la implementación de un sistema de generación de energía eléctrica (eólico) que cubra los requerimientos básicos de consumo eléctrico de la vivienda.

5.1.b Específicos.

1. Análisis bibliográfico sobre el estado actual de la temática objeto de estudio.
2. Delimitar las condiciones necesarias para que una vivienda tenga los atributos para ser beneficiada por este proyecto.
3. Identificar la potencialidad de fuentes de energía renovable -eólico- disponibles en cada región marginada del país.
4. Identificar las condiciones ambientales, geográficas para la ubicación de sistemas fuentes de energías renovables.
5. seleccionar y proponer un sistema de electrificación de zonas marginadas utilizando como fuente de energías renovables aerogeneradores de bajo costo de construcción, mantenimiento y durabilidad.

6 Justificación de la Tesis

La calidad de vida de las personas que habitan las zonas marginadas se ve gravemente disminuida por la falta de energía eléctrica. El diseño e implementación de un sistema de generación eólico, acorde a las necesidades y recursos de esta población, permite mejorar las condiciones de los servicios de la vivienda y con ello

contribuir a mejorar la calidad de vida de este sector tan desprotegido.

6.1 Contextos De La Problemática

Identificar sistemas de generación eléctrica que aprovechen la disponibilidad de energías renovables, que cuenten con los criterios:

Adecuados a las condiciones promedios de energía -Velocidad promedio de viento, aislamiento-, bajo costo de fabricación, continuidad en el la generación -la mayor cantidad de horas, libre o menor mantenimiento, resistencia, eficiencia media, materiales de construcción genéricos y de fácil adquisición en las diversas regiones del país.

Con el fin de cubrir la mayor parte de las zonas marginadas, el sistema propuesto debe ser de instalación, construcción y mantenimiento económico, debido a que los proyectos de electrificación rural son considerados no prioritarios -en algunos estados son nulos-, los que se ejecutan son de bajo presupuesto.

Los costos de fabricación esta relacionados directamente con el tipo y cantidad de material, mano de obra, maquinado, mantenimiento y reparaciones, lo que condiciona la selección del prototipo al cumplir con los requerimientos económicos ante los de eficiencia.

6.2 Infraestructura disponible para el desarrollo de la tesis.

Como recursos humanos se cuenta con los asesores Dr. Emilio Alvarez García (Universidad Tecnológica de Campeche) y Dr. Pedro Sanchez Santiago (Centro de Investigaciones de Materiales Avanzadas), que aportan los conocimientos y asesorías para el desarrollo teórico y experimental ha realizar.

Se cuentan con los laboratorios de la universidad tecnológica de campeche para la construcción de los prototipos y pruebas reales que se requieran, se tienen la herramientas y equipos para la construcción de los generadores e instalaciones eléctricas requeridas.

6.3 Metas De La Tesis

Identificar un sistema de generación eléctrica de bajo costo -económico-, que se adecue a las condiciones de energía -eólico, solar o hibrido- promedios del país, para que al ser utilizado en diversas regiones marginas, este se encuentre en su punto promedio de eficiencia -5 m/s de velocidad de viento promedio en el país, 5.5 kwh/m² aislamiento-.

6.4 CALENDARIO DE ACTIVIDADES DEL DESARROLLO DE LA TESIS

Tomando en consideración que tenemos 8 etapas y 6 meses para el desarrollo de la tesis, se plantea este cronograma identificando los tiempos y meses en los que se desarrolla.

ACTIVIDAD	Abr.	May.	Jun	Jul	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.
Elaboración de Protocolo	■							
Desarrollo de Marco Teórico	■	■	■					
Implementación de Sistema		■	■	■				
Pruebas y Evaluación de Prototipos			■	■	■			
Obtención de Resultados y Conclusiones					■	■	■	■
Publicación de Resultados				■	■	■	■	■
Escritura de Tesis	■	■	■	■	■	■	■	■
Defensa de Grado						■	■	■

III Marco Teórico

1 Energía Eólica Disponible en el país.

Como describen USAID, en el informe Elementos para la Promoción de la Energía Eólica en México *“El aprovechamiento y desarrollo de las energías renovables en México, en términos muy generales, básicamente se relaciona con las necesidades de cobertura eléctrica en el país. La extensa geografía del territorio nacional, aunada a miles de poblaciones rurales ubicadas en zonas de difícil acceso y con limitados medios de comunicación, ha dificultado y encarecido la extensión de la red eléctrica nacional. Esta situación obligó a distintas administraciones de gobiernos federales, estatales y locales, sobre todo a finales de los años ochenta, a buscar otras opciones de generación eléctrica in situ”*.

“Programas como Solidaridad, implementado en el sexenio de Carlos Salinas de Gortari y Progresía, en el sexenio de Ernesto Zedillo, con mucho menor intensidad que el anterior, han sido francos impulsores del aprovechamiento de las fuentes energías renovables en comunidades y zonas remotas del país. Sin embargo, la energía eólica ha estado limitada a pequeños sistemas.”[10].

En las zonas que se ha registrado estudio de las capacidades eólicas por parte de la comisión de energías renovables de estados unidos se tiene a: La Rumorosa en Baja California, la zona de Guerrero Negro en Baja California Sur, el Cerro de la Virgen en Zacatecas, la costa de Tamaulipas, la zona de Campeche, el Istmo de Tehuantepec y la Península de Yucatán. Sin embargo, actualmente se sabe que gran parte del litoral mexicano cuenta con recurso eólico aprovechable [10].

Estudios realizados por el instituto de investigaciones eléctricas, se muestra un plano de la república que define las capacidades en diversas unidades, como potencial disponible anual -200w/m^2- y promedio de velocidad del viento 5m/s [13].

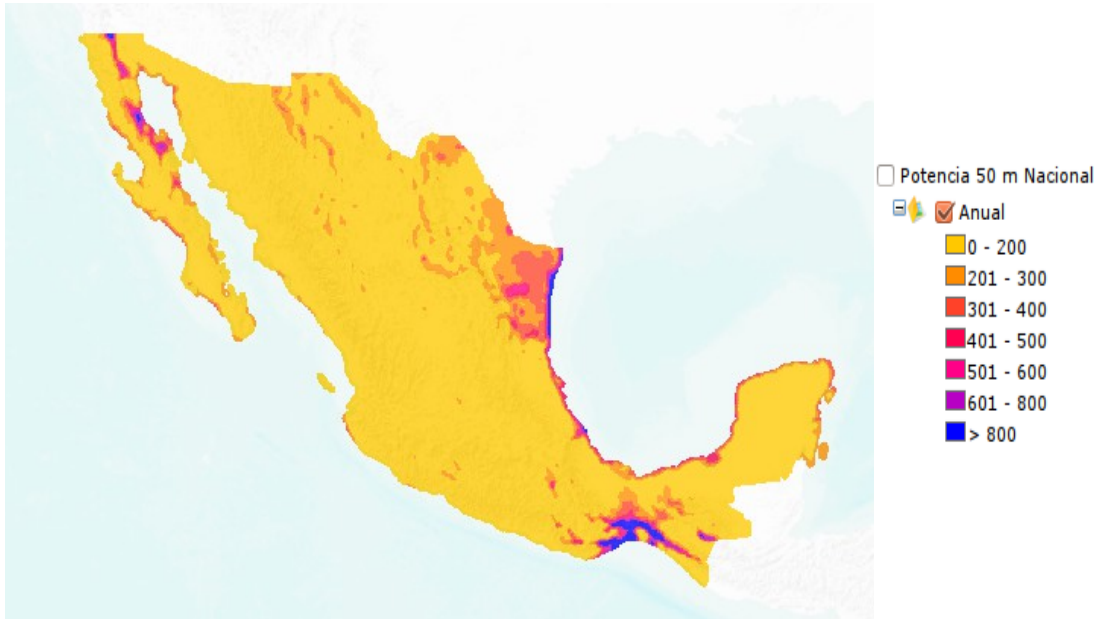


Figura 2 Potencia anual disponible de generación de energía por energía eólica -w/m².



Figura 3 Velocidad promedio anual del viento en la México -m/s-, en el semestre de baja intensidad.

2 Energía Solar Disponible en el País.

En México se tiene disponible una buena radiación solar, en el rango de 5.13-6.15 kWh/m²-día por metro de área de insolación, esto indica que los diseños que realicemos tomamos como valor de radiación solar de 5.5 kWh por metro de área.[11]



Figura 4 Radiación solar Promedio Anual kWh/m²-día.

No se encontró en la búsqueda bibliografía información específica por regiones de los índices de radiación solar.

La energía disponible en el día, esta determinada por las horas en el día que el equipo puede generar, que en el caso de los sistemas solares es cerca de las 10 hrs, lo que permite una producción energética de $5.5\text{kWh/m}^2/10\text{h} \times \text{eficiencia paneles (20\%)} = 55\text{kw} \times 0.2 = 1.1 \text{ kw por m}^2$ de paneles fotovoltaicos en promedio diario. Para un sistema eólico se tiene un promedio 200w/m^2 por cada metro cuadrado de abatimiento del generador eólico, y con promedios de 10h por día -valor promedio en el país- disponibilidad de viento adecuados para hacer girar con carga el generador eólico, y considerando que estos son los promedios de baja magnitud de los dos periodos que se consideran al año [12][10][13].

3 Historia de los sistemas eólicos.

Un molino de viento es una máquina que transforma la energía cinética del viento en

energía mecánica aprovechable, mediante la acción de la fuerza del viento sobre unas aspas oblicuas unidas a un eje común. El eje giratorio puede conectarse a varios tipos de maquinaria para moler grano, bombear agua o generar electricidad. Cuando el eje se conecta a una carga, como una bomba, recibe el nombre de molino de viento. Si se usa para producir electricidad se le denomina generador de turbina de viento. Los molinos tienen un origen remoto [14].

El uso del viento como fuente de energía mecánica se remonta a los inicios de la civilización humana, la necesidad de fuerza mecánica de fácil obtención para el movimiento de las embarcaciones marinas -Velas de propulsión-, han sido desde esos tiempos hasta la actualidad fuente de energía limpia y barata -solo Costos de construcción y mantenimiento de los sistemas eólicos-, ya que existe buena disponibilidad natural de este recurso[15] [16].

Los sistemas hidráulicos fueron mas utilizados, esto debido a la capacidad de controlar el gasto de agua fluvial y proveer un continuo y uniforme caudal, permitiendo un mejor control sobre la potencia generada, aunque la demanda creciente de energía llevo a la creación de grandes embalses de agua, con consecuencias negativas al medio.

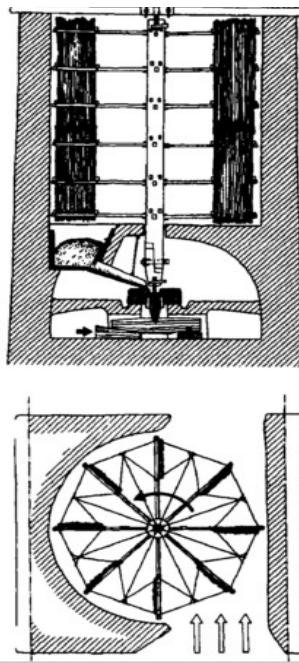


Figura 5: Configuración de Sistema Eólico persa, para bombeo de agua.

Los persas en el siglo VII al parecer son los precursores del uso del viento como sistemas de bombeo de agua y molienda de granos con fines agrícolas, usando sistemas verticales, aunque existe indicios de aplicaciones de menor escala por otras civilizaciones. Estos equipos tenían un tamaño común, y se utilizaban un grupo si se requería generar mas potencia, al ser de un tamaño medio, debido a la optimización de los materiales y técnicas de construcción rudimentarias no les era posible fabricarlos de mayor tamaño, esta característica le permitía una mejor resistencia a los climas . Estaban constituidos por un muro de mampostería el cual se encontraba a barlovento sobre las palas que avanzan sobre esta dirección, y en sotavento sobre las palas que inciden el viento. Esta configuración permite aprovechar la dirección de los vientos dominantes, pero no permite aprovechar la rachas que se encuentre fuera de esta dirección. El control de la potencia se realizaba incluyendo postigos -tablas móviles sobre las palas- en las aspas giratorias o en la obra de mampostería. En China se emplearon con anterioridad máquinas similares denominadas Panémonas¹, se cree que se inspiraron en las velas de los barcos. Se piensa también que estas máquinas fueron inspiradas por el molino hidráulico de eje vertical, anterior en el tiempo [17]. Sobre el

1 Sistema eólico formado por 4 partes montadas sobre un eje vertical.

siglo XIII estos sistemas eólicos rudimentarios se usaban para moler grano, actividad que a la fecha se sigue realizando con estos sistemas, es de ahí donde surge el término “molino de viento” -Este tipo de molino se conoce como tipo oriental, por dominar en esta región- [15][16].

El molino occidental, es de eje horizontal y hay referencias a él en el siglo XII. Se desconoce su origen, aunque podría haber sido una evolución del molino persa, eventualmente traído a Occidente por los cruzados². Ingresa en Occidente por Italia, España, Italia y Grecia. Compuesto por un eje horizontal, es necesario contar con un sistema de orientación al viento, con los inconvenientes de construcción de la turbina de forma axial. Tiene la ventaja de abatir al viento todas las aspas, y con ello mayor eficiencia que las verticales, solían tener forma de cruz de 4 a 8 brazos. El tipo más antiguo consiste en un fuerte poste sobre el que puede girar todo el conjunto del molino.

En el siglo XIV aparece el desarrollo del molino de viento tipo torre, en el cual solo gira el rotor, y la base construida de mampostería o ladrillos. Esta configuración permitía una mayor solidez y duración, así como menos necesidad de madera -era costosa en esa época-, aunque muchos se hicieron de ella. Las aspas estaban siempre del lado de barlovento, realizándose en las primeras épocas la orientación de forma manual y posteriormente con mecanismos automáticos. El mecanismo más efectivo usado ha sido el molino de cola, el cual consiste en un eje horizontal dotado de aspas de pequeño tamaño y orientado perpendicularmente a las aspas principales. Si el rotor de potencia estaba encarado al viento el rotor de direccionamiento permanece estacionario al recibir el viento de lado. Un cambio en la dirección del viento hace que gire, al transmitirse este giro por medio de engranajes al eje vertical de orientación, lograba su correcto encaramiento, instante en el cual deja de girar. Una evolución de este mecanismo se emplea hoy en día.

