

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR AERONÁUTICO

CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA

**CONSTRUCCIÓN DE UN AEROGENERADOR A
ESCALA QUE TRANSFORMA LA ENERGÍA EÓLICA EN
ENERGÍA ELÉCTRICA.**

POR:

POZO TARAPUEZ MIGUEL ÁNGEL

**Proyecto de grado presentado como requisito parcial para la obtención
del Título de:**

TECNÓLOGO EN MECÁNICA AERONÁUTICA

2004

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. **POZO TARAPUEZ MIGUEL ÁNGEL** como requerimiento parcial a la obtención del título de **TECNÓLOGO EN MECÁNICA AERONÁUTICA**.

Ing. Vinueza Patricio

Mayo. Téc. Avc.

DIRECTOR DEL PROYECTO

Latacunga, 09 de Diciembre del 2004.

DEDICATORIA

El presente trabajo fruto de mi esfuerzo, investigación y responsabilidad lo quiero dedicar a mi Dios todopoderoso el cual ha sido un pilar fundamental en mi vida y me ha dado la oportunidad de vivir y seguir en el camino del bien.

A mis padres Miguel y Digna por darme todo su apoyo incondicional en los momentos que más necesitaba, por su amor infinito, su comprensión y ellos supieron sembrar el amor por el estudio y el deseo inquebrantable de superación.

A mis hermanos y familiares por contribuir en mi formación brindándome sus consejos y su apoyo que me permitió lograr el objetivo planteado con esfuerzo, preparación y sacrificio.

Pozo Tarapuez Miguel Ángel

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer al Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico, que me dio la oportunidad de ingresar a sus aulas en las cuales me supieron formar como un buen profesional con responsabilidad, respeto y sobre todo con valores humanos. Igualmente quiero agradecer a mis instructores que supieron brindarme sus conocimientos y de esta manera recibir una educación integral.

También quiero agradecer de sobremanera al Sr. Mayo. Ing. Vinueza Patricio por impartir sus conocimientos y culminar con éxito este proyecto.

Pozo Tarapuez Miguel Ángel

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula.....	I
Certificación.....	II
Dedicatoria.....	III
Agradecimiento.....	IV
Índice de contenidos.....	V
Listado de figuras.....	IX
Listado de tablas.....	XII
Listado de anexos.....	XIV
Resumen.....	1
Planteamiento del Problema.....	2
Justificación.....	2
Alcance.....	3
Objetivos.....	4

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1	Generalidades.....	5
1.2	Ventajas de la Energía Eólica.....	6
1.3	Desventajas de la Energía Eólica.....	6
1.4	Aerogeneradores.....	7
1.4.1	Historia.....	7
1.4.2	Tipos de aerogeneradores.....	10
1.4.3	Constitución del aerogenerador.....	18
1.5	Viento.....	26
1.5.1	Origen del viento	27
1.5.2	Regiones depresionarias y anticiclónicas.....	27
1.5.3	La Fuerza de Coriolis	29
1.5.4	Vientos debido a diferencia de temperatura	29
1.5.5	Dirección y Velocidad del Viento.....	31
1.5.6	Medición del Viento.....	32
1.5.7	Variación de la Velocidad del Viento en el Tiempo.....	32
1.5.8	Variaciones de Velocidad del Viento con la Altitud.....	34
1.5.9	Lugar de Emplazamiento para la instalación eólica.....	35
1.6	Aerodinámica del Aerogenerador	38
1.6.1	El Tubo de Corriente.....	38
1.6.2	Energía suministrada por el viento.....	39
1.6.3	Máxima potencia extraíble del viento.....	41
1.6.4	Curva de potencia.....	42

CAPÍTULO II

ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

2.1	Identificación de Alternativas...	44
2.2	Estudio Técnico	45
2.2.1	Torre.....	46
2.2.2	Aspas	48
2.2.3	Generadores Eléctricos.....	48
2.3	Análisis de Factibilidad	49
2.3.1	Torre.....	49
2.3.2	Aspas.....	51
2.3.3	Generadores Eléctricos.....	53
2.4	Parámetros de Evaluación.....	54
2.5	Selección de la mejor Alternativa	63
2.6	Determinación de requerimientos técnicos.....	64

CAPÍTULO III

CONSTRUCCIÓN

3.1	Diseño de la torre del aerogenerador.....	65
3.2	Componentes requeridos.....	66
3.3	Construcción.....	68
3.4	Diagramas de Procesos	68
3.5	Diagramas de Ensamble.....	71
3.6	Diseño de un rotor para un aerogenerador.....	72
3.7	Construcción de un rotor para un aerogenerador.....	76
3.8	Diagramas de Procesos.. ...	80

3.9	Diagramas de Ensamble.....	85
3.10	Pruebas de funcionamiento.....	88

CAPÍTULO IV

ELABORACIÓN DE MANUALES

4.1	Manual de Operación.....	90
4.2	Manual de Mantenimiento.....	91
4.3	Manual de Seguridad.....	92

CAPÍTULO V

ESTUDIO ECONÓMICO

5.1	Análisis de Costos.....	93
5.1.1	Materiales.....	93
5.1.2	Maquinaria, Herramienta y Equipo.....	94
5.1.3	Mano de Obra	94
5.1.4	Costo total de la Construcción del Aerogenerador	95

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1	Conclusiones	96
6.2	Recomendaciones.....	97

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1.1: La primera turbina eólica construida por Charles Brush...8	8
FIGURA 1.2: Los aerogeneradores de La Cour.....8	8
FIGURA 1.3: El parque eólico Avedore Holme (Dinamarca).....9	9
FIGURA 1.4: Aerogeneradores de eje vertical Darrieus..... 10	10
FIGURA 1.5: Aerogeneradores de eje horizontal11	11
FIGURA 1.6: Aerogenerador Monopala12	12
FIGURA 1.7: Aerogenerador Bipala.....13	13
FIGURA 1.8: Aerogenerador Tripala.....13	13
FIGURA 1.9: Aerogenerador Multipala14	14
FIGURA 1.10: Orientación del aerogenerador mediante conicidad.....15	15
FIGURA 1.11: Orientación del aerogenerador mediante una veleta.....15	15
FIGURA 1.12: Orientación del aerogenerador mediante un molino Auxiliar.....15	15
FIGURA 1.13: Dínamo20	20
FIGURA 1.14: Alternador.....21	21
FIGURA 1.15: Sistema de Regulación.....23	23
FIGURA 1.16: Sistema de Orientación24	24
FIGURA 1.17: Tipos de torres.....26	26
FIGURA 1.18: Partes del Aerogenerador26	26
FIGURA 1.19: La Radiación Solar27	27
FIGURA 1.20: Zonas depresionarias y Anticiclónicas.....28	28
FIGURA 1.21: La Fuerza de Coriolis29	29
FIGURA 1.22: Brisa Marina y Brisa Terrestre.....30	30

FIGURA 1.23: Vientos de Montaña.....	30
FIGURA 1.24: Rosa de los Vientos.....	31
FIGURA 1.25: Tipos de anemómetros.....	32
FIGURA 1.26: Incremento de la Potencia del viento como función de la altura de la torre.....	35
FIGURA 1.27: Turbulencia y Altura de la torre.....	37
FIGURA 1.28: Tubo de corriente.....	38
FIGURA 1.29: Área de Barrido del Aerogenerador.....	40
FIGURA 1.30: Potencia con relación a la velocidad del viento.....	41
FIGURA 1.31: Curva de Potencia de una Aerogenerador.....	42
FIGURA 1.32: Coeficiente de potencia de un aerogenerador.....	43
FIGURA 2.1: Torre de mástil con tensores	46
FIGURA 2.2: Torre de celosía autosostenida	47
FIGURA 2.3: Torre tubular auto sostenida.....	47
FIGURA 2.4: Aspa fabricada en fibra de vidrio	48
FIGURA 2.5: Aspa fabricada en madera.....	48
FIGURA 2.6: Dínamo.....	49
FIGURA 2.7: Alternador.....	49
FIGURA 3.1: Torre de mástil con tensores.....	65
FIGURA 3.2: Curvas características de $C_p - \lambda$ en aerogeneradores...74	74
FIGURA 3.3: Diseño Final del Perfil Simétrico.....	76
FIGURA 3.4: Cepillado de la madera.....	76
FIGURA 3.5: Tallado de la Pala	77
FIGURA 3.6: Cepillado de la Pala	77
FIGURA 3.7: Colocación de las maderas.	77
FIGURA 3.8: Lijado de la Pala.....	78

FIGURA 3.9: Comprobación de medidas	78
FIGURA 3.10: Acople de las palas con medidas	79
FIGURA 3.11: Acople de las palas	79
FIGURA 3.12: Mecanismo de Orientación.....	79
FIGURA 3.13: Mecanismo de Orientación con medidas.....	80

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1.1: Comparación del Impacto Ambiental de las diferentes formas de producir electricidad.....	6
TABLA 1.2: Principales Países por capacidad Eólica instalada.....	7
TABLA 1.3: Exponentes típicos de rugosidad.....	35
TABLA 2.1: Comparación de ventajas y desventajas en los tipos de Torres.....	51
TABLA 2.2: Comparación de ventajas y desventajas en los tipos de Aspas	52
TABLA 2.3: Comparación de ventajas y desventajas en los tipos de Generadores Eléctricos.....	54
TABLA 2.4: Matriz de Evaluación de la torre.....	59
TABLA 2.5: Matriz de Decisión de la torre.....	59
TABLA 2.5.1: Tabla de Calificación final.....	60
TABLA 2.6: Matriz de Evaluación de las aspas.....	61
TABLA 2.7: Matriz de Decisión de las aspas.....	61
TABLA 2.7.1: Tabla de Calificación final.....	62
TABLA 2.8: Matriz de Evaluación del Generador Eléctrico	62
TABLA 2.9: Matriz de Decisión del Generador Eléctrico.....	63
TABLA 2.10: Características del Generador Eléctrico.....	64
TABLA 3.1: Selección del número de palas y la relación de Velocidades.....	73
TABLA 3.2: Posiciones y Ordenadas del Perfil Simétrico.....	75

TABLA 3.3: Velocidades del viento y Potencia generada.....	88
TABLA 5.1: Materiales utilizados en la Construcción.....	92
TABLA 5.2: Costo de Maquinaria y Equipo.....	93
TABLA 5.3: Costo de Mano de obra.....	94
TABLA 5.4: Costo Total de la construcción del aerogenerador.....	94

LISTA DE ANEXOS

ANEXO "A": Datos Meteorológicos del Aeropuerto Internacional "Cotopaxi".

ANEXO "B": Datos Meteorológicos del Sector La Tola – Tumbaco.

ANEXO "C": Mapa del Sector La Tola – Tumbaco.

ANEXO "D": Requerimientos de Potencia y Energía de los Artefactos Eléctricos

RESUMEN

El proyecto que se presenta a continuación puede ser utilizado como material didáctico para los alumnos del Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico, ya que se puede observar la transformación de la energía eólica en energía eléctrica.

En la primera parte de este proyecto contiene la información general en lo referente a historia, tipos, componentes y la aerodinámica del Aerogenerador, como también del recurso renovable y no contaminante como es el viento.

Luego se realiza los planteamientos de alternativas de construcción de las dos partes principales del aerogenerador como son: la torre y las palas. Por medio de la evaluación permitió conocer la selección definitiva para la construcción de la torre y las palas.

Posteriormente se procedió a construir la torre y las palas conjuntamente con los diagramas de fabricación y ensamblaje. Como siguiente paso se procede a elaborar manuales de operación, mantenimiento y seguridad en el manejo del aerogenerador.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Energía Eólica ha dado muy buenos resultados en países desarrollados; este no es el caso del Ecuador, ya que este recurso tan disponible e inagotable como es el viento no se lo aprovecha de forma significativa. El aprovechamiento de la energía eólica viene siendo tema de discusión y análisis por parte de los países desarrollados que desean tener energía limpia y sobretodo porque su costo a largo plazo resulta beneficioso a pesar de que su implementación requiere de una alta inversión.

Por lo que se hace necesario en el presente proyecto realizar el estudio y construcción de un aerogenerador que permitirá demostrar la factibilidad de su aplicación. Con los conocimientos recibidos en el I.T.S.A., se está en la capacidad de lograr el objetivo, de allí que se planteará:

¿ Cómo podrá contribuir la utilización de la energía eólica mediante el uso de un aerogenerador a escala, en la generación de energía eléctrica, como material didáctico para el Instituto en un inicio y posteriormente para el desarrollo de proyectos energéticos?.

JUSTIFICACIÓN.

Con este proyecto de Grado se pretende crear una verdadera conciencia con los alumnos y directivos del Instituto y en las demás personas relacionadas con el tema, que una de las opciones validas para la generación de energía eléctrica, que facilite el desarrollo de la sociedad es con la utilización de la

energía eólica, puesto que en nuestro país se tiene lugares apropiados para su implementación.

Con los avances tecnológicos del mundo actual, las cada vez más escasas reservas de petróleo, la desastrosa deforestación que conlleva a la excesiva contaminación, se hace necesario contar con energía limpia que preserve el entorno ecológico. La misión que se tiene como estudiante del I.T.S.A., es demostrar que la utilización de esta alternativa energética es una solución válida para el presente y las futuras generaciones. Como también se utiliza los conocimientos adquiridos en las materias de aerodinámica, mecanismos, hélices, etc.

ALCANCE

Con la elaboración de este proyecto de grado, se podrá aprovechar el viento como un recurso inagotable para la producción de energía eléctrica, que puede ser utilizada en la zona rural, ya que el sistema interconectado padece de serias deficiencias de distribución en cantidad y calidad, al igual que se conseguirá implantar un modelo en la Institución como ayuda didáctica de los alumnos civiles y militares del I.T.S.A., para su formación tecnológica.

Se espera que este modelo de generación eléctrica pueda ser tomado en cuenta en un futuro muy cercano para que se utilice la energía eólica como fuente alternativa en la producción de energía eléctrica en cada una de las regiones de la Patria.

OBJETIVOS:

OBJETIVO GENERAL:

Construir e Implementar las partes de un Aerogenerador a escala mediante la utilización del viento como energía motriz, para producir energía eléctrica, que puede ser utilizado como material didáctico en el Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- ❖ Investigar sobre la construcción del Aerogenerador.

- ❖ Determinar requerimientos técnicos.

- ❖ Diseñar algunas partes del aerogenerador.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO.

1.1 GENERALIDADES.

Los aerogeneradores tienen diversas aplicaciones específicas, ya sea la producción de electricidad, o en el caso de aerogeneradores de pequeña escala: de bombeo eólico, vehículos de recreo, cabañas y casas de campo, alimentación de cercas eléctricas, sistemas híbridos eólicos-solares.

La energía eólica es una variable de la energía solar, pues se deriva del calentamiento diferencial de la atmósfera y de las irregularidades de relieve de la superficie terrestre. Durante el día el sol calienta el aire sobre tierra firme más que el que está sobre el mar. El aire continental se expande y eleva, disminuyendo así la presión sobre el terreno y haciendo que el viento sople desde el mar hacia las costas. La rotación terrestre, la diferencia de temperatura y la presión atmosférica tienen influencia en la dirección del viento.

El contenido energético del viento depende de su velocidad. Cerca del suelo, la velocidad es baja, pero aumenta rápidamente con la altura. Cuanto más accidentada sea la superficie del terreno, más frenará éste al viento. Sopla con menos velocidad en las depresiones terrestres y en contrapunto con más sobre las colinas. No obstante, el viento sopla con más fuerza sobre el mar que en tierra. Es por esto, que las mejores localizaciones para las turbinas se encuentren en el mar, sobre colinas, cercanas a la costa y con poca vegetación.

Esta energía, es inagotable, no contamina; y aunque la instalación de uno de estos aparatos es relativamente costosa, a la larga se sentirán los resultados positivos, especialmente en el campo económico.

1.2 VENTAJAS DE LA ENERGÍA EÓLICA.

- Es una fuente de energía segura y renovable.
- No produce emisiones a la atmósfera ni genera residuos, salvo los de la fabricación de los equipos y el aceite de los engranajes.
- Se trata de instalaciones móviles, cuya desmantelación permite recuperar totalmente la zona.
- Rápido tiempo de construcción (inferior a 6 meses).
- Su instalación es compatible con otros muchos usos del suelo.

1.3 DESVENTAJAS DE LA ENERGÍA EÓLICA.

- Impacto visual: su instalación genera una alta modificación del paisaje.
- Impacto sobre la avifauna: principalmente por el choque de las aves contra las palas.
- Impacto sonoro: el roce de las palas con el aire produce un ruido constante, la casa mas cercana deberá estar al menos a 200 m.

Tabla 1.1. Comparación del Impacto Ambiental de las diferentes formas de producir electricidad (en toneladas por Gwh producido).

Fuente de Energía	CO2	NO2	SO2	Partículas	CO	Hidrocarburos	Residuos Nucleares	Total
Carbón	1058.2	2.986	2.971	1.626	0.267	0.102	-	1066.1
Gas Natural	824	0.251	0.336	1.176	N/A	N/A	-	825.8

Nuclear	8.6	0.034	0.029	0.003	0.018	0.001	3.641	12.3
Fotovoltaica	5.9	0.008	0.023	0.017	0.003	0.002	-	5.9
Biomasa	0	0.614	0.154	0.512	11.361	0.768	-	13.4
Geotérmica	56.8	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	-	56.8
EÓLICA	7.4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	-	7.4
Solar térmica	3.6	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	-	3.6
Hidráulica	6.6	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	-	6.6

Tabla 1.2. Principales Países por capacidad Eólica instalada.

PAÍS	MEGAVATIOS (Mw.)	PAÍS	MEGAVATIOS (Mw.)
Alemania	4450	Reino unido	363
Estados unidos	2533	China	246
Dinamarca	1761	Italia	227
España	1539	Suecia	197
India	1062	Canadá	127
Países bajos	429	Grecia	121

1.4- AEROGENERADORES.

1.4.1. Historia.

En el siglo V A.C. se encuentran los primeros aeromotores en Asia. Más o menos por la misma época, en Egipto se utilizaban molinos de eje vertical para moler grano y bombear agua, también en la zona de Sijistán entre Irán y Afganistán. Todos estos molinos tenían el mismo principio: transformar la energía eólica en energía para el bombeo de agua y la molturación del grano entre otras.

En el siglo VII D.C. se da origen a los primeros modelos rústicos de los clásicos molinos holandeses que hoy en día son mecánicamente sofisticados.

Fue en el año 1802 cuando Lord Kelvin trató de asociar un generador eléctrico a un aeromotor para la producción de energía eléctrica.

Charles F. Brush (1849-1929) es uno de los fundadores de la industria eléctrica americana. Durante el invierno de 1887-88 construyó la que hoy se cree es la primera turbina eólica de funcionamiento automático para generación de electricidad. Era la más grande del mundo con un diámetro de rotor de 17 m y 144 palas fabricadas en madera de cedro. La turbina funcionó durante 20 años y cargó las baterías en el sótano de su mansión.



Figura 1.1. La primera turbina eólica construida por Charles F. Brush.

Fue el danés Poul La Cour (1846-1908), quien más tarde descubrió que las turbinas eólicas de giro rápido con pocas palas de rotor son más eficientes para la producción de electricidad que aquellas de giro lento. La Cour, que tuvo originalmente una formación como meteorólogo, fue el pionero de las modernas turbinas eólicas generadoras de electricidad, como también de la moderna aerodinámica, y construyó su propio túnel de viento para realizar experimentos.



Figura 1.2. Los aerogeneradores de La Cour.

Estas turbinas cubrían alrededor de un 3 por ciento del consumo de electricidad de Dinamarca en aquel momento. Sin embargo, el interés danés en la energía eólica decayó en los años siguientes, aunque una crisis de suministro durante la Segunda Guerra Mundial hizo que se afianzara. Hacia el año 1920 la energía eólica obtiene cierto éxito, pues había trescientos constructores de estos aparatos.

El estudio en los campos de la aerodinámica permitió alcanzar enormes progresos en los aeromotores, esto hasta el año 1961; desgraciadamente en ese año el precio del petróleo bajó, poniendo al kilowatt "eólico" a precios inaccesibles. Desde el año 1973 ocurre el proceso inverso, impulsando programas de estudio y realización de aerogeneradores.

Hoy, Dinamarca dispone (en 2003) de alrededor de 3.000 Mw. de energía eólica, suministrados aproximadamente por unos 5.500 aerogeneradores. Un 80% de esta potencia pertenece a propietarios particulares y cooperativas.



Figura 1.3. El parque Eólico Avedøre Holme (Dinamarca).

La fotografía muestra el parque eólico de Avedøre Holme (Dinamarca), a tan sólo 5 Km. del centro de Copenhague. Los 12 aerogeneradores Bonus de 300 Kw. (y uno de prueba de 1000 Kw. de la compañía eléctrica) están situados al lado de una central térmica de 250 MW.

1.4.2. Tipos de aerogeneradores

En la actualidad existe toda una enorme variedad de modelos de aerogeneradores, diferentes entre sí tanto por la potencia proporcionada, como por el número de palas o incluso por la manera de producir energía eléctrica (aisladamente o en conexión directa con la red de distribución convencional). Pueden clasificarse, pues, atendiendo a distintos criterios:

1.4.2.1 Por la posición del aerogenerador:

a. Eje vertical:

Su característica principal es que el eje de rotación se encuentra en posición perpendicular al suelo. Son también llamados "VAWTs", que corresponde a las siglas de la denominación inglesa "vertical axis wind turbines". Existen tres tipos de estos aerogeneradores:

- ✓ **Darrieus:** Consisten en dos o tres arcos que giran alrededor del eje.
- ✓ **Panemonas:** Cuatro o más semicírculos unidos al eje central. Su rendimiento es bajo.
- ✓ **Sabonius:** Dos o más filas de semicilindros colocados opuestamente.



Figura 1.4. Aerogenerador de eje vertical Darrieus.

b. Eje horizontal:

Son los más habituales y en ellos se ha centrado el mayor esfuerzo de diseño en los últimos años. Se los denomina también "HAWTs", que corresponde a las siglas de la denominación inglesa "horizontal axis wind turbines".



Figura 1.5. Aerogenerador de eje horizontal que genera una potencia de 1.5 Mw.

Una discusión clásica dentro del campo de los aerogeneradores es que tipo de máquina es preferible. Brevemente, se puede decir aquí que las principales ventajas teóricas de una máquina de eje vertical son:

- 1) Puede situar el generador, el multiplicador, etc. en el suelo, y puede no tener que necesitar una torre para la máquina.
- 2) No necesita un mecanismo de orientación para girar el rotor en contra del viento.

Las principales desventajas son:

- 1) Las velocidades del viento cerca del nivel del suelo son muy bajas, por lo que a pesar de que pueden ahorrarse la torre, sus velocidades de viento serán muy bajas en la parte más baja de su rotor.

- 2) La eficiencia promedio de las máquinas de eje vertical no es muy grande.
- 3) La máquina no es de arranque automático (es decir, una máquina Darrieus necesitará un "empuje" antes de arrancar). Sin embargo, esto es sólo un inconveniente sin importancia, ya que puede utilizar el generador como motor absorbiendo corriente de la red para arrancar la máquina.
- 4) La máquina puede necesitar cables tensores que la sujeten, aunque esta solución no es practicable en áreas muy cultivadas.
- 5) Para sustituir el cojinete principal del rotor se necesita desmontar el rotor, tanto en las máquinas de eje horizontal como en las de eje vertical. En el caso de las últimas, esto implica que toda la máquina deberá ser desmontada.

