



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN**

**“Construcción de un aerogenerador y su implementación
en una comunidad rural”**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERA MECÁNICA ELECTRICISTA
P R E S E N T A:**

ELENA GUADALUPE MARTÍNEZ MORALES



**DIRECTORES DE TESIS:
Dr. ALEJANDRO C. RAMÍREZ REIVICH
Dr. JOSÉ LUIS VELÁZQUEZ ORTEGA**

2016



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

Probablemente lo más difícil de escribir en una tesis son los agradecimientos porque nunca sabes si has agradecido a todos los que han estado. Haré un intento para que a todos los alcance.

Comienzo por agradecer a mis padres Noemi y Doroteo, que con su apoyo, enseñanzas, comprensión y sobre todo su infinito amor, soy la mujer de hoy. De no ser por ellos no estaría yo aquí ya que han estado alentándome a cumplir todos mis objetivos por más difíciles que estos sean.

También agradezco a mis hermanos Nayeli y Luis, que a través de ellos he ido aprendiendo de sus conocimientos y errores, ustedes son mi ejemplo a seguir. Sobre todo a estar siempre unidos por amor sin importar nada.

Agradezco a Alan por haber sido una persona importante en mi vida personal y profesional, por haberse atrevido a compartir conmigo el amor y no negarse a ser parte de este proyecto. Porque aunque la vida nos lleve por distintos caminos, creemos que un mundo mejor es posible. Seamos utopía.

A Edrai y Charli, que con sus fuerzas y trazos se embarcaron junto conmigo en este proyecto. Son parte de mi vida y con ustedes he aprendido también que los amigos están siempre sin importar lo lejos o lo cerca que la vida nos ponga. Gracias por ser y estar.

A Juan quién me mostró el camino que ahora estoy dispuesta a seguir con gran pasión como he estado intentando hacerlo; le pido a este gran amigo que siga confiando en mí como lo hizo desde el primer día y así siga siendo un maestro más en mi vida.

A mis amigos Isabel, Emmanuel, Carlos, Carlos López Chucho, Arturo, Toño, Adrián y Álvaro con quienes pasé momentos inolvidables dentro y fuera de las aulas de clase, a todos ellos los voy a recordar por siempre, compartieron conmigo la mejor etapa de mi vida.

A la Representación Estudiantil de IME que me presentó a Kelvin, Ramiro, Daniel, Gustavo Chávez y Gustavo Ángeles, todos ellos grandes personas con quienes compartí la revolución, hasta ahora, más grande.

Al Dr. Alejandro Ramírez porque sin conocerme aceptó ser partícipe del proyecto y así dirigir esta tesis.

Al Dr. José Luis Velázquez que de igual forma creyó en mí cuando no tenía mucho tiempo por conocerme. Por su apoyo en tiempos difíciles.

Al Dr. Jorge Carrera que me ha mostrado una nueva visión de la enseñanza y la educación, un gran maestro que ha confiado plenamente en mí; que me ha enseñado a aceptar mis errores.

A la UNAM y a la FES Cuautitlán por abrirme sus puertas al conocimiento y ser mi segunda casa porque por ella soy la Universitaria de hoy y dónde quiera que me encuentre siempre pondré su nombre en alto.



Construcción de un aerogenerador y su implementación en una comunidad rural.

ÍNDICE

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN: ESTADO DEL ARTE	4
¿QUÉ ES LA ENERGÍA EÓLICA?	4
¿QUÉ ES UN AEROGENERADOR?	5
VENTAJAS Y DESVENTAJAS ENTRE AEROGENERADORES DE EJE HORIZONTAL Y VERTICAL.	6
AEROGENERADORES CASEROS.	8
PARTES DE UN AEROGENERADOR.	9
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
JUSTIFICACIÓN.	13
¿POR QUÉ CONSTRUIR UN AEROGENERADOR DE BAJA POTENCIA?	13
TURBINA EÓLICA (ÁLABES)	15
INTRODUCCIÓN	15
¿A QUÉ NOS ENFRENTAMOS?	16
CARACTERÍSTICAS DEL ROTOR.	18
MATERIALES Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS.	19
PROCEDIMIENTO Y CONSTRUCCIÓN.	19
ACOPLAMIENTO DE LOS ÁLABES.	25
GENERADOR	27
DATOS DEL GENERADOR.	27
MOTOR EMPLEADO.	27
TORRE, CIMENTACIÓN Y VELETA.	29
TORRE.	29
MATERIALES PARA LA TORRE.	30
CONSTRUCCIÓN DE LA TORRE	30
CIMENTACIÓN.	32
MATERIALES PARA LA CIMENTACIÓN.	32
PASOS PARA LA CIMENTACIÓN	32
VELETA.	36

<u>INSTALACIÓN</u>	<u>37</u>
INTRODUCCIÓN.	37
ENSAMBLE DE LOS COMPONENTES.	39
INSTALACIÓN ELÉCTRICA.	42
<u>PRUEBAS Y CONCLUSIONES.</u>	<u>43</u>
PRUEBAS	43
CONCLUSIONES	44
<u>REFERENCIAS</u>	<u>46</u>
<u>ANEXO 1</u>	<u>48</u>
<u>ANEXO 2</u>	<u>49</u>
<u>ANEXO 3</u>	<u>51</u>
<u>ANEXO 4</u>	<u>52</u>
<u>ANEXO 5</u>	<u>53</u>

RESUMEN

¿Qué es la energía eólica? Como bien sabemos, el recurso principal es el viento; pero te has preguntado ¿de dónde proviene o cómo se origina?

Pues como sabemos, la Tierra está rodeada de masas de aire, cuando sobre esta masa inciden los rayos del Sol y se calienta, lo hace en forma desigual y provoca diferencias de presión que el flujo de aire tiende a igualar y así el viento se comienza a originar.

La energía eólica se ha utilizado para diferentes fines a lo largo de la historia, nos ha permitido moler granos, bombear agua y ahora la utilizamos para generar electricidad. Y así como las tecnologías van sufriendo cambios, esta no es una excepción, ahora se puede aprovechar de mejor manera el viento, por lo que se aprovecha más y con mayor eficiencia. Al día de hoy, la energía eólica ha tenido un crecimiento rápido en todo el mundo.

Debemos de recordar que las energías renovables son de suma importancia para luchar contra el cambio climático y tecnologías, como la eólica, nos pueden ayudar a construir un futuro sostenible en la generación de energía.

La responsabilidad de un ingeniero con su país y con el medio ambiente es crear o desarrollar proyectos para la disminución de contaminantes que afectan directamente a la atmósfera y más importante, beneficiar directamente a las familias que no tienen el acceso a la energía eléctrica de una manera amigable con el planeta.

Generalmente, las comunidades rurales son las zonas que no tienen energía eléctrica y en algunas de ellas se presenta mucho viento; estos lugares son los principales puntos en los que empresas internacionales ubican sus proyectos para así implementar este tipo de tecnologías, las llamadas “limpias” o “verdes”; sin embargo lo consolidan en parques eólicos.

Plantear la construcción e implementación de un aerogenerador en una zona rural del país es solo, el principio para dar acceso a la población al gozo de energía eléctrica a bajo costo: con materiales fáciles de conseguir en cualquier parte del país, un diseño cómodo de instalar y, sobre todo, se dé un mantenimiento ecológico. Por ello en esta tesis, se busca construir un

aerogenerador tri-pala con un perfil de álabe E-387 y lograr generar electricidad, y así las personas puedan reproducirlo de una manera sencilla.

Se propone su instalación en Vaquerías, Jalisco, porque existen las condiciones necesarias para su funcionamiento, es decir, hay buenas corrientes de viento.

Cabe mencionar que el lugar dónde implementamos esta tesis, cuenta con acceso a la red eléctrica pública, además de que recientemente fue construido un parque eólico en los ejidos de la comunidad, pero éste no alimenta de energía eléctrica a la comunidad. (Aunque el proyecto no se descarta la posibilidad de llevarlo a comunidades en las que no se tenga acceso a la red pública.)

Durante la construcción del aerogenerador, pasamos por diversas dificultades en el diseño, especialmente durante su instalación ya que el primer modelo que se propuso no resistió la fuerza con que las aspas se movían.

En el primer capítulo de esta tesis nos adentramos al estado del arte y planteamos nuestro principal problema y hablamos sobre porqué lo realizamos. Mencionamos los parques eólicos que hay en México y la cantidad de energía eléctrica que como país producimos a través de la eólica. También abordamos las razones por las cuáles construimos este aerogenerador.

Mientras tanto, en el segundo capítulo, hablamos sobre la turbina eólica y cuál fue la metodología que seguimos para su construcción. Después, en el tercer capítulo, damos una breve introducción sobre los motores- generadores ya que en esta tesis ocupamos uno porque nos resultó de menor costo.

Para nuestro cuarto capítulo hablamos sobre la torre de celosía que se fabricó, decimos qué materiales se utilizaron y cómo se izó. También se explica sobre la veleta, de igual forma una introducción y cómo fue que se construyó la que se ocupa en este proyecto.

Durante el capítulo cinco, explicamos la cimentación que se fabricó para mantener la torre de pie y cómo se fijó al momento de izarla; así como también se explica la instalación del aerogenerador y cuáles son los materiales y herramientas faltantes.

Finalizamos con el capítulo seis, en el que exponemos las pruebas que se hicieron del aerogenerador y las conclusiones en cuanto al diseño del proyecto, si es viable o no lo que se propone.

Las dificultades que se presentaron a lo largo de su manufactura y cómo se solucionaron, se señalarán a lo largo de la tesis. En los anexos podemos encontrar tanto los planos de los álabes, la torre y veleta así como las herramientas y materiales empleados para su construcción e instalación.

INTRODUCCIÓN: ESTADO DEL ARTE

¿Qué es la energía eólica?

De la energía solar que llega a la Tierra, aproximadamente solo un 2% se transforma en energía eólica. Cuando los rayos del Sol inciden sobre las masas de aire que rodean la Tierra, al producir el calentamiento se provocan diferencias de presión que el flujo de aire tiende a igualar y así es como el viento se origina.



Imagen 1. Recurso de internet.

La energía cinética que se obtiene de las corrientes de viento, es la llamada energía eólica. Para aprovechar esta energía renovable, se convierte en energía mecánica por medio de un aerogenerador, pero tiene su proceso.

Los beneficios de esta energía son bastantes ya que es renovable, limpia (no contamina) e inagotable y sobre todo que reduce el uso de combustibles fósiles que se sabe son las principales causas de los GEI que causan el calentamiento global. Producir energía eléctrica por medio de la eólica, si se usa de forma eficiente, contribuye al desarrollo sustentable.

A lo largo de los tiempos se ha utilizado la energía eólica para transporte marítimo, molienda de granos, bombeo de agua, etc. También se ha generado electricidad, solo que ahora a mayor escala; esta tecnología ha sufrido cambios porque ahora se produce con más eficiencia. Al día de hoy, la energía eólica ha tenido un crecimiento rápido en todo el mundo.