2 hombres acaudalados que gozaban del beneplácito del Papa y también de personajes de poder, principalmente cristianos provenientes de la Europa Occidental

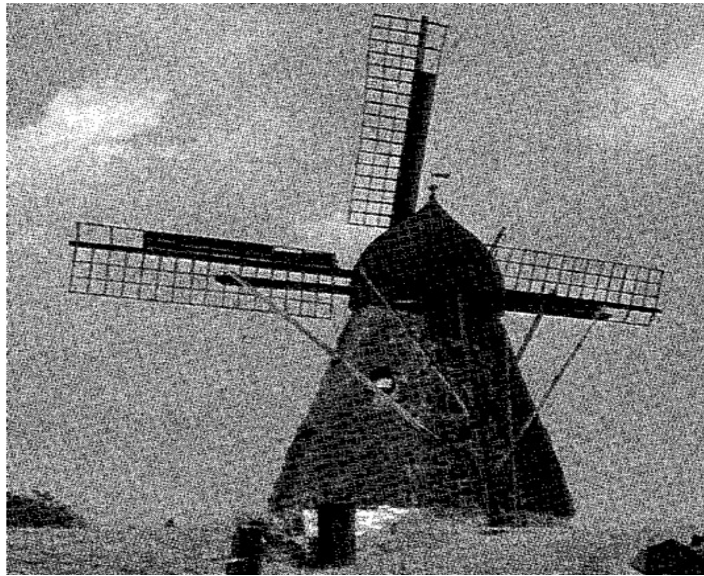


Figura 6: molino tradicional europeo de eje horizontal en Dinamarca.

El molino occidental se ha usado no solo para moler sino para bombear agua, extraer mineral y para otras aplicaciones en las que se requiriera potencia concentrada, como en las herrerías. Su potencia máxima estaba en entre 7 a 15 kW, comparable a la de la turbina hidráulica de la misma época. Ambas máquinas configuraron los inicios de la revolución industrial en concentraciones de artesanos en torno a los ríos y otras regiones favorables, y con la imposibilidad de la transmisión de la potencia mecánica a larga distancia. La potencia de estos sistemas era controlada por la cantidad de tela que cubría las aspas o por postigos³, los sistemas modernos utilizan sistemas automáticos para el control de la potencia. Estos sistemas eólicos e hidráulicos fueron desplazados por la máquina de vapor, al ser generalizado su uso entrada la revolución industrial [15].

4 El viento Características y propiedades.

4.1 ¿De dónde viene la energía eólica?

La energía cinética del viento es producida por el sol, en una cantidad de 1.74×10^{14} watts que inciden sobre la tierra, energía de la cual el 2% es transformada en

3 Tablas de madera que permite ajustar el abatimiento de las palas.

movimiento del aire -viento-, es decir 3.48×10^{12} watts -100 veces mayor a la convertida en un día en biomasa por todas las plantas de la tierra-[18].

Las diferentes temperaturas de la tierra producen corrientes de aire, ya que en el ecuador existe un incremento de la radiación solar, calentado el aire y ascendiendo, en los polos por las bajas temperaturas el aire tiende a bajar, ocasionándose una corriente ascendente en el ecuador y descendente en los polos, las cuales por las fuerzas de coriolis se ven inclinadas 30° en relación a la rotación de la tierra, definido por el matemático francés Gustave Gaspard Coriolis [18], este fenómeno determina los vientos dominantes en la tierra.

4.2 Potencia eólica

Direcciones de viento dominantes

Latitud	90-60°N	60-30°N	30-0°N	0-30°S	30-60°S	60-90°S
Dirección	NE	SO	NE	SE	NO	SE

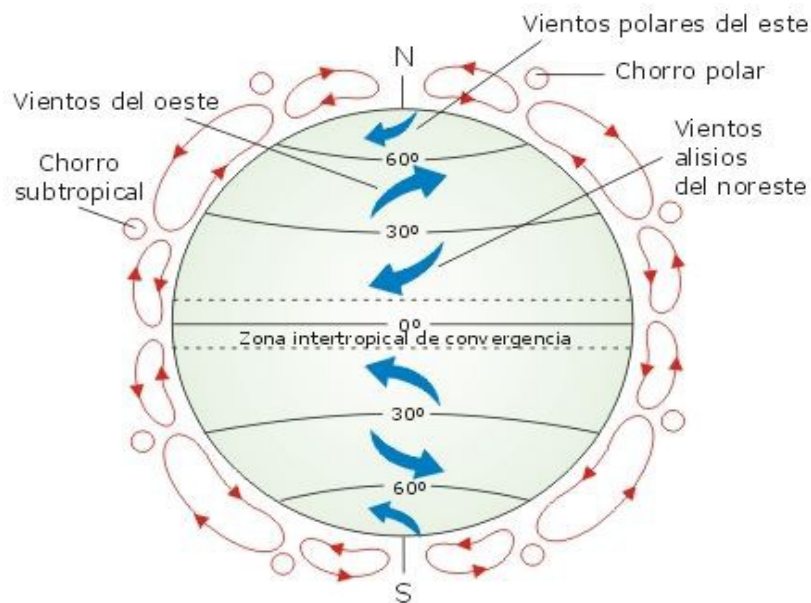


Figura 7: Corrientes de vientos de coriolis.

Para analizar la potencia desarrollada por el generador se debe estudiar la cantidad de energía transferida al rotor por el viento, que depende de la densidad del aire, " ρ ", del área de barrido del rotor, " A ", y de la velocidad del viento, " v ". La energía cinética de

una masa de aire, "m", moviéndose a una velocidad, "v", responde a la expresión[19]:

$$E = \frac{1}{2} m * v^2$$

Considerando el volumen de aire "V" y su densidad "ρ" entonces su masa será; m = V. ρ, con lo cual se tiene:

$$Ec = \frac{1}{2} \rho * V * v^2$$

Para un tiempo "t" la cantidad de aire que llegará al rotor de un aerogenerador dependerá del área de barrido del rotor "A" y de la velocidad del viento. Por lo tanto el volumen de aire estará dado por:

$$Volumen = Area * velocidad * tiempo$$

Por lo tanto la energía cinética del viento se define como:

$$Ec = \frac{1}{2} \rho * A * v * t * v^2 = \frac{1}{2} \rho * A * t * v^3$$

En términos de potencia [15][16]:

$$P_d = \frac{1}{2} \rho * v_l^2 * v_l * Area = \frac{1}{2} \rho * v_l^3 * Area$$

$$Area = \frac{\pi * Diametro^2}{4}$$

$$\rho = 1.225 \text{ kg / m}^3$$

para una densidad del aire al nivel del mar

Sustituyendo Area

$$P_d = \frac{1}{2} \rho * v_l^3 * Area$$

$$P_d = \frac{1}{2} \rho * v_l^3 * \frac{\pi * Diametro^2}{4}$$

$$P_d = \frac{1}{2} * 1.225 * v_l^3 * \frac{\pi * Diametro^2}{4}$$

$$P_d = 0.48 * v_l^3 * Diametro^2$$

Tabla 4.1: Relación entre la velocidad del viento, su valor en grados Beaufort, sus efectos fácilmente apreciables, la densidad de potencia, la energía a lo largo de un año y la presión dinámica $\rho V^2/2$ [3] [44][45][15].

Velocidad (m/s)	1	2	5	7	10	20	40
Fuerza del viento (grados Beaufort)	1	2	3	4	5	9	12
Definición por observación de sus efectos	No mueve banderas.	Mueve banderas.	Extiende banderas	Levanta polvo. Mueve las ramas pequeñas de árboles	Mueve los árboles pequeños. En estanques forma pequeñas olas	Desperfectos en partes salientes de edificios. Derribo de chimeneas	No hay experiencia
Densidad de potencia (W/m ²)	0,6	4,9	76	210	612	$4,9 * 10^3$	$39 * 10^3$
Energía anual kWh	5,3	43	666	$1,84 * 10^3$	$5,36 * 10^3$	$42,9 * 10^3$	$341 * 10^3$
Presión dinámica (mbar)	$6,1 * 10^{-3}$	0,025	0,15	0,30	0,61	2,45	9,8

4.3 Limite de Betz

El científico alemán Albert Betz es considerado el pionero de la tecnología de los turbinas eólicas, ya que determino la energía máxima aprovechable del vientos,

Betz físico alemán en 1919 definió en su libro “wind energie” -publicado en 1926- que solo puede aprovecharse 16/27 (59% eficiencia) de la energía cinética del viento en energía mecánica usada por un aerogenerador, en el se vertían el conocimiento que en ese tiempo se tenía sobre aerogeneradores -Energía eólica-. Ley que puede ser aplicada a los generadores con rotor en forma de disco[20].

$$Pd = 0.48 * D^2 * v^3$$

$$P = 0.48 * D^2 * v^3 * 0.59 = 0.29 * D^2 * v^3$$

Pd es la potencia de abatimiento expresada en vatios [Watts] [21]

P es la potencia aprovechable expresada en vatios [Watts]

D es el diámetro del rotor en metros [m]

v es la velocidad del viento en metros por segundo [m/s]

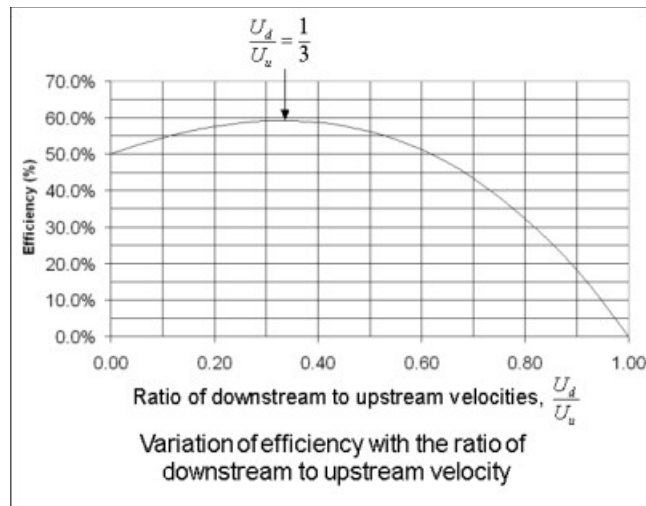


Figura 8: Limite de Betz -Eficiencia contra la relación de velocidad de entrada del viento y su salida.

4.4 Coeficiente de potencia y TSR

La velocidad angular del eje, debe ajustarse de manera que la velocidad de giro siempre corresponda a un valor óptimo del coeficiente de potencia. Esto significa que la velocidad angular del eje y la velocidad del viento de alguna manera se deben combinar en única variable para que la curva que muestra la relación entre el coeficiente de potencia y la velocidad angular del eje pueda ser especificada.

La expresión que describe esta relación corresponde a la única razón entre la velocidad punta de la turbina de $R\omega$ y la velocidad del viento V_v . Esta relación de velocidad de punta, λ se define como :

$$\lambda = R\omega \frac{m}{V_v}$$

La relación entre el coeficiente de potencia, coeficiente de torque y la relación de la velocidad de punta, dada por

$$\lambda = \frac{C_p}{C_t}$$

A continuación se muestra una gráfica en donde se ve el comportamiento y el valor de λ para los diferentes tipos de turbinas eólicas.

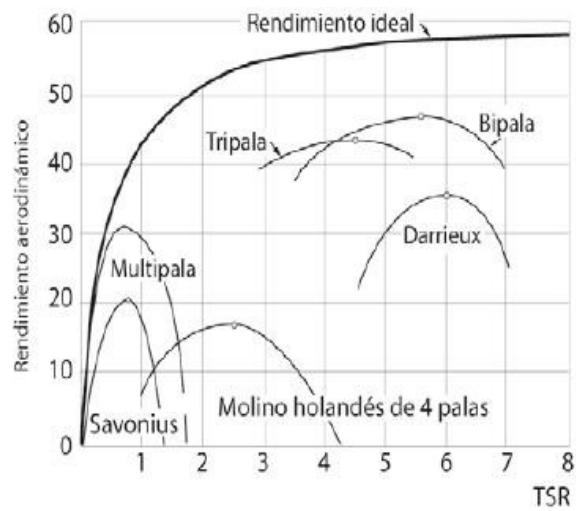


Figura 2. Coeficiente de eficiencia del rotor con base en la relación de velocidad periférica (TSR) (Fernández, 2009; Patel, 2006)

Figura 9: Relación de velocidad de punta -Tip Speed Ratio- y Rendimiento aerodinámico [49]

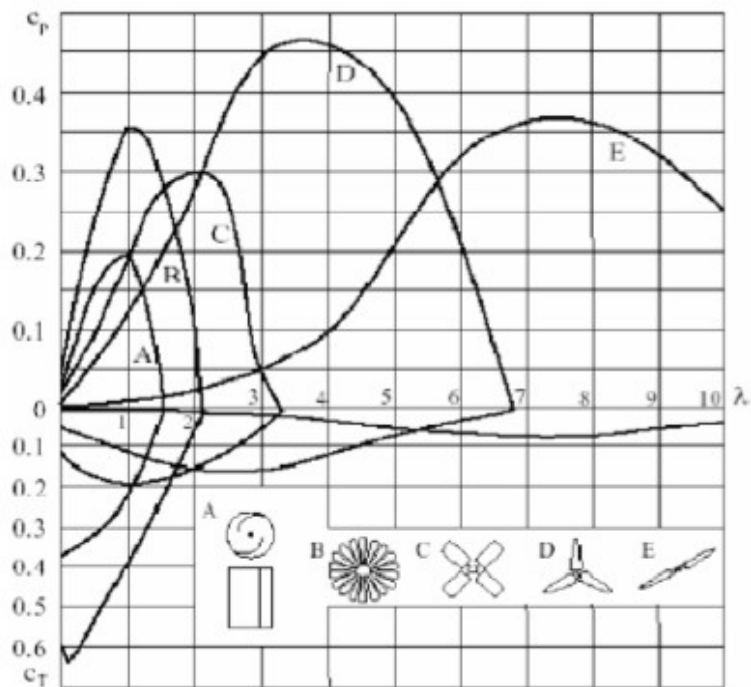


Figura 10: Relación Coeficiente potencia y Coeficiente Torque.

4.5 Comportamiento del viento en la tierra

La brisa es producida por la diferencia de calor específico entre la tierra y las masas de agua, ya que en el día la irradiación del sol calienta la tierra, ocasionando por convección el calentamiento del aire, produciendo una baja presión lo cual permite al aire frío que se encuentra sobre la superficie del agua desplazarse. Por la noche se invierte el desplazamiento de la masa de aire, debido a que la temperatura de la tierra cambia mas rápido, generándose una diferencia de presión entre la tierra y los mantos de agua que se encuentran con mayor temperatura. En las zonas periféricas de áreas de viviendas las velocidades del viento son mayores, pero con una disposición adecuada a los vientos dominantes es posible canalizar el viento, y aprovechar el comportamiento del efecto de venturi que se presenta entre los edificios, en las calles sin obstáculos y sobre los edificios se pueden alcanzar buenas velocidades de viento [22][23].