1.4.2.2 Por el número de palas:

a) Una pala.

Al tener sólo una pala estos aerogeneradores precisan un contrapeso en el otro extremo para equilibrar. La velocidad de giro es muy elevada. Su gran inconveniente es que introducen en el eje unos esfuerzos muy variables, lo que acorta la vida de la instalación.



Figura 1.6. Aerogenerador Monopala.

b) Dos palas.

Los diseños bipala de aerogeneradores tienen la ventaja de ahorrar el coste de una pala y, por supuesto, su peso. Sin embargo, suelen tener dificultades para penetrar en el mercado, en parte porque necesitan una mayor velocidad de giro para producir la misma energía de salida.



Figura 1.7. Aerogenerador Bipala.

c) Tres palas.

La mayoría de los aerogeneradores modernos tienen este diseño, con el rotor mantenido en la posición corriente arriba, usando motores eléctricos en sus mecanismos de orientación. Este diseño tiende a imponerse como estándar al resto de los conceptos evaluados. La gran mayoría de las turbinas vendidas en los mercados mundiales poseen este diseño.



Figura 1.8. Aerogenerador Tripala, con un rotor de 72 m. de diámetro y 80 m. de altura.

d) Multipalas.

Con un número superior de palas o multipalas. Se trata del llamado modelo americano, debido a que una de sus primeras aplicaciones fue la extracción de agua en pozos de las grandes llanuras de aquel continente.



Figura 1.9. Aerogenerador Multipala.

1.4.2.3 **Por la manera de adecuar la orientación del equipo a la dirección del viento en cada momento:**

El mecanismo de orientación de un aerogenerador es utilizado para girar el rotor de la turbina en contra del viento. Se dice que la turbina tiene un error de orientación si el rotor no está perpendicular al viento.

Un error de orientación implica que una menor proporción de la energía del viento pasará a través del área del rotor. Por tanto, la eficiencia del mecanismo de orientación es fundamental para mantener el rendimiento de la instalación. Existen diferentes sistemas:

a) Mediante conicidad:

Un motor eléctrico y una serie de engranajes permiten el giro de todo el sistema. La figura muestra el mecanismo de orientación de una máquina típica de 750 Kw. vista desde abajo, mirando hacia la góndola. En la parte más

exterior se puede distinguir la corona de orientación, y en el interior las ruedas de los motores de orientación y los frenos del sistema de orientación.



Figura 1.10. Orientación del aerogenerador mediante conicidad.

b) Mediante una veleta:

Es el método más sencillo posible para orientar un aerogenerador. Se emplea únicamente en los equipos pequeños y tamaño no demasiado grandes.



Figura 1.11. Orientación del aerogenerador mediante una veleta.

c) Mediante molinos auxiliares:

Un ejemplo de este tipo de mecanismo de orientación, no demasiado empleado, se muestra en la figura. Los rotores situados a ambos lados de la góndola son movidos por la propia corriente de aire.



Figura 1.12. Orientación del aerogenerador mediante un molino auxiliar.

1.4.2.4 Por el control de potencia:

Todos los aerogeneradores deben poseer algún método de control de la potencia generada, con el fin de evitar que se produzcan daños en los distintos componentes de estos equipos en caso de vientos excesivos. Recordemos que la energía del viento aumenta con el cubo de su velocidad. Por ello, se han desarrollado una serie de dispositivos que cumplen exactamente este cometido. Básicamente se clasifican en:

a) Sistemas de paso variable (pitch regulation):

Este método de control consiste en que las palas varían su ángulo de incidencia con respecto al viento. Cuando la potencia generada es excesiva, las palas comienzan a girar sobre su eje longitudinal hasta adoptar la posición denominada de bandera. La resistencia entonces opuesta al viento es mínima, así como el par ejercido y la potencia generada. Un sistema electrónico vigila tanto la velocidad del viento, como la potencia generada y la posición de las palas.

b) Diseño de las palas (stall regulation):

Los aerogeneradores de regulación (pasiva) por pérdidas aerodinámicas tienen las palas del rotor unidas al buje en un ángulo fijo. Sin embargo, el perfil de la pala ha sido aerodinámicamente diseñado para asegurar que, en el momento en que la velocidad del viento sea demasiado alta, se cree una cierta turbulencia en la parte de la pala que no da al viento.

Esta pérdida de sustentación evita que la fuerza ascensional de la pala actúe sobre el rotor. Conforme aumenta la velocidad real del viento en la zona, el ángulo de ataque de la pala del rotor también aumentará, hasta llegar al punto de empezar a perder la sustentación.

c) *Aerogeneradores de regulación activa por pérdida aerodinámica:*

Un número creciente de grandes aerogeneradores (a partir de 1 Mw.) están siendo desarrollados con un mecanismo de regulación activa por pérdida aerodinámica. Técnicamente, las máquinas de regulación activa por pérdida aerodinámica se parecen a las de regulación por cambio del ángulo de paso, en el sentido de que ambos tienen palas que pueden girar (a menudo sólo utilizan unos pocos pasos fijos, dependiendo de la velocidad del viento).

Sin embargo, cuando la máquina alcanza su máxima potencia nominal, la máquina girará las palas en dirección contraria a la que haría una máquina de regulación por cambio de ángulo de paso. En otras palabras, aumentará el ángulo de paso de las palas para llevarlas hasta una posición de mayor pérdida de sustentación, y poder así consumir el exceso de energía del viento.

d) *Otros métodos de control de potencia:*

Algunos aerogeneradores modernos usan alerones (aletas) para controlar la potencia del rotor, al igual que los aviones. Otra posibilidad teórica es que el rotor oscile lateralmente fuera del viento (alrededor de un eje vertical) para disminuir la potencia. En la práctica esta técnica se usa para aerogeneradores muy pequeños.

1.4.3. Constitución de un aerogenerador.

Un aerogenerador está compuesto por las siguientes partes:

a) Un aeromotor.

De dos palas o tres, provisto de un sistema de regulación, que confiera al rotor una velocidad de rotación estable a partir de cierta velocidad del viento, y un sistema de seguridad destinado a frenar la máquina en caso de que el viento sople demasiado fuerte.

b) Palas o Aspas.

El elemento del aerogenerador que recibe la energía cinética del viento es la hélice aerodinámica, que normalmente esta constituida por dos o tres palas. Las palas están hechas de forma que aprovechen el máximo la energía que contiene el viento.

Cuando las palas giran, su movimiento inducen una velocidad del aire igual, y de sentido contrario al del giro de estas. Estas velocidades a causa del giro de las palas va variando desde el cubo hasta la punta de las palas. El viento relativo (V) que incide sobre las palas es el resultado de sumar el viento natural (v) y el viento inducido por el giro de las palas (U). La relación de velocidades λ se obtiene al dividir la velocidad tangencial (u) de la pala a la distancia r, por la velocidad del viento natural (v).

$$\lambda = \frac{u}{v} \quad (1.1)$$

c) Multiplificador.

Para poder adecuar la velocidad de giro del rotor a la velocidad de carga del generador eléctrico, que se tenga acoplado, a veces, es necesario intercalar un sistema multiplicador de esta velocidad de giro. Con un multiplicador hace la conversión entre la potencia de alto par torsor, que obtiene del rotor de la turbina eólica girando lentamente, y la potencia de bajo par torsor, a alta velocidad, que utiliza en el generador.

d) La Unidad de Refrigeración.

Contiene un ventilador eléctrico utilizado para enfriar el generador eléctrico. Además contiene una unidad refrigerante por aceite empleada para enfriar el aceite del multiplicador. Algunas turbinas tienen generadores refrigerados por agua.

e) El Eje de Baja Velocidad.

Conecta el buje del rotor al multiplicador. En un aerogenerador moderno de 600 Kw. el rotor gira muy lento, a unas 19 a 30 revoluciones por minuto. El eje contiene conductos del sistema hidráulico para permitir el funcionamiento de los frenos aerodinámicos.

f) El Eje de Alta Velocidad.

Gira aproximadamente a 1.500 r.p.m. lo que permite el funcionamiento del generador eléctrico. Está equipado con un freno de disco mecánico de emergencia. El freno mecánico se utiliza en caso de fallo del freno aerodinámico, o durante las labores de mantenimiento de la turbina.

g) Un Generador Eléctrico.

El generador es una de las partes más importantes de los aerogeneradores, ya que su misión es la de transformar la energía de rotación en energía eléctrica.

Tanto los dinamos como el alternador se basan en el movimiento relativo de una bobina y un campo magnético, de forma que se produce una corriente eléctrica.

a) Dínamos.

Un dínamo es un generador eléctrico de corriente continua (su corriente siempre circula en el mismo sentido), que transforma la energía mecánica que recibe por su eje en energía eléctrica que subministra por sus bornes. Un dínamo esta formada básicamente por dos partes: la que gira, llamadas rotor; constituida por el inducido y el colector, y la que esta quieta, llamada estator, que lleva las bobinas inductoras.



Figura 1.13 Dínamo.

➤ Características:

- 1) Funcionan normalmente a voltajes bajos para evitar las chispas que se producen entre las escobillas y el conmutador a voltajes altos.
- 2) El potencial más alto que pueden desarrollar suele ser de 1500 V.

- 3) Utilizan armaduras de tambor formadas por un gran número de bobinas agrupadas longitudinalmente en el núcleo de esta.
- 4) La corriente que producen las bobinas de la armadura es prácticamente constante.

b) Alternadores.

Un alternador es un generador eléctrico de corriente alterna (la corriente va cambiando de sentido), que transforma la energía mecánica que recibe por el eje, en energía eléctrica que suministra por los bornes. En estas tipos de generadores el inducido es el estator y el inductor el rotor.



Figura 1.14. Alternador.

Hay varios tipos de alternadores, como por ejemplo los que se nombra a continuación:

Ⓢ Alternadores síncronos.

Estas máquinas se usan para la producción de corriente alterna a 125 V, 220 V, o más y su potencia va de 2 Kw. hacia arriba. Se trata de generadores lentos, pesados, muy sólidos y que requieren poco mantenimiento. En su eje lleva acoplado un dínamo, la corriente de la cual se utiliza para activar la bobina inductora del alternador.

Ⓢ Alternadores asíncronos.

Los motores trifásicos de inducción se pueden utilizar como generadores, por acoplamiento de un grupo trifásico de condensadores. Las principales ventajas de este generador son que no tienen escobillas y que son muy robustos, por lo tanto casi no tiene averías.

Su simplicidad en su funcionamiento y el bajo coste que dan, lo hacen ideal en las instalaciones de cierta importancia, para cargar baterías de 110 o 220 V.

Ⓢ Alternadores de imanes permanentes.

Tal y como indica su nombre, son alternadores que en su rotor tienen imanes permanentes, por lo tanto, son generadores sin escobillas ni bobinas inductoras, por esto, prácticamente no tienen averías. No se les puede regular el campo magnético creado por los imanes por lo que tienen una intensidad de salida limitada, que de la cual no se puede sobrepasar, excepto que se le acoplen condensadores.

➤ Características:

- 1) Los generadores simples sin conmutadores producen una corriente eléctrica que cambia de dirección a medida que gira la armadura.
- 2) Es ventajosa para la transmisión de potencia eléctrica.
- 3) Los alternadores se construyen con una armadura fija donde gira un rotor compuesto de un número de imanes de campo.

h) Sistema de Regulación.

Los aerogeneradores tienen que disponer de sistemas de regulación para impedir que vientos extremadamente violentos puedan dañarlos. Por otra parte, a veces interesa establecer sistemas que permitan una arrancada con velocidades suaves del viento, para así aprovechar mejor el potencial eólico.

Los sistemas de regulación trabajan solamente en las etapas de exceso de potencia, evitando velocidades de giro muy altas, que podrían poner en peligro la integridad de las turbinas.



Figura 1.15. Sistema de Regulación.

i) Sistema de Orientación.

Para que la eólica pueda funcionar esta debe orientarse hacia a la dirección del viento de forma que este incida perpendicularmente sobre el plano de giro de las palas. La orientación del sistema se soluciona mediante un mecanismo de giro de bajo contacto, ayudado por sistemas automatizados que mueven la turbina sin dificultad. También se consigue colocando una veleta que lo estabiliza en la dirección del viento.



Figura 1.16 Sistemas de Orientación.

j) Armazón o Góndola.

Contiene los componentes claves del aerogenerador, incluyendo el multiplicador y el generador eléctrico, nos servirá para proteger a todas las piezas del conjunto de los factores climáticos.

k) El Anemómetro.

Las señales electrónicas del anemómetro son utilizadas por el controlador electrónico del aerogenerador para conectarlo cuando el viento alcanza la velocidad de arranque. El ordenador parará el aerogenerador automáticamente si la velocidad del viento excede del valor establecido.

l) Torre de Soporte del Aerogenerador.

Es importante su construcción por varias razones, ya que soportará a las partes del aerogenerador.

- ✓ SU ALTURA. La torre necesita ser lo suficientemente alta (mínimo 9 m. por encima de cualquier obstáculo), para evitar la zona del flujo del viento perturbado por edificios, árboles y otras obstrucciones.

- ✓ MANTENIMIENTO. El acceso al aerogenerador debe ser fácil para la respectiva inspección y mantenimiento.
- ✓ ROBUSTEZ. La torre deberá resistir las sobrecargas producidas, como ser: esfuerzos ocasionados por funcionamiento anormal, ráfagas de viento, y turbulencias.
- ✓ FORMA. En los grandes aerogeneradores las torres tubulares pueden ser de acero, de celosía o de hormigón. Las torres de mástil con tensores se utilizan en aerogeneradores pequeños.

1) Torres tubulares de acero auto sustentable.

La mayoría de los grandes aerogeneradores se entregan con torres tubulares de acero, fabricadas en secciones de 20-30 metros con bridas en cada uno de los extremos. Las torres son tronco-cónicas (es decir, con un diámetro creciente hacia la base), con el fin de aumentar su resistencia y al mismo tiempo ahorrar material.

2) Torres de celosía auto sustentable.

Las torres de celosía son fabricadas utilizando perfiles de acero soldados. La ventaja básica de las torres de celosía es su coste, puesto que una torre de celosía requiere sólo la mitad de material que una torre tubular con la misma rigidez. La principal desventaja de este tipo de torres es su apariencia visual.

3) Torre de mástil con tensores.

Muchos de los aerogeneradores pequeños están contruidos con delgadas torres de mástil sostenidas por cables tensores.

La ventaja es el ahorro de peso y, por lo tanto, de coste.

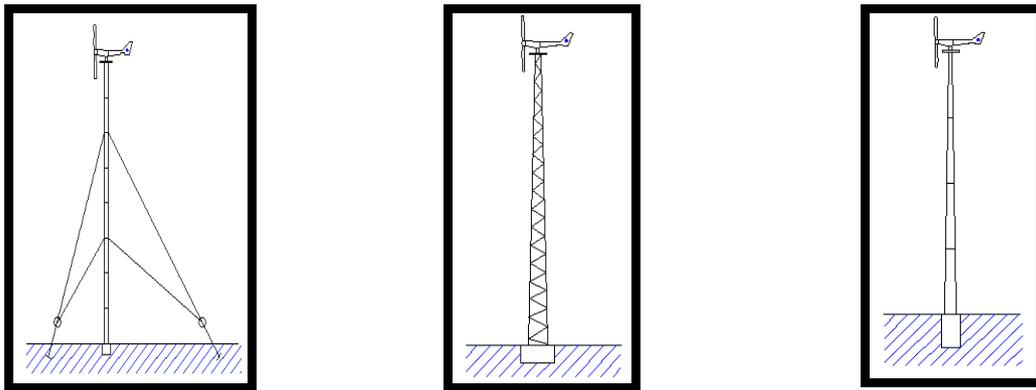


Figura 1. 17. Tipos de torres. A la izquierda, torre de mástil con tensores. En el centro, torre de celosía autosostenida. A la derecha, torre tubular auto sostenida.

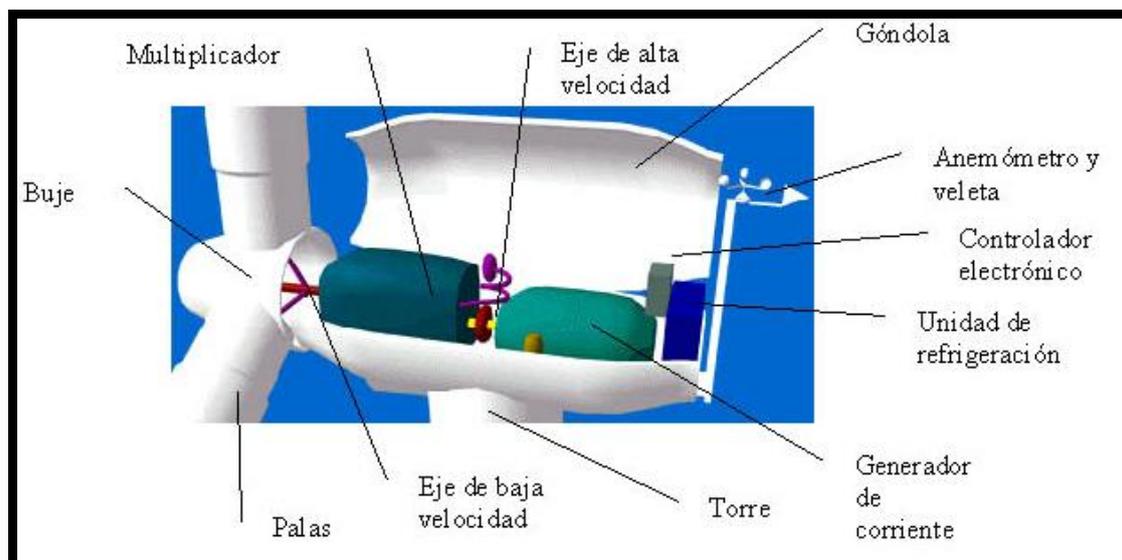


Figura 1.18. Partes del Aerogenerador.

1.5 VIENTO.

La finalidad de este subtítulo es tratar aquel fenómeno tan perceptible pero que pasa tan desapercibido ante nosotros, el viento. Se abordará solamente algunas características del viento que serán útiles para la construcción de los aerogeneradores; además se tomará como ejemplo el Aeropuerto Internacional "Cotopaxi", y la Tola-Tumbaco.

1.5.1 Origen del Viento.

La atmósfera constituida esencialmente por oxígeno, nitrógeno y vapor de agua, se caracteriza por su presión, que varía con la altura. La radiación solar se absorbe de manera muy distinta en los polos que en el Ecuador, a causa de la redondez de la tierra. Es pues la energía absorbida en el Ecuador mucho mayor a la de la absorbida en los polos. Estas variaciones de temperatura, provocan cambios en la densidad de las masas de aire, por lo que se desplazan en diferentes latitudes.

Estas traslaciones se realizan desde las zonas en que la densidad del aire (presión atmosférica) es alta en dirección a las de baja presión atmosférica.

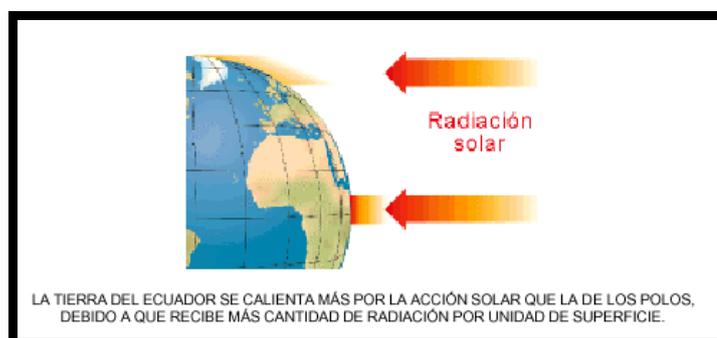


Figura 1.19. La Radiación Solar.

1.5.2 Regiones depresionarias y anticiclónicas.

El aire caliente de la zona ecuatorial se hace más ligero y se eleva. Al ascender, se dirige en altura hacia los polos. A medida que se desplaza hacia el polo sufre la acción de la fuerza de Coriolis, desviándose hacia su derecha en el hemisferio Norte y hacia su izquierda en el hemisferio Sur.

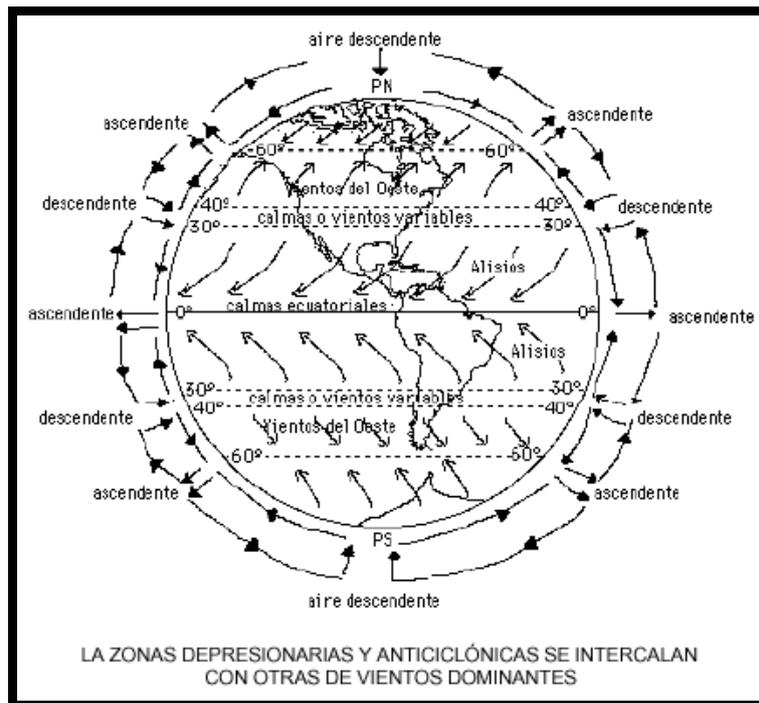


Figura 1.20. Zonas depresionarias y anticiclónicas.

Cuando el aire se enfría cae, y una vez en la superficie de la tierra retorna al Ecuador absorbido por las bajas presiones que se generan en la zona al ascender el aire caliente. En este trayecto se vuelve a desviar debido a la fuerza de Coriolis, de manera que al llegar a la zona subtropical es ya un viento del Noreste en el hemisferio Norte, y del sureste en el hemisferio Sur.

En los polos ocurre lo contrario. El aire frío y pesado se desplaza desde la zona polar a ras de suelo en dirección al Ecuador. La fuerza de Coriolis, lo desvía al Noreste en el hemisferio Norte, y al sureste en el hemisferio Sur. Al descender de latitud el aire se calienta y asciende, volviendo a la zona polar por arriba, absorbido por la depresión en altitud que genera el aire. Sobre el polo vuelve a enfriarse descendiendo y se cerrando el ciclo.

1.5.3 La Fuerza de Coriolis.

La denominada fuerza de Coriolis influye en todos los fenómenos de traslación que se realizan sobre la superficie de la tierra. Debido a su rotación, en el hemisferio Sur, la fuerza de Coriolis desvía hacia la izquierda los movimientos de las masas de aire y agua. En el hemisferio Norte se produce el efecto inverso: la desviación se produce hacia la derecha.



Figura 1.21. La fuerza de Coriolis.