En México, actualmente, el 1.82% de viviendas habitadas no disponen de energía eléctrica y de los 155,585 miles de millones de watts/hora que se produjeron en el 2010, 76.5% se

produjeron en centrales termoeléctricas 23.4% en hidroeléctricas y apenas un 0.1% en parques eólicos, según datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en 2012. Como se puede apreciar, el uso de energías alternativas en México, es muy bajo, si nos enfocamos solo en la producción de energía eléctrica por medio de generadores eólicos, tenemos que, según la Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE):

- En 2013, estuvieron operando 2 551 MW
- Se espera que para 2020-2022 estén operando 15 000 MW
- Hay 31 parques eólicos en funcionamiento
- 1 570 aerogeneradores están operando
- 40% de la meta nacional de energías renovables dependen de la energía eólica
- Se han destinado 5 100 millones de dólares (US) en la inversión para el desarrollo de proyectos eólicos desde el 2004.
- Hasta 2011 se produjeron 466 000 000 000 KW/h a nivel mundial por energía eólica.

¿Qué es un aerogenerador?

Un aerogenerador es una máquina que se encarga de transformar la energía cinética del viento a energía eléctrica. Esta transformación se da por medio un generador eléctrico al que por medio de un eje se le hace girar gracias a la energía mecánica que se transmite por medio de las aspas o álabes en energía mecánica para finalmente y a través del eje del generador, se convierta a energía eléctrica. Fundamentalmente, hay dos tipos de aerogeneradores:

- Eje horizontal

Los modelos de eje horizontal son los más usados ya que son los que funcionan con una tecnología más revisada y probada por lo que podemos decir que son, en la mayoría de los casos, algo más confiables.

Tiene una mayor eficiencia energética y alcanzan mayores velocidades de rotación por lo que necesitan cajas de engranaje con menor relación de multiplicación de giro y por situarlos en torres elevadas, aprovechan el aumento de la velocidad del viento.

Estos aerogeneradores se subdividen por el número de palas que tienen o por la orientación respecto a la dirección del viento. Entre los eolo generadores horizontales, por mencionar algunos, tenemos:

- Por el número de palas: monopala, bipala, tripala o multipala,

- Eje vertical

Los modelos verticales tienen menor producción energética comparada con los horizontales. Estos modelos no necesitan de un mecanismo de orientación ya que siempre reciben el viento de forma óptima, funcionan a más bajas revoluciones y además el radio de giro de sus palas es más pequeño.

Los podemos clasificar como:

- Savonius
- Darrieus
- Windside
- Giromill

Ventajas y desventajas entre aerogeneradores de eje horizontal y vertical.

- Los aerogeneradores de eje horizontal por lo general tienen un rendimiento más elevado que los de eje vertical, aunque las diferencias entre ellos son mínimas.
- Los aerogeneradores de eje vertical se pueden situar justo encima del suelo evitando tener que poner grandes mástiles, lo que es una ventaja, pero esto también provoca la desventaja de que la velocidad del viento a baja altura siempre es menor, y por tanto la generación de electricidad también es menor.
- Los aerogeneradores de eje vertical pueden aprovechar mucho mejor el viento racheado y con turbulencias, y no precisan de sistema de orientación, ya que normalmente están diseñados para captar el viento de cualquier parte.

- Los aerogeneradores de eje vertical normalmente tienen un aspecto visual de menor impacto (aunque eso es un poco subjetivo), y sus palas son menos peligrosas para las aves que las de los aerogeneradores de eje horizontal.
- Actualmente los aerogeneradores de eje vertical son de coste más elevado y más difíciles de encontrar.

Se le llama o denomina parque eólico al conjunto de aerogeneradores, subestación, caminos, conductores de electricidad y demás instalaciones que hacen posible la generación de electricidad por medio la energía cinética del viento.

El número de aerogeneradores en un parque eólico es variable y depende del área donde se situará o del viento disponible en el lugar. Antes de elegir la ubicación del parque eólico, se hace un estudio del viento con duración mínima de un año.

En México, con datos de la AMDEE, en el país hay 31 parques eólicos en operación, están situados en Baja California, Chiapas, Jalisco, Nuevo León, Oaxaca y Tamaulipas. En Oaxaca, Oaxaca, están situados la gran mayoría de estos parques eólicos, con un total de 20 parques que generan 1 795.47 MW, algunos de estos son para autoabastecimiento y algunos otros para el abastecimiento público

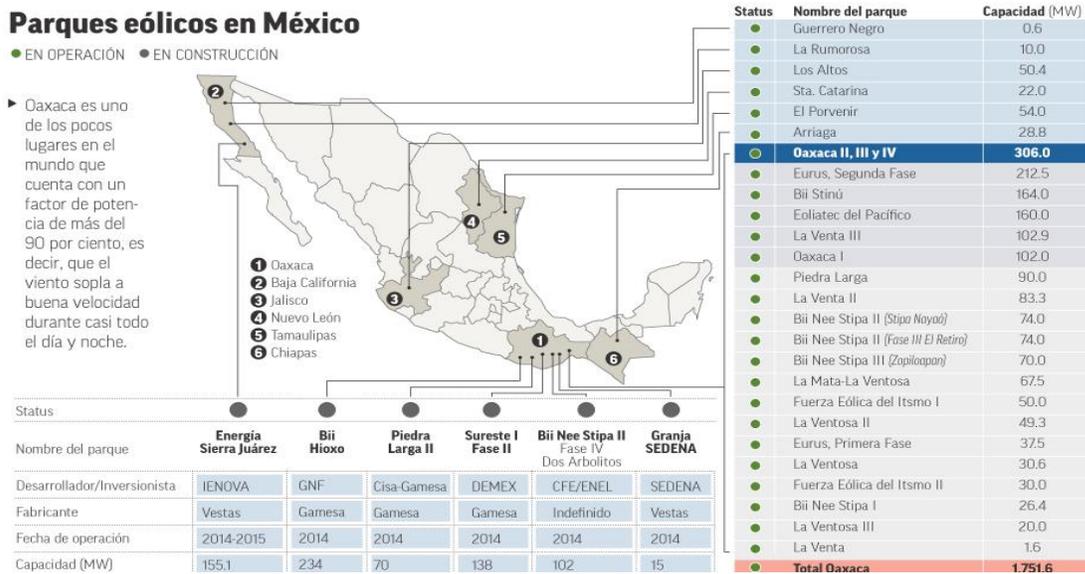


Ilustración 1 Fuente: El Financiero. 2013. Recuperado de <http://www.elfinanciero.com.mx/pages/parques-eolicos-en-mexico.html>

Aerogeneradores caseros.

Los aerogeneradores caseros o también llamados turbinas micro-eólicas, son aquellos que tienen una potencia menor a los 100 kW. Estas micro-turbinas, son muy parecidas a las grandes turbinas que se instalan en los parques eólicos pero tecnológicamente son diferentes.

Las turbinas micro-eólicas están dirigidas a mercados muy específicos, generalmente son para auto consumo en una casa. Es una tecnología muy versátil ya que se instalan con menos dificultades en comparación con los grandes aerogeneradores.

Estos generadores de baja potencia se encuentran en un sistema aislado, es decir, no están conectados a la red eléctrica y generalmente se encuentran en comunidades rurales para cubrir ciertas necesidades que van desde el bombeo de agua hasta la iluminación de una casa.

Estas máquinas suelen generar electricidad en corriente alterna por lo que disponen de un motor trifásico y suele almacenarse la energía generada en baterías para después convertir su energía en corriente continua mediante un inversor de corriente.

Por el creciente problema energético en el mundo, la demanda de esta tecnología también ha ido creciendo. Y es que las ventajas de estos aerogeneradores sobre los de gran potencia son mayores que las desventajas ya que por tener un tamaño pequeño, ocupan lugares reducidos y son poco visibles. Por lo que se han visto como una solución real a la problemática energética y sobre todo por el cambio climático actual.

Actualmente, en México, no hay algún proyecto que se quiera implementar en alguna comunidad rural aunque en las Universidades si se trabaja en distintos diseños de aerogeneradores caseros. Comparado con Perú, donde en 2008 se inauguró el primer sistema colectivo de aerogeneración a pequeña escala para electrificación rural y fueron 35 familias las beneficiadas.

Partes de un aerogenerador.

Es importante ubicar cada parte de los aerogeneradores, por eso en la siguiente imagen señalamos sus componentes.



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El abastecimiento de energía eléctrica en el mundo es por medio de combustibles fósiles (petróleo, gas natural y carbón), la quema de estos combustibles emite 55% del total de CO₂ a nivel mundial por lo que se han ido buscando alternativas para ello.

- Objetivo:

Producir energía eléctrica por medio de un generador eólico e implementarlo en la comunidad de Vaquerías municipio de Ojuelos de Jalisco, Jalisco para la comodidad, economía y bienestar de la comunidad.

Para esta tesis el problema en concreto es producir energía eléctrica. Para resolver este problema, decidimos construir un aerogenerador ya que en la comunidad donde se implementó tenemos corrientes de viento de entre 19 km/h y 36 km/h, y así aprovechar estas corrientes para poder producir energía eléctrica.

La generación de energía eléctrica es primordial a nivel mundial, nosotros nos concentramos en generarla a pequeña escala y por el momento en este proyecto, la producimos para encender tres lámparas reflectoras de 50 W cada una.

Buscamos que los materiales utilizados en este proyecto sean fáciles de adquirir y de bajo costo para que sea competitivo con los modelos que hay en el mercado. El costo aproximado para este aerogenerador es de \$6, 000, incluye álabes, generador, torre, regulador, batería e inversor; mientras que los generadores eólicos que hay en el mercado tiene un costo mínimo de \$7,000 pero solo es el generador, la torre y las aspas.

Aunque se debe resaltar que lo costoso de este proyecto fue el inversor de corriente. Para poder alimentar toda una casa, se necesita un inversor de aproximadamente 2 000W y éste tiene un costo aproximado de \$8,000.

Tomando en consideración lo antes mencionado e incluyendo lo encontrado y analizado en proyectos similares, libros, artículos y clases de la Universidad en materias como Turbo maquinaria, Mecánica de fluidos, Termodinámica, Máquinas eléctricas y Diseño mecánico; comenzamos a diseñar la estructura y material que se utilizaría.

En clase de Termodinámicas con el M.I. José Gpe. Ramos Anastasio vimos la 1ra. Ley de la Termodinámica para sistemas abierto de la que para esta tesis obtuvimos el diámetro gracias a la ecuación:

$$\dot{m}(\Delta h + \Delta E_c + \Delta E_p) = \dot{Q} - \dot{W}_f$$

O el Ingeniero Sánchez Gutiérrez quien gracias a las clases de Turbomaquinaria y Mecánica de Fluidos, logramos entender un poco más sobre el funcionamiento de los aerogeneradores y combinado con la clase de Diseño Mecánico, pudimos tener una idea más claro sobre cómo diseñar los álabes.