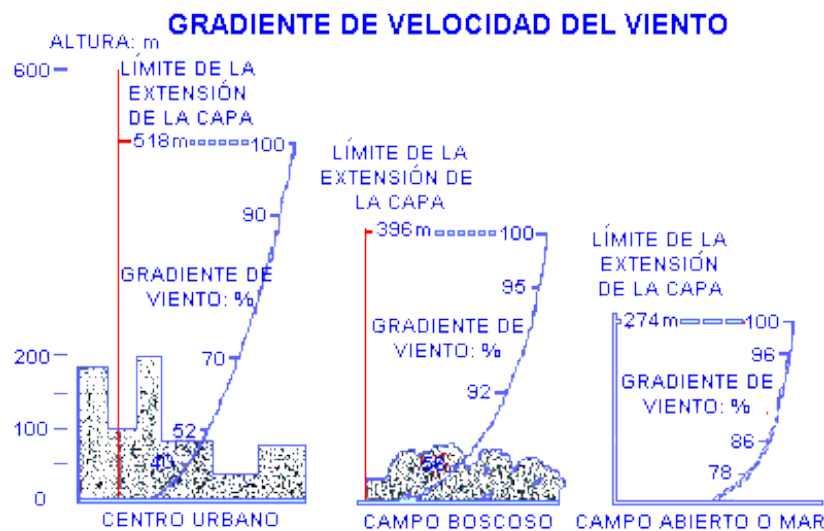


Figura 11: Gradientes del viento.

4.6 EFECTO DEL VIENTO

Las condiciones rugosidad geográficas del terreno, la ubicación de los edificios y obstáculos naturales -arbustos, arboles, montañas, etc.-, es información necesaria para la ubicación y localización de los sistemas eólicos y de confort en la vivienda, ya que con ellos podemos aprovechar los vientos dominantes que se presentan a lo largo del

día -brisa de la mañana y noche-.

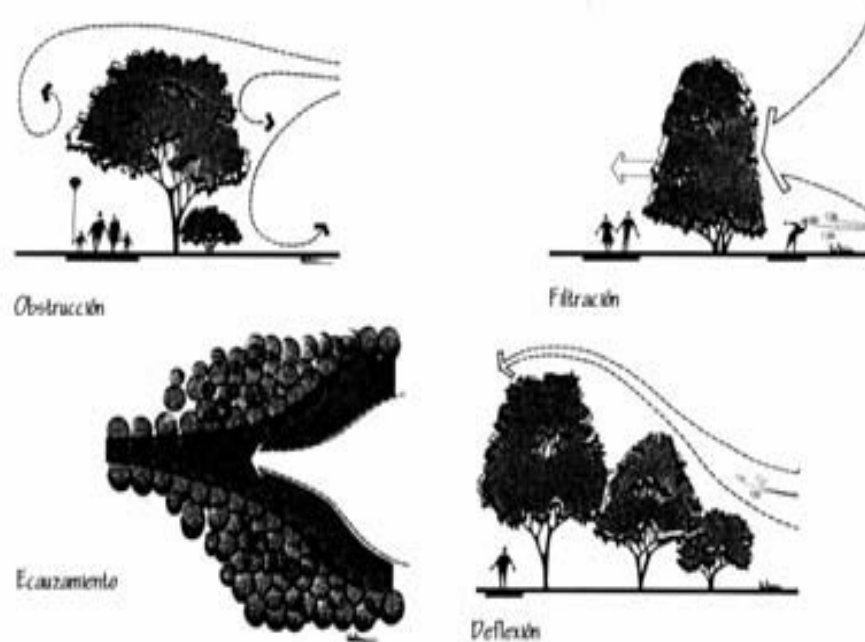


Figura 12: Árboles y viento.

Según Robinette [23], existen cuatro acciones que las barreras arquitectónicas pueden ejercer sobre el viento para controlarlo:

1. **Obstrucción.** Bloquea el flujo de aire en una zona.
2. **Deflexión.** Desvía el viento y disminuye su velocidad.
3. **Filtración.** Reduce la velocidad del viento al pasar por una barrera permeable.
4. **Encauzamiento.** Cambia la dirección del viento, conduciéndolo hacia una zona donde se requiera ventilación.

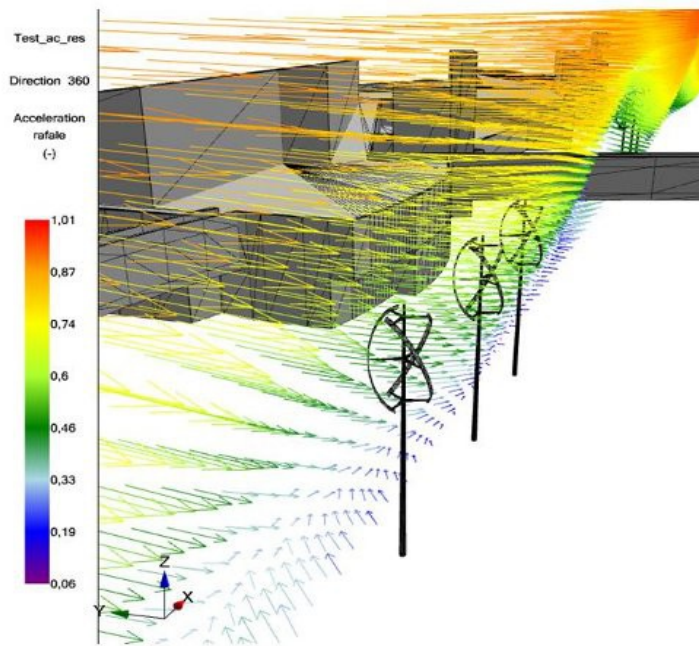


Figura 13: Los edificios y el viento.

La disposición de los arbustos, arboles permite encauzar el viento y acumular su potencia, es necesario realizar ajustes en la vegetación, con el fin de proveer un camino adecuado, el cual debe tomar la forma de un tubo de venturi. El encauzamiento del viento producido por los edificios, puede ser aprovechado, es importante identificarlos, para ubicar las turbinas y aprovechar la potencia de viento acumulada, es fundamental considerar en la planeación de la disposición de las viviendas, los vientos dominantes que se presentan en el transcurso del día [29].

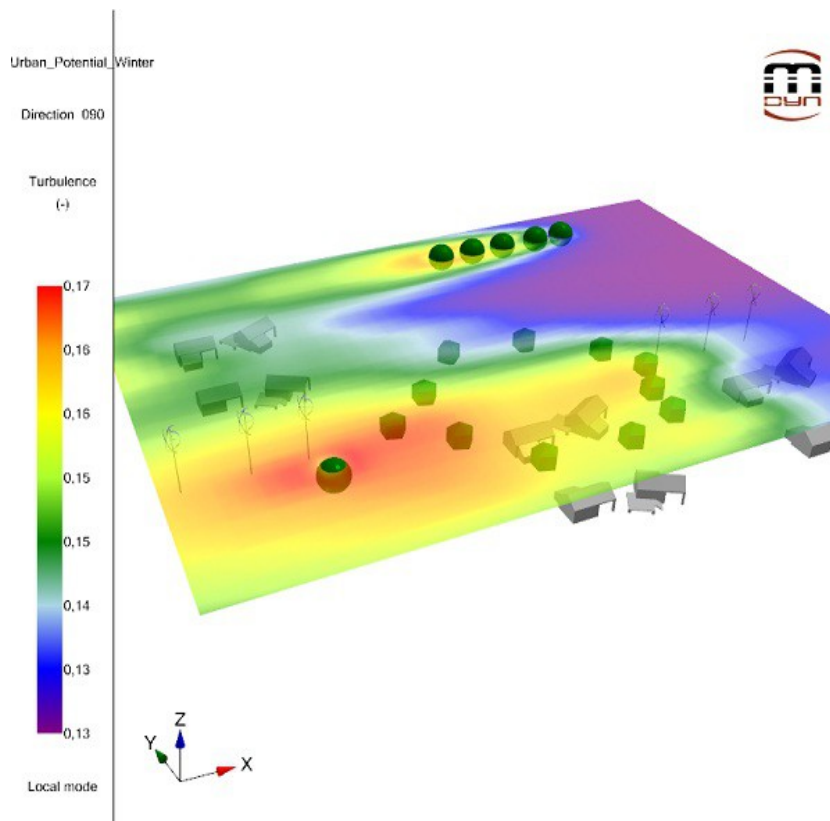


Ilustración 14: Pérdida de velocidad de viento por la geometría de los edificios.

La geometría de los edificios mitiga la velocidad del viento, una pared que tenga un abatimiento del vector del viento perpendicular, tiene un coeficiente de arrastre unitario -se considera como coeficiente unitario a un cubo-, es decir que superficies curvas tendrán un coeficiente menor de arrastre, permitiendo disminuir la pérdida de potencia del viento, como se muestra en la Figura, las superficies curvas han abatido la velocidad del viento, disminuido la potencia que las turbinas pueden aprovechar [24].

Se puede conseguir disminuir la obstrucción del viento, considerando formas curvas en las paredes que son abatidas por los vientos dominantes, o la colocación de paneles curvos sobre las superficies, que permitan encauzar y deflexionar el viento, permitiendo un mejor aprovechamiento de la potencia del viento.

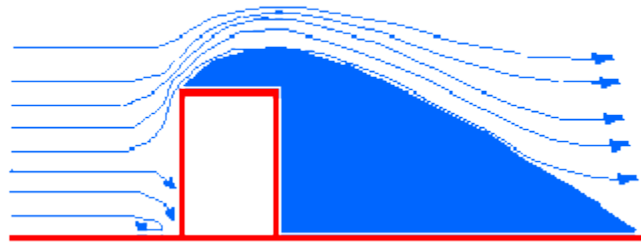


Figura 15: Sombra aerodinámica.

4.7 Turbulencia

La escala integral de la turbulencia “L” provee una medida de la extensión de la región sobre la cual las velocidades están correlacionadas aproximadamente (ej.: el tamaño de los remolinos que llevan la energía del movimiento turbulento). Similarmente “T” provee una medida de la duración temporal sobre la cual las velocidades se mantienen correlacionadas (ej.: la duración de las vueltas de los torbellinos). Por razones obvias, la integral “T” es comúnmente llamada la integral de escala de tiempo de Euler. Asimismo al realizarse la transformada de Fourier a la función de auto-correlación, obtenemos la distribución energética presente en el espectro turbulento.

Cascada de energía. Disminución de la energía cinética al perder la fuente de perturbación.

La energía cinética puede expresarse por la ecuación:

$$\epsilon \approx \frac{v^2}{\tau K}$$

Donde:

ϵ : Energía cinética

τK : Escala de tiempo

v : Velocidad del flujo.

La escala de la turbulencia disminuye a medida que disminuye la acumulación energética del espectro, esto se explica por el hecho de que al perder la fuente de perturbación (ala, obstáculos naturales) los diámetros de los torbellinos van

disminuyendo hasta que estos desaparecen por completo y pasamos al fluido laminar o sea, la energía se disipa al perderse la fuente que la origina.

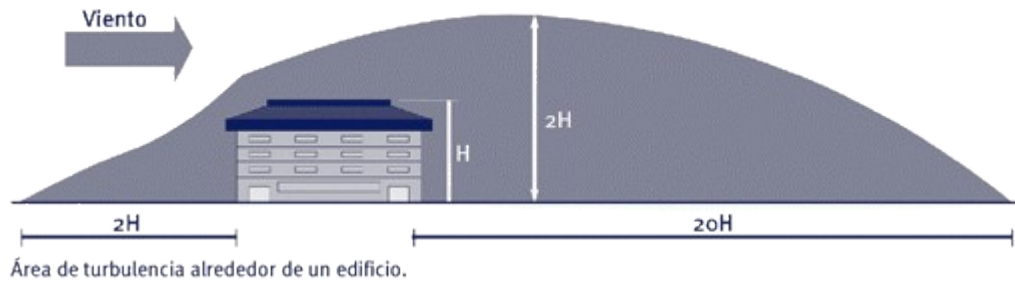


Figura 16: Área de turbulencia alrededor de edificio.

La velocidad del viento se ve disminuida por las condiciones geográficas y esta a su vez produce efectos de turbulencia sobre los edificios -rugosidad geográfica-, el gradiente de disminución de la magnitud viento esta en relación a la altura, es por ellos que se recomienda la colocación de turbinas eólicas, por encima del doble de la altura de los edificios [32].

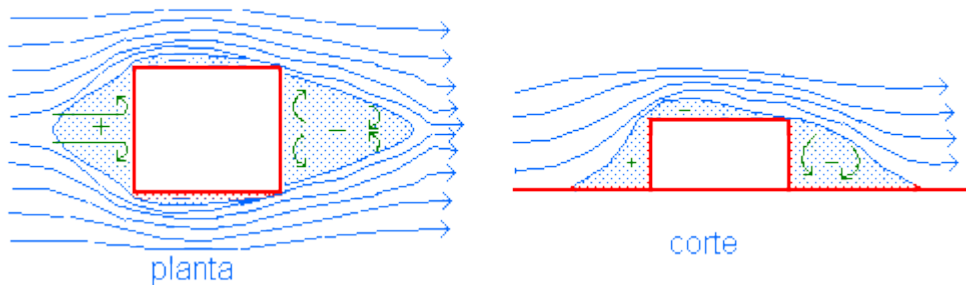


Figura 17: Turbulencia en edificios.

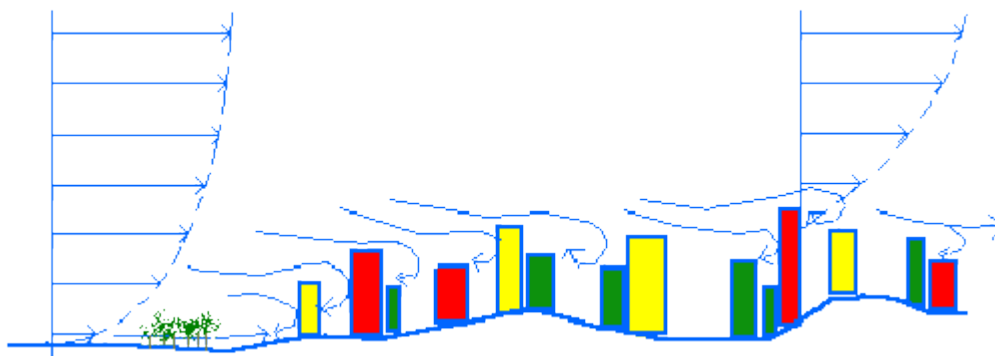


Figura 18: Turbulencia y decremento de la velocidad del viento.