1.5.4 Vientos debido a diferencia de temperaturas.

El viento también puede sufrir modificaciones debido a su interacción con la superficie terrestre, originadas por diferencias de temperatura entre zonas relativamente próximas entre sí, además de la rugosidad y el relieve del terreno. Los vientos debidos a diferencias de temperatura más conocidos son las brisas marinas y los vientos de montaña y valle.

a). Brisas marinas

Se originan por las diferencias de temperatura entre el mar y la tierra. Durante el día, la tierra se calienta más rápidamente que el mar, originándose, a partir del mediodía aproximadamente, una circulación de aire del mar hacia la tierra. Durante la noche, la tierra se enfría más rápidamente que el mar invirtiéndose la corriente.

La fuerza del viento resultante depende de la diferencia de temperatura entre ambos elementos, por lo que las brisas se muestran con más claridad en verano.

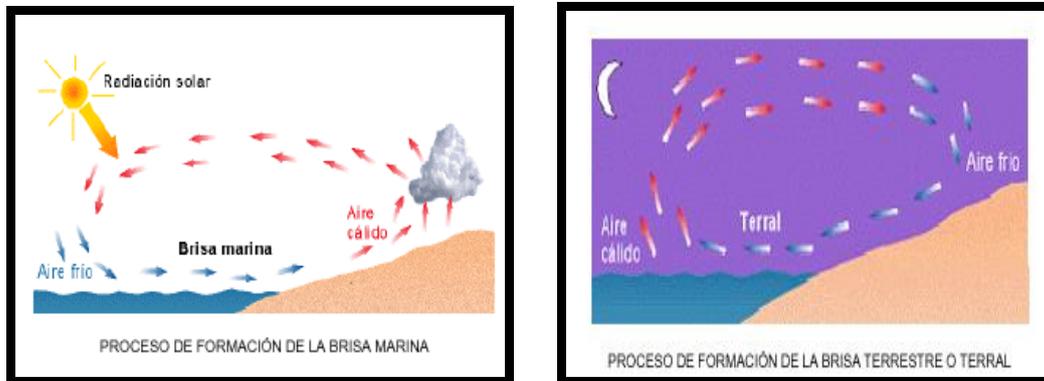


Figura 1.22. Brisa Marina y Brisa Terrestre.

b). Vientos de montaña y valle

Tienen el mismo origen que las brisas, originándose la diferencia de temperatura entre las zonas altas de los montes y los valles. Dependen de las distribuciones de temperatura existentes y de la orografía de la zona. Ambos fenómenos se desarrollan cuando los vientos dominantes están muy atenuados.

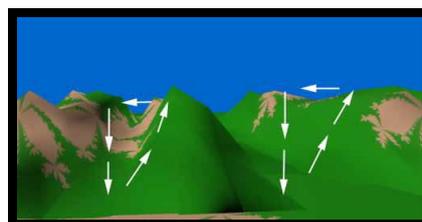


Figura 1.23. Vientos de Montaña.

Por otra parte, la orografía del terreno también juega un papel importante. La velocidad del viento sufre una aceleración cuando tiene que remontar colinas, montes o cadenas montañosas, mientras que se atenúa en

los valles. Hay que tener en cuenta también la influencia de los obstáculos como las casas, árboles, vallas, etc., que producen una atenuación de la velocidad del viento y la aparición de turbulencias.

1.5.5. Dirección y Velocidad del viento

a) La dirección del viento

Viene definida por el punto del horizonte del observador desde el cual sopla. En la actualidad, se usa internacionalmente la rosa dividida en 360°. El cálculo se realiza tomando como origen el norte y contando los grados en el sentido de giro del reloj.

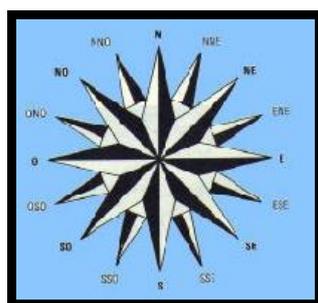


Figura 1.24. Rosa de los Vientos.

b) La velocidad del viento

Se mide preferentemente en náutica en nudos y mediante la escala Beaufort. Esta escala comprende 12 grados de intensidad creciente que describen el viento a partir del estado del mar. Con la llegada de los modernos anemómetros, a cada grado de la escala se le ha asignado una banda de velocidades medidas por lo menos durante 10 minutos a 10 metros de altura sobre el nivel del mar. En la meteorología, la escala Beaufort tiende a sustituirse por las mediciones precisas en nudos (1 Kt = 0.5 m/s).

1.5.6. Medición del Viento

El aparato tradicionalmente empleado para medir la dirección del viento es la veleta que marca la dirección en grados en la propia rosa. Debe instalarse de acuerdo a los procedimientos internacionales vigentes para evitar las perturbaciones. Se considera que partir de 10 metros de altura las perturbaciones no afectan de forma notable a la medida.

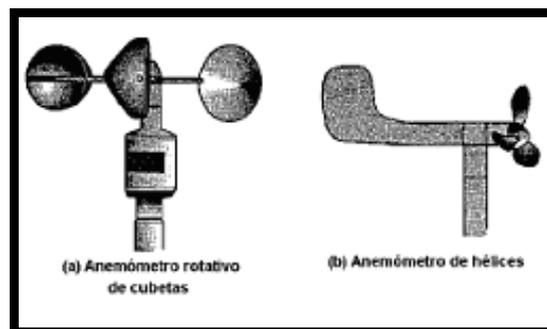


Figura 1.25. Tipos de anemómetros.

La velocidad del viento se mide con el anemómetro, que es un molinete de tres brazos, separados por ángulos de 120° , que se mueve alrededor de un eje vertical. Los brazos giran con el viento y permiten medir su velocidad.

1.5.7 Variaciones de la Velocidad del Viento en el Tiempo.

a) Fenómenos instantáneos: Ráfagas.

Son difíciles de caracterizar; para tener una idea aproximada de estas variaciones, se necesitan registros meteorológicos de vientos periódicos, de por lo menos 20 años hacia atrás. Por lo tanto, cuando se quiere utilizar la energía eólica, es importante tener en cuenta las ráfagas. Así, las variaciones

bruscas de la velocidad del viento originan variaciones muy considerables de la energía aplicada al aeromotor.

b) Fenómenos diarios.

Se deben a los fenómenos térmicos producidos por la radiación solar. Las variaciones de temperatura con la altitud crean corrientes ascendentes, la velocidad media del viento es más débil por la noche, con pocas variaciones y aumenta a partir de la salida del sol.

c) Fenómenos mensuales.

Las variaciones mensuales dependen esencialmente del lugar geográfico y solo las estadísticas meteorológicas pueden predecir estas variaciones. Según el registro de estos fenómenos desde el año 1973-1999, los datos fueron recogidos por DGAC (Dirección General de Aviación Civil – Departamento de Climatología y Meteorología) con base en el Aeropuerto “Cotopaxi” – Latacunga. Estos datos se encuentran en el Anexo A.

Los meses más ventosos generalmente son: mayo, junio, julio, agosto, septiembre; con velocidades de 10 a 12 nudos, (5,147 a 6.177 m/s). Estos son promedios mensuales, por lo que las velocidades representadas tienen notable diferencia con las velocidades reales diarias.

También se tiene información del sitio de La Tola-Tumbaco, donde se tiene los Datos Meteorológicos desde el año 1991-2001, los cuales fueron recogidos por el INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología). Estas mediciones han sido tomadas a 10 metros sobre el nivel del suelo. Ver

Anexo B. En donde los meses mas ventosos corresponden a Junio, Julio, Agosto, Septiembre y Octubre; con una media correspondiente a 11.0 m/s.

d) Fenómenos anuales.

Las variaciones anuales son periódicas con buena precisión en los datos, de modo que de un año a otro, es posible hacer una buena evaluación de la energía eólica recuperable en un lugar determinado.

1.5.8 Variaciones de velocidad del viento con la altitud

Debido a que los obstáculos cerca del suelo interrumpen el flujo de viento, la velocidad de este típicamente se incrementa con la altura y algunas veces puede hacerlo de manera espectacular cuando se trata de terrenos rugosos. Este efecto es tan importante que los datos de viento frecuentemente incluyen la altura a que fueron medidos.

La manera más fácil de calcular el incremento de la velocidad del viento con la altura es el método de la “Ley Exponencial”.

$$v/v_o = (H/H_o)^\alpha \quad (1.2)$$

$$v = (H/H_o)^\alpha v_o \quad (1.3)$$

Donde v_o es la velocidad del viento en la altura original, v es la velocidad del viento en la nueva altura, H_o es la altura original, H es la nueva altura y α es el coeficiente de rugosidad superficial.

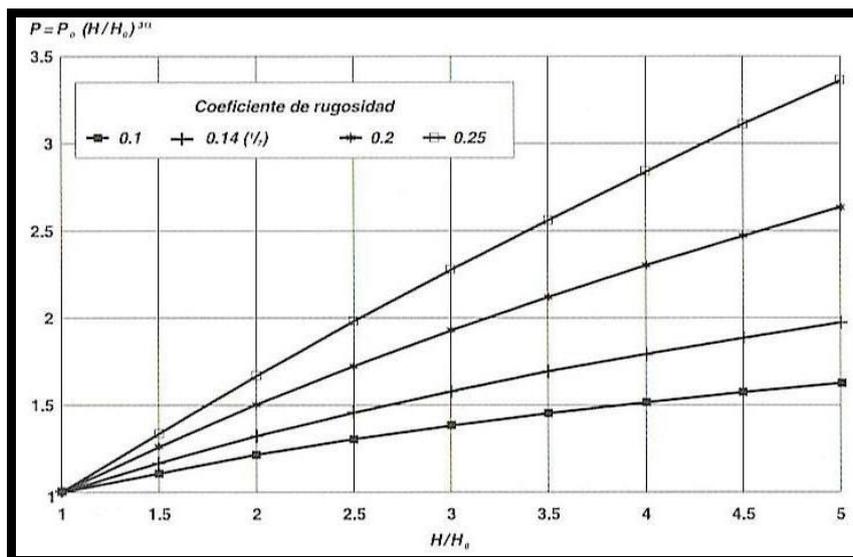


Figura 1.26 Incremento de la potencia del viento como función de la altura de la torre.

Tabla 1.3. Exponentes típicos de rugosidad.

Tipo de terreno.	Coefficiente de Rugosidad Superficial (α)
Agua o hielo	0.10
Hierba baja o estepa.	0.14
Zona rural con obstáculos.	0.20
Suburbios o bosques.	0.25

La rapidez con la cual la velocidad del viento aumenta con la altura varía con la vegetación y el terreno. El incremento es mayor sobre terreno rugoso o con numerosos obstáculos tales como árboles y arbustos, y más pequeño sobre terreno liso, como la superficie de un lago.

1.5.9. Lugar de Emplazamiento para la instalación eólica.

El buen funcionamiento de la máquina requiere de un estudio profundo de un área geográfica en función de los fenómenos antes explicados, como también hay que realizar mediciones continuas de la velocidad y dirección del viento para saber si es apta para la instalación de aerogeneradores.

Para poder evaluar los recursos eólicos estas mediciones se llevan a cabo mediante instalaciones meteorológicas que recogen los datos de velocidad media cada cierto tiempo, por lo general tres mediciones diarias durante varios años como mínimo, para poder controlar las variaciones del viento de un año a otro, a lo largo de un año, un mes, un día, etc.

1). Medición de las velocidades del viento.

Antes de comenzar la explotación de una estación de energía eólica, en un lugar dado, es necesario disponer de un mínimo de datos sobre las características del viento en dicho lugar. Este estudio debe ser llevado con datos anteriores a tres años en un determinado lugar.

2) Potencial eólico.

La evaluación de la energía recuperable en un lugar debe conocerse o estimarse antes de cualquier otro trabajo. El usuario debe estar seguro de si el viento puede abastecer sus necesidades energéticas, y que la inversión no será desproporcionada al rendimiento del aeromotor.

Según la investigación realizada un buen lugar de emplazamiento es el Sector La Tola-Tumbaco, ya que el promedio de la velocidad de viento en esa zona es de 11 m/s. Para todo tipo de aeromotor la elección del emplazamiento es un elemento determinante, los parámetros varían según la potencia del aeromotor.

a) Para las Grandes Potencias ($P > 100 \text{ kw.}$). El número de emplazamientos es casi limitado, puesto que el criterio esencial de elección es: el coste de la unidad de energía kilowatt hora (Kwh.) producida, debe ser competitiva con otras fuentes de energía.

b) Para Pequeñas Potencias ($P < 10 \text{ Kw.}$); El número de emplazamientos es también limitado, puesto que el criterio esencial es en este caso es la proximidad al usuario.

También se deberá conocer la topografía del terreno y cuando se conozca la viabilidad de la energía eólica, será necesaria una selección del emplazamiento en función de las distancias a los posibles obstáculos y sobre todo en dirección de los vientos predominantes.

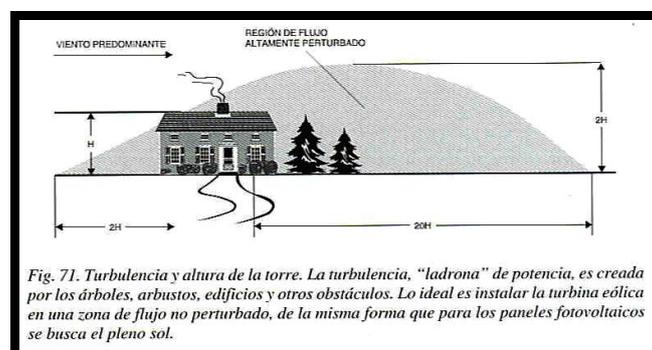


Figura 1.27 Turbulencia y Altura de la torre.

a) Perturbaciones del viento con el terreno.

- Colinas de pendientes suaves y cima redondeada: lugar muy favorable, el incremento de velocidad puede llegar a un 20%.
- Colinas de pendientes fuertes y cima acantilada: lugar provocante de la destrucción del aeromotor en un tiempo breve.
- Peñón, árbol, edificio, casa, etc. Producen mucha turbulencia.

➤ En el suelo las perturbaciones aumentan con el viento.

b) Determinación en relación a elementos favorables.

- La mínima vegetación posible.
- Colinas de poca pendiente, o estrechamientos de valles.
- Naturaleza del terreno para los cimientos de la torre. Sería perfecto si el terreno fuera rocoso.
- Medios de acceso fáciles para el mantenimiento y construcción.

1.6. AERODINÁMICA DEL AEROGENERADOR.

1.6.1 El Tubo de Corriente.

El rotor de la turbina eólica debe obviamente frenar el viento cuando captura su energía cinética y la convierte en energía rotacional. Esto implica que el viento se moverá más lentamente en la salida del rotor que en la entrada. Dado que la cantidad de aire que pasa a través del área barrida por el rotor en la entrada, debe ser igual a la que abandona el área del rotor en su salida, el aire ocupará una mayor sección transversal (diámetro) detrás del plano rotor.

Un aerogenerador desviaré el viento antes incluso de que el viento llegue al plano del rotor. Esto significa que nunca se podrá capturar toda la energía que hay en el viento utilizando un aerogenerador.

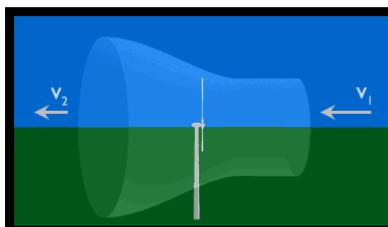


Figura 1.28 Tubo de Corriente.

Este efecto puede apreciarse en la imagen superior, donde se muestra un tubo imaginario, el llamado tubo de corriente, alrededor del rotor de la turbina eólica. El tubo de corriente muestra cómo el viento moviéndose lentamente hacia la izquierda ocupará un gran volumen en la parte posterior del rotor.

1.6.2 Energía suministrada por el viento.

El viento, consiste en aire en movimiento. La energía que el viento proporciona es una forma de energía cinética, en función de la masa y de la velocidad de un determinado volumen de aire. Si se considera que la masa por unidad de volumen o densidad del aire es constante se puede afirmar que la energía proporcionada por el viento está en función de su velocidad.

La energía cinética de una masa de aire en movimiento es igual a:

$$E_c = \frac{1}{2} m * v^2 \quad (1.4)$$

$$E_c = \frac{1}{2} \rho * V * v^2 \quad (1.5)$$

La cantidad de aire que llegará al rotor de un aerogenerador en un tiempo "t" dependerá de: el área de barrido del rotor "A" y de la velocidad del viento.

$$E_c = \frac{1}{2} \rho * A * v^3 * t \quad (1.6)$$

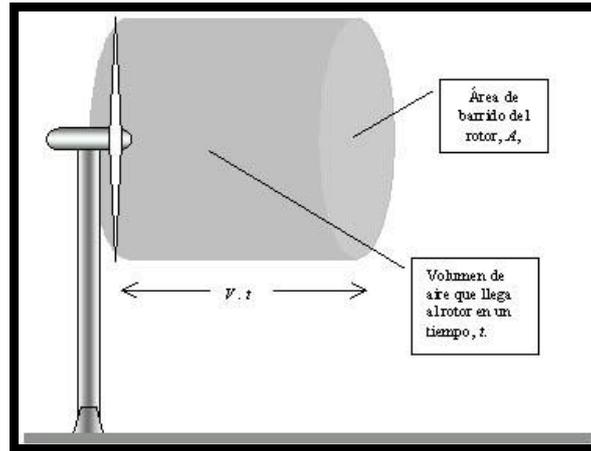


Figura 1.29 Área de barrido del Aerogenerador.

La energía que atraviesa la superficie A en la unidad de tiempo es la potencia P desarrollada por el fluido a través de dicha sección:

$$P = \frac{Ec}{t} = \frac{1/2 \rho * A * v^3 * t}{t} \quad (1.7)$$

$$P = \frac{1}{2} \rho * A * v^3 \quad (1.8)$$

Se tiene así, que la potencia del viento es proporcional a la densidad del aire, al área de sección considerada y al cubo de su velocidad.

Como también se ha visto anteriormente el aerogenerador ralentiza el viento al pasar por el rotor, hasta un 2/3 de su velocidad inicial. Lo que significa que no se aprovecha toda la energía cinética que el viento aporta al rotor, existiendo una ley, llamada **LEY DE BETZ** que dice:

"Sólo puede convertirse menos de 16/27 (el 59%) de la energía cinética en energía mecánica usando un aerogenerador".

1.6.3 Máxima potencia extraíble del viento.

La potencia captada por un aerogenerador suele expresarse como:

$$P = \left(\frac{1}{2} \rho * A * v^3 \right) * C_P \quad (1.9)$$

Donde C_p es el coeficiente de potencia que determina el rendimiento aerodinámico del rotor.

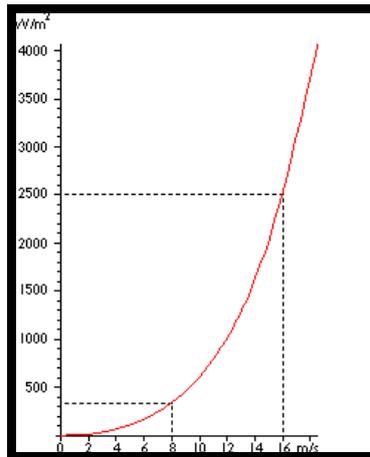


Figura 1.30 Potencia en W/m^2 con relación a la velocidad del viento. Con una velocidad del viento de 8 m/s se obtiene una potencia de $314 W/m^2$ y a 16 m/s se consigue una potencia ocho veces mayor $2.509 W/m^2$.

1.6.3.1. El rotor

En los sistemas eólicos el elemento captador consiste en un rotor que transforma la energía cinética del viento en energía rotacional que es comunicada a un generador eléctrico. El principal elemento de este rotor son las palas.

Para el cálculo preliminar se necesita saber cuanta potencia debe generar el rotor, a que velocidad debe generarla, y cual es la velocidad de giro del generador para producir energía. De forma preliminar, se puede calcular el área del rotor deseado partiendo de la relación:

$$A = \frac{2P}{\rho * v^3 * C_p} \quad (1.10)$$

Donde se debe tomar un valor aproximado de C_p (normalmente entre 0.3 y 0.35). Pero también hay que tener en cuenta las pérdidas en la maquinaria que va conectada al rotor (multiplicador, generador, eje con cojinetes, etc.). Cada componente tiene su propia eficiencia, por lo que se debe multiplicar C_p por cada una de estas eficiencias para conocer la potencia útil que se va a generar.

1.6.4. Curva de potencia.

La curva de potencia es el método que utilizan los fabricantes para las diferentes condiciones de viento. Todas las curvas de potencia incluyen una velocidad de arranque, que es aquella en la que la turbina comienza a girar y el generador comienza a generar potencia.

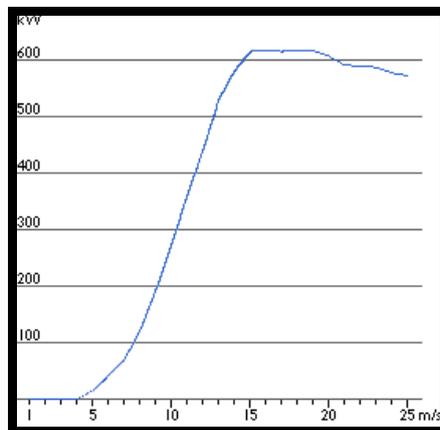


Figura 1.31 Curva de potencia de un aerogenerador de 600 Kw.

La curva de potencia también incluye la velocidad de viento nominal de la turbina, esta es la velocidad del viento para la cual la turbina eólica produce la potencia ideal. Con frecuencia la potencia pico es mayor que la nominal.

1.6.5. Coeficiente de potencia.

Indica con qué eficiencia el aerogenerador convierte la energía del viento en electricidad. Para calcular el coeficiente de potencia para cada velocidad se divide el valor de la potencia eléctrica para cada velocidad sacado de la curva de potencia por el área de barrido del rotor, sacamos así la potencia disponible por metro cuadrado.

Posteriormente, para cada velocidad, se divide el resultado anterior por la cantidad de potencia en el viento por m^2 . Así pues, la eficiencia interesa que sea alta en aquellas zonas de velocidades de viento más frecuentes, donde se encuentra la mayor parte de la energía.

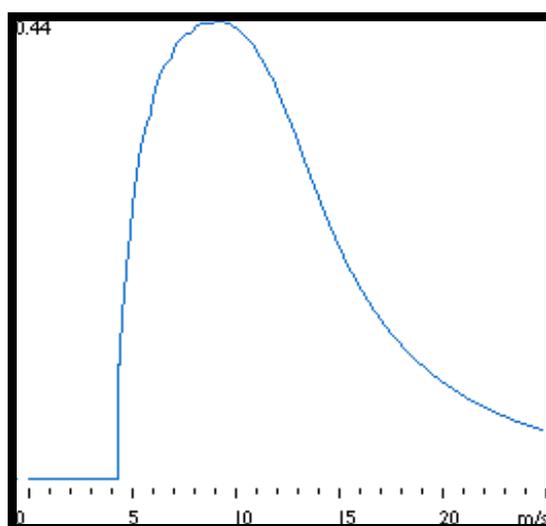


Figura 1.32 Coeficiente de potencia de un aerogenerador típico, donde se tiene la máxima eficiencia mecánica del 44% a una velocidad de 9 m/s.

CAPÍTULO II

ESTUDIO DE ALTERNATIVAS.

2.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS.

Para la construcción de un aerogenerador a escala se analizó los elementos siguientes:

- La torre.
- Las aspas.
- El generador.