Con esto, optamos por fabricar los álabes de madera y hacer una torre triangular de celosía por ser más barata en material a utilizar; cuando llegamos a los costos que implicaban al hacer un generador con imanes permanentes, no percatamos que era más barato comprar un motor –generador.

Durante la construcción del aerogenerador, pasamos por diversas dificultades en el diseño, especialmente durante su instalación ya que el primer modelo que se propuso no resistió la fuerza con que las aspas se movían.

Este primer diseño era en forma de ‘L’, pero invertida; sobre esta estructura se sujetaba el generador y los álabes, que estaban directamente acoplados al eje del generador incluyendo la veleta. Cuando se tuvo preparado para su instalación, nos dimos cuenta que era muy pesado para subirlo y eso complicaba su instalación, sobre todo cuando se está a seis metros de altura.

Al término de la instalación de este primero diseño, se puso en funcionamiento y descubrimos que la estructura era demasiado débil ya que no soporto la fuerza ejercida por la velocidad del viento y llegó un momento en que colapsó.

Es fundamental decir que no fue ni un momento grato y menos una etapa fácil de superar en el proyecto ya que al colapsar el aerogenerador, las aspas se dañaron y la estructura dónde estaba sentado el generador se destrozó totalmente.

Nuestro primer movimiento fue ascender nuevamente a la torre para proceder a su desinstalación ya que las piezas colgaban y en algún momento podía ocasionar algún accidente.

Cuando vimos que las aspas estaban destruidas en algunos puntos, las reparamos con polvo que obtuvimos cuando las fabricamos. Este polvo lo mezclamos con pegamento líquido para madera y tapamos cada hoy generado por el colapso.

Al secarse el pegamento, comenzamos a lijar el álabe, procurando dejar nuevamente el acabado que teníamos y sobre todo no perjudicar el perfil aerodinámico. Aplicamos después el tratamiento para la madera que está a la intemperie y así nuestras aspas quedaron de nuevo listas para instalarse.

Al ver los daños ocasionados en la primera prueba, nos percatamos que no era un buen diseño así que decidimos cambiarlo por el diseño presentado en esta tesis.

Decidimos prescindir de la estructura en 'L' acoplando el generador sobre la maza automotriz que es la pieza que nos permite el movimiento sobre el eje vertical; con esta modificación logramos una mayor resistencia a las fuerzas ejercidas por el viento.

A lo largo de esta tesis se explicará cómo se manufacturó cada pieza y su ensamble. El futuro de este proyecto es abastecer de electricidad toda una casa para poderla hacer autosuficiente pero sobre todo hacerlo más eficiente y con un costo aún más bajo.

JUSTIFICACIÓN.

¿Por qué construir un aerogenerador de baja potencia?

Los aerogeneradores de baja potencia también llamados “caseros” o “pequeños”, tienen una potencia de entre 50 W y 100kW; estas turbinas eólicas pueden generar la energía eléctrica suficiente para alimentar una casa y pueden estar conectadas a la red eléctrica pública; o bien no estarlo y a esto le llamamos sistema aislado. Generalmente, cuando es un sistema aislado, se utiliza para cargar baterías y poder almacenar la energía eléctrica, ya sea alterna o directa.



Fuente: Propia. 2012. Parque eólico “Los Altos”

Como ingeniera, considero que es mejor construir un aerogenerador casero puesto que el lugar dónde se implementa ya está afectado por la construcción realizada en el predio, así que no se afectaría más la flora y fauna del lugar, incluso podría ser amigable con ella.

Una razón más de implementar un aerogenerador casero es que al dar mantenimiento, no se derrama aceite o algún otro material necesario, y así no se afecta el suelo.

Además, si es necesario cambiar alguna pieza del aerogenerador casero, que en este caso, podrían ser las aspas (ya que son las más propensas a dañarse por ser de madera), se buscaría

una forma de reciclaje amigable con la naturaleza para así hacer lo más ecológico posible este proyecto.

Hablamos de que los aerogeneradores caseros pueden ser una tecnología más limpia en comparación con los aerogeneradores industriales, prueba de ello es que en el reporte presentado por la Secretaría de Gobernación (SEGOB) en el 2013, llamado ‘Comisión para el diálogo con los pueblos indígenas de México’, se señala que los estudios necesarios para la viabilidad, tanto económica como ecológicamente, para aprobar la construcción de un parque eólico, ignoran la complejidad y los riesgos que se tienen en el uso de estas emergentes tecnologías.

Con estos estudios, se define la viabilidad de los parques eólicos tomando en cuenta las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que se pueden reducir con la energía eólica y la cantidad de energía eléctrica que se puede llegar a producir. Por lo que, los expertos piensan que los beneficios reales y potenciales de la producción de energía eléctrica mediante la energía eólica pueden ser menores a los estimados.

A pesar de que son estudios necesarios, no son suficientes para ejercer una buena valoración sobre los riesgos e implicaciones de la producción de energía eléctrica a grandes escalas mediante la eólica; en los mismos proponen medidas para mitigar los daños y las basan en la aplicación mecánica de normas jurídicas o en programas de reforestación, pero a decir verdad, éstas se ven rebasadas por los verdaderos impactos.

Como impactos principales, destacan: el conflicto por la propiedad de la tierra dónde se ubica el recurso eólico, la degradación de la calidad del paisaje, la pérdida de biodiversidad, la generación de ruido mecánico y aerodinámico, afectaciones en el suelo y agua, entre otros.

El problema central de los parques eólicos son las afectaciones reales que son subestimadas, ignoradas o incluso las desconocen quienes promueven estas tecnologías. No se descarta que los aerogeneradores caseros tengan impactos negativos, a pesar de que no hay estudios al respecto pero en el caso de este proyecto, podemos afirmar que no hay contaminación del suelo por aceite o que se dañó la ecología en el lugar.

TURBINA EÓLICA (ÁLABES)

Introducción

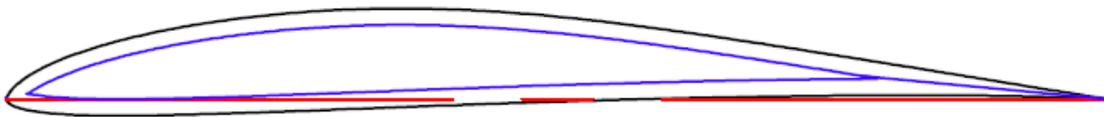
El elemento principal de un aerogenerador, son sus álabes (palas o hélices) ya que estos son los que permiten la transformación de energía eólica a mecánica por medio del eje del rotor para que finalmente y gracias al generador, consiga su conversión a energía eléctrica.

Escoger un buen perfil aerodinámico es parte importante del proyecto, ya que con él se define el buen funcionamiento del rotor, para esto, se encontró un artículo llamado “Análisis del comportamiento aerodinámico de perfiles empleados en aerogeneradores de baja potencia”, en el que se analizan varios perfiles para rotores de baja potencia.

En el artículo se toman en cuenta varios factores, como son:

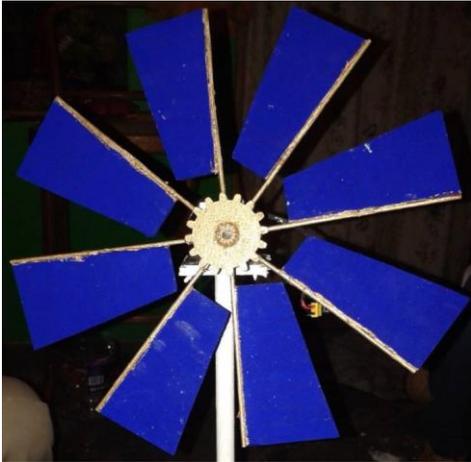
- Alto valor en la relación existente entre el cociente del coeficiente de sustentación y arrastre C_l/C_d , ya que esto permite que el coeficiente de potencia aumente y a su vez el radio de la turbina disminuya.
- Angulo de ataque α , con un intervalo amplio de valores para los cuales el perfil tenga un número de Reynolds mayor a 500.000.

En conclusión, nos dicen que el perfil aerodinámico E-387 es el más indicado para utilizar en los rotores de baja potencia de acuerdo al análisis, criterios, consideraciones y comparaciones que se hicieron con otros perfiles.



Perfil aerodinámico E-387
La cuerda se encuentra señalada con
color rojo.

¿A qué nos enfrentamos?



Fotografía 1. Álabes de madera balsa.

De primera instancia y para saber a qué nos habríamos de afrontar, se construyó un aerogenerador multi pala en miniatura.

Los materiales que utilizamos son:

- Madera balsa para los álabes
- Palillos de bambú.
- Llanta de silla para oficina
- Motor juguete
- Juego de engranes
- Madera para la torre.

Está conformado de 8 palas que están hechas de madera balsa por ser la más ligera, el rotor tiene un diámetro de 28.5 cm. Cada pala tiene las siguientes medidas: 6cmx10cmx3cmx11.6cm. (Fotografía 1).



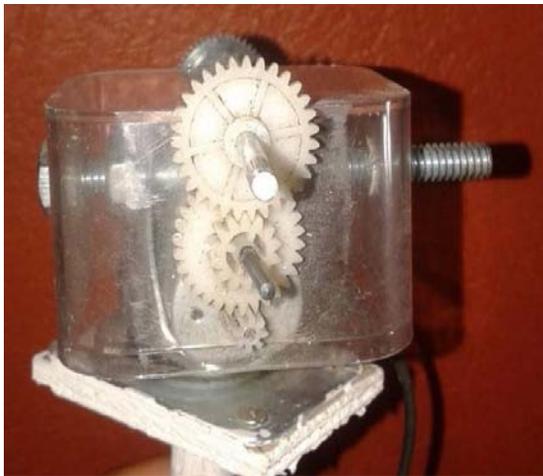
Fotografía 2. Acoplamiento con la llanta para silla.

Improvisando, el motor-generator se montó sobre la una llanta para silla, como se puede apreciar en las imágenes (Fotografía 2). Esto para darle el movimiento horizontal sobre el eje de la torre.

Se construyó una base o torre de madera de 10x10 cm y 15 cm de altura, tratando de simular la torre que se construyó a gran escala. El rotor y generador se montó sobre un palo de madera de 20 cm de altura y 1.5 cm de diámetro, quedando montados como se muestra en la Fotografía 3.

La finalidad de este generador es encender un foco LED.

Se hicieron pruebas utilizando una aspiradora como simulador del viento para saber si funcionaba pero al principio se tuvo problemas con el encendido del foco ya que el motor-generador no alcanzaba las revoluciones necesarias para que el foco pudiese iluminar.



Fotografía 4. Juego de engranes.

La solución que se le dio fue construir un juego de engranes para aumentar las revoluciones, el resultado fue positivo. (Fotografía 4.)

Cuando se acopló el juego de engranes, se hicieron nuevamente las pruebas para comprobar si con el juego de engranes se podía encender el LED. Favorablemente si fue la solución correcta.