5 Tipos de turbinas eólicas.

En la actualidad se tienen grandes parques eólicos conformados por aerogeneradores de tipo horizontal, los cuales presenta algunos inconvenientes técnicos, los mas importantes son la altura, los elementos mecánicos para aumentar la velocidad del alternador, el dispositivo omnidireccional de giro el cual permite la ubicación de este dirección al viento, esto conlleva a considerar mantenimientos que pueden ser de altos costos, así como una alta inversión [26].

Las capacidades de una turbina eólica se miden en relación al limite del Betz (59.6% ideal), no toda la energía disponible en el viento puede ser aprovechada, las turbinas horizontales están en rangos de 40 a 45%, la fricción en estos sistemas juega un papel importante, así como el peso de las aspas. Las investigaciones actuales para este tipo de generador se enfocan a mejorar estos parámetros, diseñando aspas mas flexibles, ligeras y rodamientos de baja fricción (Rodamientos Magnéticos) .

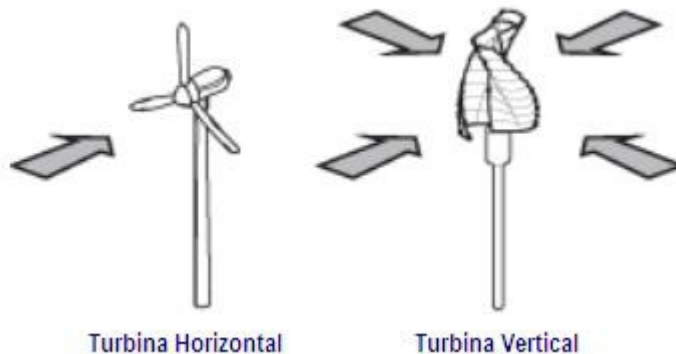


Figura 19: Tipos de turbinas eólicas por su posición.

En capacidades pequeñas de generación se tiene diseños de tipo vertical, estos resuelven el problema de la dirección del generador en relación al viento, ya que estos pueden girar sin importar la dirección de este, no requieren un sistema de ubicación de la dirección del viento, pero su inconveniente mas grande es la capacidad de transformación de la energía del viento, ya que en su mayoría tiene en relación del limite de Betz una eficiencia del orden entre 30 y 40%, aunque existen diseños mas eficientes (iguales a los turbinas horizontales), la mayoría están todavía lejos de conseguir buen rendimiento, existen avances en la utilización de rodamientos

magnéticos los cuales mejoran considerable su rendimiento, pero su diseño implica retos de ingeniería por las formas que tiene que tomar los imanes que lo conforma.

Los tipo de generadores eólicos verticales cuenta con menos partes que requieran mantenimiento, y por esta razón son muy utilizados en generadores de pequeña escala, donde se han posicionado en el mercado de la energías renovables para la vivienda, la diferencia de rendimiento entre un generador horizontal y uno vertical se compensa con los costos de construcción, ya que los hace mas económicos. Otras ventajas es que pueden comenzar a girar con menores velocidades de viento (se instalan en menores alturas que la de las turbinas horizontales), múltiples diseños de aspas, menor uso de rodamientos, menor mantenimiento. Por la forma de diseño pueden ser utilizados menos recursos para su construcción, y existen la oportunidad del uso de nuevos materiales que sean mas ligeros, flexibles y resistentes, las formas de las aspas permite menos ingeniería para su construcción [27].



Figura 20 Savonius HelixWind.

Existe disponibles múltiple diseños, desde sistema tipo Savonius, de dos, tres y cuatro alabes, hasta los Darrieus de múltiples palas colocadas de manera paralela al eje [28].



Figura 21 Turbina tipo Darrieus.

Los sistemas tipo lenz2 son adecuados a las condiciones de alto par, y baja generación de ruidos, haciéndolos adecuados para ser colocados cerca de las viviendas. En las siguientes figura se muestra una simulación, donde se identifican los puntos de esfuerzos máximos a los que es sometido la estructura.

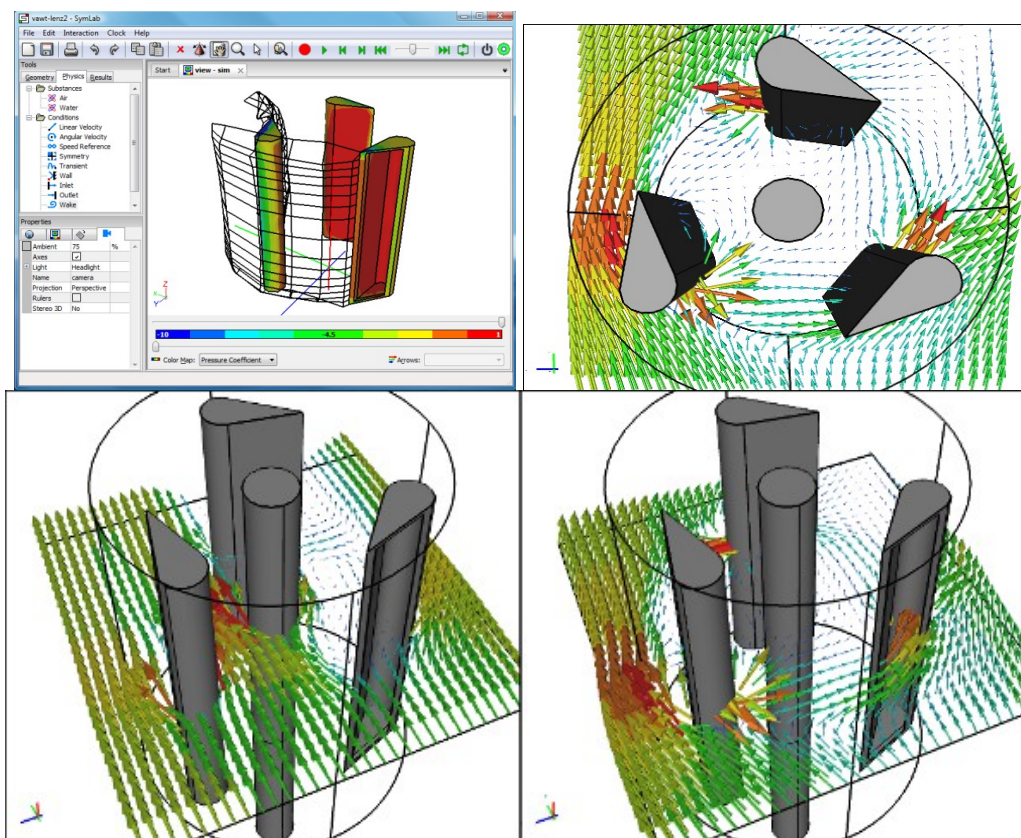


Figura 22: Simulación del comportamiento de una turbina tipo Lenz2 vawt a 6.7 m/s (112 rpm)[43]

El generador eólico BarcoWM está provisto de brazos giratorios alrededor de un eje y a dichos brazos se unen unas palas abatibles. Estas palas ofrecen la máxima resistencia al viento cuando se sitúan en la zona de avance de giro y prácticamente nula resistencia al viento cuando están en la zona de retorno del generador [29].



Figura 23 Prototipos BarcoWM.

Sistemas de bajo ruido y desempeño de eficiencia medio, son adecuados para las áreas urbanas y de tránsito alto, pero son de difícil construcción y difícil reparación y mantenimiento.

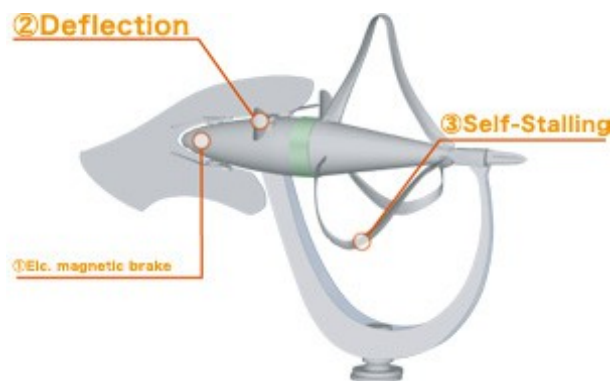


Figura 24: Sistema de bajo ruido Loopwind. Co.[52]

Sistemas de muy baja potencia sin turbinas a base de cintas, pueden ser utilizados para sistemas de señalización en caminos y alumbrado público de paradas a orillas de carretera, los cuales no requieren de componentes costosos para su construcción, ya que la fuente de captación de energía es una cinta tensada, colocada de manera perpendicular al viento, en sus extremos tiene un imán el cual al vibrar junto con la

cinta, genera un pequeño campo magnético oscilante que induce en una bobina un voltaje alterno [30] [31]



Figura 25: Sistema Eólico sin turbina WindBelt.

La clasificación de los sistemas eólicos se define por sus posición en relación al viento, la fuerza ejercida por el viento sobre su superficie, por su capacidades de generación [32][33].

Tabla 5.1: Clasificación de turbinas eólicas [19][24][26][25]

Clase	Descripción
Posición	Verticales -windmill- Horizontales -Darrieus, Savonius, barcowm, HelixWind, windside, lenz2- Especiales -WindBelt-
Fuerza de ataque	Sustentación -Perfil Naca (Verticales), Windmill, Darrieus, Darrieus H- Arrastre -Savonius, panémonas, barcowm, windside, HelixWind, lenz2-
Tamaño	Minieólico -Menos de 1kw (savonius, windbelt, lenz2, Darrieus H)- Potencia Media -Hasta 50kw (Darrieus, Windmill)- Potencia Alta -Mas de 50kw (Windmill)-

La relación entre la forma y construcción de las turbinas eólicas y el coeficiente de potencia esta determinado por el comportamiento de los alabes y su interacción con el viento, pudiendo ser arrastrados y sustentados, las turbinas de arrastre, muestra menor desempeño, pero mejor par de arranque a bajas velocidades de viento, así como un

pobre desempeño por encima de velocidades altas -por arriba de la velocidad promedio de 6.5 m/s-, las de tipo sustentación tienen un mas alto coeficiente de potencia, pero requieren un sistema de arranque a bajas velocidades, ya que no son capaces de iniciar su movimiento a velocidades inferiores de 3 m/s.

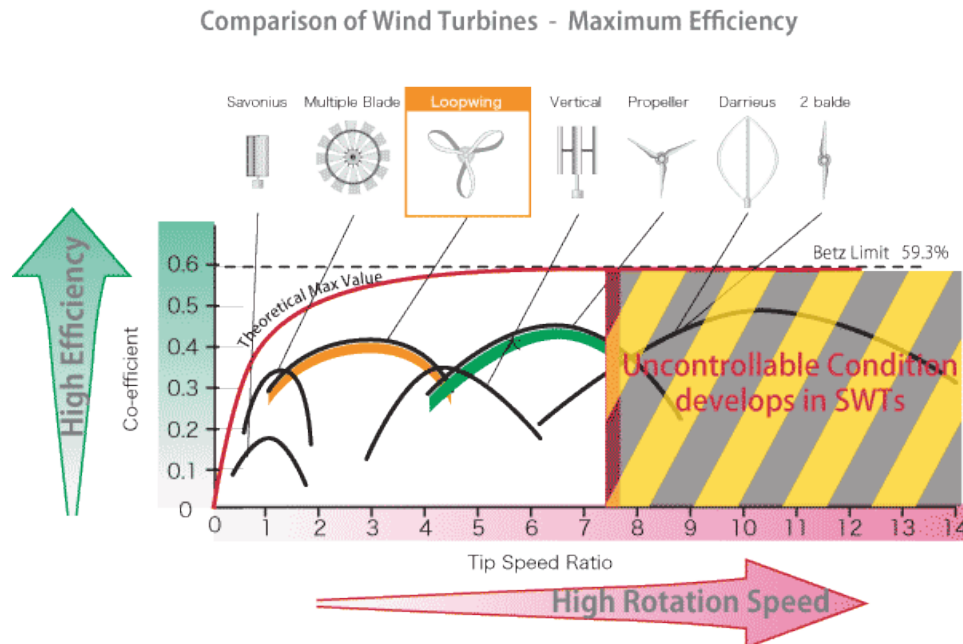


Figura 26: Comparación de los tipos de turbinas en relación a su eficiencia [52].

Los sistemas de turbinas mixtas son adecuados para mejorar las características de arranque y desempeño, en sistemas mini eólicos se tiene los tipos darrieus y savonius -Gorlov-, los tipos lenz, los helicoidales.

6 Generadores eléctricos.

6.1 El alternador del automóvil

La potencia eléctrica del generador se obtiene de la siguiente manera:

$$P_e = \frac{1}{2} c_p \rho \pi R^2 V^3$$

Para obtener la velocidad angular para después determinar las revoluciones por minuto que va a operar nuestro generador se aplica la siguiente fórmula:

$$\lambda_{max} = \omega \frac{R}{v_n}$$

Para obtener las revoluciones por minuto en la que el generador va a operar se aplica la siguiente fórmula:

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

Para obtener el número de polos que va a tener nuestro generador se utiliza la siguiente fórmula:

$$p = 60 \frac{f}{n}$$

Para obtener el par mecánico se utiliza la siguiente fórmula:

$$M = P/\omega, \text{ con } \omega = 2 * \pi * n/60$$

7 Controladores de velocidad.

Controladores de velocidad son utilizados para regular la velocidad, por medio del mismo generador eléctrico, como sistema de frenado magnético, y otros por medio del posicionamiento de las palas.

Existen dos sistemas de regulación mecánicos -activos y pasivos- para el aerogenerador llamados pitch control y stall control.[34]

Los dos sistemas más utilizados son los sistemas activos ("pitch control") y los sistemas pasivos ("stall control). En los primeros las palas pueden rotar en su eje longitudinal para mantener la potencia nominal desde la velocidad nominal hasta la de parada. En cambio los sistemas pasivos cuentan únicamente con el diseño aerodinámico de las palas para regular la potencia que se extrae del viento –ésta va disminuyendo cuando se sobrepasa la velocidad nominal. Actualmente se pueden combinar estos dos sistemas para aprovechar las ventajas que presenta cada uno de los sistemas a diferentes velocidades de viento.

Los micro-aerogeneradores pueden incorporar otros sistemas de regulación y control como la desalineación o la desorientación del rotor.

IV Metodología

1 Revisión de patentes

Se identificaron patentes de construcción de turbinas eólicas con el principio de arrastre, donde se realizó la identificación de su forma y su posible construcción, encontrándose diversos estilos de ensamble como los formados por piezas simétricas, que encajan para formar helicoidales.