A su vez se debe considerar las características de cada uno como también los materiales utilizados en su construcción. Hay que tomar en cuenta la zona de emplazamiento que tenga la velocidad del viento adecuada, y la potencia a generar, ya que estos son factores importantes para la selección del aerogenerador.

El aerogenerador que se proyecta va a trabajar a un régimen de baja velocidad del viento, baja turbulencia por lo tanto el flujo de aire debe ser estable, uniforme y paralelo. A continuación se toma en cuenta las alternativas propuestas:

La torre:

- Mástil con tensores.
- Torre de celosía auto sostenida.
- Torre tubular auto sostenida (tipo cantilever).

Las aspas (material de construcción):

- Fibra de vidrio.
- Madera.

El generador eléctrico:

- Dinamo.
- Alternador.

2.2 ESTUDIO TÉCNICO.

Dentro del estudio técnico para la construcción de un aerogenerador se puede considerar una infinidad de materiales a utilizarse (madera, fibra de vidrio, aluminio, fibra de carbono, acero, hasta aerogeneradores de gran potencia, construidas sus torres en hormigón armado), así como diferentes tipos de generadores, torres, multiplicadores, aspas.

Pero estos estarán de acuerdo a la potencia que se quiere generar, y la velocidad del viento imperante en la zona. Otro aspecto técnico a considerar es la facilidad de obtener los generadores y los materiales para la construcción del las aspas disponibles en el mercado y que cumpla con los requerimientos, sin olvidar la facilidad de mantenimiento, el costo y el factor tiempo destinado a la construcción.

Considerando:

- ✓ Facilidad de trabajo.
- ✓ Cantidad y costo de materiales.
- ✓ Característica de la zona de emplazamiento.

Los materiales que se van a utilizar son:

- Tubo de 2" de diámetro o perfiles.
- Platinas de Hierro
- Maderas.
- Cables.
- Tensores.
- Engranajes.
- Cojinetes.

2.2.1. TORRE.

a). PRIMERA ALTERNATIVA.

La primera alternativa se trata sobre la torre de mástil con tensores, la cual consta de 5 partes principales: base inferior, mástil, base superior, tensores y cables. En la figura siguiente se indica el aerogenerador con torre de mástil con tensores:

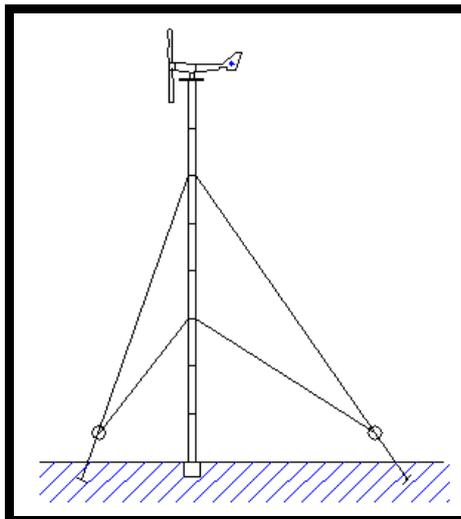


Figura 2.1. Torre de mástil con tensores.

b). SEGUNDA ALTERNATIVA.

En esta alternativa consta el aerogenerador con la torre de celosía auto sostenida la cual consta de las siguientes partes: base inferior, perfiles de acero soldados, base superior. En la figura siguiente se indica el aerogenerador con torre de celosía:

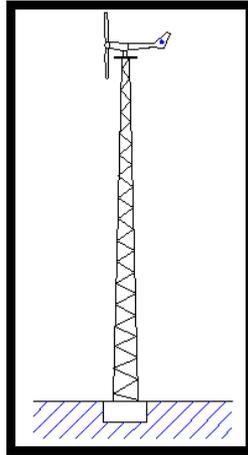


Figura 2.2. Torre de celosía auto sostenida.

c). TERCERA ALTERNATIVA.

En esta alternativa se tiene la Torre tubular auto sostenida (tipo cantilever), la cual consta de una base inferior, tubo cónico de acero y la base superior. En la figura siguiente se indica la torre tubular auto sostenida:

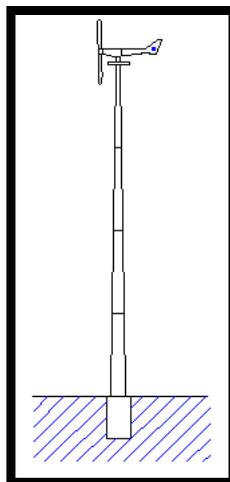


Figura 2.3. Torre tubular auto sostenida.

2.2.2. ASPAS.

a). PRIMERA ALTERNATIVA.

La primera alternativa se trata sobre las aspas construidas en fibra de vidrio las cuales tienen una combinación de materiales compuestos como resinas, poliéster y otros elementos.

En la figura se puede mirar un ejemplo de aspa fabricada en este material:

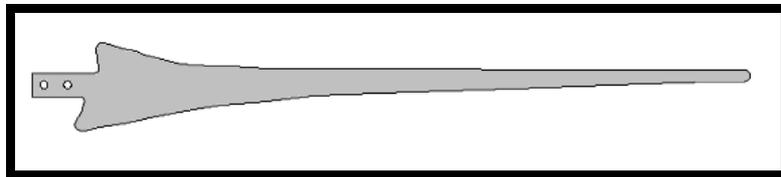


Figura 2.4. Aspa o pala fabricada en fibra de vidrio.

b). SEGUNDA ALTERNATIVA.

La segunda alternativa se observa un ejemplo de aspa construida en madera.

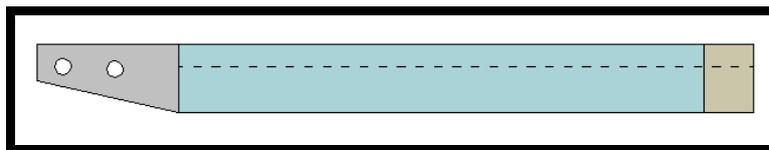


Figura 2.5 Aspa fabricada en Madera.

2.2.3. GENERADORES ELÉCTRICOS.

a). PRIMERA ALTERNATIVA.

La primera alternativa se trata de un dínamo el cual es un generador eléctrico de corriente continua, que transforma la energía mecánica que recibe por su eje en energía eléctrica que suministra por sus bornes.

En la figura se puede observar un dínamo con sus dos partes principales el rotor y el estator:



Figura 2.6 Dínamo.

b). SEGUNDA ALTERNATIVA.

La segunda alternativa es un alternador el cual es un generador eléctrico de corriente alterna. En este tipo de generador el inducido es el estator y el inductor es el rotor. En la figura se puede apreciar un ejemplo de alternador.



Figura 2.7 Alternador.

2.3 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD.

Aquí se menciona las ventajas y desventajas de las alternativas de la torre y de las aspas.

2.3.1. TORRE.

a). PRIMERA ALTERNATIVA.

TORRE DE MÁSTIL CON TENSORES.

VENTAJAS

- Al ser articuladas puede ser izadas o desmontadas fácilmente.
- Fácil mantenimiento.

- Menos costosa.
- Ahorro de peso.

DESVENTAJAS.

- Difícil acceso alrededor del aerogenerador.
- Utilización en aerogeneradores pequeños.

b). SEGUNDA ALTERNATIVA.

TORRE DE CELOSÍA AUTO SUSTENTABLE.

VENTAJAS

- La mitad de costo que la torre tubular auto sostenida.
- Mayor resistencia.
- Utilización en una zona pequeña.

DESVENTAJAS.

- Montaje y Desmontaje complicado.
- Acceso para mantenimiento riesgoso.
- Su apariencia visual.
- Mayor peso.

c). TERCERA ALTERNATIVA.

TORRE TUBULAR AUTO SUSTENTABLE.

VENTAJAS

- Mayor resistencia.
- Una vista más agradable.
- Utilización en una zona pequeña.

DESVENTAJAS.

- Elevado costo
- Dificultad para efectuar el mantenimiento.
- Dificultad para montaje y desmontaje.
- Debe tener una buena base.

En el cuadro siguiente se explica las ventajas y desventajas de los tres tipos de torres de los aerogeneradores.

Tabla 2.1. Comparación de ventajas y desventajas en los tipos de torres.

FACTOR	MÁSTIL CON TENSORES	CELOSÍA AUTO SUSTENTABLE	TUBULAR AUTO SUSTENTABLE
Costo de construcción	√	√	X
Mantenimiento	√	X	X
Montaje y desmontaje	√	X	X
Resistencia	X	√	√
Peso	√	X	X
Imagen agradable	√	X	√

2.3.2. ASPAS.

a). PRIMERA ALTERNATIVA.

ASPAS FABRICADAS EN FIBRA DE VIDRIO.

VENTAJAS

- Mayor elasticidad.

- Menor peso.
- Mayor conservación.

DESVENTAJAS.

- Elevado costo de la fibra.
- Dificultad en conseguir los materiales.
- Proceso de fabricación complicado.

b). SEGUNDA ALTERNATIVA.

ASPAS FABRICADAS EN MADERA.

VENTAJAS

- Adquisición de la madera.
- Simplicidad de construcción.
- Bajo costo.
- Facilidad de mantenimiento.

DESVENTAJAS

- Actualmente es utilizado en pocos aerogeneradores.
- Mayor peso.
- Deterioro con el tiempo.

En el cuadro siguiente se explica las ventajas y desventajas de los dos tipos de materiales utilizados en la fabricación de aspas.

Tabla 2.2. Comparación de ventajas y desventajas en los tipos de aspas.

FACTOR	FIBRA DE VIDRIO	MADERA
Conservación	√	X

Mantenimiento	X	√
Peso	√	X
Adquisición de materiales	X	√
Elasticidad	√	X
Costo de construcción	X	√

2.3.3. GENERADORES ELÉCTRICOS.

a). PRIMERA ALTERNATIVA.

DINAMOS.

VENTAJAS

- Funcionan a voltajes bajos.
- La corriente que producen las bobinas de la armadura es prácticamente constante.
- Pueden cargar baterías.

DESVENTAJAS

- Utilizan inversores de corriente.
- Necesitan mayor mantenimiento, (tienen escobillas).
- Se utiliza en pocos aerogeneradores.
- Mayor costo de compra.

a). SEGUNDA ALTERNATIVA.

ALTERNADORES.

VENTAJAS

- Producen corriente alterna.

- Requieren poco mantenimiento.
- Bajo costo de compra.
- No tiene escobillas, ni inversores.

DESVENTAJAS

- No pueden cargar baterías.

Tabla 2.3. Comparación de ventajas y desventajas en los tipos de generadores eléctricos.

FACTOR	DINAMOS	ALTERNADORES
Costo de compra	√	X
Mantenimiento	X	√
Carga de baterías	√	X

2.4 PARÁMETROS DE EVALUACIÓN.

Para seleccionar la mejora alternativa se han de evaluar cada una de las mismas asignando un valor X_i , que corresponde a cada uno de los parámetros de selección.

El valor X_i estará entre:

$$1 < X_i \leq 10$$

Tomando en cuenta que este valor dependerá de la importancia de cada uno de los parámetros, en función de las ventajas y desventajas. Estas alternativas también tendrán un valor entre 0 y 1, y aquellas que obtenga el

valor más alto en su calificación será seleccionada para su construcción. Los tres factores a considerar dentro de los parámetros de selección son: técnico, económico, y adicional.

Factor Técnico: El factor tiene gran importancia en la construcción e implementación, ya que se analizan diversos parámetros que deberá tener el aerogenerador para su óptimo rendimiento.

- Elasticidad.
- Mantenimiento.
- Materiales.
- Proceso de construcción.
- Rendimiento.
- Resistencia.
- Seguridad.

Factor Económico: El factor económico es muy importante en la evaluación de todo proyecto. Los resultados de esta evaluación proporcionaran una visión clara de la rentabilidad del proyecto, por lo tanto brindará ideas para optimizar los recursos.

- Costo de fabricación.
- Costo de implementación.

Factor Suplementario: Este factor no es relevante en la construcción e implementación ya que se considera el análisis de la forma que tiene el

aerogenerador, pero tiene importancia en la estética pues se ha considerado el tamaño y altura a la que estará situado el rotor.

- Forma.
- Tamaño.

Cada uno de estos parámetros se los define de la siguiente manera:

Elasticidad: Permite al material recobrar la forma original cuando se quita la fuerza que causa cambio en su forma. Por lo tanto el aspa debe ser elástica para que pueda regresar a forma original después de ser aplicada una fuerza extraña.

Mantenimiento: Es el conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que instalaciones, maquinas, etc., puedan seguir funcionando adecuadamente. Esto es muy importante ya que permitirá tener un correcto funcionamiento del generador, de las aspas y en perfecto estado la torre.

Materiales: Es el conjunto de máquinas, herramientas u objetos de cualquier clase, necesario para el desempeño de un servicio o el ejercicio de una profesión. Por lo tanto se analiza las características, calidad, facilidad de adquisición de los diferentes materiales a utilizarse para la construcción tanto de la torre como de las aspas.

Proceso de construcción: Es el conjunto de normas y disposiciones que se siguen en forma lógica y sistemática que permitirá llegar al objetivo

planteado como es la construcción de un elemento, también se debe poseer un taller bien equipado en cuanto a diversidad de herramientas, instrumentos de medida y precisión, así como la maquinaria necesaria.

Rendimiento: Este parámetro se refiere que la alternativa por seleccionar trabaje y cumpla con el objetivo para lo que fue creada. En este caso debe proporcionar el aerogenerador su máxima potencia con cualquier velocidad del viento.

Resistencia: Es la propiedad de un objeto o sustancia que se opone a la acción de una fuerza. En las torres especialmente se necesita que sean resistentes a los fenómenos externos como a la vibración que pudiese suceder.

Seguridad: La seguridad debe ser considerada pues es la encargada de proteger la salud de los trabajadores, controlando el entorno del trabajo para reducir o eliminar riesgos. Por lo tanto es importante seleccionar la mejor alternativa en cuanto a la seguridad para eliminar algún riesgo o accidente.

Costo de fabricación: Este es un punto primordial para la selección de la alternativa adecuada, tratando siempre de optimizar los recursos económicos. Como se ha analizado anteriormente la inversión se verá recuperada a mediano y largo plazo por lo tanto se deberá al máximo reducir los gastos innecesarios.

Costo de implementación: Se refiere al costo que tendrá en poner en funcionamiento el aerogenerador, aplicando métodos y medidas adecuadas, y quede instalado en el sitio apropiado. Se analiza aquí la opción más económica con la finalidad de invertir menos y tener mayor productividad.

Forma: Se define como la configuración externa de algo. Por lo tanto en nuestro aerogenerador se ha considerado la forma que va a tener y que esté de acuerdo a nuestras necesidades.

Tamaño: Se refiere a mayor o menor volumen de dimensión de algo. El tamaño es importante, en la torre por ejemplo su altura será de 1.40 metros.

a) **CONSTRUCCIÓN DE LA TORRE.**

Para la construcción de la torre se han considerado los siguientes parámetros, la ponderación como también su calificación:

Factor técnico (50%):

- Mantenimiento. 15%
- Materiales. 15%
- Proceso de construcción. 20%
- Rendimiento. 25 %
- Resistencia. 10 %
- Seguridad. 15 %

Factor Económico (40%):

- Costo de fabricación. 60 %

- Costo de implementación. 40 %

Factor Suplementario (10%):

- Forma. 30 %
- Tamaño. 70 %

Tabla 2.4. Matriz de Evaluación de la torre.

PARÁMETROS DE EVALUACIÓN	Ponderación	Xi	ALTERNATIVAS DE TORRES		
			Mástil	Celosía	Tubular
Mantenimiento.	15 %	0.15	8	7	4
Materiales	15 %	0.15	7	5	4
Proceso de construcción	20 %	0.20	8	5	4
Rendimiento	25 %	0.25	6	8	7
Resistencia.	10 %	0.10	6	7	8
Seguridad.	15 %	0.15	7	5	4
Costo de fabricación	60 %	0.60	8	6	5
Costo de implementación	40 %	0.40	8	5	5
Forma	30 %	0.30	7	5	8
Tamaño	70 %	0.70	6	7	8

Tabla 2.5. Matriz de Decisión de la torre.

PARÁMETROS DE EVALUACIÓN	ALTERNATIVAS DE TORRES		
	Mástil * Xi	Celosía * Xi	Tubular * Xi
Mantenimiento	1.20	1.05	0.60
Materiales	1.05	0.75	0.60
Proceso de construcción	1.60	1.00	0.80
Rendimiento	1.50	2.00	1.75
Resistencia	0.60	0.70	0.80
Seguridad	1.05	0.75	0.60
Subtotal F. Técnico	7.00	6.25	5.15

Costo de fabricación	4.80	3.60	3.00
Costo de implementación	3.20	2.00	2.00
Subtotal F. Económico	8.00	5.60	5.00
Forma	2.10	1.50	2.40
Tamaño	4.20	4.90	5.60
Subtotal F. Suplementario	6.30	6.40	8.00

Tabla 2.5.1 Tabla de Calificación final.

FACTORES	PONDERACIÓN	SUBTOTALES.		
Factor técnico	50 %	3.5	3.125	2.575
Factor económico	40 %	3.2	2.24	2.00
Factor suplementario	10 %	0.63	0.64	0.80
TOTAL		7.33	6.005	5.375

b) CONSTRUCCIÓN DE LAS ASPAS DEL AEROGENERADOR.

Para la construcción de las aspas se han considerado los siguientes parámetros, la ponderación como también su calificación:

Factor técnico (50%):

- Elasticidad. 10 %
- Mantenimiento. 15 %
- Materiales. 15%
- Proceso de construcción. 20%
- Rendimiento. 25 %
- Seguridad. 15 %

Factor Económico (40%):

- Costo de fabricación. 70 %

- Costo de implementación. 30 %

Factor Suplementario (10%):

- Forma. 40 %
- Tamaño. 60 %

Tabla 2.6. Matriz de Evaluación de las aspas.

PARÁMETROS DE EVALUACIÓN	Ponderación	Xi	ALTERNATIVAS DE ASPAS	
			FIBRA DE VIDRIO	MADERA
Elasticidad.	15 %	0.15	8	7
Mantenimiento.	15 %	0.15	6	8
Materiales	20 %	0.20	6	8
Proceso de construcción	25 %	0.25	5	7
Rendimiento	10 %	0.10	7	5
Seguridad.	15 %	0.15	5	7
Costo de fabricación	70 %	0.70	6	8
Costo de implementación	30 %	0.30	6	7
Forma	40 %	0.40	7	5
Tamaño	60 %	0.60	6	7

Tabla 2.7. Matriz de Decisión de las aspas.

PARÁMETROS DE EVALUACIÓN	ALTERNATIVAS DE ASPAS	
	Fibra de vidrio * Xi	Madera * Xi
Elasticidad.	1.20	1.05
Mantenimiento	0.90	1.20
Materiales	1.20	1.60
Proceso de construcción	1.25	1.75
Rendimiento	0.70	0.50
Seguridad	0.75	1.05
Subtotal F. Técnico	6.00	7.15
Costo de fabricación	4.20	5.60

Costo de implementación	1.80	2.10
Subtotal F. Económico	6.00	7.70
Forma	2.80	2.00
Tamaño	3.60	4.20
Subtotal F. Suplementario	6.40	6.20

Tabla 2.7.1 Tabla de Calificación final.

FACTORES	PONDERACIÓN	SUBTOTALES	
Factor técnico	50 %	3.5	3.575
Factor económico	40 %	2.40	3.08
Factor suplementario	10 %	0.64	0.62
TOTAL		6.54	7.275

c) **ADQUISICIÓN DEL GENERADOR ELÉCTRICO.**

Para la adquisición del generador eléctrico se han considerado los siguientes parámetros, la ponderación como también su calificación:

Factores (100%):

- Mantenimiento. 15 %
- Rendimiento. 15 %
- Seguridad. 10 %
- Costo de adquisición. 60 %

Tabla 2.8. Matriz de Evaluación del Generador Eléctrico.

PARÁMETROS DE	Pondera	Xi	ALTERNATIVAS DE
			GENERADOR ELÉCTRICO

EVALUACIÓN	ción		DINAMO	ALTERNADOR
Mantenimiento.	15 %	0.15	6	8
Rendimiento	15 %	0.15	5	7
Seguridad.	10 %	0.10	6	7
Costo de adquisición.	60 %	0.60	6	8

Tabla 2.9. Matriz de Decisión del Generador Eléctrico.

PARÁMETROS DE EVALUACIÓN	ALTERNATIVAS DE GENERADOR ELÉCTRICO	
	Dinamo * Xi	Alternador * Xi
Mantenimiento.	0.90	1.20
Rendimiento	0.75	1.05
Seguridad	0.60	0.70
Costo de adquisición.	3.60	4.80
TOTAL	5.85	7.75

2.5 SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA.

Considerando los resultados obtenidos en la matriz de decisión para la construcción de la torre, se alcanzó las siguientes calificaciones:

- Ⓔ 7.33 para la torre de mástil con tensores.
- Ⓔ 6.005 para la torre de celosía.
- Ⓔ 5.375 para la torre tubular.

En este caso la torre de mástil con tensores permite montar y desmontar fácilmente, también considerando su bajo costo, su bajo peso, y la facilidad de adquisición de los materiales.

Al considerar los resultados obtenidos en la matriz de decisión para la construcción de las aspas, se alcanzó las siguientes calificaciones:

- ◆ 6.54 para las aspas construidas en fibra de vidrio.
- ◆ 7.275 para las aspas construidas en madera.

Por lo tanto se procederá a construir el aspa en madera, que permitirá tener un proceso de fabricación no muy complicado, su costo, su peso serán bajos.

Además en caso de producirse algún daño, su mantenimiento es más rápido y practicable. Según la investigación realizada una aspa de madera debe contener en 1/3 de la aspa es de madera de Maple, la otras 2/3 partes en madera balsa y con recubrimiento plástico en su intrados y extrados.

En el caso de la adquisición del generador eléctrico se obtuvieron las siguientes calificaciones:

- ❖ 5.85 para la adquisición del dínamo.
- ❖ 7.75 para la adquisición del alternador.

Por consiguiente se procederá a adquirir el alternador, ya que el prototipo de aerogenerador simula la generación de corriente alterna. Por lo tanto se eligió el alternador de imanes permanentes pues cumple con nuestros requerimientos y tiene las siguientes características:

Tabla 2.10. Características del generador eléctrico.

DESCRIPCIÓN	VOLTAJE	POTENCIA	RPM
TUNG LIN	20 V	10 W	1400

2.6 DETERMINACIÓN DE REQUERIMIENTOS TÉCNICOS.

En el caso de este aerogenerador a escala, se tiene una menor área de barrido que los generadores normales, por lo tanto existirá una menor fuerza para hacer girar al rotor, para compensar la disminución del área de barrido se ha considerado mayor velocidad del viento por lo que se utilizará un ventilador o viento predominante en el Aeropuerto Internacional "Cotopaxi".

CAPÍTULO III

CONSTRUCCIÓN.

La construcción tiene por objetivo, resumir las principales actividades que se llevó a cabo en la construcción de las palas, de la torre, como también el ensamblaje de los componentes del aerogenerador. La construcción del aerogenerador se realizó por partes con el fin de optimizar los recursos y el tiempo de una mejor manera.