A pesar de que se contruyó un mini aerogenerador, se tuvieron dificultades, lo que nos llevó a darnos cuenta que los problemas a los que nos enfrentaríamos podrían ser similares y era necesario entender muy bien lo que podía pasar para darle una solución acertada.



Fotografía 3. Aerogenerador acoplado a la torre de madera.

Puedo recomendar que antes de construir el aerogenerador de baja potencia, se construya un mini aerogenerador para tener la experiencia de lo que se podría afrontar. Concluyendo esta etapa del diseño, comenzamos a construir el aerogenerador que se colocaría en Vaquerías.

Características del rotor.

- ❖ Lo acoplamos directamente al eje del motor-generator por medio de un buje.
- ❖ Está compuesto de tres álabes aerodinámicos.
- ❖ Cada pala está manufacturada con madera de pino.
- ❖ Se utilizó el perfil aerodinámico E-387.
- ❖ Dos metros de diámetro.



Fotografía 5. Álabes.

Cabe resaltar que todo lo utilizado para este proyecto, tanto los materiales como las herramientas se pueden conseguir fácilmente en cualquier lugar dónde se vaya a realizar el proyecto aunque también es importante decir que los precios pueden variar de lugar en lugar.

Materiales y herramientas utilizadas.

Materiales:

- ❖ Madera de pino de primera
- ❖ Placas de metal
- ❖ Tinta y barniz para madera en intemperie.
- ❖ Buje
- ❖ Tornillos, tuercas y rondanas.

Las placas se cortan según los álabes ya que son para su unión y el buje va de acuerdo al eje del generador.

Herramientas:

- ❖ Formones de ½", ¾" y 1"
- ❖ Martillo
- ❖ Escofina de media caña
- ❖ Serrucho
- ❖ Cepillo para madera
- ❖ Escochebre curvo
- ❖ Lijas #80, #120, #180 y #400
- ❖ Lijadora de banda
- ❖ Flexómetro
- ❖ Prensas tipo sargento
- ❖ Opresores
- ❖ Taladro
- ❖ Broca para metal
- ❖ Broca para madera

Procedimiento y construcción.

Para la construcción de los álabes, utilizamos madera de pino de 1ra. calidad, es decir, no tiene nudos, astillas u hongos y se puede conseguir en cualquier maderería en el país. Comenzamos con trazar la forma del álabe.

Para saber cuál es el largo de los álabes que necesitábamos, utilizamos la siguiente ecuación:

$$\dot{m}(\Delta h + \Delta E_c + \Delta E_p) = \dot{Q} - \dot{W}_f \quad (1)$$

Dónde:

\dot{m} – gasto o flujo másico

Δh – diferencia de alturas

$$E_c = \left(\frac{V_2^2 - V_1^2}{2} \right) - \text{energía cinética}$$

E_p – energía potencial

\dot{Q} – calor

\dot{W}_f – potencia de flecha

Como la entrada y salida están al mismo nivel, tenemos que $\Delta E_p = 0$, $\Delta h = 0$ y $Q = 0$, obtenemos la siguiente ecuación:

$$\dot{m} \left(\frac{V_2^2 - V_1^2}{2} \right) = -\dot{W}_f \quad (2)$$

Como $\dot{m} = AV\rho$:

$$AV\rho \left(\frac{V_2^2 - V_1^2}{2} \right) = -\dot{W}_f \quad (3)$$

Y $A = \frac{\pi(d^2)}{4}$, sustituimos:

$$-\dot{W}_f = \rho \left(\frac{\pi(d^2)}{4} \right) \left(\frac{V_2^3 - V_1^3}{2} \right) \quad (4)$$

Despejando el diámetro, ya que es lo que buscamos, obtenemos que:

$$d = \sqrt{\frac{4(-\dot{W}_f)}{\pi\rho \left(\frac{V_2^3 - V_1^3}{2} \right)}} \quad (5)$$

Teniendo como datos:

$$V_1 = 6.38 \frac{m}{s}$$

$$V_2 = 2.5 \frac{m}{s}$$

$$\rho = 1.2 \frac{kg}{m^3}$$

$$W_f = 500W$$

Sustituimos en la ecuación (5) y obtenemos que:

$$d = 2.08 \text{ m}$$

Una vez que obtuvimos el diámetro, procedimos a trazar en las maderas, las respectivas líneas que le darían forma a los álabes como ilustramos en la Figura 1. Para consultar todas la líneas que se marcaron, consultar **Anexo 1**.

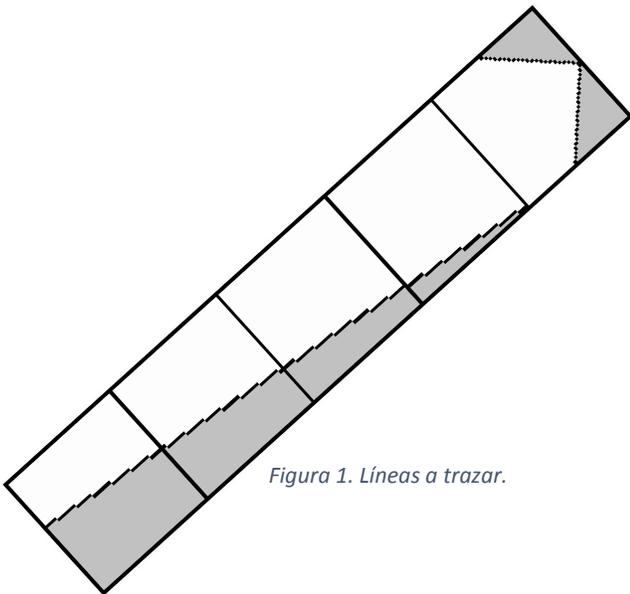


Figura 1. Líneas a trazar.



Fotografía 6. Trazando las líneas.

Las tablas se dividen en cinco secciones para que sea más fácil de trabajar la madera, incluso para que el perfil aerodinámico sea más exacto, se pueden dividir en más tramos. Y para cada sección, la cuerda es diferente, en esta parte del proyecto nos ayudamos del programa TraCFoil®.

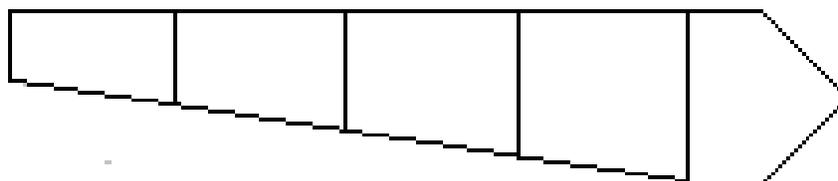
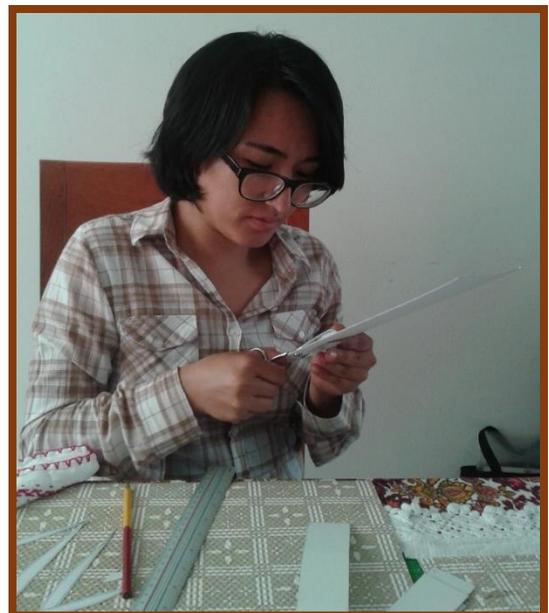


Figura 2. Forma de la tabla ya cortada.

En la siguiente tabla se muestran las longitudes de la cuerda para cada tramo:

Tramo	Cuerda (cm)
0	10
1	12.3
2	14.1
3	16.2
4	19.5

Antes de comenzar a tallar la madera, hicimos plantillas con el perfil en sus diferentes cuerdas. Cada una está hecha en cartón para que tuviese mayor resistencia. Estas plantillas se hicieron para poder ir midiendo que el perfil fuese el mismo y no perdiese la forma a lo largo de la madera y con forme se iba tallando.



Fotografías 7 y 8. Haciendo las plantillas.

Una vez hechas las platillas, los trazos y cortes respectivos para cada álabe, procedimos a tallar la madera.

Los tramos más grandes de madera desvasada, se cortaron en profundidad con el serrucho (o arco con segueta) y se fueron botando con el martillo y los formones. Al hacer eso, la madera queda astillada y hay que tener bastante precaución.

Para remover las astillas y comenzar a detallar utilizamos la escofina, el escochebre o el cepillo para madera, según se acomode la persona. A lo largo de cada álabe se removió la madera que se indica en la Figura 3.



Figura 3. Área a remover en color beige.



Fotografías 9 y 10. Uso del serrucho y el formón, respectivamente.

Después devastar la mayor parte de la madera pero sin llegar a tocar las líneas trazadas, se comenzaron a pasar las lijas para ir puliendo la madera y fuesen desapareciendo las líneas que van quedando. Entre las líneas que marcamos y la madera a remover, dejamos aproximadamente 2 mm de espesor.

Se decidió dejar espesor entre la línea a la que se quería llegar porque para pasarle la lijadora de banda y ésta le dejase un buen acabado, es decir, se pulió la madera.



Fotografía 11. Uso de la lijadora de banda.

Cuando tuvimos los álabes listos y como es madera, decidimos darle un poco de color y las entintamos con tinta para madera pero como estarán los álabes a la intemperie, utilizamos tinte y barniz para intemperie. Con estos productos se le debe de dar mantenimiento cada 5 años a los álabes para que el Sol y la lluvia no dañen la madera y el tiempo de vida de los álabes sea mayor. Los productos se pueden conseguir en cualquier lugar de pinturas en el país.



Fotografía 12. Tinte y barnizado de los álabes.

El barniz que se aplicó a la madera fue laborioso de usar ya que se debía dejar secar por ocho horas y por lo menos dos capas barnizar dos veces la madera. Nosotros aplicamos tres capas a cada álabe.

Acoplamiento de los álabes.

Una vez terminados los álabes, procedemos a unirlos mediante dos placas de metal. A la placa trasera se le unió mediante soldadura el buje que se maquinó. **Anexo 3.**

Todo el metal que se utilizó: se limpió de óxido, aplicamos pintura “primario” y por último la pintura del color que más guste, en este caso azul y oro.

Sobre una superficie plana, se juntaron los álabes y sobre ellos se colocó la placa delantera. Esta placa la utilizamos como plantilla para poder perforar los álabes y que los huecos quedasen a la misma altura que las placas. Es importante mencionar que las placas fueron perforadas previamente.

La perforación de las placas fue sumamente sencilla, primero las sujetamos con una pinza de presión antes de soldar el buje a la placa trasera y comenzamos a taladrar.



Fotografía 13. Perforación de los álabes.