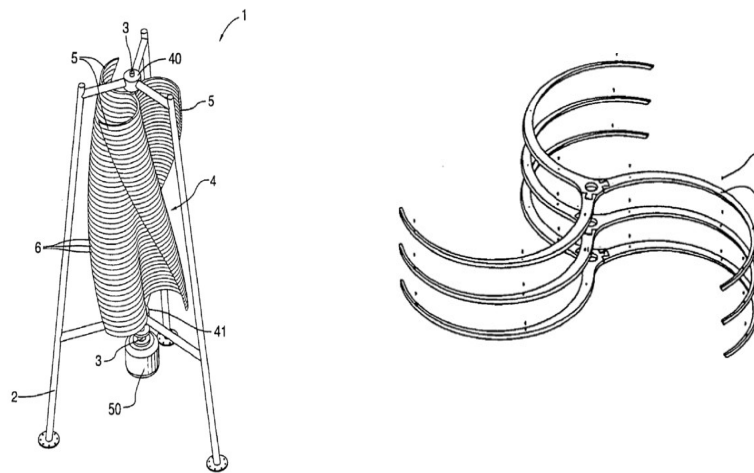


Figura 27: Sistema de construcción por secciones de generador Savonius HelixWind [50]

Los sistemas compuestos por módulos de ensamble, permiten realizar turbinas ajustables en altura y grado de giro, son fáciles de armar y reparar, pero un alto grado de precisión en la construcción de los moldes de las piezas.

Se han propuesto sistemas que permiten concentrar el viento, con el fin de mejorar el desempeño del sistema, los cuales son aditamentos que requieren movimiento para posicionarse en la dirección del viento, son sistemas mecánicos que dificultan su construcción y mantenimiento, no siendo adecuados para regiones de difícil acceso, por los inconvenientes para su conservación y reparación.

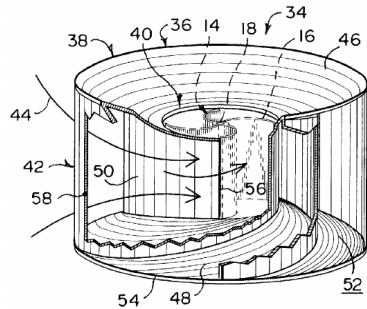


Figura 29: Sistema concentrador de viento para turbinas tipo savonius [41].

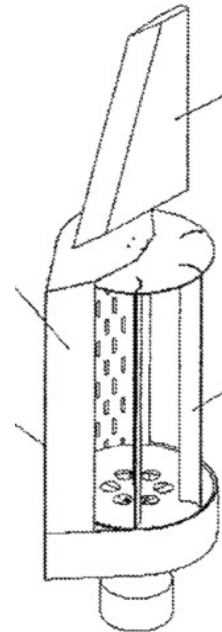


Figura 28: Dispositivos para encausar el fluido en turbinas [47]

El incremento de costo de los aditamentos de direccionamiento, tiene a incrementar de manera considerable el costo y tiempos de construcción y mantenimiento.

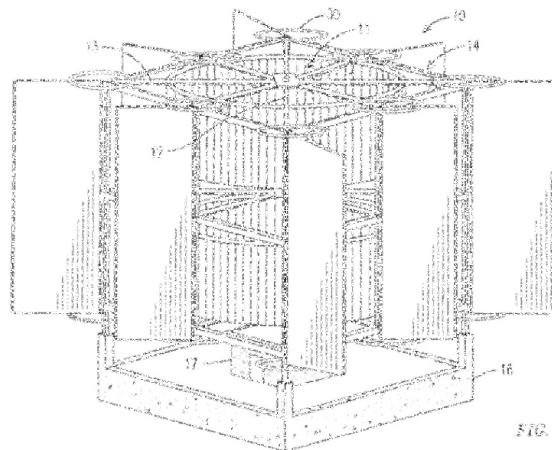


Figura 30: Turbina Axial Vertical con puertas de direccionamiento [46]

Los sistemas con mejores desempeño de velocidad como tipos Darrieus -lo cual es deseable para evitar el uso de sistemas de multiplicación de velocidad-, requieren un alto grado de precisión en su construcción, con ello el incremento de costos, por el diseño estilizado que requieren para dichos diseños, es requerido el uso de materiales

ligeros y de alta resistencia, haciéndoles inadecuados para sistemas en zonas aisladas o marginadas, ya que no se cuenta con la tecnología y equipo de construcción accesibles para esta población.

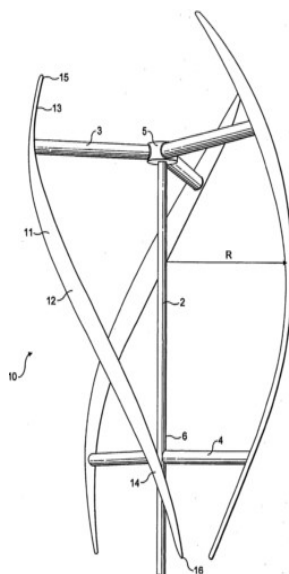


Figura 31: Turbina Vertical Axial
[53]

La diversidad de formas que se cuentan para la elaboración de sistemas eólicos puede llegar a tener formas geométricas complejas, lo que dificulta el proceso de fabricación y construcción, la mejora en eficiencia que se obtiene por estos sistemas se puede considerar muy pequeña con el inconveniente de un alto costo de manufactura.

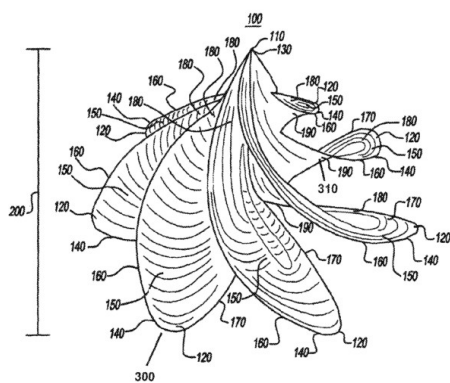


Figura 32: Turbina Eólica Helicoidal Cónica
[51]

2 Criterios de diseño.

Identificando los criterios de diseño en relación a los requerimientos de la población de zonas marginadas, con personal de apoyo a comunidades marginadas, se identifican utilizando un despliegue de la función de la calidad, los requerimientos de diseño del prototipo, utilizando una hoja de calculo para determinar los pesos de las necesidades del cliente, y con ellos los parámetros de diseño, se propone prototipos de turbinas de arrastre, dada la disponibilidad de materiales y herramientas requeridas para su manufactura y reparación por su bajo costos, se identifica que no es requerido sistemas eficientes, los cuales son costosos en su fabricación [35], [36], [37], Ver Anexo -Matriz de Relaciones, diagrama de Pareto-.

3 Selección de tamaño de turbina.

Considerando que el consumo de energía de la vivienda es de 400 watts, se considera un área de arrastre abatimiento de 2 m², lo cual permite obtener un par de arrastre de 11N/m, lo cual es lo requerido para un equipo de generación tipo Alternador Automotriz de 500 watts, asumiendo una superficie de 1.5 m x 1.5 m = 2.25 m², se tiene a una velocidad promedio del viento de 6.5 m/s, la capacidad suficiente para generar la energía de los requerimientos mínimos de la vivienda[38].

4 Materiales y equipos de construcción de la turbinas.

Considerando como necesidad del cliente, el uso de materiales económicos y de fácil adquisición, consideramos materiales genéricos como: lamina galvanizada calibre 30, Perfil tubular de 2", Tubo galvanizado de 2", Platina de 1/8" x 2", resina de poliester y fibra de vidrio, pintura acrílica, tornillos, soldadura eléctrica. Esto permite adquirir los materiales para realizar el prototipo en lugares mas cercanos a la zona marginada. Las herramientas para su fabricación no son específicas, ya que se requieren realizar mediciones -flexómetro-, cortes -segueta-, realizar agujeros -taladro y brocas-, prensa o tornillo de banco y maquina de soldar de arco eléctrico. Estos se pueden conseguir y transportar con facilidad, y las piezas que requieren algún tipo de manufactura especifica pueden llevarse prefabricadas, como es el caso de los soportes -triángulos- para los soportes de loa alabes de la turbina tipo lenz2.

V Resultados y Discusión

1 Planos de Prototipos.

Se realiza muestran las dimensiones físicas de las características de construcción de las partes que componen cada una de las turbinas[39].

1.1 HelixWind

Se describen las dimensiones de los nervios que componen la turbina, así como las separaciones de los agujeros que darán soporte a la envoltura -lona o fibra de vidrio reforzada con resina de poliéster-.

Las dimensiones del soporte no se muestran ya que esta puede ser sostenidas en una base simple formada por un tubo de 2”.

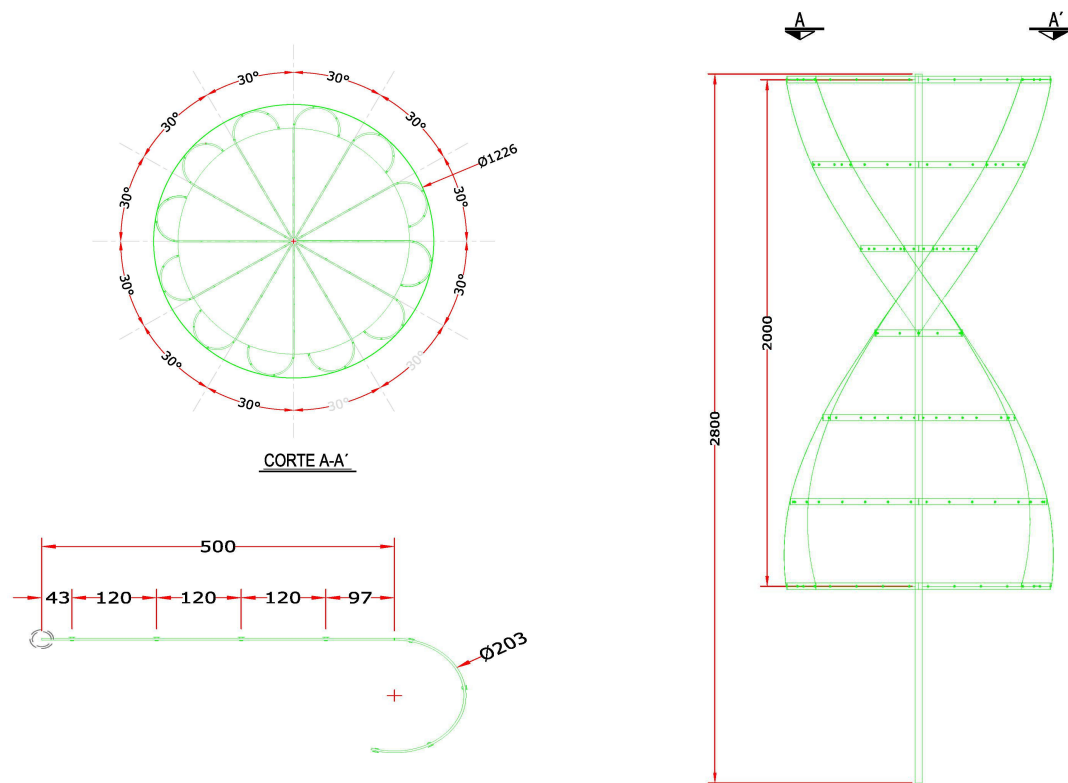


Figura 33: Dimensiones de prototipo HelixWind, Dimensiones en mm.

1.2 Lenz2

Se muestran las dimensiones de las piezas que conforma la turbina, ubicando cada uno de los elementos que la conforma, la forma que geométrica de los alabes y el angulo de posición de acuerdo al soporte central -nueve grados con respecto a la tangente-.

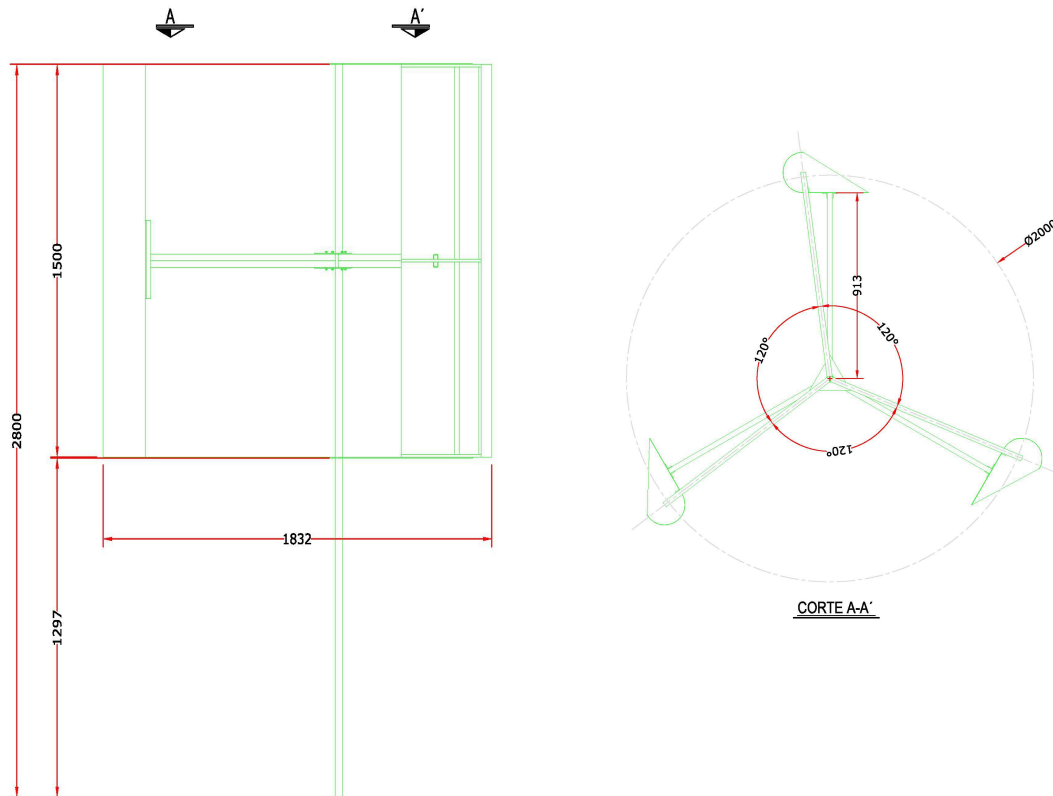


Figura 34: Dimensiones de prototipo LENZ, Dimensiones en mm.