3.1 DISEÑO DE LA TORRE DEL AEROGENERADOR.

Según la matriz de decisión de la construcción de la torre se procederá a construir la torre de mástil con tensores. Para lo cual se diseñó la siguiente torre:

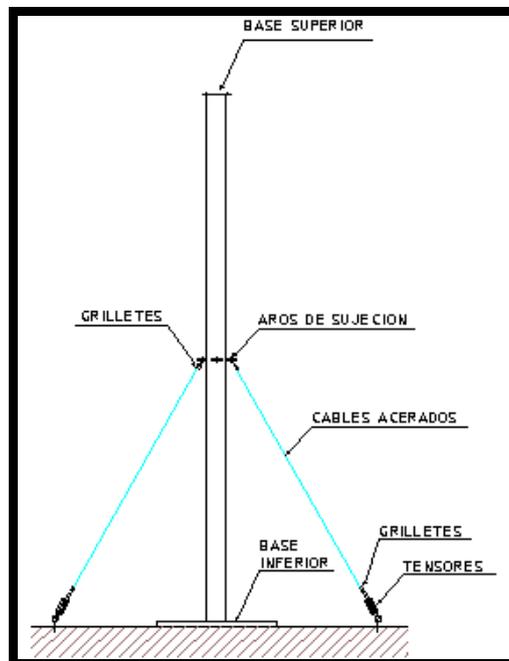


Figura 3.1. Torre de mástil con tensores con sus partes componentes.

Donde:

Altura: 1.40 metros.

Diámetro:	50.8 mm (2 pulgadas)
Base inferior:	Platina de hierro: Espesor 10 mm; Largo 315 mm; y Ancho 200 mm.
Base superior:	Platina de hierro: Espesor 3 mm; Largo 75 mm; Ancho; 75 mm.
Tensores:	150 x 20 mm.
Cables de acero:	Espesor 2 mm.

3.2 COMPONENTES REQUERIDOS.

Los componentes requeridos para la realización de esta torre son los siguientes:

a) Mástil.

El mástil que se va a utilizar será un tubo galvanizado de 2 pulgadas, la calidad del galvanizado puede variar de un fabricante a otro. Se debe vigilar la formación de óxido, lijando y repintando allá donde aparezca, ya que este óxido puede generar puntos débiles en la torre que pueda producir una fractura, como en juntas de soldadura.

b) Base inferior.

La base inferior será donde va a soportar el peso del aerogenerador, en este caso se utilizó una Platina de hierro: Espesor 10 mm; Largo 315 mm; y Ancho 200 mm. En aerogeneradores normales su base será hecha de concreto en forma de cuadrado o empotrada en el piso a cierta profundidad.

c) Base Superior.

La base superior se utilizará una Platina de hierro de 3 mm., de espesor y sus dimensiones 75 x 75 mm. La cual servirá para acoplar el mecanismo de giro, que poseerá los cojinetes que permitirán al aerogenerador girar 360° libremente.

d) Alambre para sujeción del mástil.

Este constituye un soporte de equilibrio para la estabilidad de la torre, los mismos que son de alambre acerado de 3 mm de diámetro, que sujetan en la mitad del mástil, los cuales son templados hacia sujetadores que se encuentran en el piso. Estos alambres templadores se los ha distribuido a 120° alrededor del mástil para su mayor fijeza.

e) Tensores.

Son los que permiten templar el cable de acero para que el mástil quede bien asegurado, estos tensores permiten ajustar hasta el nivel que se desea, son de acero tipo M6 y no son susceptibles a la corrosión por lo que se puede decir que dan mayor seguridad al templar el alambre acerado.

f) Grilletes.

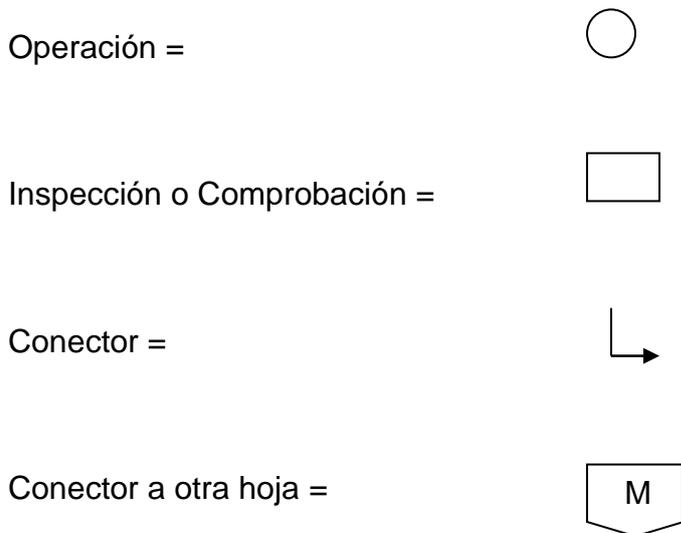
Son los que permiten asegurar los tensores para que no se desenganchen y queden flojos, es decir, son los seguros de los alambres de acero y van colocados 2 en cada alambre. Los cuales pueden utilizarse para un diámetro del alambre acerado de 3 a 10 mm.

3.3 CONSTRUCCIÓN.

La construcción de la torre se la realizó con un tubo redondo galvanizado de 2 pulgadas, la altura que se tomó como referencia es de 1.40 metros, se procedió al corte del tubo, al corte de las platinas tanto de la base superior como de la base inferior, enseguida de lo cual se procedió al proceso de soldadura de las bases y se procede a soldar los aros de sujeción de cables. Y finalmente se llevará a cabo la pintura correspondiente de la torre.

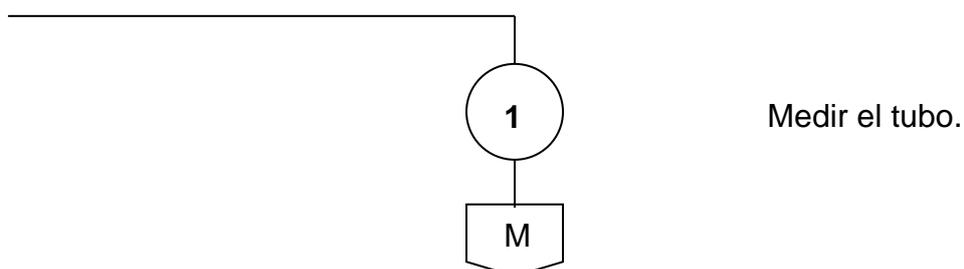
3.4 DIAGRAMAS DE PROCESOS.

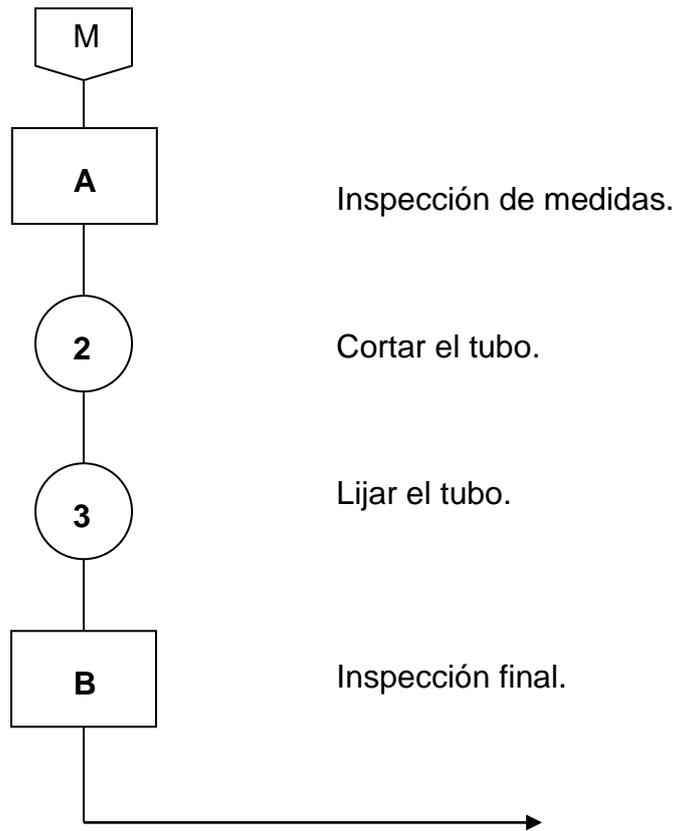
A continuación se presenta el diagrama de procesos en la construcción de la torre de acuerdo a la simbología siguiente:



3.4.1. Diagrama de fabricación del mástil del aerogenerador.

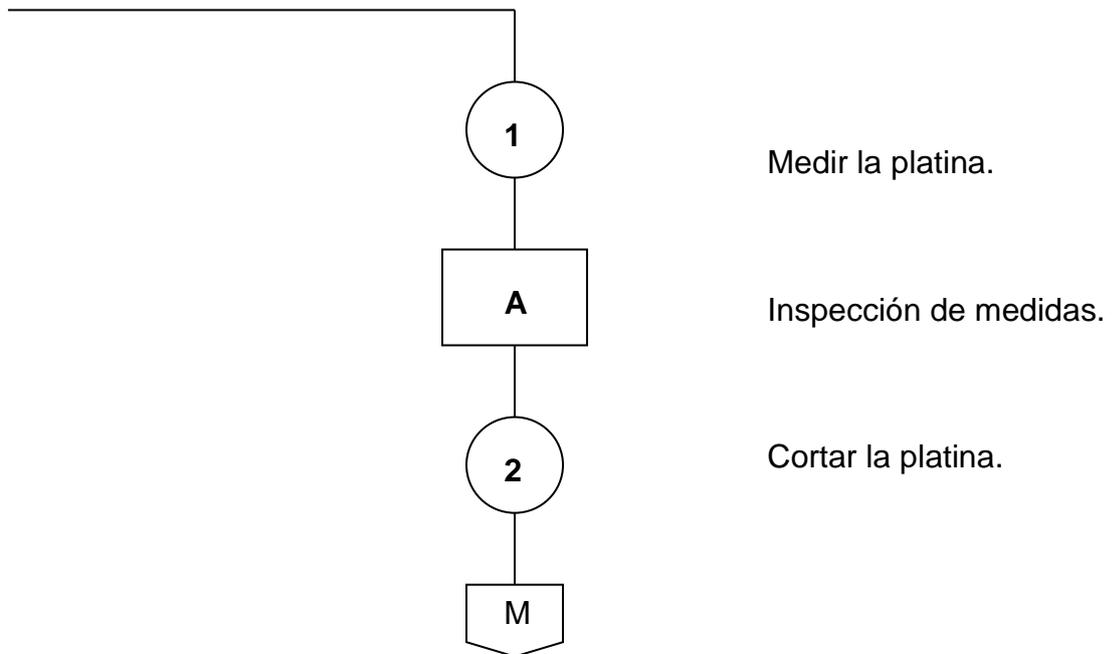
Tubo de acero galvanizado de 2 pulgadas x 2 mm de espesor.

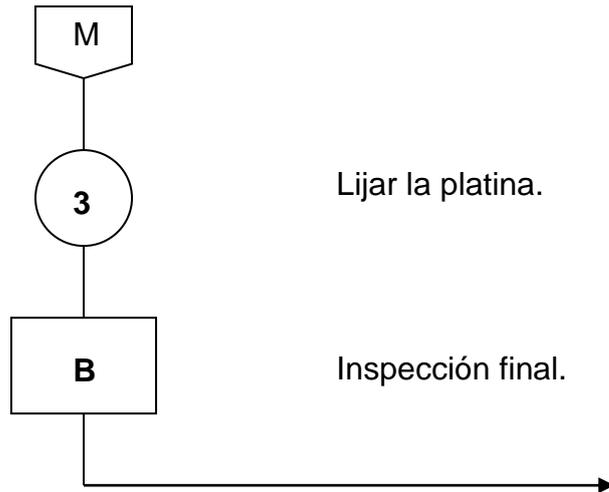




3.4.2. Diagrama de fabricación de la base inferior de la torre.

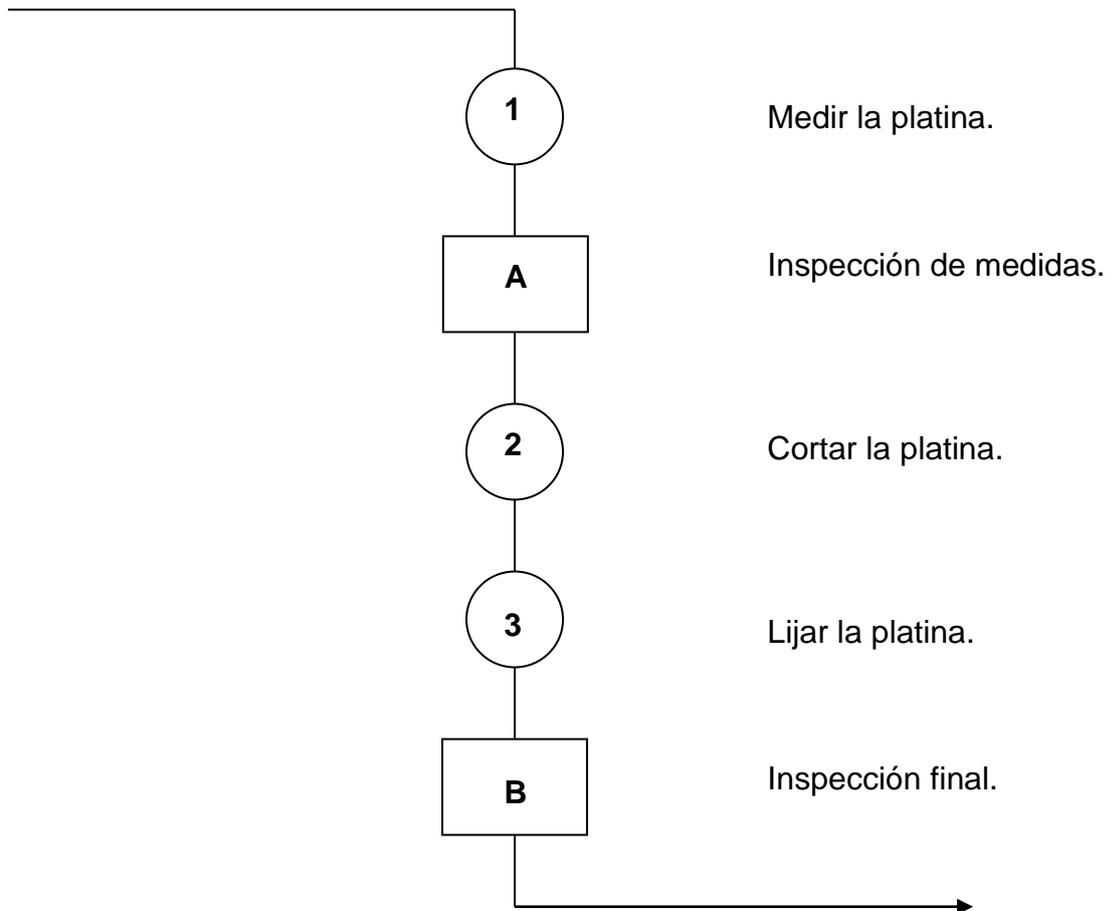
Platina de hierro.





3.4.3. Diagrama de fabricación de la base superior de la torre.

Platina de hierro.

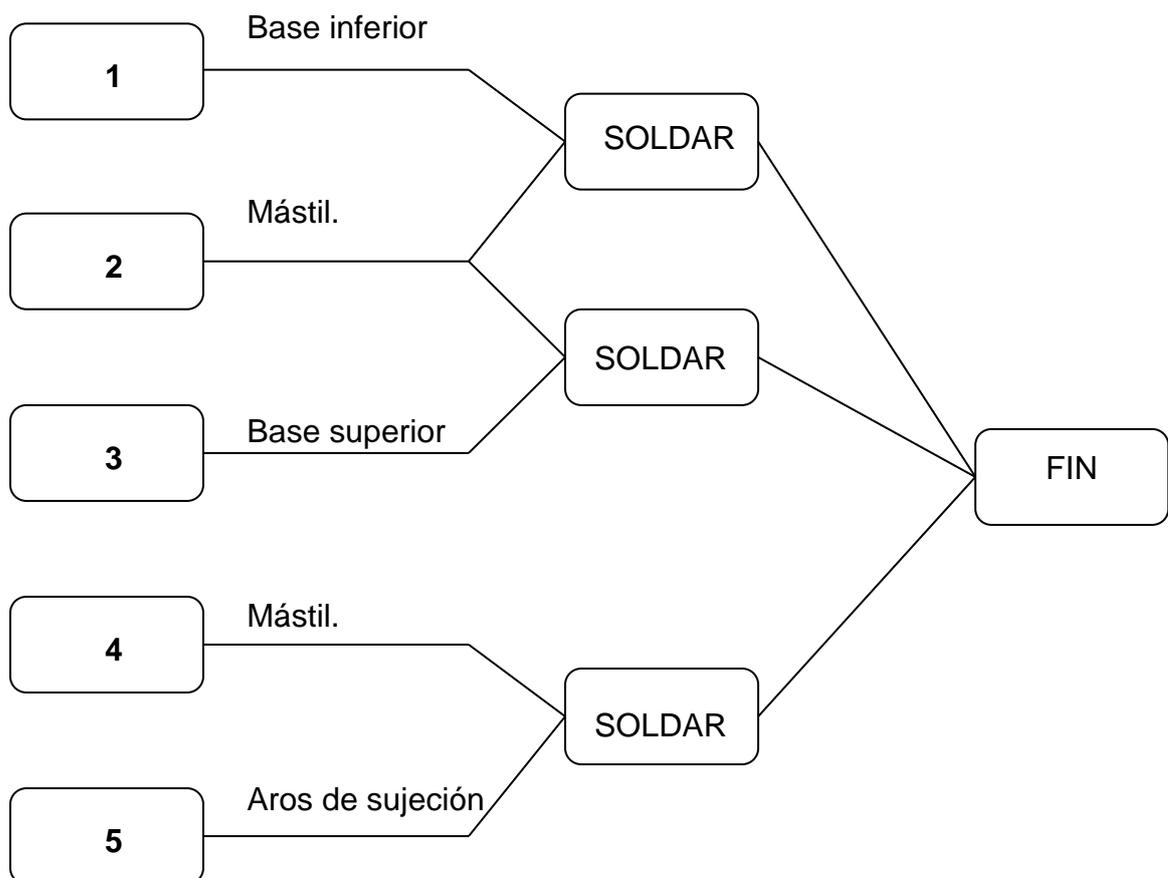


3.5 DIAGRAMAS DE ENSAMBLE.

Para el ensamble se tiene que tomar en cuenta que debe quedar nivelado el mástil, es decir que tenga un ángulo de 90° entre el mástil y la base inferior. Y se debe verificar las juntas de soldadura.

A continuación se presenta el diagrama de ensamble en la construcción de la torre:

3.5.1. Diagrama de ensamble de la torre del aerogenerador.



3.6 DISEÑO DE UN ROTOR PARA UN AEROGENERADOR.

Se debe recordar que el número de álabes o palas afecta al coeficiente de potencia. La elección de un gran número de álabes para una elevada relación de velocidades λ conducirá a álabes muy pequeños y delgados, los cuales originarán problemas de su fabricación y una influencia negativa sobre las propiedades de sustentación y resistencia de estos. Un segundo factor que afecta al coeficiente de potencia es la resistencia aerodinámica a través de la relación C_D/C_L . Esto además tendrá influencia en el tamaño del rotor y la relación de velocidades λ de diseño.

Para una baja relación de velocidades el aumento del número de palas compensa la pérdida de potencia debido a la resistencia. Para un rango de velocidades de diseño comprendidas entre $1 \leq \lambda \leq 10$ el máximo coeficiente de potencia teóricamente obtenible vale entre $0.35 \leq C_{pmax} \leq 0.5$. Debido a desviaciones de la geometría ideal y pérdida en el cubo, estos máximos valen entre 0.3 y 0.4.

Sin embargo se debe considerar otros factores adicionales que limitan la elección de la relación de velocidades de diseño. Una es el carácter de la carga. Si ella es una bomba a pistón u otra carga de rotación lenta, la velocidad de diseño del rotor usualmente será elegida baja. Si la carga es de rotación rápida como el aerogenerador entonces es conveniente seleccionar una velocidad de diseño alta, en donde los perfiles que posean una baja relación C_D/C_L .

Otro factor que se debe considerar son las herramientas que se van a utilizar, tales como: software avanzados como CAD/CAM: (Unigraphics, Delcam, WorkNC y Bladed para el diseño profesional de aerogeneradores), pruebas en túneles de viento, y el alto costo de fabricación lo cual restringe la posibilidad de manufacturar palas con perfiles y con torcedura aerodinámica que tengan relaciones C_D/C_L bajas. Para el diseño del rotor se puede hacer para una velocidad de viento V y demanda de potencia P .

Para el aerogenerador proyectado se seleccionó un perfil simétrico y sin torcedura aerodinámica, se tomó referencia del libro The Wind Power Book, uno de los factores que limitó a realizar una palas con torcedura aerodinámica es que no se dispone de la tecnología necesaria, y su costo de construcción. Se ha seleccionado una relación de velocidades λ_0 en la punta del álabe de 7, ya que su funcionamiento se basa en rotación rápida.

Tabla 3.1. Selección del número de alabes o palas y la relación de velocidades.

λ_0	B
1	6-20
2	4-12
3	3-6
4	2-4
5-8	2-3
8-15	1-2

Según la tabla anterior para una relación de velocidades λ_0 de 7 se elige un rotor de 2 palas.

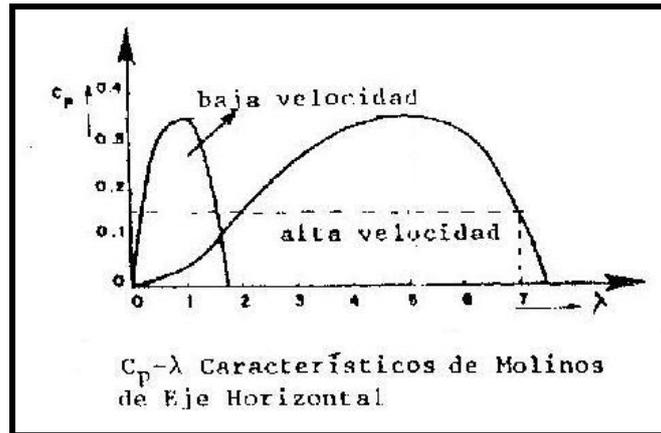


Figura 3.2. Curvas características de Cp – λ en aerogeneradores.

Según la figura para una relación de velocidades λ de 7 se tiene un Cp máximo de 0.15. En donde Cp se lo conoce como coeficiente de potencia. Para un diseño conservativo se toma Cp = 0.8 Cp máx. Por lo tanto se tiene un

$$C_p = 0.8 * 0.15 = \mathbf{0.12} \quad (3.1)$$

Como se vió anteriormente:

*La potencia mecánica = potencia del viento * Cp*

$$P = \frac{1}{2} \rho * A * v^3 * C_p = \frac{1}{2} \rho * \pi * R^2 * v^3 * C_p \quad (3.2)$$

Para el presente estudio se consideró un aerogenerador para una potencia de 10 Watts y velocidad de viento de 5.148 m/s. Esta velocidad de viento corresponde al Aeropuerto Internacional “Cotopaxi”. Ver Anexo A

$$P = \frac{1}{2} \rho * \pi * R^2 * v^3 * C_p \quad (3.3)$$

En donde:

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

$$V^3 = 136.432 \text{ m}^3 / \text{s}^3.$$

$$C_p = 0.12.$$

$$R = \sqrt{\frac{2P}{\rho \pi v^3 C_p}} = \sqrt{\frac{2 * 10 \frac{\text{Kg m}^2}{\text{s}^3}}{1.225 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * \pi * 136.432 \frac{\text{m}^3}{\text{s}^3} * 0.12}} \quad (3.4)$$

$$R = 0.5634 \text{ m}$$

Por lo tanto se construirá unas palas de longitud 0.57 m. Según fuentes de información referentes a perfiles simétricos en palas de helicópteros de Aeromodelismo se determinó que el valor mas adecuado de la cuerda es de 55 mm.