Probablemente si no se presta mucha atención al momento de hacer las perforaciones, podemos tener problemas en que coincidan los agujeros. Una recomendación que debemos hacer es que se numeren tanto los álabes como las placas para llevar un orden y sea más fácil todo a la de su acoplamiento y mantenimiento.



Fotografía 14. Álabes acoplados.

GENERADOR

Datos del generador.

- Voltaje nominal: 30 VDC
- 01 A
- Diámetro: 4"
- Largo: 4 7/8"
- 325 RPM @ 30 VDC

Motor empleado.

Para comenzar, tengamos en cuenta que un generador es una máquina que produce energía eléctrica por medio de la energía mecánica que se concentra a lo largo del eje. Como ingeniera, considero que el generador es parte vital ya que sin él, no obtenemos la energía eléctrica.

En esta parte del proyecto, puedes construir tu propio generador con imanes permanente (imanes de neodimio) y hacer tus propias bobinas pero nosotros no lo hicimos de esa forma ya que al hacer el presupuesto de los imanes, nos tropezamos con el elevado precio.

También puedes utilizar un alternador para automóvil y para hacerlo más eficiente, puedes cambiar los imanes de este y sustituirlos por imanes de neodimio pero, repito, como para el presupuesto, se eleva el precio, no optamos por esa opción.



Fotografía 15. Girando con la mano.

Así que optamos por un motor generador, que a decir verdad, para nosotros no es tan sencillo de conseguir por eso es que se presentan las otras opciones. Con este generador, al hacer pruebas, girándolo a mano nos daba un voltaje de 14V. Al motor lo sellamos con silicón para que el agua no lo afecte ya que estará a la intemperie. A pesar de que tiene su carcasa se tomaron estas precauciones.



Fotografía 16 y 17. Generador y sellado con silicón.

TORRE, CIMENTACIÓN Y VELETA.

Torre.

Este tipo de aerogeneradores, debe de estar a una altura mínima de diez metros para que los árboles no obstruyan el libre paso del aire y se tenga mayor eficiencia. Se construyó una torre triangular de celosía con seis metros de altura.

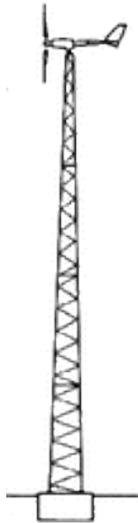


Figura 4. Torres de celosía.
Fuente: CUBASOLAR.
Obtenido de
<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia39/HTML/articulo03.htm>

Se eligió esta torre ya que son más baratas y requieren de menos material para su construcción, la más grande desventaja que tienen es que necesitan revisiones periódicas para comprobar los puntos donde están unidas, ya sea con soldadura o tornillería. Una desventaja más es el acceso al aerogenerador para su mantenimiento ya que se realiza por escaleras exteriores de baja protección y se deben tomar las precauciones necesarias.



Fotografías 18 y 19. Torre izada y trabajo sobre la torre.

Materiales para la torre.

- 10 tramos de 6 metros de solera de 1"x1/8"
- 3 tramos de 6 metros de ángulo de 1 ½"x1/8"
- 4 metros tubo C30 de 1 ½"
- ½ kg de soldadura 6013 de 1/8"

Construcción de la torre

Nosotros construimos una torre, como ya se dijo, de seis metros de altura. Los triángulos de la base y el tope son triángulos equiláteros de un metro y cincuenta centímetros por lado, respectivamente, hechos estos con solera. Consultar **Anexo 2**.



Fotografía 20. Soldando.

Cada tramo está unido con soldadura por arco eléctrico, comenzamos haciendo los triángulos extremos para después conectarlos con los tres tramos de ángulo. Después se fueron cortando los tramos de solera para ir formando cruces en cada cara del triángulo, como se aprecia en las siguientes imágenes.



Fotografías 21, 22 y 23. Construyendo, cortando y soldando.



Fotografía 24. Pintando.

En la cima de la torre se suelda un tramo de tubo de 2" de diámetro interior al que en la parte baja se cerrará, quedando éste con forma de vaso; para sentar el tubo donde se instalará el aerogenerador.

Para terminar la torre, se pintó con "Primario" para metales, se dejó secando un día para al siguiente aplicarle dos capas de pintura azul de aceite y laca color oro.

Cimentación.

Materiales para la cimentación.

- Cinco bultos de cemento
- Sonotubo de 20 cm de diámetro
- Arena, grava y piedras
- Armex
- Espárragos de ½”
- Manguera transparente

Pasos para la cimentación

Para la cimentación, se cavaron tres puntos, cada uno con un metro de distancia entre ellos, se formó un triángulo equilátero; con una profundidad de 50 cm.



Fotografía 25. Hoyos.



Fotografía 26. Nivelación.

La manguera la llenamos con agua para hacer un nivelador y así dejar todos los castillos a la misma altura.

Se armaron los castillos con el Armex a los que se le colocaron los espárragos para así, en ellos, atornillar la torre. Para colarlos, introdujimos los castillos en el Sonotubo y se comenzaron a llenar con el cemento.



Fotografía 27. Nivelando.

Para colar los castillos, hicimos una mezcla de cemento, grava, arena y agua. Las medidas de cada material utilizado varía pero generalmente se puede ver cuando el cemento está listo y bien revuelto al momento de estarlo haciendo.



Fotografía 28 y 29. Colando los castillos.

Cuando los castillos estuvieron listos, después de dos días de dejarlos secar, levantamos la torre, Izar la torre no es un procedimiento tan sencillo como suena porque estás hablando de una estructura de metal demasiado pesada. Para este paso, requerimos de cuatro personas en total.

Primero llevamos la torre hasta el lugar dónde se colocó; después y con la ayuda de mecates que se amarraron en la punta de la torre, dos personas iban jalando, mientras las otras dos la iban empujando.

Una vez izada, la soldamos a unas placas de metal que están atornilladas a los espárragos previamente introducidos en los castillos.



Fotografía 30. Soldando la torre con la placa.



Fotografía 31. Soldando la torre.

Al montar la torre, hicimos una plancha de cemento con piedras para que tuviese una mejor sujeción; esto se hizo porque con el peso de la torre y el movimiento del aerogenerador, podía ser peligroso.



Fotografía 32. Torre izada.



Ilustración 2Fotografía 33. Base de cemento.

Veleta.

La veleta también llamada timón o cola, es el dispositivo que permite la orientación del aerogenerador para aprovechar las corrientes de aire. Debe de tener un peso apropiado para soportar la fuerza del viento.

Materiales para la construcción de la veleta:

- Madera 45cmx35cm
- Solera 60 cm
- 60 cm tubo de ½"
- 6 tornillos con tuerca y rondana

Para la realización de la veleta, cortamos la madera en forma de trapecio que unimos a una estructura hecha con la solera en forma de cruz. Para más detalles consultar **Anexo 3**.

Ya que es madera, se le dio el mismo tratamiento que a los álabes con la tinta y barniz para madera. Se puede utilizar otro tipo de material como fibra de vidrio o PVC.

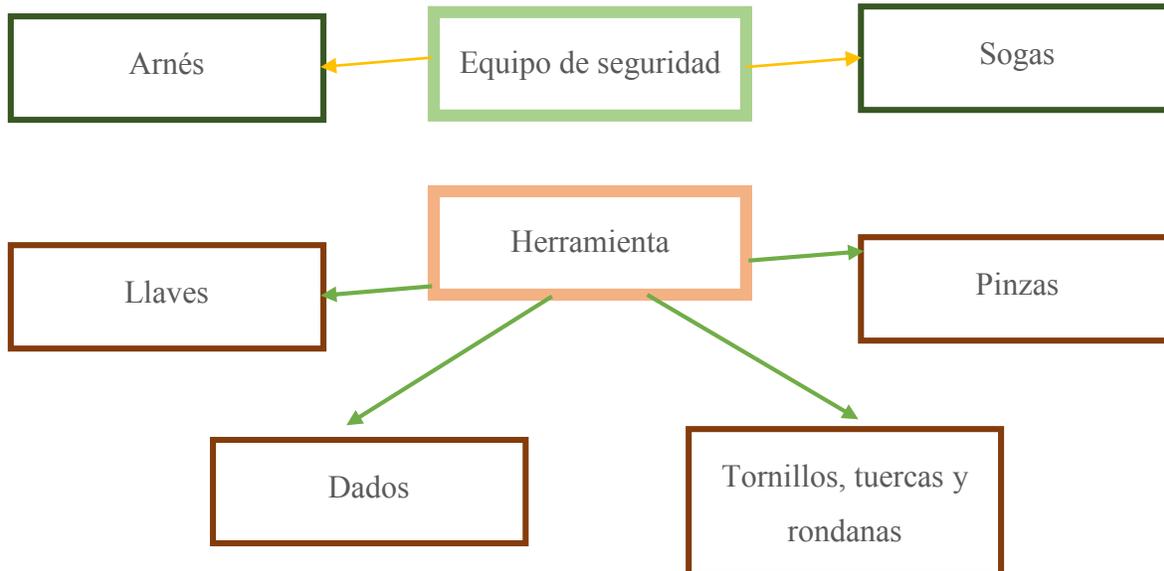


Fotografía 34. Veleta terminada.

INSTALACIÓN

Introducción.

Para la instalación del aerogenerador, ocupamos:



La lista más detallada de todas las herramientas y materiales que se utilizan para todo el proyecto, está en el **Anexo 5**. Instalar el aerogenerador es sencillo, desde mi punto de vista, lo difícil es estar durante una hora (aproximadamente) a seis metros de altura y de pie.

Son necesarias tres personas para la instalación de este modelo, dos en la cima de la torre y una abajo para que esté enviando las piezas del aerogenerador. Se recomienda subir con toda la herramienta y materiales que se van a usar.

Por seguridad de las personas que estén arriba, en la torre, necesitan usar arnés y botas de trabajo rudo. Para la seguridad de las personas que se encuentren bajo la torre, mantenerse alejados mientras haya personas trabajando en lo alto.

Debemos tomar en cuenta que algunas veces el mismo aire no nos dejará trabajar, así que como precaución se recomienda descender de la torre hasta que el viento pase o en su defecto, para por un momento el trabajo, sobre todo si se está subiendo alguna parte del aerogenerador.

Componentes.

Es este capítulo de la tesis, mostraremos las piezas faltantes para la correcta instalación del aerogenerador. Algunas de estas componentes están hechas a la medida del motor generador, son para su empotramiento, sujeción, cobertura y movimiento. En cada foto colocamos



Fotografía 35. Maza para automóvil.



Fotografía 36. Tornillo para maza. Recuperado de <http://www.casadelperno.com>



Fotografía 37. Base para el generador.



Fotografía 38. Carcasa del generador.



Fotografía 40. Abrazaderas para el aerogenerador.

Ensamble de los componentes.

Para la instalación del aerogenerador, necesitamos tres personas. Dos que estén en la parte superior de la torre y uno más que esté abajo y así poder enviar cada componente.

Los componentes están hechos a medida de motor-generator.