2 Simulación de prototipos

Se realizó la simulación de las turbinas eólicas propuestas, con lo cual se determina las condiciones de presión a la que se somete, identificando las zonas de mayor esfuerzo debido a la presión ejercida por el arrastre del viento, con ello se considera reforzar con resina de poliéster y fibra de vidrio.

Utilizando el túnel de viento Falcon de Autodesk, sobre el software de diseño Inventor Autodesk, se simuló las condiciones a las que se somete una turbina tipo

HelixWind a velocidad de 12 m/s, en 4 posiciones -0° , 30° , 60° , 90° -, para determinar los esfuerzos mecánicos producidos por el arrastre del viento, ubicándose las zonas a reforzar en el prototipo. Se identifica la turbulencia producida, la cual podría ocasionar ruido a dicha velocidad [40][41].

2.1 HelixWind

Se identifica con facilidad que las áreas a reforzar se encuentra ubicados sobre los nervios centrales y pliegues de la turbina, los pliegues permiten reforzar la superficie de la turbina [41].

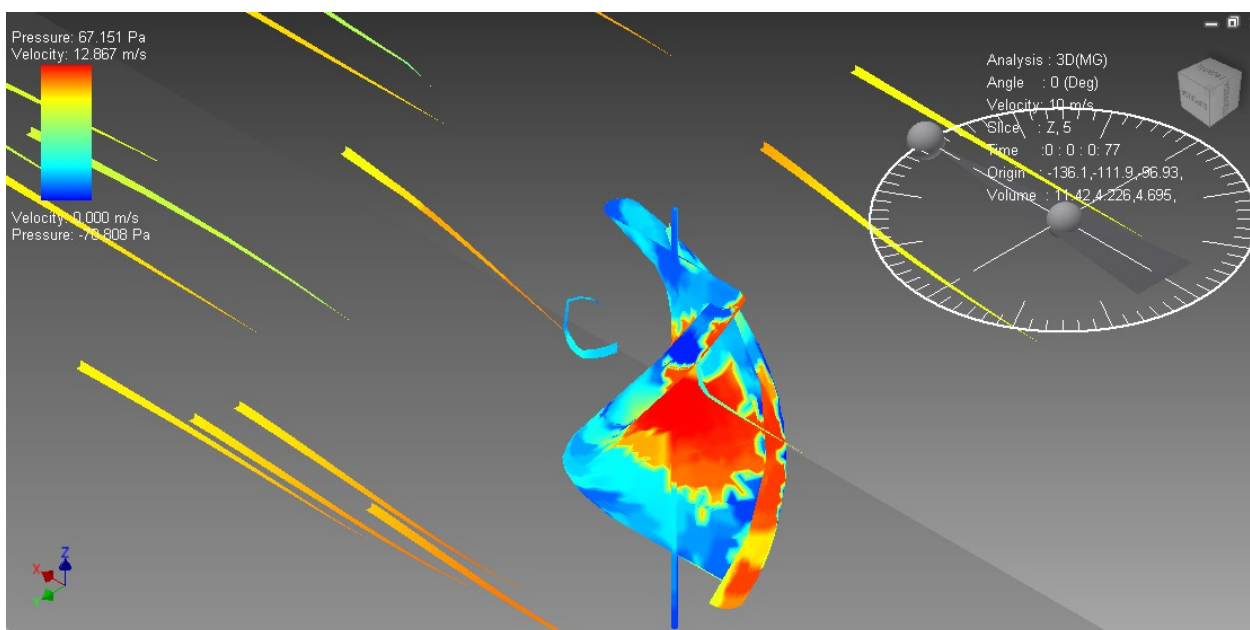


Figura 35: Simulación de turbina HelixWind a 12 m/s

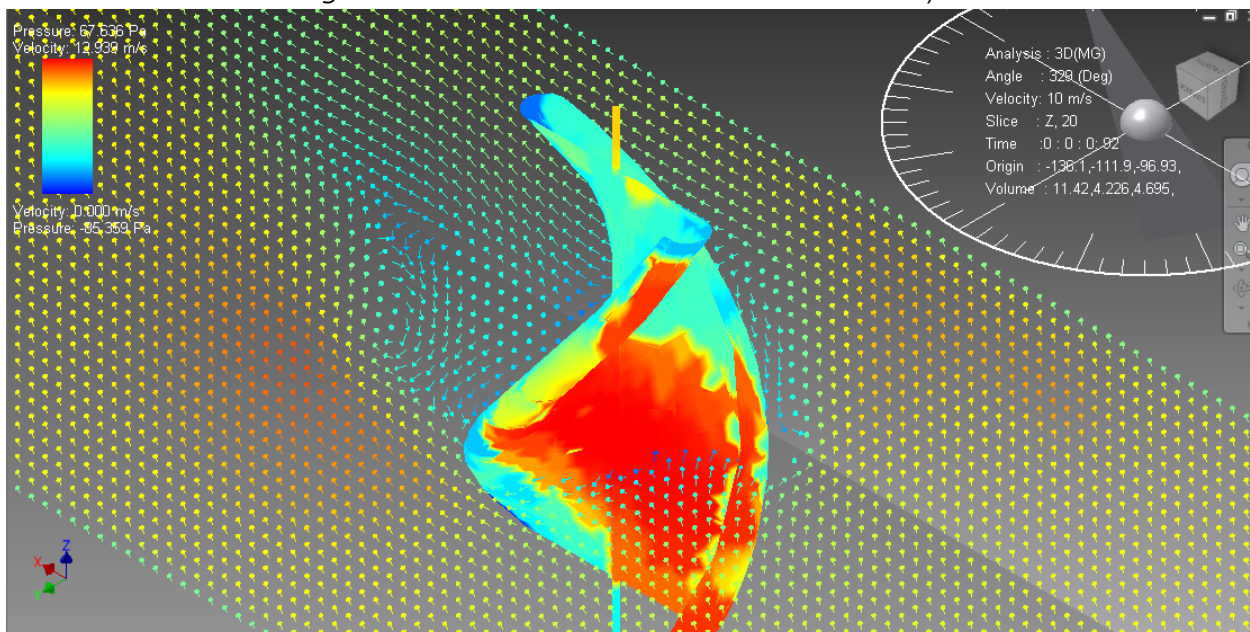


Figura 36: Simulación de turbina HelixWind a 30° y turbulencia producida.

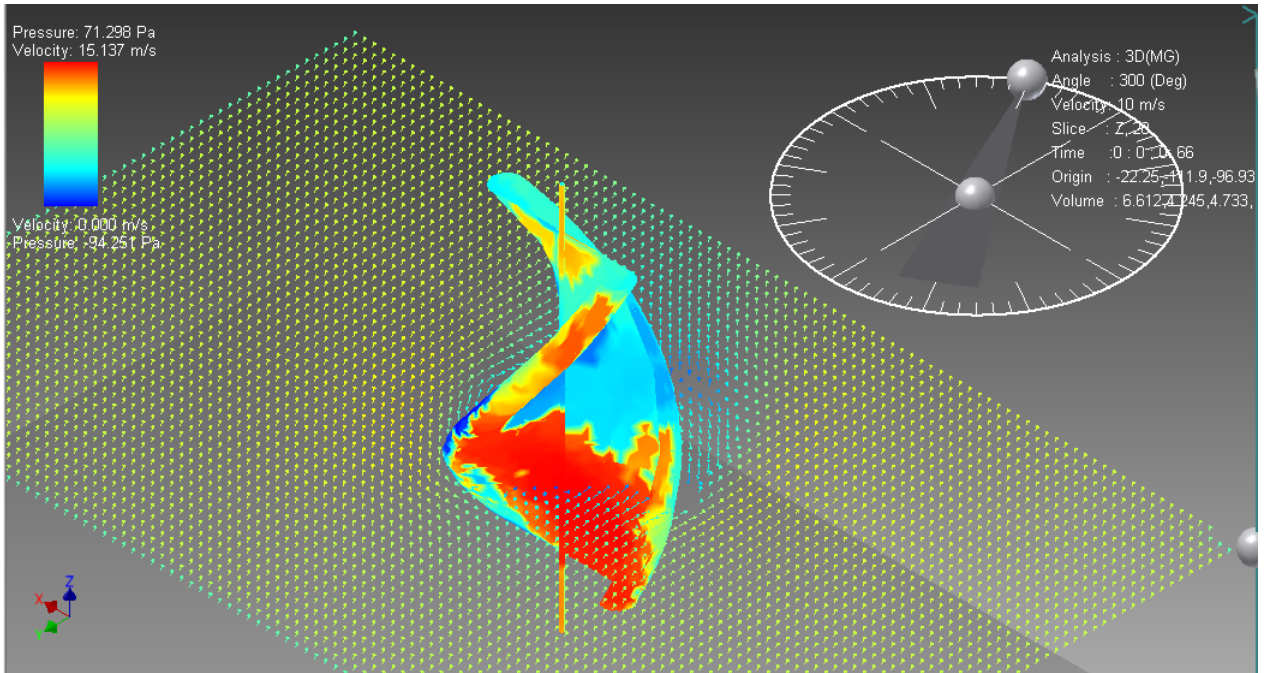


Figura 37: Simulación de turbina HelixWind a 60° y turbulencia producida.

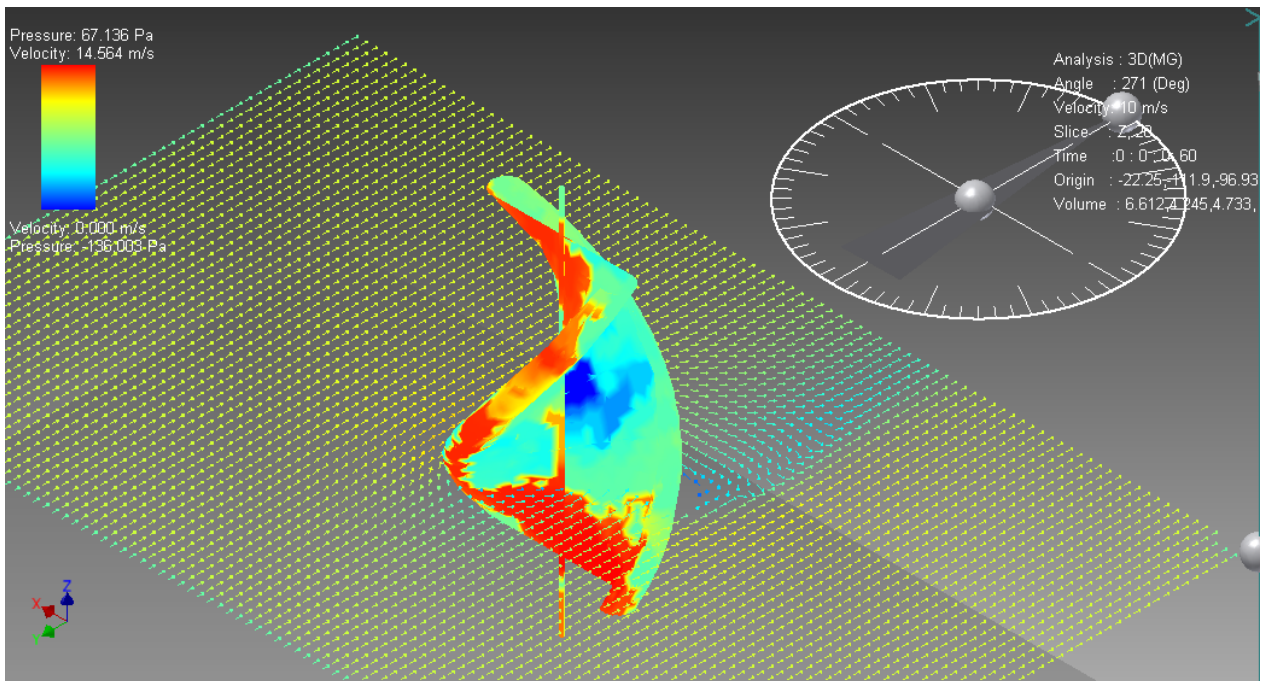


Figura 38: Simulación de turbina HelixWind a 90° y turbulencia producida.

2.2 Lenz2

Se identifican tensiones máximas sobre la superficie interna del alabe, esto indica que debe ser reforzado de manera interna, se propone resina de poliestes y fibra de vidrio, esto para todas las posiciones propuestas en la simulación. Se requiere reforzar los soportes de la lamina sobre la base tipo gota.

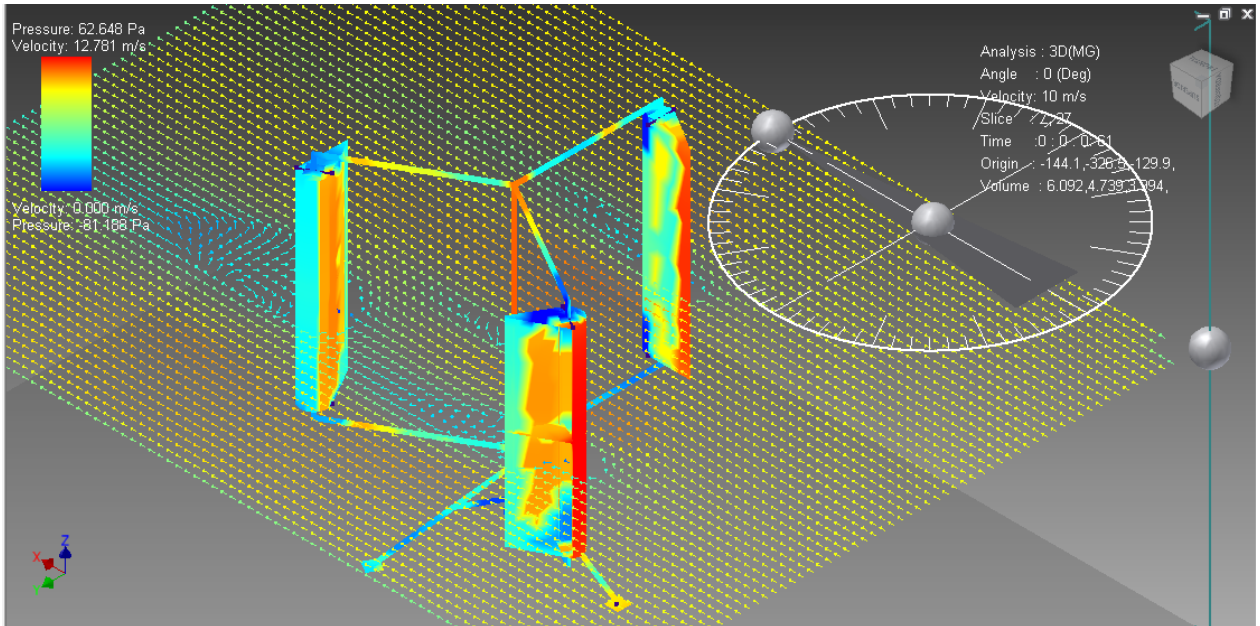


Figura 39: Simulación de turbina Lenz2a 0° y turbulencia producida.