Tabla 3.2. Posiciones y ordenadas dadas en porcentajes de la cuerda del perfil.

Perfil simétrico.

	EXTRADOS	INTRADOS		Posición	Ordenada +	Ordenada -
Posición	Ordenada +	Ordenada -				
0	0	0		50	8,182	- 8,182
5	5,227	- 5,227		55	7,727	- 7,727
10	6,818	-6,818		60	7,272	- 7,272
15	7,954	- 7,954		65	6,818	- 6,818
20	8,636	- 8,636		70	6,363	- 6,363
25	8,977	- 8,977		75	5,682	- 5,682
30	9,091	- 9,091		80	5,00	- 5,00
35	8,977	- 8,977		85	4,318	- 4,318
40	8,863	- 8,863		90	3,409	- 3,409
45	8,75	- 8,75		95	2,50	- 2,50
				100	0	0

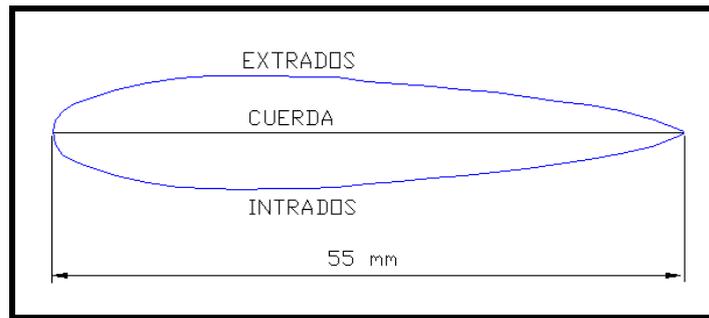


Figura 3.3. Diseño final del perfil Simétrico.

3.7 CONSTRUCCIÓN DE UN ROTOR PARA UN AEROGENERADOR.

Según la matriz de decisión se eligió la madera como material para la construcción de las palas. Por lo tanto, se procede a cortar una pieza de madera de Maple de 0.60 metros de longitud y de espesor 0.05 metros y su ancho de 0.05 metros, luego de lo cual se cepilla la madera.



Figura 3.4. Cepillado de la madera.

A continuación se dibujó el perfil en la pieza de madera, seguidamente se comenzó con el tallado de la pala, este procedimiento se lo realiza con cuchillo, cortador, o el cepillo esto se debe ejecutar con mucho cuidado, siempre teniendo en cuenta la forma del perfil y comprobando medidas.



Figura 3.5. Tallado de la pala.

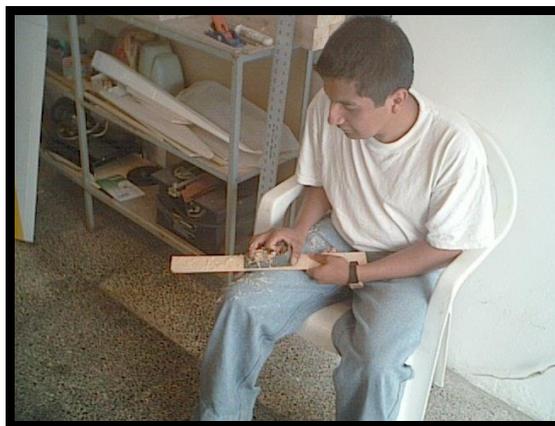


Figura 3.6. Cepillado de la pala.

Según la investigación realizada $\frac{1}{3}$ de la pala debe ser de madera de Maple y las $\frac{2}{3}$ partes restantes de madera balsa.

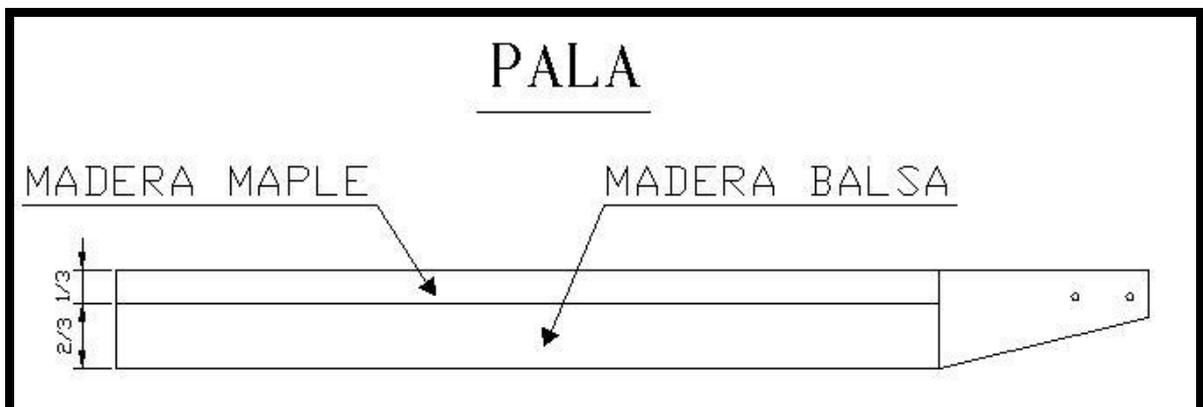


Figura 3.7. Colocación de la madera en la construcción de la pala.

Para lo cual se corta 1/3 de la pala de madera de Maple y se pega las otras 2/3 partes de madera balsa. Este procedimiento se lo realiza para reducir el peso en las palas.

Después de pegado de las maderas se procede al lijado de la pala y a comprobar las medidas, para posteriormente colocarle un recubrimiento plástico que le protege de la humedad como también de los cambios climatológicos, ya que la pala va a estar expuesta al medio ambiente.



Figura 3.8. Lijado de la pala.



Figura 3.9. Comprobación de medidas.

Luego de lo cual se procede a realizar el acople de las palas. Con un ángulo de las palas de 25° este dato corresponde a las pruebas experimentales que se realizó. Se probó con ángulos de palas de 10° , 20° y 25° .

El mejor rendimiento se obtuvo con un ángulo de 25° por lo que se tomó como referencia este valor. Por último se procede a pintar la pieza. El siguiente paso es la construcción del acople de las palas en donde se corta la madera, se lija y luego se pega las piezas de madera conservando 25° como el ángulo de las palas.

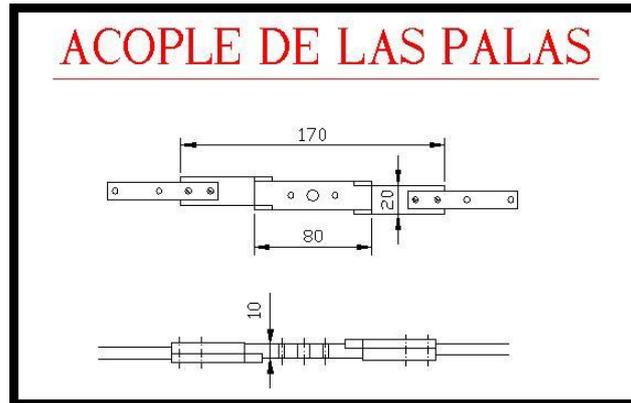


Figura 3.10. Acople de las palas con sus respectivas medidas (en mm).



Figura 3.11. Acople de las palas.

Posteriormente se procedió a construir el mecanismo de orientación que consiste en una veleta que a continuación se muestran sus medidas.

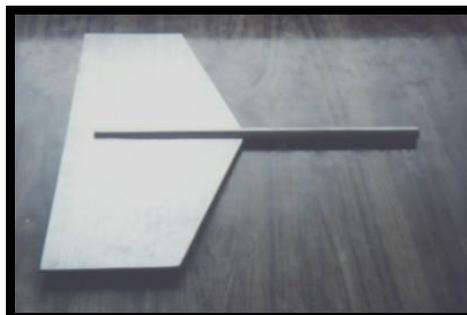


Figura 3.12 Mecanismo de Orientación.

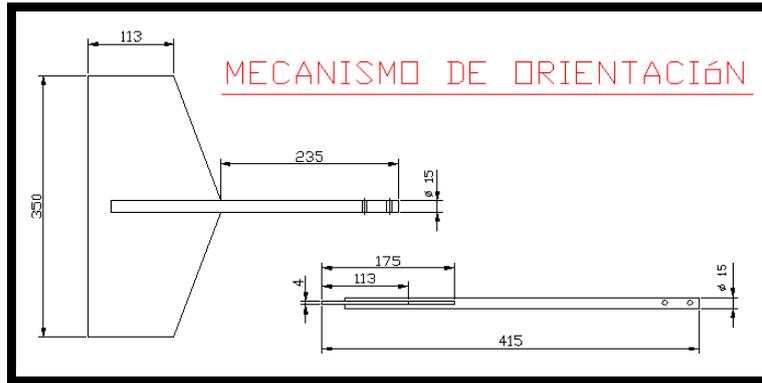


Figura 3.13. Mecanismo de orientación con sus respectivas medidas (en mm).

Luego se ensamblaron los diferentes componentes del aerogenerador. Se tiene una base en la cual se ubicó el conjunto de engranajes para luego ubicar el dínamo.

En el siguiente paso se montó la base superior de la torre con el mecanismo de giro. Inmediatamente se colocó el acople de las palas en la base que sostiene al dínamo y al conjunto de engranajes el cual tiene una relación de reducción de 7,5:1 y se puso el mecanismo de orientación del aerogenerador.

Finalmente se acopló la base soporte que contiene las partes del aerogenerador con el mecanismo de giro. El último paso corresponde a la colocación de las palas en su respectivo acople.

3.8 DIAGRAMAS DE PROCESOS.

A continuación se presenta el diagrama de procesos en la construcción de las palas de acuerdo a la simbología siguiente:

Operación = 

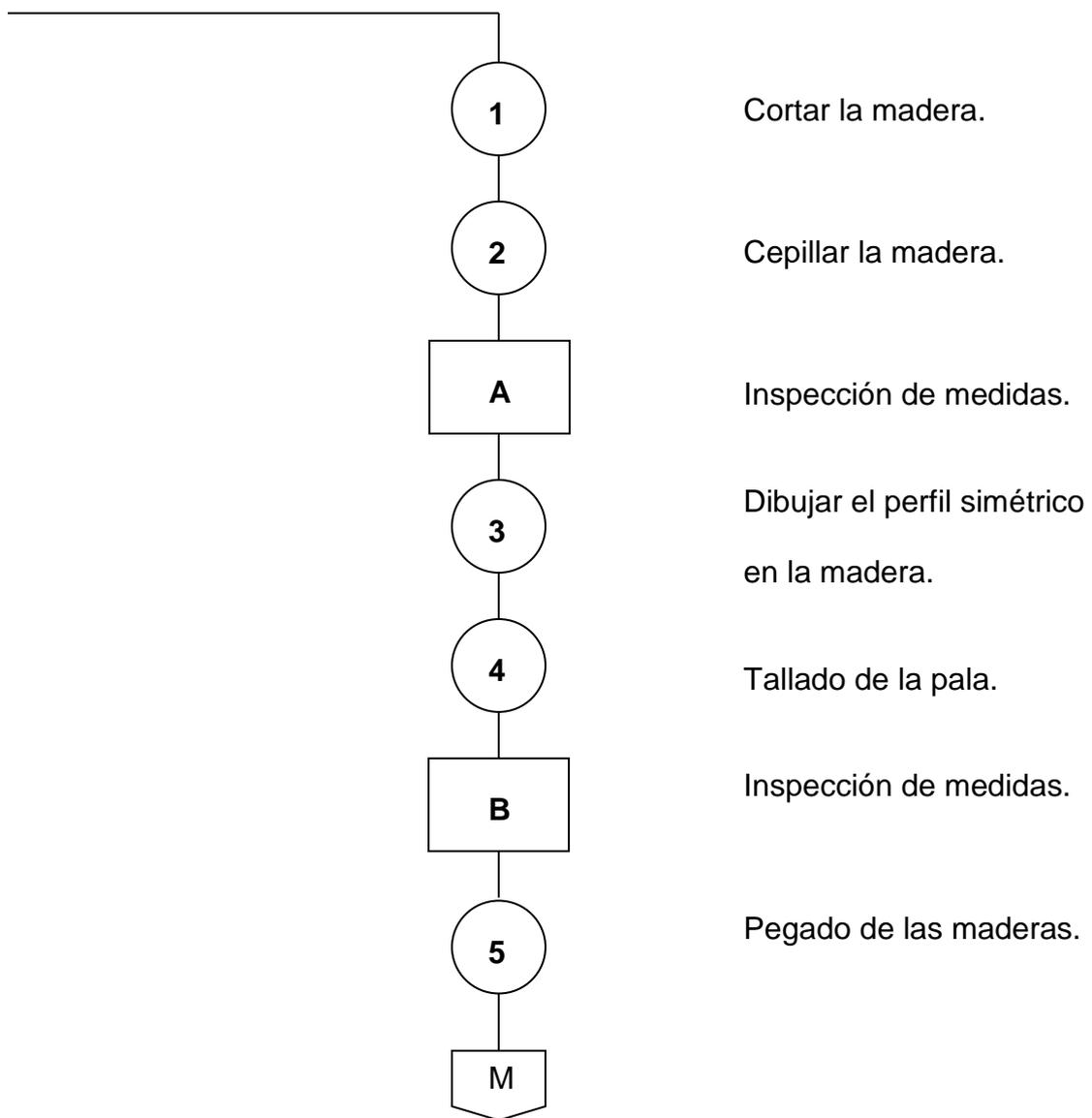
Inspección o Comprobación = 

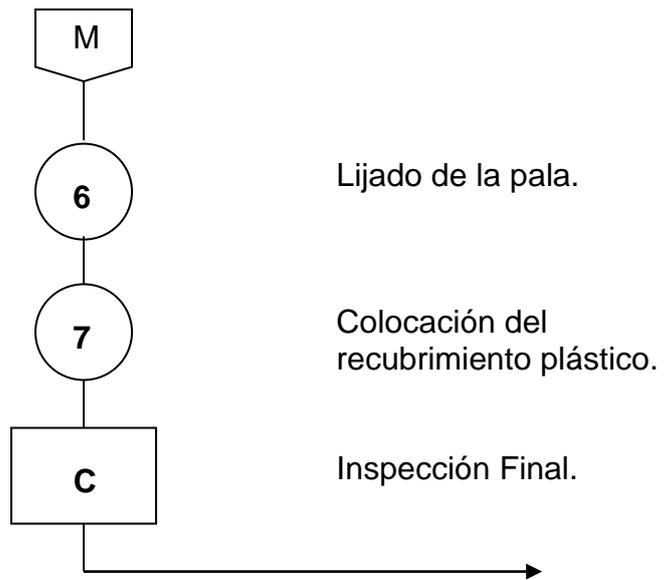
Conector = 

Conector a otra hoja = 

3.8.1. Diagrama de fabricación de la pala # 1 del aerogenerador.

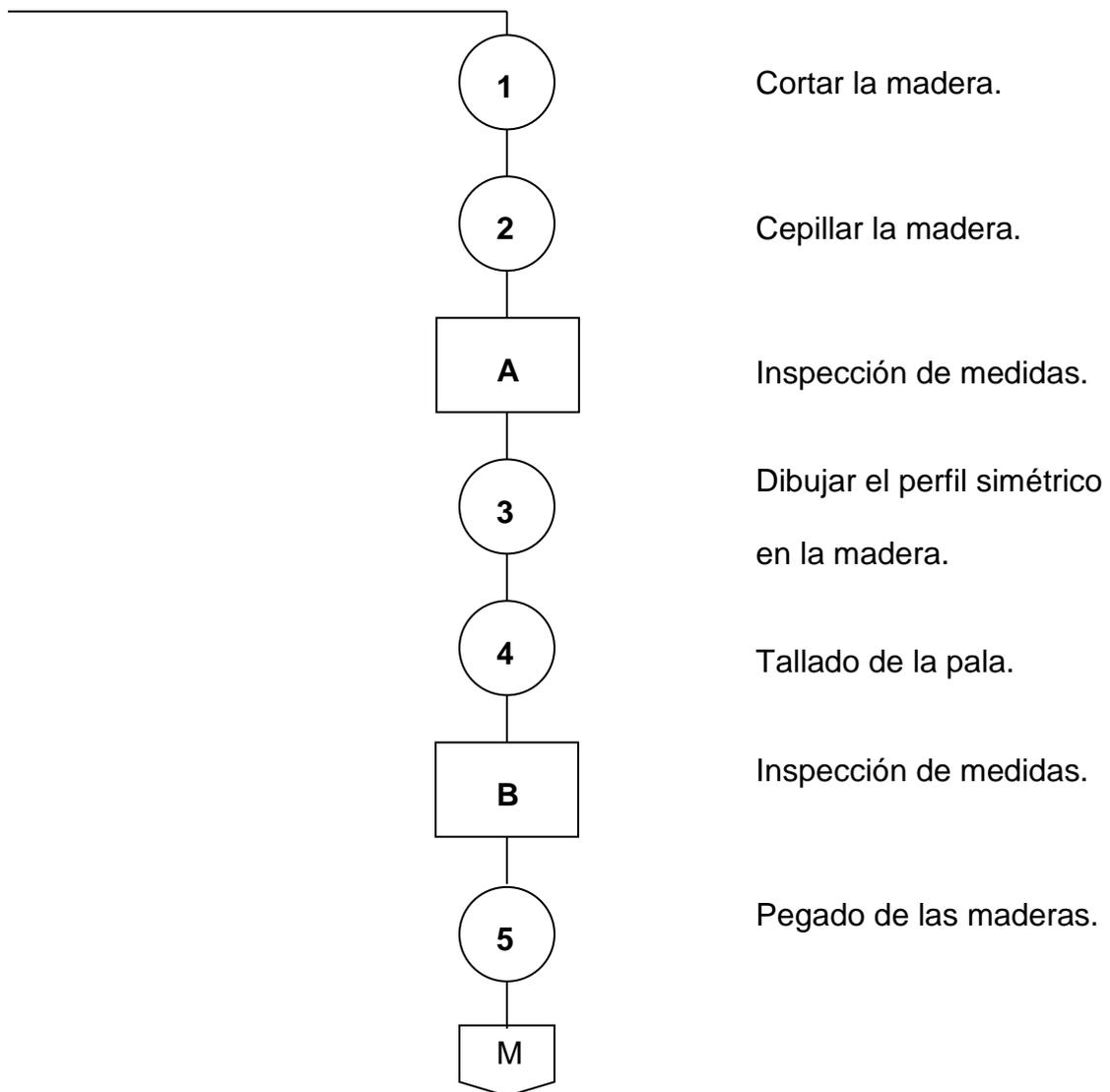
Pala # 1 Construida en madera maple y balsa

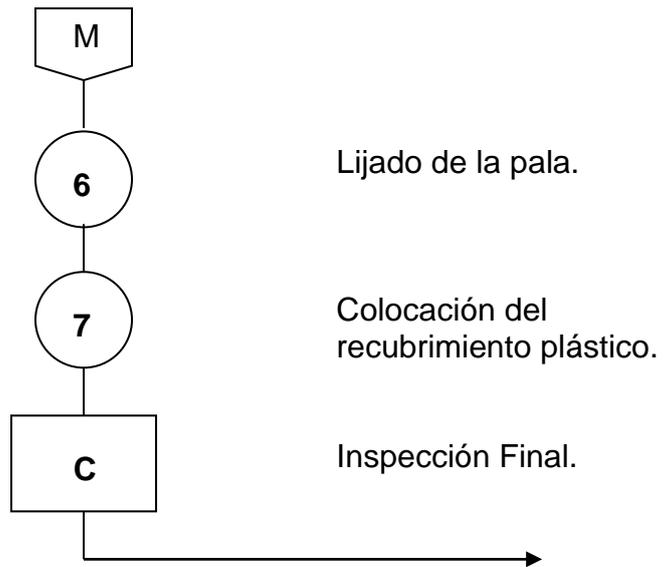




3.8.2. Diagrama de fabricación de la pala # 1 del aerogenerador.

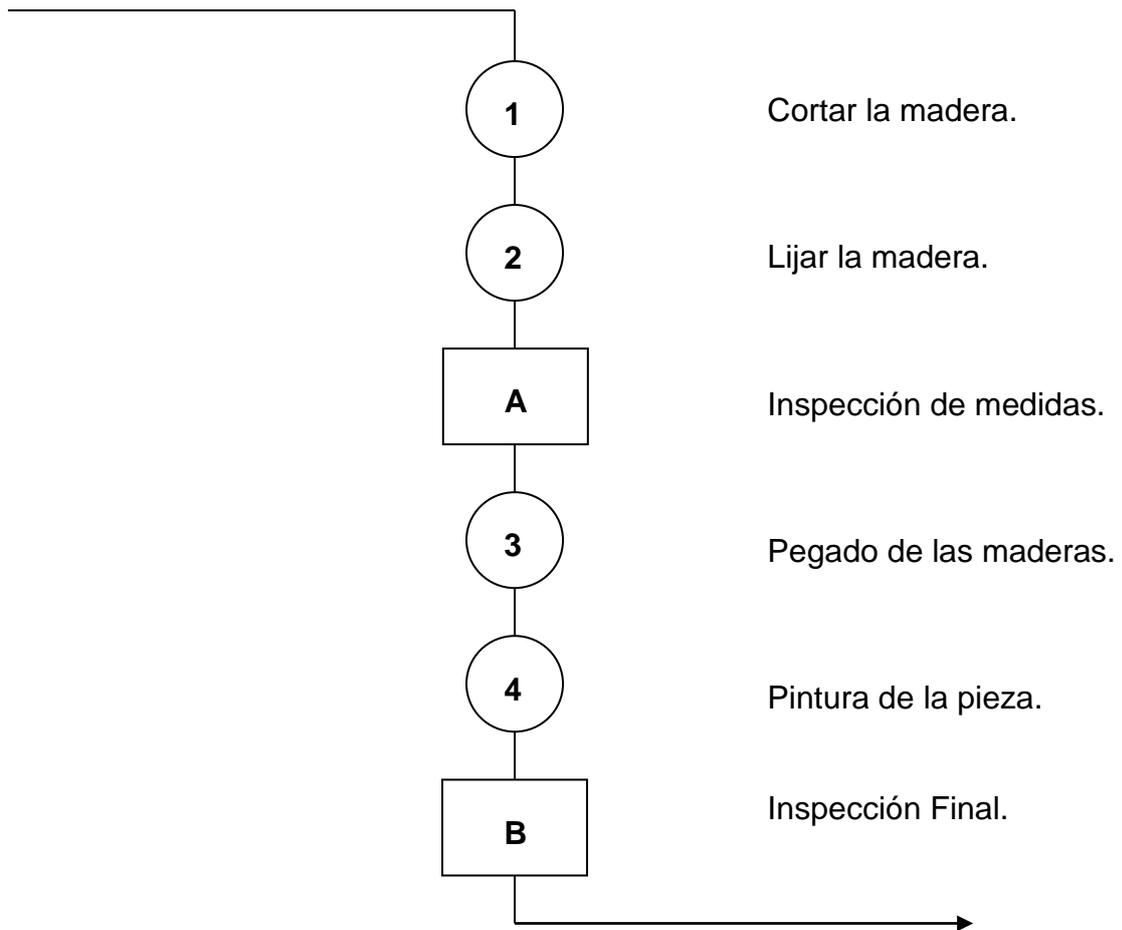
Pala # 2 Construida en madera maple y balsa.