Para comenzar, a un extremo del tubo que se menciona dentro de los materiales para la torre (página 26), se suelda el tornillo para la masa verticalmente (Fotografía 36), es decir, la cabeza hexagonal del tornillo queda dentro del tubo. Queda justo, se recomienda aplicar una buena soldadura porque esta parte del aerogenerador cargara todo el peso de los componentes.

También se suelda un tramo de perfil a un costado del tubo, justo a un centímetro por debajo del tornillo, esto nos servirá como tope para que el aerogenerador no de la vuelta en 360° y los cables no se enreden. Teniendo preparado el tubo, se procede a subirlo y se ensambla a la torre, donde se colocó el otro tramo de tubo para sentar el aerogenerador. Es preciso señalar que el tubo tiene que quedar a tope con la cima de la torre para facilitar la instalación de las demás piezas.

Una vez colocado el tubo, procedemos a atornillar la maza para automóvil en el tornillo pero antes se introduce una rondana de presión; el orden es: rondana, maza y por último la tuerca. En esta etapa, se tiene que aplicar bastante fuerza al momento de apretar la tuerca porque la maza nos dará el movimiento horizontal con respecto al tubo.

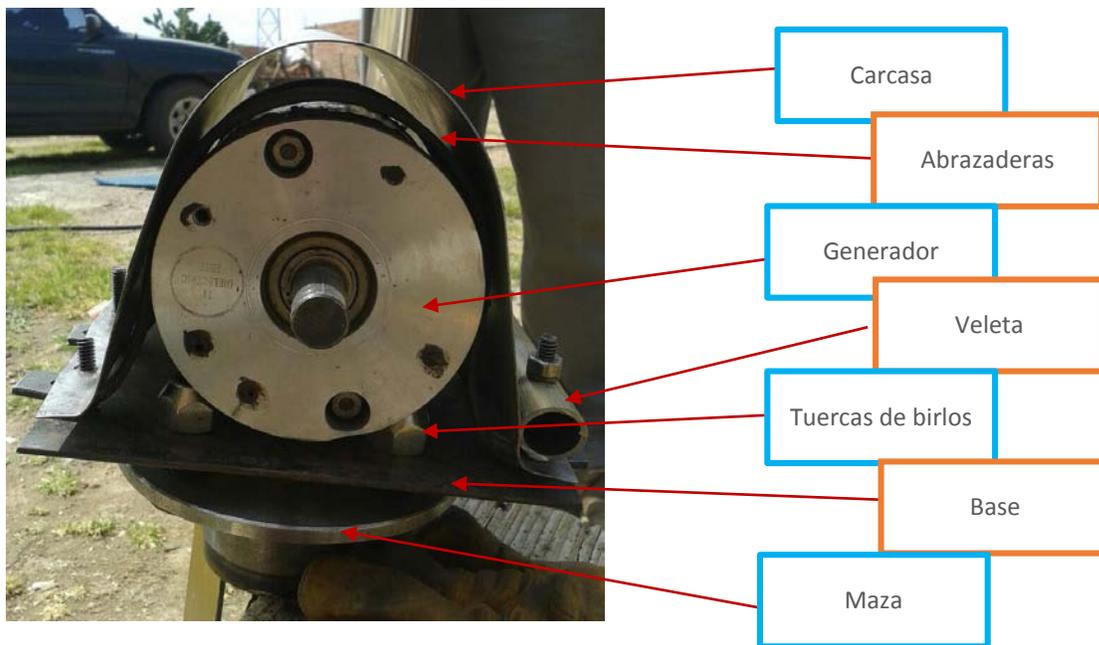
Sobre la maza, se colocará la base para el generador (Fotografía 37). Ésta tiene soldados dos topes, tanto en la parte frontal y trasera, esto con el fin de que el generador quedase lo más aprisionado posible ya que sufrirá bastante esfuerzo cuando los álabes estén girando y así no tener ningún movimiento que pueda provocar algún incidente.

La base se atornilla con los birlos de la masa para que sobre estos quede sentado el generador. Este punto es importante ya que en la base, se hicieron cuatro perforaciones más para poder sujetar el generador con los pernos tipo U (abrazaderas) como se muestra en las fotografías 37 y 40, respectivamente.

Los tornillos se coloca de abajo para arriba, es decir, la cabeza de los tornillos debe quedar hacia abajo porque estos tornillos son los que sujetarán a partir de aquí, todas las demás componentes. Debe tener especial cuidado al momento de hacer todas las perforaciones que se harán en la base, las abrazaderas, la carcasa y la veleta porque todas ellas deben de coincidir entre ellas.

Colocando el generador, se colocan los tornillos, de arriba para abajo, los pernos tipo U, a ellos le sigue la carcasa y por último, a un costado, se coloca la veleta. Por eso es importante que las perforaciones coincidan, sobre todo para una instalación más eficiente y rápida.

Para un mejor entendimiento del proceso de armado, ir al **Anexo 3**.



Fotografía 41. Ensamble muestra.



Fotografía 42. Vista superior de ensamblaje.

Por último, se suben los álabes previamente acoplados entre ellos y se unen al generador por medio del buje. Se sufre un poco en la colocación porque el buje queda un poco justo pero es normal. Al buje se le maquinaron tres perforaciones para poder colocar opresores y evitar que los álabes patinen o se lleguen a salir de su lugar.

Cuando todos los elementos que conforman el aerogenerador están unidos entre ellos, se procede a izar el tubo. Resaltemos aquí que se deben conectar los cables que bajan del generador antes de izar el tubo.

Para el izamiento del tubo se requiere que tres personas lo hagan, dos deben de ir subiendo el tubo y un más debe hacerse cargo del cable que va bajando del generador. No debemos olvidar que se cargará bastante peso al momento de subirlo así que en consideración con las personas que lo estén haciendo, se debe de trabajar rápido.



Fotografía 43. Aerogenerador instalado.

Instalación eléctrica.

Una parte sumamente importante de este proyecto es la instalación eléctrica

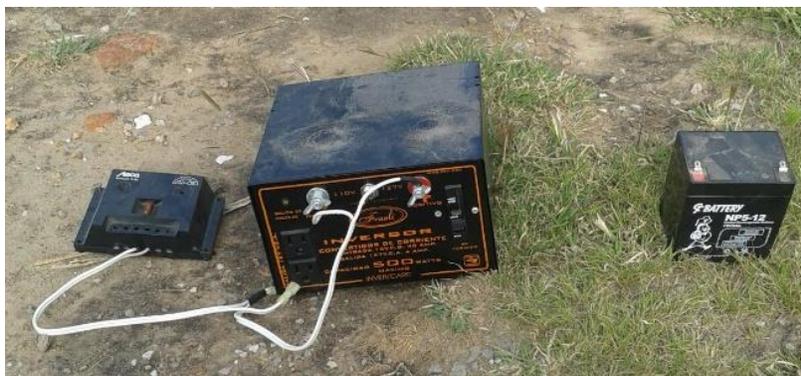
Del generador se conecta el cable que llega hasta un regulador de sobre voltaje que evita le llegue más voltaje de lo necesario a las baterías; luego se conecta al inversor de corriente CC/CA. Para que de este último, se puedan prender tres reflectores LED de 50W, conectados en serie.

Entonces tenemos que la conexión es:

1. Generador
2. Regulador de sobre voltaje
3. Banco de baterías
4. Inversor de corriente CC/CA

Nosotros instalamos el equipo en la parte interna de la torre, dentro de una caja de madera que construimos especialmente para eso.

En el **Anexo** presenta el esta



4 se esquema de conexión.



Fotografía 44. Regulador, inversor, batería.



Fotografía 45. Realizando la instalación eléctrica.

PRUEBAS Y CONCLUSIONES.

Pruebas

Es muy importante tomar en cuenta el balanceo de los álabes porque cuando se hicieron las primeras pruebas, el aerogenerador al estar girando comenzó a provocar cargas laterales, lo que nos hizo darnos cuenta que el primer diseño no había funcionado ya que llegó un momento en que la estructura no resistió.

Al no resistir la estructura, provocó que los álabes y el generador se desprendieran; nuestra reacción inmediata fue subir nuevamente a la torre, antes de que se terminasen de desprender, y poderlos bajar con las medidas necesarias para no provocar ningún accidente.

También, con este incidente nos dimos cuenta que el diseño era poco funcional ya que era demasiado tardado y pesado de desinstalar, en el momento teníamos prisa para no provocar ningún accidente.

Hasta aquí no nos habíamos percatado del todo que las cargas eran provocadas por el balanceo de los álabes así que solo se cambió el diseño del aerogenerador, que es el presentado en este trabajo.

Cuando terminamos el segundo diseño y lo instalamos, nuevamente se presentaron las cargas laterales así que después de consultar cuál podría ser la problemática se llegó a la conclusión de que podría ser el balanceo, por lo que decidimos desmontar el aerogenerador.

El balanceo se hizo montando los álabes en un taladro para hacerlos girar, llevando a cabo un proceso muy similar al que hacen a los coches.

Instalamos por tercera ocasión el aerogenerador, cuando comenzó a funcionar, las cargas que antes estaban presentes, ya no se encontraban.

Después de esto, descargamos la batería para saber en cuánto tiempo se podía cargar a una velocidad de viento constante y el resultado fue que la batería quedó totalmente cargada en una hora.

Con base en el marco teórico, se logró satisfactoriamente la construcción e instalación de un aerogenerador con perfil aerodinámico E-387 en una casa-habitación perteneciente a la comunidad de Vaquerías localizado en el municipio de Ojuelos de Jalisco, Jalisco, el cual generó un voltaje que osciló entre 14 y 18 Volts con un promedio de 225 revoluciones por minuto. Estas medidas corresponden con los estándares para alimentar tres lámparas reflectoras de foco LED de 50 watts cada una, conectadas en serie.

Conclusiones

Cada clase tomada durante la carrera fue de vital importancia, ya que lo aprendido en materias como Tecnologías de Materiales, Mecánica de Fluidos, Diseño Mecánico, turbo maquinaria, fue fundamental durante este proyecto. Redescubrí que hay condiciones que surgen y que no estaban previstas pero que puedes resolver con los conocimientos adquiridos. Temas como las propiedades de los materiales, estudio de estructuras y la manufactura misma se encuentran en la médula del diseño e implementación del aerogenerador.

Dentro de mí formación en la carrera en Ingeniería Mecánica Eléctrica, me he enfrentado a las adversidades que presupone una carrera dominada por alumnos varones. Identifiqué mi esencia de una persona que no abandona sus sueños y que, con el dote ingenieril, halla varias opciones para superar toda clase de barreras.

Construir un aerogenerador no fue algo fácil ya que se tuvo que lidiar con complicaciones en el camino, Llevar a cabo este proyecto no solo significó aplicar los conocimientos de la carrera sino que fue necesario desarrollar el sentido del trabajo en equipo y emprender el compromiso con el proyecto en la toma de decisiones para la mejora. Ser ingeniero no significa solo diseñar y dejarlo todo en papel, se requiere crear, construir y utilizar herramientas y dispositivos: es la expresión de esta tesis; es decir, aprender la parte técnica de la ingeniería.