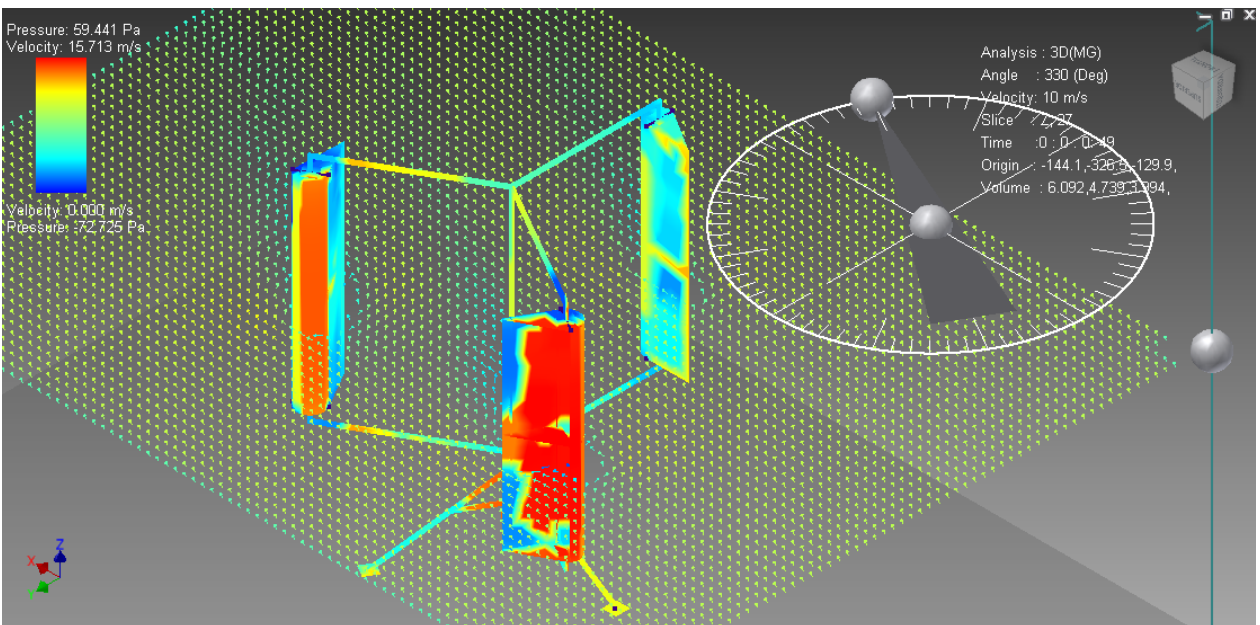


Figura 40: Simulación de turbina Lenz2a 30° y turbulencia producida.

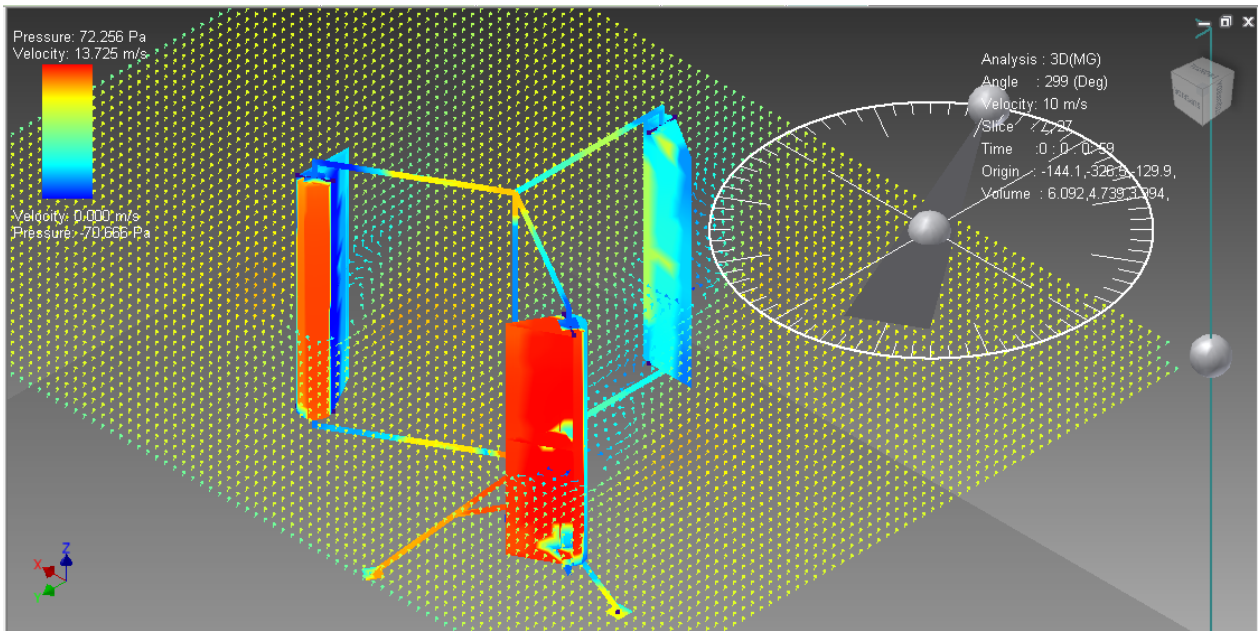


Figura 41: Simulación de turbina Lenz2 a 60° y turbulencia producida.

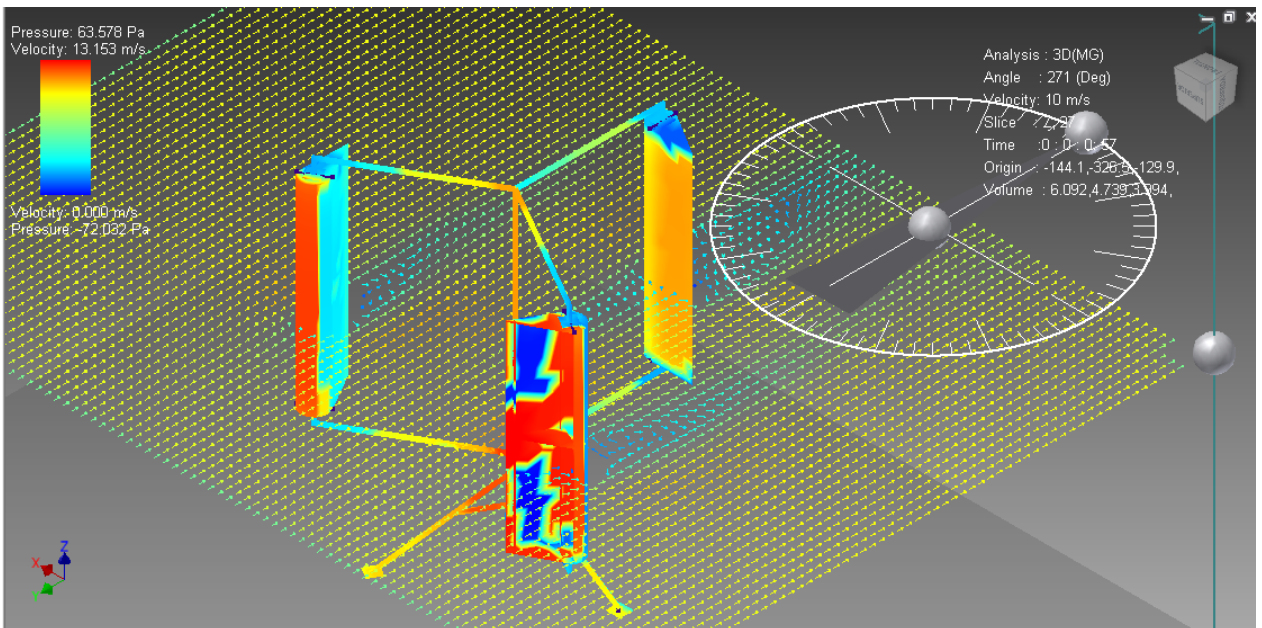


Figura 42: Simulación de turbina Lenz2 a 90° y turbulencia producida.

VI Conclusiones.

1. De la búsqueda bibliográfica se tiene que no existe programas de electrificación por parte de Comisión Federal de electricidad (CFE) para las zona rurales marginadas, por no existir condiciones geográficas, técnicas y económicas que lo posibiliten.
2. La electrificación de las zonas rurales marginadas, permite mitigar las condiciones de extrema pobreza garantizando los servicios básicos de la vivienda tales como: Abasto de agua corriente potabilizada, iluminación, comunicación (telefonía, televisión), uso de estufas de inducción (cocinar y eliminar humo de fogones) y refrigeración para la conservación de alimentos y medicamentos.
3. El empleo de fuentes de energías renovables (eólica y solar), no ha encontrado la aplicación y desarrollo necesario para la electrificación de las zonas rurales marginadas del país, representando un área de oportunidad para mitigar la pobreza.
4. Los estudios realizados referente a potencialidades de viento y energía solar, muestran en las zonas marginadas del territorio nacional valores promedios que garantizan y justifican la aplicación de estas fuentes de energía renovables (5 m/s velocidad del viento, y 5.5 kw/h de insolación). De igual manera se reconoce a la energía eólica mas eficiente y económica que la solar.
5. La aplicación de los diferentes modelos de turbinas eólicas esta estrechamente relacionada con su eficiencia (30% para los Verticales y 40% para los Horizontales), característica de diseño y costo de fabricación, explotación, instalación y manutención.
6. Las condiciones de rugosidad geográficas son condiciones a considerar para aprovechar los efectos que los edificios producen, así como mitigar los efectos de turbulencia ocasionados por la forma de los edificación.

7. Los criterios de construcción de las turbinas de tipo sustentación, son mas complejos y costosos, existe una relación entre el costo de fabricación y eficiencia, haciéndolas adecuadas para equipos de gran capacidad
8. Las turbinas de arrastre presenta menor complejidad en su construcción, y menor costo de materiales y manufactura, a pesar de su baja eficiencia son adecuados para sistemas de mini eólicas.
9. Los criterios de diseño de una turbina mini eólica, para condiciones que cubran las necesidades de consumo de una vivienda de una Z.M., pueden ser abastecidos por turbinas tipo lenz2 y HelixWind, con las condiciones probables de viento de nuestro país.

VII Referencias Bibliográficas

- [1] CONEVAL, *Metodología para la medición multidimensional de la pobreza en México*. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social, 2012, p. 136.
- [2] S. Desarrollo Social, "Indicadores de Desarrollo Social 2011," México, 2011.
- [3] S. Desarrollo Social, "Indicadores de Desarrollo Social 2010," México, 2010.
- [4] S. de D. S. Sedesol, *Lineamientos Y Criterios Generales Para La Definición, Identificación Y Medición De La Pobreza*. México: DIARIO OFICIAL, 2010, p. 62.
- [5] E. U. M. Presidencia, *Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012*. DIARIO OFICIAL, 2007, p. 323.
- [6] INEGI, *Anuario de estadísticas por entidad federativa 2011*. México: INEGI, 2011, p. 641.
- [7] "Censo de Población y Vivienda 2010." [Online]. Available: <http://www.censo2010.org.mx/>. [Accessed: 23-Apr-2013].
- [8] S. de D. S. Sedesol, "boletín 7 SEDESOL," *Boletín 7*, México, p. 7, 2011.
- [9] "servicios integrales de energía para pequeñas comunidades rurales en México - Buscar con Google." [Online]. Available: <https://www.google.com/search?q=Servicios+Integrales+de+Energía+para+Pequeñas+Comunidades+Rurales+en+México>. [Accessed: 26-Apr-2013].
- [10] O. De Buen, "Guía Para El Desarrollo De Proyectos De Generación De Electricidad Con Energía Renovable En Y Para Los Municipios," 2010.
- [11] "Explorador de Recursos Renovables -Mapas-." [Online]. Available: <http://sag01.iie.org.mx/eolicosolar/Default.aspx>. [Accessed: 29-Apr-2013].
- [12] S. Nedelcu, "Suministro de energía eléctrica a una vivienda rural aislada mediante fuentes de energía renovables," Univertat Rovira I Virgili, 2009.
- [13] A. Betz, *La energía eólica y su aprovechamiento mediante molinos de viento*. Göttingen :: Vandenhoeck & Ruprecht ::, 1926, pp. 1–59.
- [14] I. SALAZAR VILLANUEVA, "Análisis dinámico de las palas (Ehecamani) de un aerogenerador en un túnel de viento.," 2010.
- [15] A. L. Neumann, *La Energía Eólica: Principios básicos y tecnología*. Leganés, 2002, ©. Madrid, España: Universidad Carlos III, 2002, p. 81.

- [16] Erich Hau, *Wind Turbines*, 2nd ed. Springer, 2006, p. 783.
- [17] W. T. I. Derry T. K., *Historia de la Tecnología*. España: Vols. I, II y III., 1977.
- [18] "La potencia del viento: cubo de la velocidad del viento." [Online]. Available: http://www.motiva.fi/myllarin_tuulivoima/windpowerweb/es/tour/wres/enrspeed.htm. [Accessed: 19-Apr-2013].
- [19] E. X. Chafla Yambay and P. N. Sandoval Vizueté, "Estudio, Diseño E Implementación De Un Prototipo Para La Generación De Energía Eléctrica A Partir De La Energía Eólica Para Su Aprovechamiento En Viviendas De La Comunidad De Apagua Provincia De Cotopaxi," Escuela Politécnica Del Ejército, 2011.
- [20] M. Franquesa Voneschen, "Cómo empezar a intentar construir un sencillo generador eólico," *LA VERITAT (www.amics21.com)*, p. 18, 1989.
- [21] M. Franquesa, "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 (www.amics21.com)*, p. 13, 2008.
- [22] O. Pérez Valdés, "Clima principales características," 2012. [Online]. Available: <http://www.bvsde.paho.org/arquitectura/clase24/clase24.htm>. [Accessed: 22-Apr-2013].
- [23] C.S.M., "WEP Research Center Delf: Conclusiones climáticas," 2013. [Online]. Available: <http://csm-proyectos-7-esayt.blogspot.mx/2012/03/conclusiones-climaticas.html>. [Accessed: 22-Apr-2013].
- [24] bvsde.paho.org, "Clima y Bienestar: Comportamiento del viento," *Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud de la "Organización panamericana de la Salud,"* 2013. [Online]. Available: <http://www.bvsde.paho.org/sde/opsde/bvsde.shtml>.
- [25] L. Bandrich Orbea, "Diseño de la ventilación natural," 2013. [Online]. Available: <http://www.bvsde.paho.org/arquitectura/clase43/clase43.htm>. [Accessed: 22-Apr-2013].
- [26] G. L. Johnson, *Wind energy systems*. Manhattan, KS, 2006, p. 449.
- [27] R. Olfos Besnier, "Estudio de un sistema de generación de energía eólica para alcaldías de mar aisladas en la zona austral de Chile.," *Revismar*, no. 2/2010, pp. 171–181, 2010.
- [28] J. P. Higa, Aureliano - Langraf, Rodolfo - Prada, "Microturbinas eólicas para sistemas autónomos de abastecimiento eléctrico," *Metodología aplicada al Diseño Industrial - Cát. Galan*, p. 24.