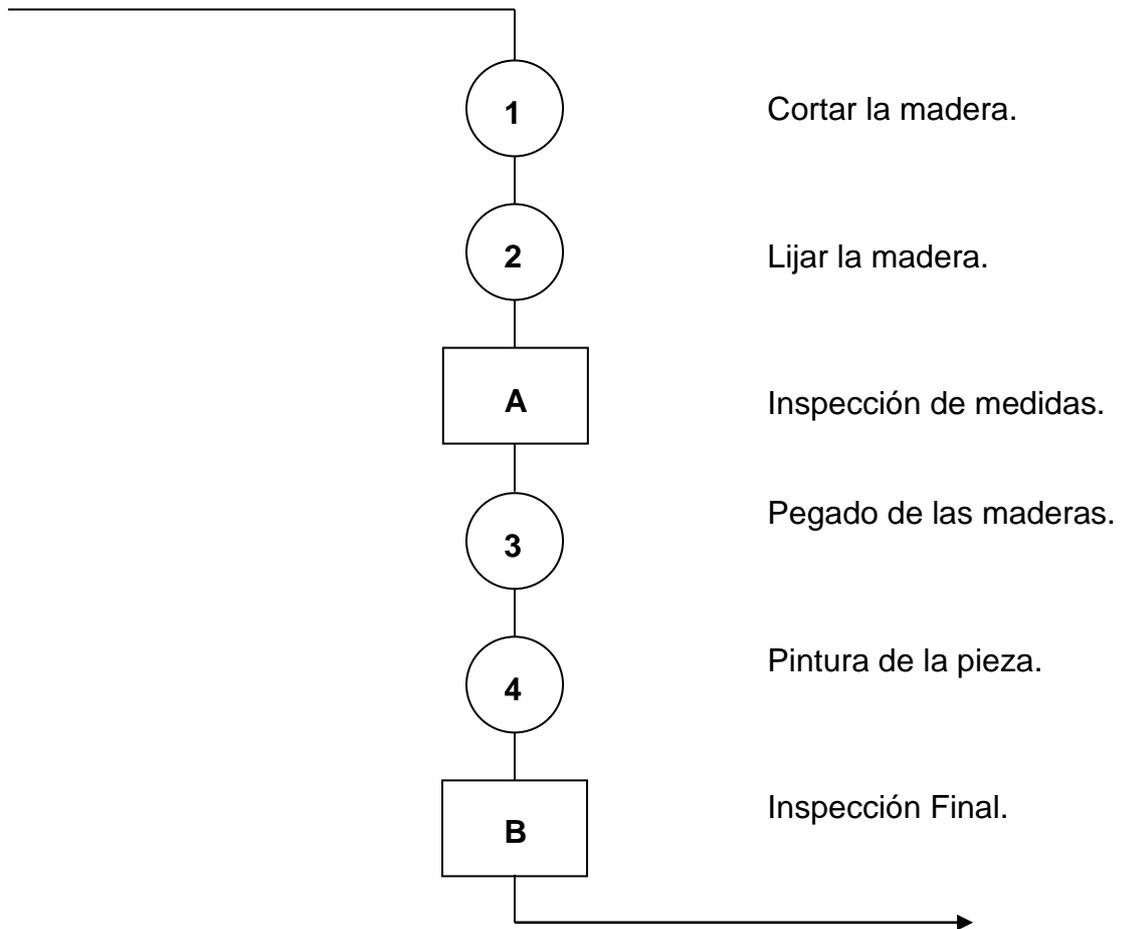
3.8.3. Diagrama de fabricación del Acople de las palas.

Acople de las palas.



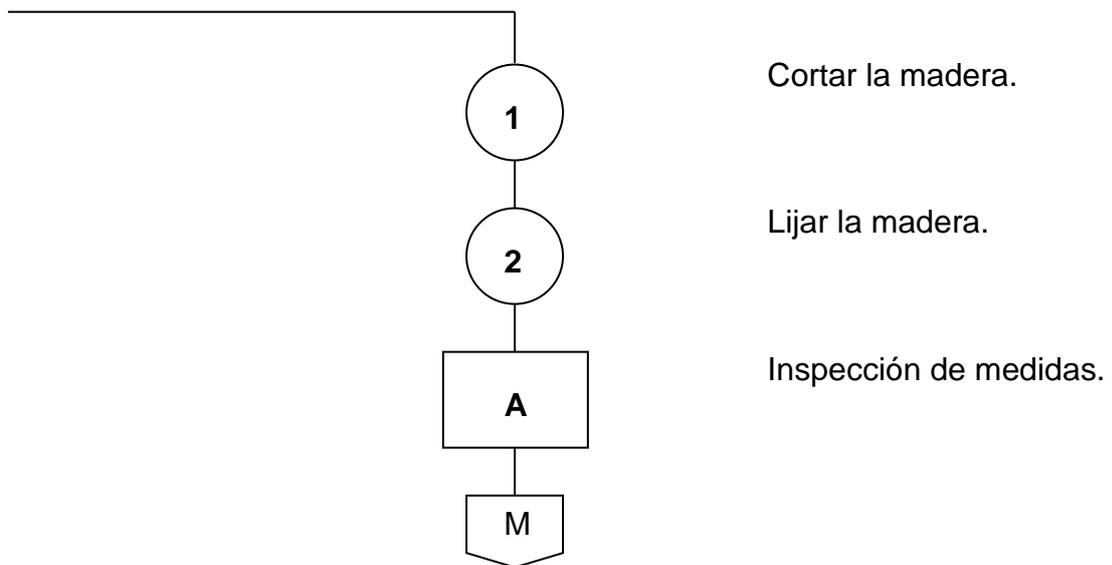
3.8.4. Diagrama de fabricación del Mecanismo de Orientación.

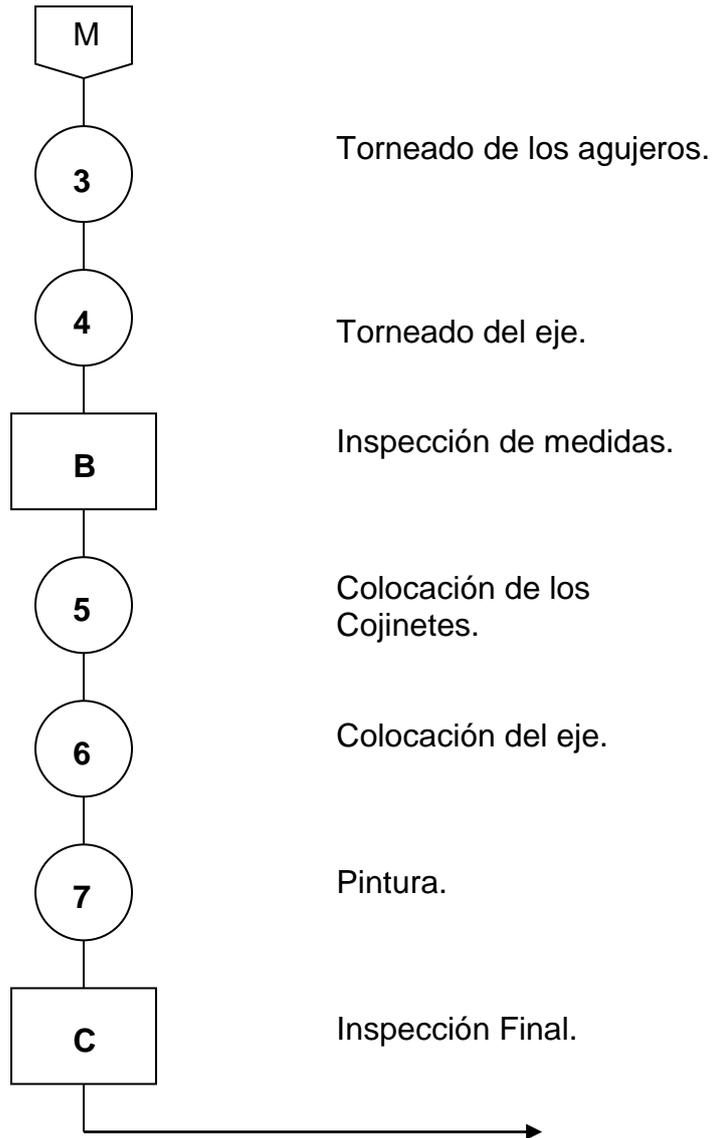
Mecanismo de Orientación.



3.8.5. Diagrama de fabricación del Mecanismo de Giro.

Mecanismo de Giro.



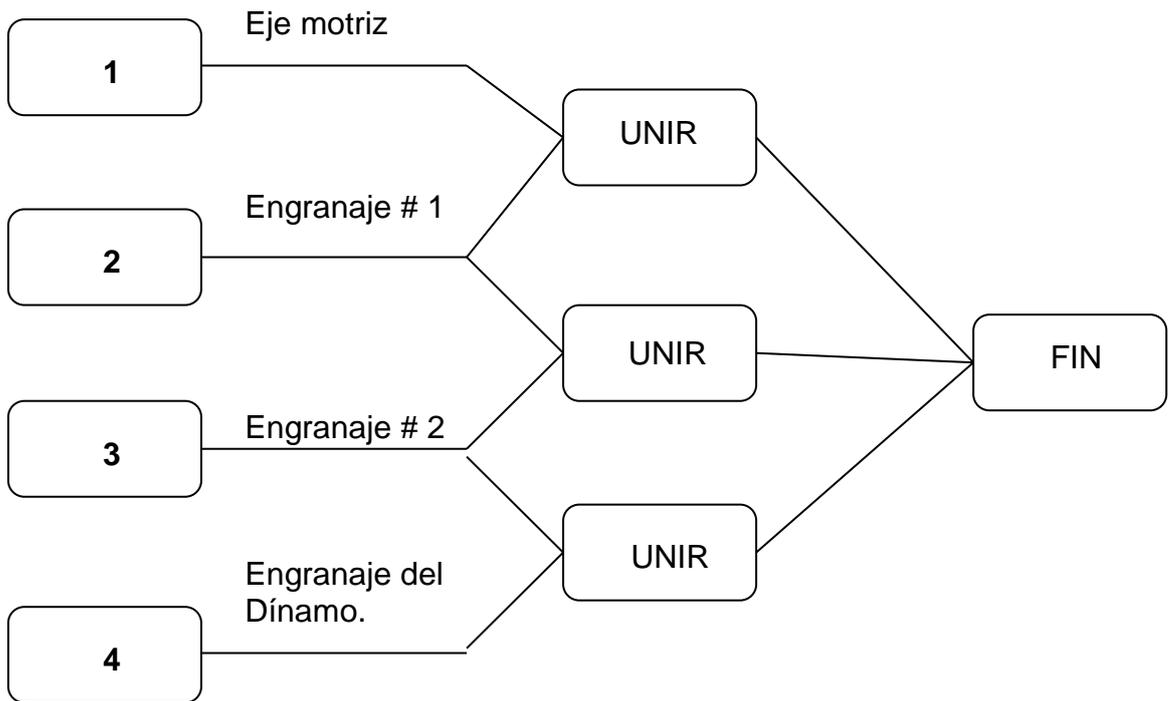


3.9 DIAGRAMAS DE ENSAMBLE.

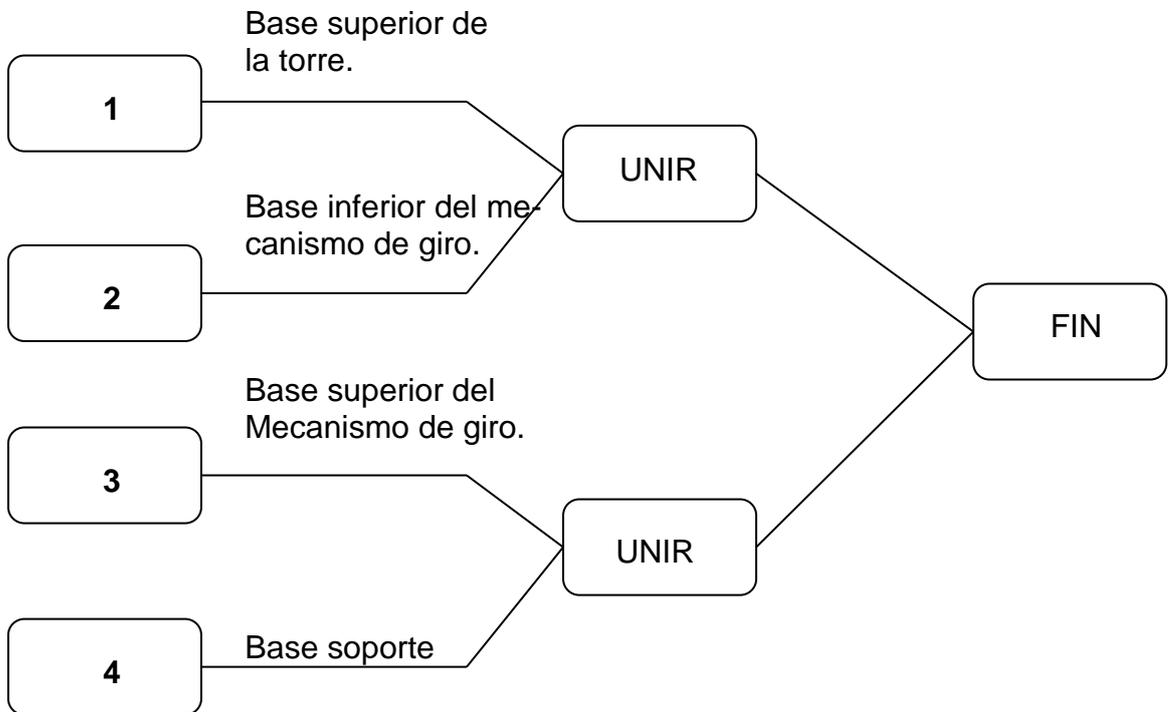
Para el ensamble se tomó en cuenta que debe existir la respectiva holgura entre los dientes del conjunto de engranajes que componen el aerogenerador. Como también las partes del aerogenerador debe estar bien sujeto en su base.

A continuación se presenta el diagrama de ensamble de las partes del aerogenerador.

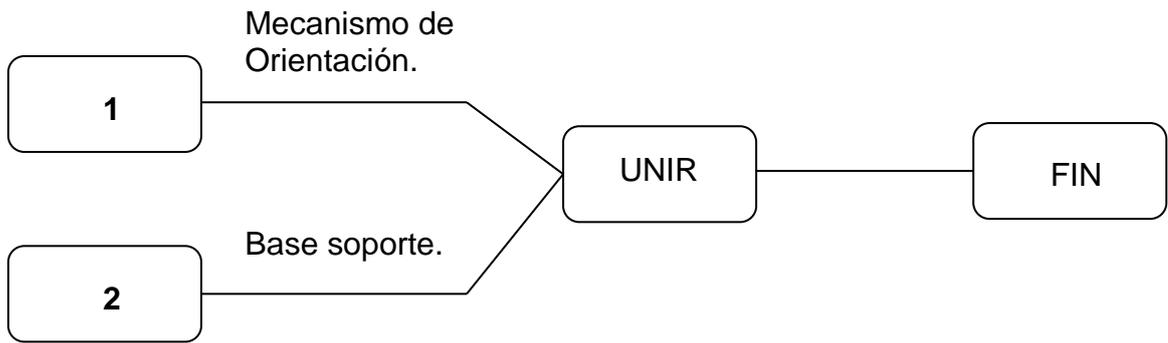
3.9.1. Diagrama de ensamble del conjunto de engranajes.



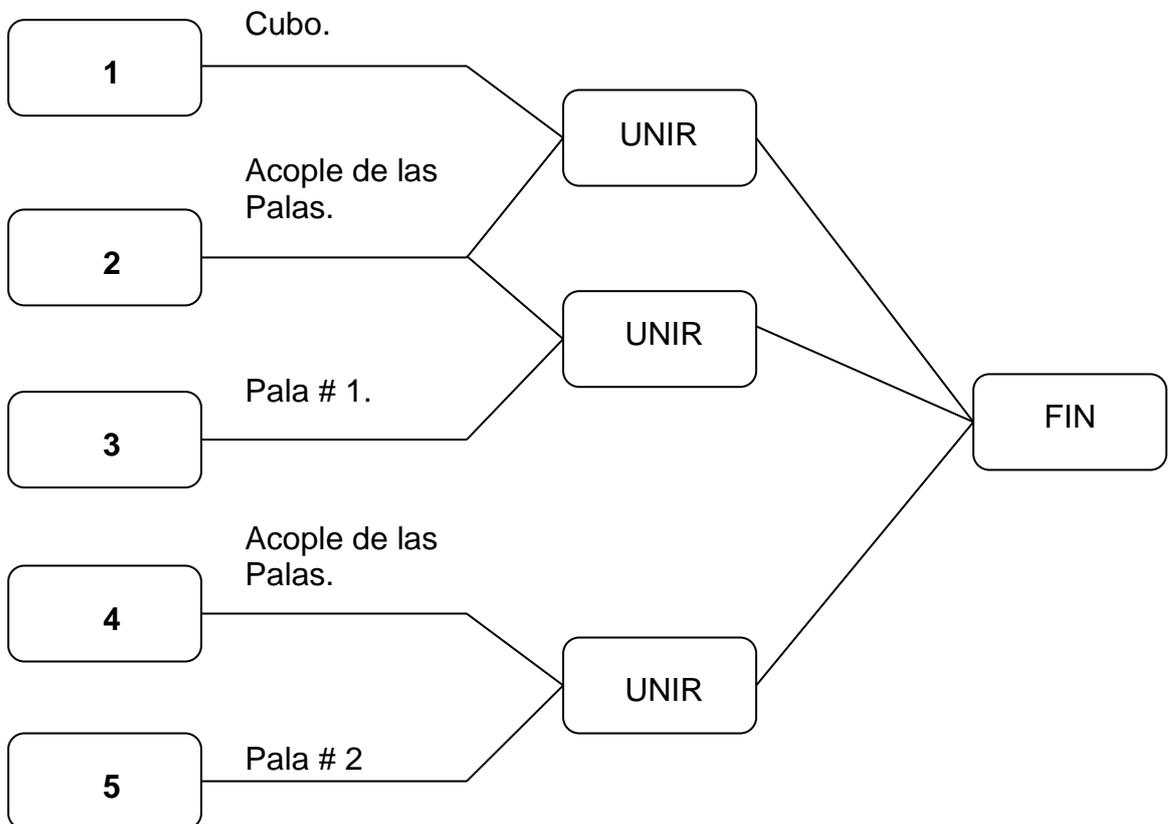
3.9.2. Diagrama de ensamble del Mecanismo de Giro.



3.9.3. Diagrama de ensamble del Mecanismo de Orientación.



3.9.4. Diagrama de ensamble de las palas y su respectivo acople.



3.10 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.

Las pruebas de funcionamiento se realizaron en la Plataforma del Aeropuerto Internacional “Cotopaxi”, con las siguientes características:

- Latitud: 00° 54.4' S
- Longitud: 78° 37.0' W
- Elevación: 2792 metros.
- Presión barométrica: 30.23 inHg.

Para la prueba se monto todas las partes que componen el Aerogenerador se experimento por varios días con diferentes velocidades del

viento.
$$P = \frac{1}{2} * \rho * \pi * R^2 * v^3 * Cp \quad (3.5)$$

- v = 3.5 m/s se consiguió una potencia de 3.21 Watts.

$$P = \frac{1}{2} * 1.225 \frac{kg}{m^3} * \pi * 0.3249^2 * 48.875 \frac{m^3}{s^3} * 0.12 = 3.21 \text{ Watts} \quad (3.6)$$

- v = 4 m/s se consiguió una potencia de 4.80 Watts.

$$P = \frac{1}{2} * 1.225 \frac{kg}{m^3} * \pi * 0.3249^2 * 64 \frac{m^3}{s^3} * 0.12 = 4.80 \text{ Watts} \quad (3.7)$$

- v = 4.5 m/s se consiguió una potencia de 6.83 Watts.

$$P = \frac{1}{2} * 1.225 \frac{kg}{m^3} * \pi * 0.3249^2 * 91.125 \frac{m^3}{s^3} * 0.12 = 6.83 \text{ Watts} \quad (3.8)$$

- v = 5 m/s se consiguió una potencia de 9.37 Watts.

$$P = \frac{1}{2} * 1.225 \frac{kg}{m^3} * \pi * 0.3249^2 * 125 \frac{m^3}{s^3} * 0.12 = 9.37 \text{ Watts} \quad (3.9)$$

Tabla 3.3 Velocidades del viento y Potencia generada.

Velocidad del viento (m/s)	Potencia generada. (Watts)
3.5	3.21
4	4.80
4.5	6.83
5	9.37

CAPÍTULO IV

ELABORACIÓN DE MANUALES.

4.1. MANUAL DE OPERACIÓN DEL AEROGENERADOR.

Este manual servirá como fuente de información para el personal que utilice el aerogenerador, para que conozca el funcionamiento y su manipulación y de esta manera evitar accidentes.

4.2. MANUAL DE MANTENIMIENTO DEL AEROGENERADOR.

Es necesario siempre llevar un mantenimiento óptimo, del equipo en general, este manual permitirá dar a conocer al personal sobre la importancia en el momento de realizar limpieza y reparación de los componentes del aerogenerador.

4.3. MANUAL DE SEGURIDAD DEL AEROGENERADOR.

La seguridad y protección personal será siempre lo primordial para el ser humano, en este manual se brindará procedimientos efectivos para mantener al personal y al equipo fuera de peligro y accidentes al momento de su utilización.

	MANUAL DE OPERACIÓN	Pág.: 1 de 1
	AEROGENERADOR A ESCALA	Código:
	Elaborado por: Pozo Miguel Ángel	Revisión N°: 1
	Aprobado por: Ing. Mayo. Vinueza P.	Fecha: 2004/09/11

1. OBJETIVO

Documentar el procedimiento de operación del aerogenerador a escala.

2. ALCANCE

Al aerogenerador a escala tendrán acceso tanto profesores como alumnos del I.T.S.A.

3. PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN

El personal que utilizará el aerogenerador deberá seguir los siguientes pasos para el correcto funcionamiento del mismo:

- 3.1. Ubicar el aerogenerador en el sitio designado para la prueba.
- 3.2. Sujetar la torre con sus respectivos cables al piso.
- 3.3. Conectar el cable de color negro al generador eléctrico.
- 3.4. Colocar el aerogenerador orientado hacia el viento.
- 3.5. Observar que el foco este iluminando.
- 3.6 Comprobar que existe diferencia de potencial en los bornes del generador eléctrico.

4. FIRMA DE RESPONSABILIDAD _____

	MANUAL DE MANTENIMIENTO	Pág.: 1 de 1
	AEROGENERADOR A ESCALA	Código:
	Elaborado por: Pozo Miguel Ángel	Revisión N°: 1
	Aprobado por: Ing. Mayo. Vinueza P.	Fecha: 2004/09/12

1. OBJETIVO

Documentar el procedimiento para el mantenimiento del aerogenerador a escala.