Es imperativo que como ingenieros con el compromiso y responsabilidad adquiridos hacia la sociedad, por pertenecer a la Universidad, trabajemos en la creación y mejora de alternativas que contribuyan a la disminución de contaminantes; además de beneficiar la calidad de vida de las personas.

Plantear la construcción de un aerogenerador fue un gran reto que logramos pasar de una manera destacada; lo más importante en esta tesis fue crear un buen diseño: resistente, eficiente, ecológico, fácil de elaborar e instalar y sobre todo a un bajo costo económico.

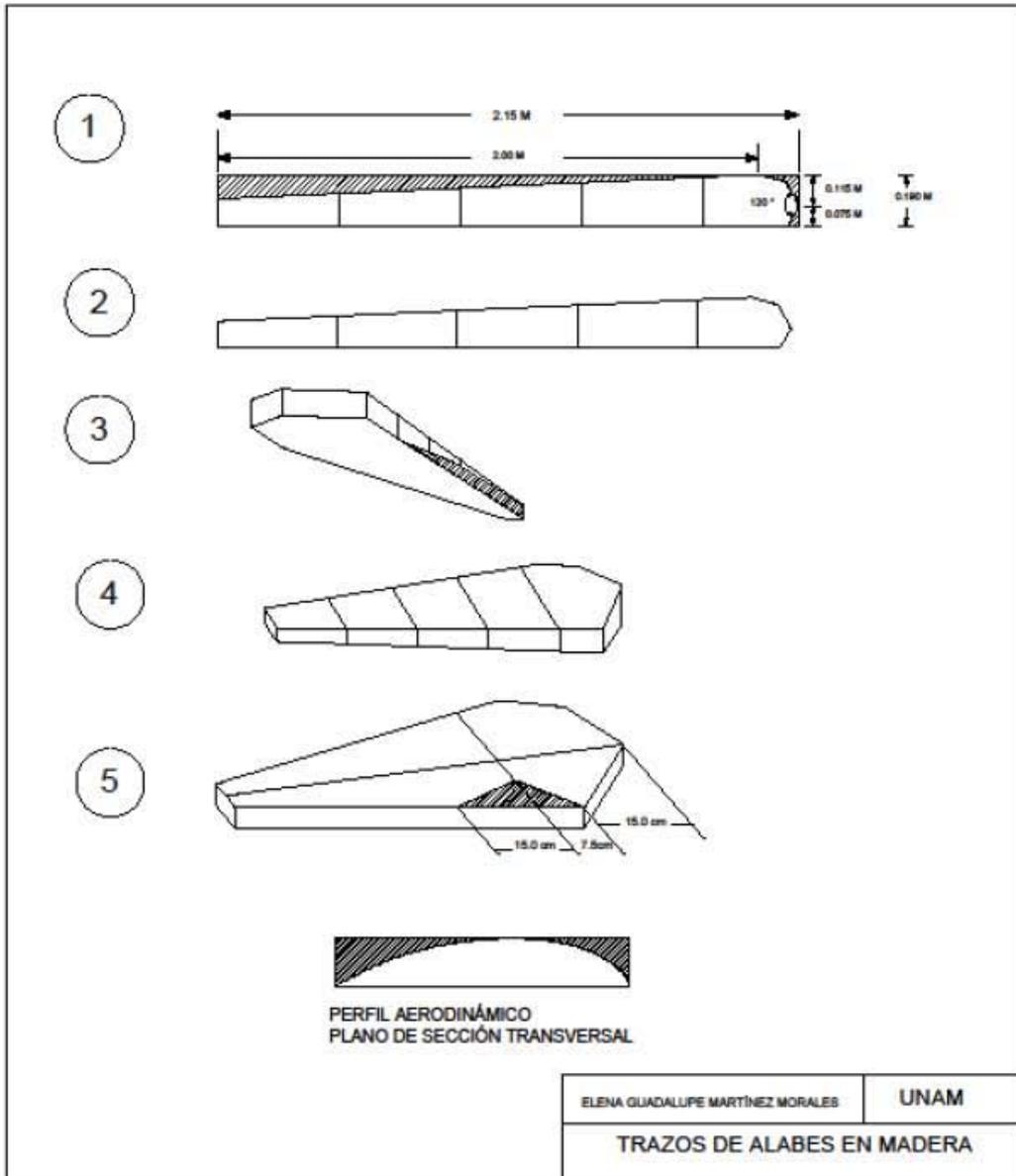
Investigar, leer, buscar, entender sobre los aerogeneradores, fue el comienzo para cumplir con los objetivos que nos planteamos al desarrollar este proyecto. El conocimiento generado por el desarrollo de este trabajo conlleva a mejoras en el diseño, en las consideraciones acerca de los materiales y la expansión para suministrar energía a más aparatos eléctricos propios de una casa.

Los resultados obtenidos son nuestra base para la continuación de este proyecto, ya que seguiremos con el desarrollo e innovación de aerogeneradores que impacten en una mayor proporción a comunidades rurales, principalmente. De este modo, también se invita al lector a que considere esta investigación para la mejora o implementación bajo condiciones similares o alternas, de este tipo de tecnologías necesarias para los problemas energéticos actuales y futuros.

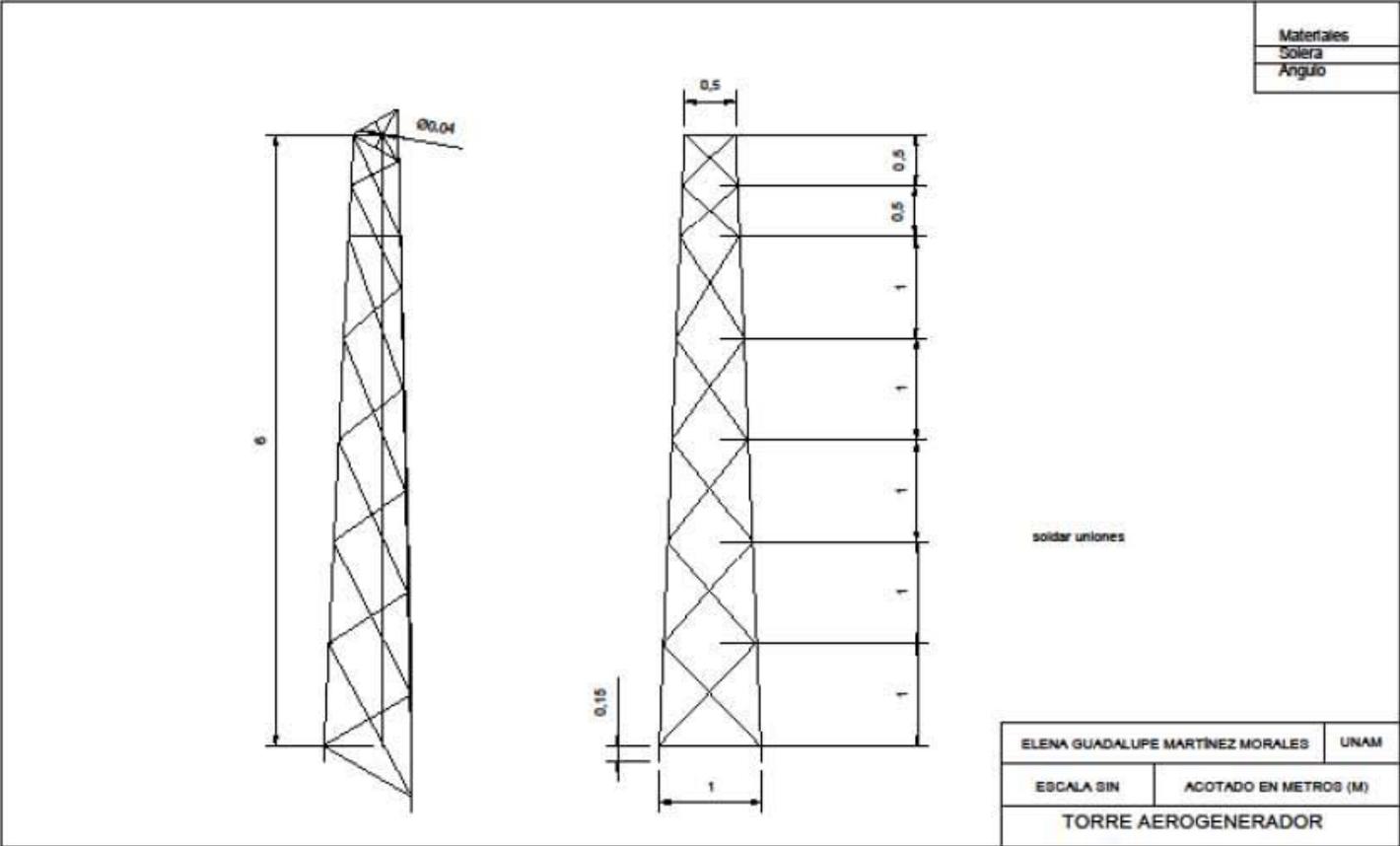
Referencias

- Asociación Mexicana de Energía Eólica. (2014). Obtenido de AMDEE: <http://www.amdee.org/>
- Beltrán Duarte, L. G., & Figueroa Madero, J. C. (2011). *Diseño de un sistema eólico de baja potencia para la zona aledaña al municipio de Gameza-Boyacá*. Bucaramanga.
- Casas, A. O. (2005). *Generadores de excitación superconductora para aerogeneradores*. Madrid.
- Chiroque, J., & Dávila, C. (2008). *Microaerogenerador IT-PE-100 para electrificación rural*. Lima: Soluciones p'rácticas - ITDG.
- d'Emil, B., Jacobsen, M., Jensen, M. S., Krohn, S., Petersen, K. C., & Sandstrom., K. (2001). *Wind with power*. Obtenido de <http://www.windpower.org/>
- Energy, E. E. (2007). *Small wind electric systems*.
- Figueredo, C. M. (s.f.). *Tecnología de los pequeños aerogeneradores*. Obtenido de <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia39/HTML/articulo03.htm>
- Hernando González Sierra, Justo P. Valcárcel Montañez, & Alejandra Sánchez Torres. (2011). Diseño y construcción de un generador eólico de energía eléctrica continua. *ENTORNOS*, 139-146.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (s.f.). Obtenido de INEGI: <http://www.inegi.org.mx/>
- López, J. M. (2008). *Manual de Energía Eólica*. Mundi Prensa Mexico.
- López, M. V. (2012). *Ingeniería de la Energía Eólica*. Barcelona: Marcombo.
- Moragues, J., & Rapallini, A. (2003). *Energía Eólica*. Obtenido de http://www.iae.org.ar/renovables/ren_eolica.pdf
- Moreno, R. P. (2012). *Aerogenerador de eje horizontal frente a aerogenerador de eje vertical. Características principales y ventajas de uno y otro*. Obtenido de <http://energias-renovables-y-limpias.blogspot.mx/2012/07/aerogenerador-de-eje-horizontal-o-vertical.html>
- O., A. J. (2009). Análisis del comportamiento aerodinámico de perfiles empleados en aerogeneradores de baja potencia. *Fuentes Alternas de Energía y Generación Distribuida*, 41.
- Peña, L. S. (2012). Hogares y Consumo Energético en México. *Revista Digital Universitaria*.
- S.L, O. E. (s.f.). *Eólica*. Obtenido de http://opex-energy.com/eolica/tipos_aerogeneradores.html
- SEGOB, S. (2014). *LA ENERGÍA EÓLICA EN MÉXICO: Una perspectiva social sobre el valor de la tierra*. México.
- Talayero Navales, A. P., & Telmo Martínez, E. (2008). *Energía eólica*. Zaragoza: Prensas Universitarias de Zaragoza.
- Velázquez, S. L. (2010). *Diseño de un microaerogenerador de eje vertical*. Ciudad Universitaria.
- Voneschen, C. (1989). *Kleine Windräder : Berechnung u. Konstruktion*. Berlín: Bauverlag.