- [29] J. A. Alfonso, "Viento en popa a toda eólica," *Energías Renovables*, vol. 22, no. Noviembre 2003, p. 56, 2003.
- [30] "WindBelt," 2013. [Online]. Available: <http://www.humdingwind.com/#/home/>. [Accessed: 29-Apr-2013].
- [31] K. W. Projet, "Wind Belt Kit," *Humdinger Wind Belt Kit*, 2013. [Online]. Available: www.kidwind.org.
- [32] "Energías renovables," McGraw Hill.
- [33] W. Son, "maquinas eólicas cargas, orientación y regulación," in *Maquinas eolicas*, p. 19.
- [34] I. A. per a la D. i l'Estudi de la N. AEDEN, "Energía: del ecopueblo a la comarca." España: IAEDEN, 2010, pp. 1–137.
- [35] A. latinoamericana de D. de la función calidad QFD, "Matemáticas para QFD: Matriz de relaciones." Asociación latinoamericana de Despliegue de la función calidad, 2012.
- [36] J. S. Cruz-ru and F. Tamayo-enr, "La Puntuación Ponderada Promedio de las Necesidades del Cliente como entrada crítica para el QFD," pp. 1–9.
- [37] F. Tamayo Enríquez and V. González Bosch, "¿Qué es el QFD? Descifrando el Despliegue de la Función de Calidad," *Asociación Latinoamericana de QFD*, pp. 1–3, 2003.
- [38] A. Trujillo Rivera, "Diseño de un Generador Eólico vertical de 1/2 kw para velocidades de 7m/s," Universidad Veracruzana, 2012.
- [39] Autodesk, "Autocad Mechanical 2013 Autodesk." USA, 2012.
- [40] Autodesk, "Falcon for Inventor Autodesk." USA, 2012.
- [41] Autodesk, "Inventor Profesional Autodesk 2013." USA, 2012.
- [42] A. B. Suma, "Wind Energy System," 2010.
- [43] Symscape, "Lenz2 Vertical Axis Wind Turbine." <http://www.symscape.com>, USA, 2013.
- [44] UCLM, "Energía Eólica," in *Curso de física ambiental*, 2011, p. 104.
- [45] R. Jannini, I. J. Gonzalez, and S. Mastrángelo, "Energía Eolica. Teoría y Características de Instalaciones," *Boletín Energético*, vol. 13, p. 54.

- [46] M. R. Stroup, "Vertical Axis Wind Turbine," US82326642009.
- [47] R. C. Cumings and D. J. Weisbrod, "Fluid Turbine Devices and Methods Related to Fluid Turbine Device," US7960852B22011.
- [48] R. Giorgini, "Wind Turbine Booster," US005852331A1998.
- [49] C. Angeles-Camacho and F. Bañuelos-Ruedas, "Incorporación de un modelo de generador eólico al análisis de flujos dinámicos de potencia," *Ingeniería, investigación y tecnología*, vol. 12, no. 3, pp. 311–320, 2011.
- [50] M. Deschamps and G. E. Thaxter, "Wind Turbine Assembly," US 20060032361A12006.
- [51] C. Clark, "Turbina Eólica Helioidal Cónica," US8226369B22012.
- [52] "Loopwing Co.," *Characteristics, Loopwing Co.,Ltd*, 2013. [Online]. Available: <http://www.loopwing.co.jp/en/01wind/01efficiency.html>. [Accessed: 19-May-2013].
- [53] R. Cochrane, "Vertical Axis Wind Turbines," US20110280708A12011.

VIII Anexo

Matriz de relaciones: Formato en blanco listo para edición			Parámetros de Diseño															
			Calificación ponderada actual	1	2	3	4	5	6	7	8	9						10
			73.0%	3.6%	1.2%	7.2%	3.6%	10.8%	21.5%	16.7%	9.6%	7.2%	18.7%					
Necesidad Superior	No	Necesidad del Cliente	Peso Ponderado	Potencia de salida	Eficiencia	Resistencia a rachás de viento	Velocidad de arranque 2m/s	Velocidad Nominal 6 m/s	Precio manufactura	Precios de materiales	Resistencia de materiales de alabes	Resistencia al medio ambiente	Equipo de generación económico	Eval de clientes	Peso Ponderado	Eval ponderada	Brecha absoluta ponderada	Brecha absoluta relativa
Potencia	AA	Satisfacer cargas de la vivienda rural	15.0%	3	1			9					9	100%	15.0%	15.0%	0.0%	0.0%
Costo	2	Bajo costo	15.0%						9	1			1	100%	15.0%	15.0%	0.0%	0.0%
Construcción	3	Facilidad de manufactura	15.0%							9				80%	15.0%	12.0%	3.0%	11.1%
Materiales	4	Resistencia	10.0%			9					9			50%	10.0%	5.0%	5.0%	18.5%
	5	Durabilidad	10.0%						3			9	3	50%	10.0%	5.0%	5.0%	18.5%
	6	Fiabilidad	10.0%						3				3	50%	10.0%	5.0%	5.0%	18.5%
Mantenimiento	7	Herramientas Estándar	5.0%							3				80%	5.0%	4.0%	1.0%	3.7%
	8	Facilidad de re-manufactura-reparación-	10.0%						3		3		1	80%	10.0%	8.0%	2.0%	7.4%
Comportamiento	9	Arranque a bajas velocidades	5.0%				9							40%	5.0%	2.0%	3.0%	11.1%
	10	Relaciones Genéricas	5.0%						9	9			3	40%	5.0%	2.0%	3.0%	11.1%
			100.0%															
			Peso ponderado OK	0.5	0.2	0.9	0.5	1.4	2.7	2.1	1.2	0.9	2.4	67.0%	100.0%	73.0%	27.0%	100.0%
			Métrico	watts	%	150 km / hrs	m/s	m/s	\$	\$	%	%	\$					
			Dirección de Mejora	Mayor es mejor	Mayor es mejor	Mayor es mejor	Menor es mejor	Menor es mejor	Menor es mejor	Menor es mejor	Mayor es mejor	Mayor es mejor	Menor es mejor					
			Nivel actual	400	30.00%	120 km / hrs	2 m / s	5 m / s	\$4,000.00	\$7,000.00	\$80.00	80.00%	\$1,300.00					
			Nivel competencia 1															
			Nivel competencia 2															
			Nivel competencia 3															
			Meta	500	30.00%	150 km / hrs	1 m / s	5 m / s	\$2,500.00	\$5,000.00	100.00%	100.00%	\$1,500.00					
			Dificultad	50.00%	20.00%	80.00%	50.00%	50.00%	80.00%	80.00%	80.00%	80.00%	0.00%					

Figura 43: QFD: Matriz de relaciones, definición de criterios cualitativos del producto.

Pareto de Necesidades de Cliente

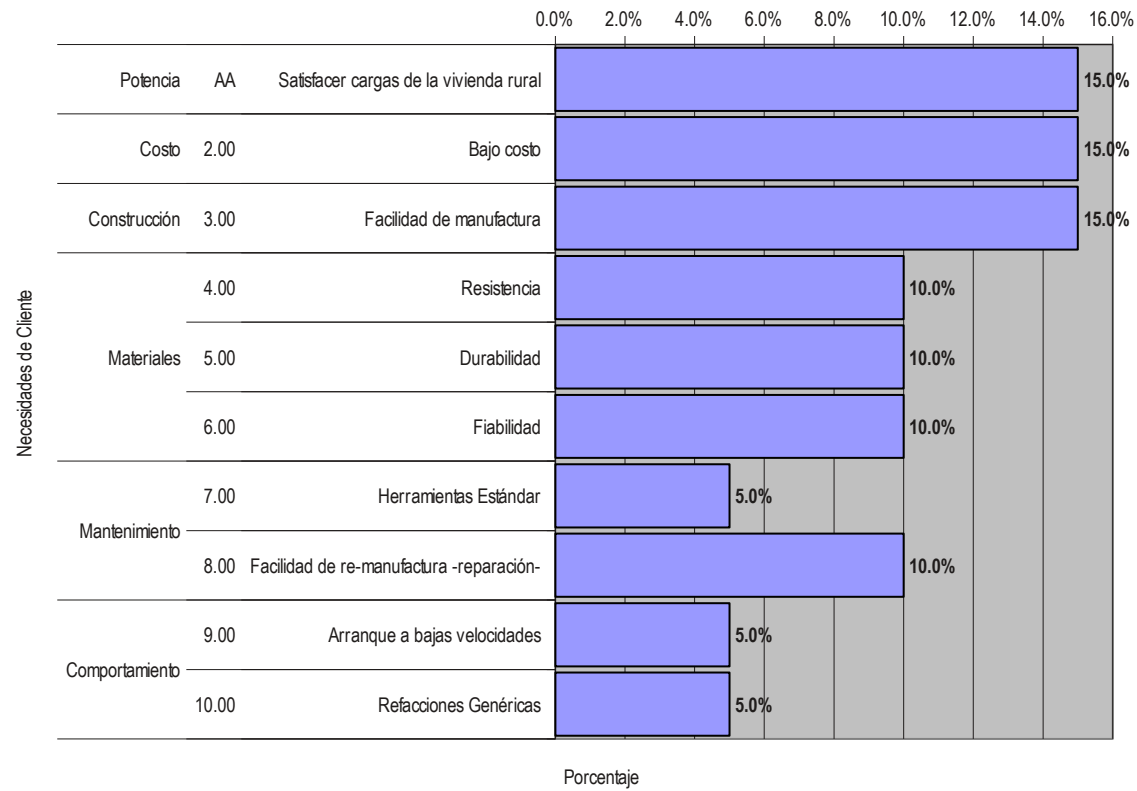


Figura 44: Criterios de Diseño en relación a los requerimientos de los clientes

Pareto de Necesidades de Cliente

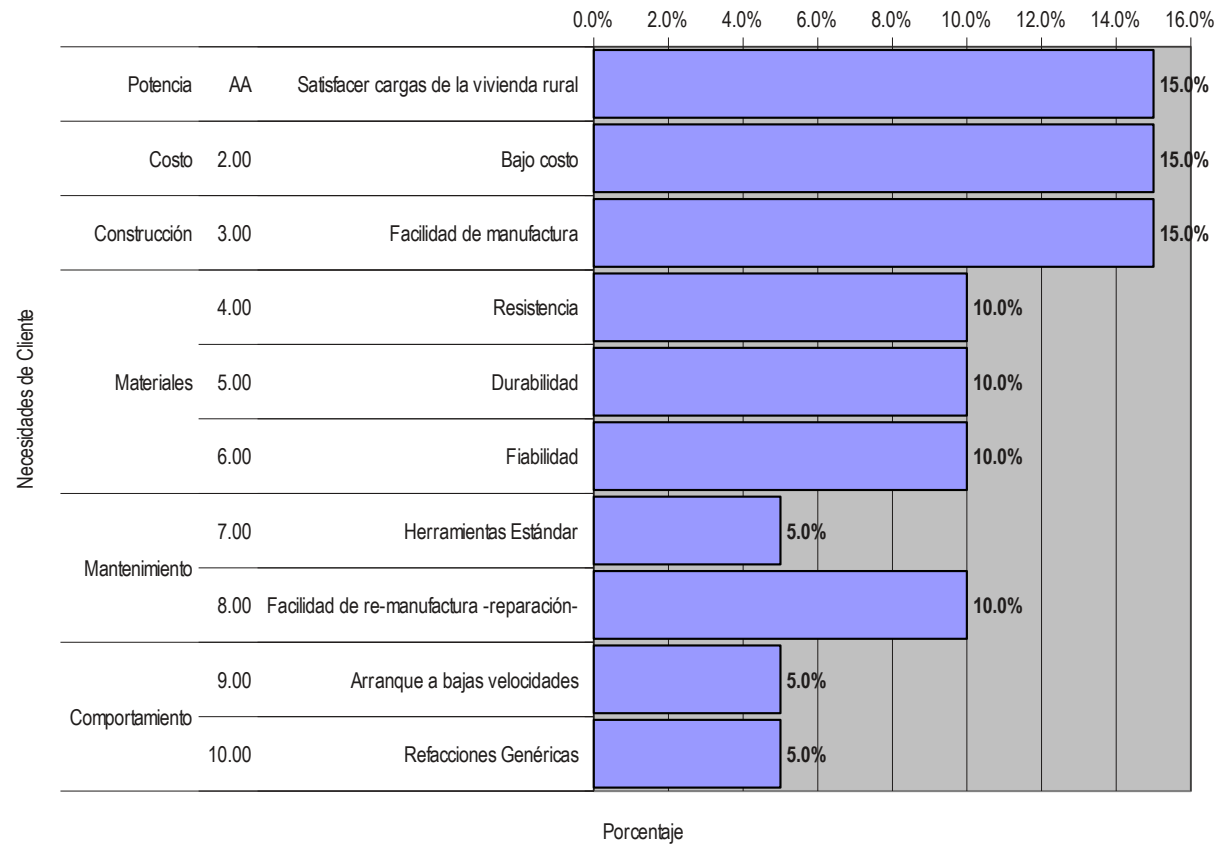


Figura 45: Necesidades de diseño del cliente

IX Índice alfabético

B	
Barcowm.....	32 s.
Betz.....	20, 29
C	
CONEVAL.....	3, 48
D	
Darrius.....	30, 33 s.
E	
Eólica.....	
Eólico.....	1, 8, 10 s., 13 s., 16 s., 23, 29 s., 32 ss., 38, 49 ss.
H	
HelixWind.....	1, 33, 40, 42, 47
L	
Lenz.....	1, 31, 34, 39
Loopwind.....	32
P	
Pobreza.....	1, 3 ss., 7, 46, 48
S	
Savonius.....	30, 33
T	
TSR.....	21
W	
WindBelt.....	33
Windmill.....	33