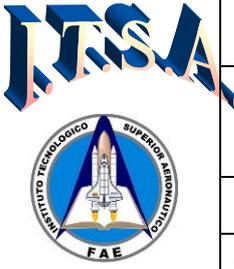
2. ALCANCE

Contempla al personal que lo utilizará como también al encargado del mantenimiento de este aerogenerador.

3. PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO.

- 3.1. Mantenimiento diario operacional.
- 3.2. Limpiar todas las partes exteriores del aerogenerador y su torre.
- 3.3. Revisar conexiones que se encuentren en perfecto estado.
- 3.4. Chequear que exista la respectiva holgura entre los dientes del conjunto de engranajes.
- 3.5. Lubricar los respectivos engranajes que componen el aerogenerador cada mes.
- 3.6. Examinar si existe desgaste en los cojinetes.
- 3.7. Inspeccionar las palas si existe alguna rayadura, grieta, avería., etc.
- 3.8. Verificar el mecanismo de orientación si tiene alguna avería o daño.

4. FIRMA DE RESPONSABILIDAD _____

	MANUAL DE SEGURIDAD	Pág.: 1 de 1
	AEROGENERADOR A ESCALA	Código:
	Elaborado por: Pozo Miguel Ángel	Revisión N°: 1
	Aprobado por: Ing. Mayo. Vinueza P.	Fecha: 2004/09/13

1. OBJETIVO

Documentar el procedimiento de seguridad del aerogenerador a escala.

2. ALCANCE

Este procedimiento concierne a todo el personal que realizará prácticas en el aerogenerador.

3. PROCEDIMIENTO DE SEGURIDAD.

- 3.1. Cuando realice mantenimiento del aerogenerador hágalo a nivel del suelo.
- 3.2. No permita que nadie se acerque al aerogenerador durante su funcionamiento.
- 3.3. Para realizar el respectivo mantenimiento desconecte la conexión eléctrica.
- 3.4. Si tiene que trabajar cerca del aerogenerador frene el rotor hasta que se detenga.
- 3.5. Tener cuidado de los cables tensores cuando están templados.

FIRMA DE RESPONSABILIDAD _____

CAPÍTULO V

ESTUDIO ECONÓMICO

5.1. ANÁLISIS DE COSTOS

Para el análisis de costos se toma en consideración los precios referenciales de cada material en el mercado. El empleo, alquiler de maquinarias y equipos se constituyen también como un factor de gran importancia para la construcción y es así que no se puede dejar a un lado el costo de la mano de obra.

En la construcción del aerogenerador se toma como base los siguientes factores o rubros en lo que se invertirá:

- Materiales.
- Maquinaria, herramientas y equipos.
- Mano de obra.

5.1.1. MATERIALES

Comprende todos los materiales que adquirimos para la construcción de aerogenerador.

Tabla 5.1 Tabla de materiales usados para la construcción del aerogenerador.

No.	ÍTEM	DIMENSIONES (m.m.)	CANTIDAD	COSTO / UNID (dólares)	SUBTOTAL (dólares)
01	Tubo galvanizado	Ø 2" x 1400	1	7.50	7.50
02	Platina de hierro	Esp. 10 x 200 x 315	2	6.50	13.00
03	Madera Maple	Esp. 15 x 70 x 600	2	15.00	30.00
04	Madera balsa	Esp. 15 x 70 x 600	2	10.00	20.00
05	Cables	Ø 4 x 1000	4	0.75	3.00

06	Tensores	150 x 20	3	0.60	1.80
07	Pernos y tuercas	N/A	8	0.10	0.80
08	Engranajes	-	3	10.00	30.00
09	Cojinetes	-	2	4.35	8.70
10	Electrodos E 6013	N/A	1/2 libra	1.30	0.65
11	Pintura	N/A	3 litros	5.00	15.00
12	Dínamo	60 x 100	1	15.00	15.00
13	Accesorios eléctricos	N/A	-	10.00	10.00
14	Varios			20.00	20.00
T O T A L :					175.45

5.1.2. MAQUINARIA, HERRAMIENTA Y EQUIPO

Para la construcción del aerogenerador se utilizó diferentes maquinarias como torno, soldadora, taladro, equipos de pintura, cepilladura, etc.

Tabla 5.2 Tabla de costo de maquinaria y equipo utilizado en la construcción.

No.	ÍTEM	TIEMPO / HORAS	COSTO / HORA (USD)	SUB TOTAL (USD)
01	Torno Paralelo	2	8.00	16.00
02	Taladro	5	2.00	10.00
03	Soldadora	5	5.00	25.00
04	Cepilladura.	3	2.00	6.00
05	Equipo de pintura	6	4.00	24.00
T O T A L :				81.00

5.1.3. MANO DE OBRA

La mano de obra comprende principalmente la colocación o ensamblaje de las partes componentes de un aerogenerador, también comprende la manipulación de las máquinas y equipos utilizados para la construcción de la torre y las aspas.

Tabla 5.3 Tabla de costo de mano de obra.

No.	ÍTEM	TIEMPO / HORAS	COSTO / HORA (USD)	SUB TOTAL (USD)
01	Tornero	2	1.00	2.00
02	Operador del Taladro	5	1.00	5.00
03	Soldador	5	1.00	5.00
04	Cepillador	3	1.00	3.00
05	Pintor	6	1.00	6.00
T O T A L :				21.00

5.1.4. COSTO TOTAL DE LA CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLAJE DEL AEROGENERADOR.

Tabla 5.4. Tabla de costo total de la construcción y ensamblaje del aerogenerador.

No.	ITEM	SUB TOTAL (USD)
01	Materiales	175.45
02	Maquinaria, herramientas y equipo	81.00
03	Mano de Obra	21.00
T O T A L :		277.45

El costo total de la construcción de la torre y las aspas como también del ensamblaje de las partes del aerogenerador es Doscientos setenta y siete dólares con cuarenta y cinco centavos.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES.

1. La energía eólica en nuestro país no es conocida, sin embargo investigando y recolectando información permitió conocer sobre esta importante área, así como también de la construcción del aerogenerador, con el fin de demostrar que es posible la transformación de la energía eólica en energía eléctrica, que permitirá aprovechar el viento como un recurso renovable y no contaminante.

2. En el presente trabajo permitió determinar los requerimientos técnicos para el funcionamiento del aerogenerador tomando en cuenta las velocidades del viento imperante en el aeropuerto Internacional "Cotopaxi".

3. Los conocimientos recibidos en el I.T.S.A. han sido un pilar fundamental en este proyecto, por lo tanto permitió diseñar las dos partes principales del aerogenerador como son las palas y la torre.

6.2 RECOMENDACIONES.

- 1.** Incentivar y concienciar a los alumnos para que en sus futuros proyectos utilicen materiales que existen en nuestro medio, y demuestren sus conocimientos en una forma práctica.
- 2.** Este proyecto se lo debe tomar en cuenta, para que los alumnos despierten el interés investigativo en aplicar las energías alternativas para la producción de energía eléctrica.
- 3.** Que se apoye en proyectos de innovación y creatividad en el campo aeronáutico a los alumnos del I.T.S.A., con el fin de que haya un crecimiento de este sector en nuestro país.

BIBLIOGRAFÍA.

1. THE WIND POWER BOOK, PARK Jack; (1981); Segunda Edición, Cheshire Books, California-USA.
2. ENERGÍA EÓLICA PRÁCTICA, GIPE Paul; (2000); Progensa, Madrid-España.
3. WIND GENERATION, OLADE; (1983); Segunda Edición, Olade, Quito-Ecuador.
4. <http://www.windpower.org>
5. <http://www.windenergy.com>
6. <http://www.enalmex.com>
7. <http://www.itesm.mx>
8. <http://www.ampair.com>
9. <http://www.eolica.com.br>

ANEXOS

ANEXO A

DATOS METEOROLÓGICOS DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL

"COTOPAXI"

REGISTRO HISTÓRICO DE LA DIRECCIÓN PREDOMINANTE DEL VIENTO EN RUMBOS AEROPUERTO "COTOPAXI" LATA CUNGA													
LATITUD 00° 34.4 S LONGITUD 78° 37.0' W ELEVACION 2792 m													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PRED
1973	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
1974	S	S	N	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
1975	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
1976	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
1977	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
1978	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
1979	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
1980	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
1981	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
1982	S	S	S	S	S	S	S	S	S	NE	S	S	S
1983	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
1984	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
1985	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
1986	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
1987	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
1988	S	S	S	S	S	S	S	SSW	SSW	SSW	S	SSW	S
1989	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
1990	S	SSW	S	S	S	S	S	SSW	SSW	SSW	S	S	S
1991	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
1992	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
1993	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
1994	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
1995	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
1996	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
1997	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
1998	S	S	S	S	S	S	S	S	S	SSE	S	S	S
1999	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Pred	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S

Pred= dirección predominante del viento

REGISTRO HISTÓRICO DE LA VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO EN K T AEROPUERTO "COTOPAXI" LATA CUNGA														
LATITUD 00° 34.4 S LONGITUD 78° 37.0' W ELEVACION 2792 m														
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	S.T	Prom
1973	10	10	8	10	7	8	8	7	8	8	8	7	97	8
1974	8	8	8	8	8	8	8	7	8	8	8	5	172	14
1975	8	8	8	8	8	10	10	11	10	10	8	8	100	8
1976	6	4	6	6	6	5	4	4	5	6	6	6	64	6
1977	8	12	12	10	12	13	15	14	10	8	12	11	135	11
1978	12	12	10	10	10	12	14	15	12	12	12	12	143	12
1979	6	8	8	12	10	8	8	10	6	8	10	8	102	8
1980	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	129	10
1981	8	8	8	8	8	8	8	10	8	10	8	8	107	8
1982	9	8	9	8	8	10	9	10	8	6	6	4	95	8
1983	8	8	8	8	8	10	7	8	8	10	7	7	88	8
1984	6	6	7	7	7	9	9	9	10	8	9	9	96	8
1985	8	10	10	8	10	11	12	11	10	10	10	10	120	10
1986	9	9	10	9	10	11	13	11	12	9	9	11	172	10
1987	10	11	10	8	10	11	12	12	11	10	10	10	126	11
1988	10	11	12	9	9	12	14	12	11	10	7	8	125	10
1989	10	8	10	10	9	13	13	13	12	8	8	9	124	10
1990	10	6	8	11	10	15	12	14	14	6	9	10	129	10
1991	12	12	8	11	12	12	14	14	14	14	10	8	143	12
1992	12	11	11	11	10	13	13	14	12	12	11	11	141	12
1993	12	10	9	10	8	12	12	13	11	11	6	9	124	10
1994	10	10	9	9	10	12	13	12	12	11	9	11	129	11
1995	11	10	11	10	11	12	12	12	12	10	8	8	128	11
1996	11	11	9	9	10	12	11	12	12	9	13	12	130	11
1997	8	12	12	12	13	12	15	15	13	12	8	12	144	12
1998	11	9	10	9	10	12	11	11	12	9	10	12	126	11
1999	9	9	10	10	10	8	12	12	11	11	11	8	122	10
S.T	240	253	251	249	338	288	297	304	281	254	243	247	3261	271
Prom	9	9	9	9	12	11	11	11	10	9	9	9	120	10

1kt= 0,514791 m/s, 1,85325 km/h
Prom= Promedio

ANEXO B

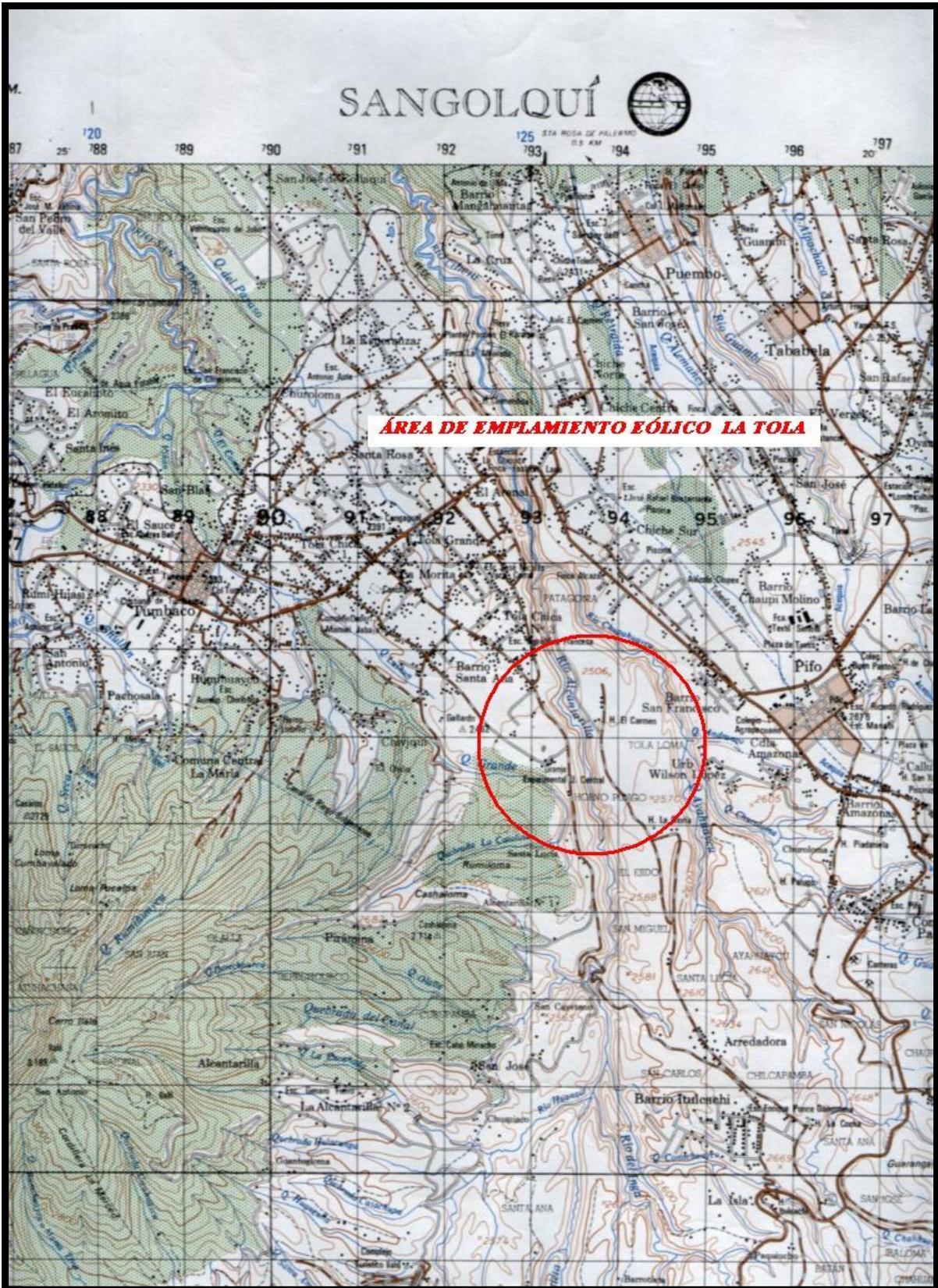


DATOS METEOROLÓGICOS DEL SECTOR LA TOLA-TUMBACO.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA													VIENTO MÁXIMO MENSUAL Y DIRECCIÓN (m/s)					
DIRECCIÓN DE INFORMÁTICA																		
SERIES DE DATOS METEOROLÓGICOS																		
NOMBRE: LA TOLA													CODIGO: 78					
PERIODO: 1990 - 2002													LATITUD: 0 13 46 0		LONGITUD: 78			
VALORES MENSUALES													VALORES ANUALES					
AÑOS	ENE.	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA				
1991	15.0 SE	8.0 N	8.0 N	10.0 SE	9.0 SE	14.0 SE	20.0 SE	14.0 S	20.0 SE	16.0 S	10.0 E	6.0 NW	148.0	12.3				
1992	18.0 E	10.0 SE	10.0 SE	8.0 E	10.0 SE	14.0 SE	18.0 SE	18.0 SE	10.0 SE	10.0 SE	8.0 S	6.0 NE	142.0	11.8				
1993	8.0 NE	10.0 SE	8.0 SE	6.0 SE	6.0 NW	10.0 SE	10.0 SE	14.0 SE	8.0 SE	8.0 NE	8.0 NW	8.0 N	104.0	8.6				
1994	12.0 SE	10.0 SE		12.0 SE	8.0 SE	12.0 SE	16.0 SE	16.0 SE	14.0 SE	12.0 SE	8.0 NE	8.0 NE						
1995	10.0 SE	8.0 N	12.0 SE	8.0 N	12.0 SE	16.0 NW	16.0 SE	18.0 SE	20.0 NE	12.0 SE	8.0 N	6.0 N	146.0	12.1				
1996	14.0 NW	8.0 N	10.0 SE	12.0 SE	8.0 NE	10.0 S	18.0 SE	16.0 SE	16.0 SE	6.0 N	8.0 SE	14.0 SE	140.0	11.6				
1997	10.0 NE	12.0 SE	10.0 SE	8.0 NE	10.0 SE	10.0 E	18.0 SE		12.0 SE	12.0 SE	4.0 N	10.0 SE						
1998	10.0 E	12.0 SE	8.0 SE	8.0 N	14.0 SE	12.0 SE	14.0 SE	14.0 SE	10.0 SE	10.0 SE	6.0 N	4.0 N	122.0	10.1				
1999	6.0 N	10.0 SE	8.0 SE	12.0 SE	10.0 SE	4.0 N	12.0 SE	14.0 SE	12.0 SE	12.0 SE	6.0 N	4.0 N	110.0	9.1				
2000	6.0 SE	6.0 N	4.0 N	8.0 SE	6.0 N	12.0 SE	16.0 NE	16.0 SE	8.0 N	18.0 SE	10.0 SE	14.0 SE	124.0	10.3				
2001		18.0 SE	12.0 SE	14.0 SE	8.0 SE	20.0 SE	18.0 SE		14.0 SE	14.0 SE								
suma	109.0	112.0	80.0	106.0	101.0	134.0	176.0	140.0	144.0	132.0	76.0	80.0	1398.0	116.5				
media	10.9	10.1	8.0	9.6	9.1	12.1	16.0	15.5	15.0	12.0	7.6	8.0	133.1	11.0				
maxima	5.0	6.0	4.0	6.0	6.0	4.0	10.0	14.0	8.0	6.0	4.0	4.0		4.0				
maxima	18.0	18.0	12.0	14.0	14.0	20.0	20.0	18.0	20.0	18.0	10.0	14.0		20.0				
minima	12.0	12.0	8.0	8.0	8.0	16.0	10.0	4.0	12.0	12.0	6.0	10.0		16.0				
INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA													VIENTO MÁXIMO MENSUAL Y DIRECCIÓN (m/s)					
DIRECCIÓN DE INFORMÁTICA																		
SERIES DE DATOS METEOROLÓGICOS																		
NOMBRE: CONDOTO													CODIGO: N112					
PERIODO: 1980 - 2000													LATITUD: 0 16 2 0		LONGITUD: 78		ELEVACION: 2552	
VALORES MENSUALES													VALORES ANUALES					
AÑOS	ENE.	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA				
1982	8.0 W	8.0 E	6.0 S	6.0 S	8.0 E	8.0 W	6.0 N	8.0 E	8.0 S	6.0 S	6.0 W	8.0 W	86.0	7.1				
1983	6.0 E	6.0 E	4.0 W	4.0 E	4.0 N	6.0 E	8.0 E	8.0 N	6.0 N	6.0 N	6.0 E	4.0 E	68.0	5.6				
1984	7.0 N					8.0 N	8.0 W	7.0 S	8.0 S	8.0 E	8.0 S							
1985	6.0 N	8.0 N	6.0 N	8.0 E	8.0 N	6.0 W	6.0 E	4.0 E	84.0	7.0								
1986	6.0 N	4.0 E				8.0 N	6.0 N	8.0 E	6.0 E	4.0 S	6.0 S	6.0 S						
1989							10.0 SE	14.0 SE	8.0 S	7.0 SE	8.0 NW							
1991	6.0 NW	8.0 SE	6.0 SE	20.0 SE	6.0 SE	6.0 NE	6.0 SE	8.0 SE	6.0 SE	4.0 SE	6.0 NE	4.0 NE	80.0	7.3				
1992	6.0 NE	6.0 SE	6.0 SE	4.0 SE	4.0 NE	6.0 SE	6.0 SE			4.0 SE	4.0 SE	4.0 NE						
1993	4.0 NE	4.0 NE	6.0 SE	4.0 NE	2.0 NE	4.0 NE	6.0 SE	6.0 SE	4.0 SE	4.0 SE	2.0 NE	2.0 NW	48.0	4.0				
1994	4.0 NE	4.0 NW	2.0 NE															
suma	53.0	48.0	38.0	46.0	32.0	46.0	50.0	44.0	59.0	50.0	49.0	48.0	587.0	48.9				
media	5.3	6.0	5.4	7.6	5.3	6.9	6.7	8.0	7.3	5.5	5.4	5.3	75.3	6.2				
maxima	4.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0	6.0	6.0	4.0	4.0	2.0	2.0		2.0				
maxima	10.0	8.0	8.0	20.0	8.0	8.0	8.0	10.0	14.0	8.0	7.0	8.0		20.0				
minima	4.0	4.0	6.0	16.0	6.0	4.0	2.0	4.0	10.0	4.0	5.0	6.0		16.0				

ANEXO C

MAPA DEL SECTOR LA TOLA-TUMBACO.



ANEXO D

REQUERIMIENTOS DE POTENCIA Y ENERGÍA DE LOS ARTEFACTOS ELÉCTRICOS.

		CONSUMO MENSUAL (Kwh./MES)		
<i>EQUIPO</i>	<i>POTENCIA (Watts)</i>	<i>2 horas/día</i>	<i>5 horas/día</i>	<i>8 horas/día</i>
Cocina pequeña	2000	120	300	480
Computadora	500	30	75	120
Horno microondas	900	54	135	216
Foco 60 W	60	4	10	16
Foco 100 W	100	6	15	24
Televisor 14"	100	6	15	24
Radio	80	5	12.5	20
Plancha	1000	60	150	240
Lavadora de ropa	600	36	90	144
Refrigerador	250	60 Kwh./mes (utilizando todo el día).		
Ducha eléctrica	3000	30 Kwh./mes (utilizando 20 minutos / diarios)		

PLANOS

HOJA DE VIDA

DATOS PERSONALES

NOMBRES Y APELLIDOS:	POZO TARAPUEZ MIGUEL ÁNGEL
ESTADO CIVIL:	SOLTERO
NACIONALIDAD:	ECUATORIANA
CEDULA DE IDENTIDAD:	0401231394
FECHA DE NACIMIENTO:	01 DE OCTUBRE DE 1981
EDAD:	23 AÑOS
TIPO DE SANGRE:	ORH +
DOMICILIO:	TULCÁN, VENEZUELA Y CUENCA
ESTUDIOS PRIMARIOS:	ESCUELA ANTONIO JOSÉ DE SUCRE
ESTUDIOS SECUNDARIOS:	INSTITUTO TÉCNICO SUPERIOR “VICENTE FIERRO”
ESTUDIOS SUPERIORES:	INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR AERONÁUTICO

HOJA DE LEGALIZACIÓN DE FIRMAS

ELABORADO POR:

POZO TARAPUEZ MIGUEL ÁNGEL

DIRECTOR DE LA CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA

ING. GUILLERMO TRUJILLO JARAMILLO

Latacunga, 09 de Diciembre del 2004