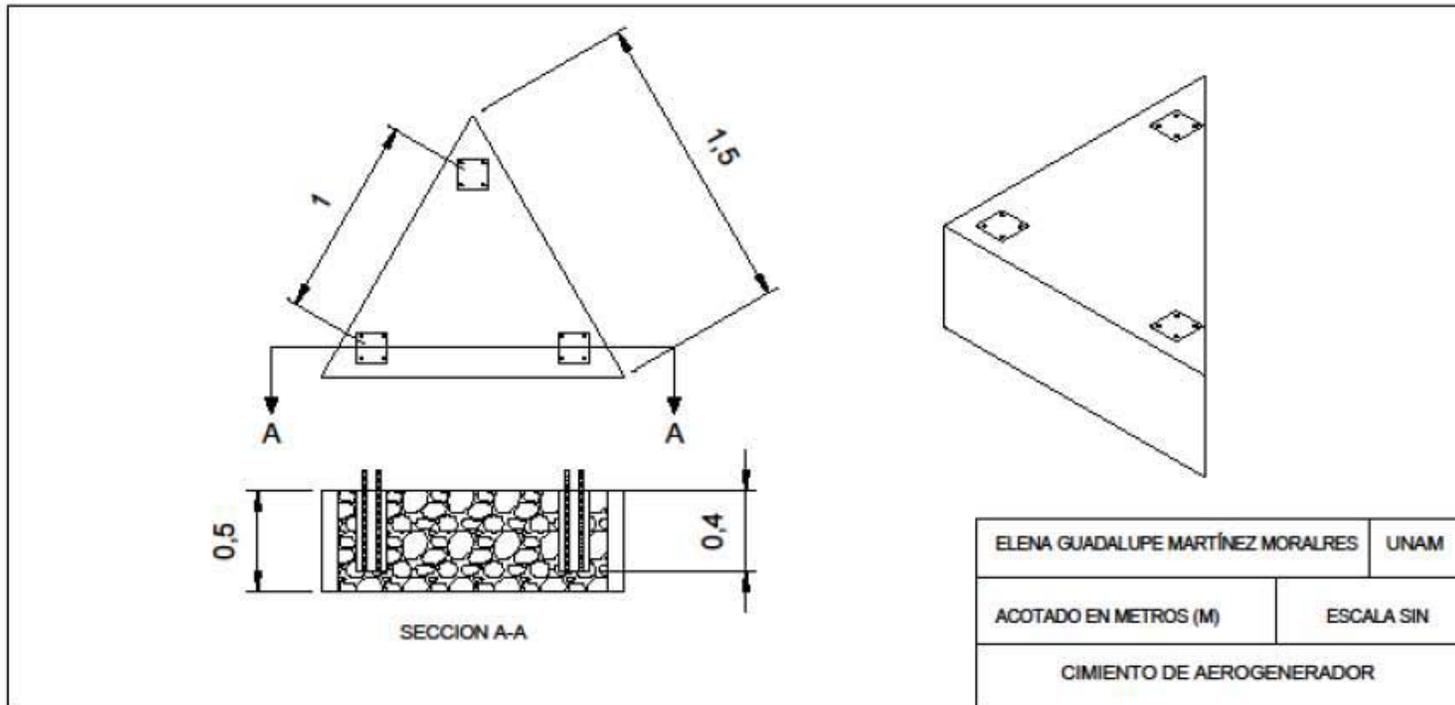
ANEXO 1



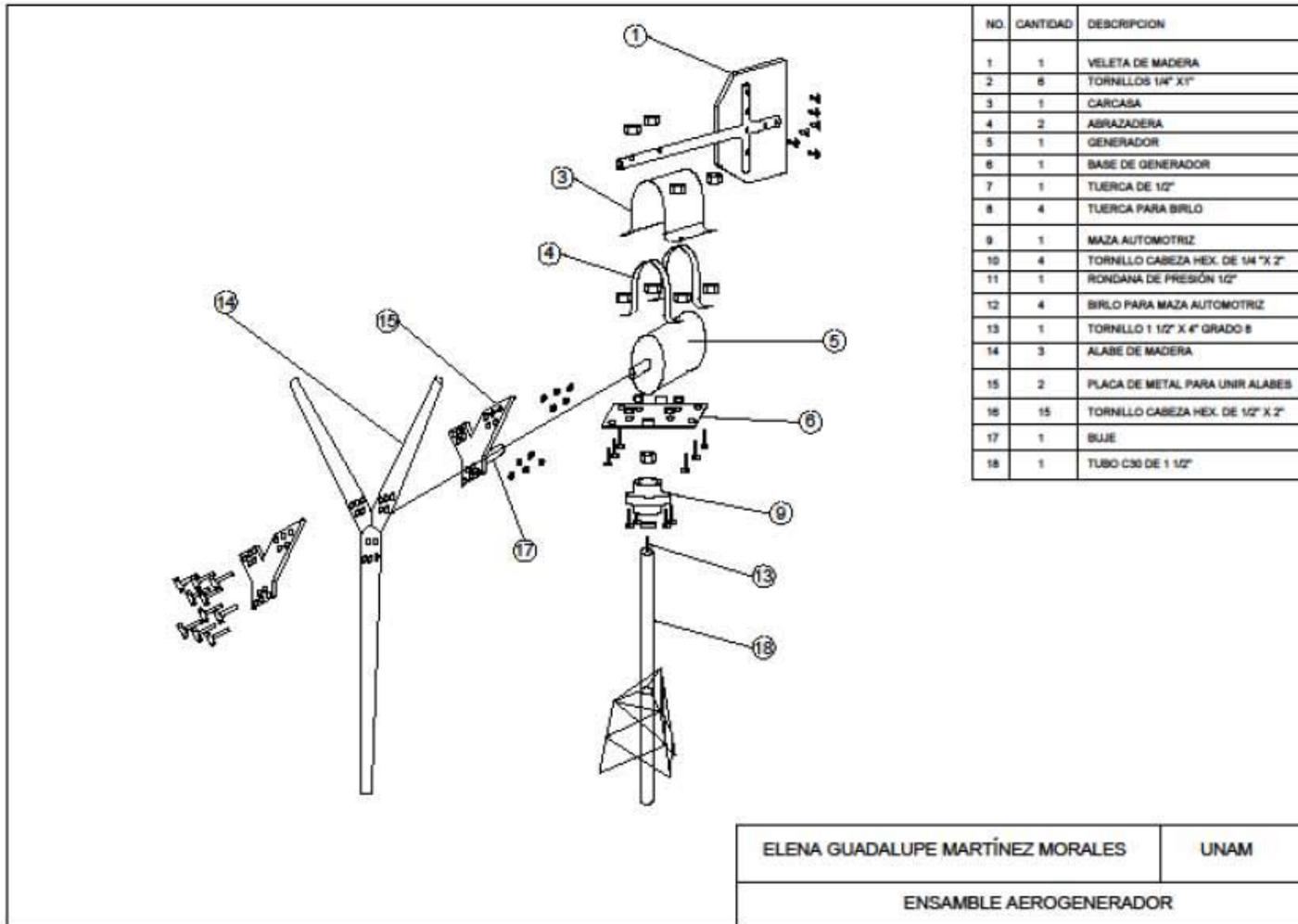
ANEXO 2



ANEXO 2



ANEXO 3



ANEXO 4



ANEXO 5

Álabes:

- Materiales:
 - Madera de pino de primera
 - Placas de metal
 - Tinta y barniz para madera en intemperie.
 - Buje
 - Tornillos, tuercas y rondanas.

- Herramientas:
 - Formones de 1/2", 3/4" y 1"
 - Martillo
 - Escofina de media caña
 - Serrucho
 - Cepillo para madera
 - Escochebre curvo
 - Lijas #80, #120, #180 y #400
 - Lijadora de banda
 - Flexómetro
 - Prensas tipo sargento
 - Opresores
 - Taladro
 - Broca para metal
 - Broca para madera

Torre:

- Materiales
 - 10 tramos de 6 metros de solera de 1"x1/8"
 - 3 tramos de 6 metros de ángulo de 1 1/2"x1/8"
 - 4 metros tubo C30 de 1 1/2"
 - 1/2 kg de soldadura 6013 de 1/8"

- Herramientas:
 - Segueta con arco
 - Esmeril
 - Planta para soldadura con arco eléctrico
 - Careta
 - Guantes

Velta:

- Materiales:
 - Madera 45cmx35cm
 - Solera 60 cm
 - 60 cm tubo de 1/2"
 - 6 tornillos 1/4"x1", 6 tuercas y 6 rondanas de 1/4"
 - Tinta y barniz para madera en intemperie.

Instalación del aerogenerador

- Herramientas:
 - Cerrucho
 - Lijadora de banda

Cimentación:

- Materiales:
 - Cinco bultos de cemento
 - Sonotubo de 20 cm de diámetro
 - Arena, grava y piedras
 - Armex
 - Espárragos de ½"
 - Manguera transparente
- Herramientas:
 - Cuchara para albañil
 - Pala
 - Nivel

Instalación eléctrica:

- Materiales:
 - Cable de cobre
 - Regulador
 - Banco de baterías
 - Inversor de corriente
 - Reflectores LED

- Materiales:
 - Maza para automóvil
 - Tornillo grado 8 de 1½"x4"
 - Carcasa
 - Abrazaderas
 - Generador
 - Base del generador
 - Tuerca de 1 ½" y rondana de presión
 - 4 tuercas para birlo
 - 4 tornillos cabeza hexagonal de ¼"x 2" con rondas de presión y turcas
 - Rondana de presión de ½"
 - 4 birlos para maza automotriz
 - 15 tornillos cabeza hexagonal de ½"x 2" cada uno con tuercas y rondanas de presión.
 - Opresores
- Herramientas:
 - Llaves allen
 - Llaves stanley
 - Llave stilson
 - Llave inglesa
 - Llaves española
 - Dado de ½"
 - Maneral
 - Desarmador plano y cruz
 - Pinza de presión