



Ministerio de Educación Superior
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO

Dr. Antonio Núñez Jiménez.
Facultad Metalurgia y Electromecánica
Moa – Holguín

TRABAJO DE DIPLOMA

*Título: Evaluación del aporte energético del Parque Eólico de
Gibara al Sistema Energético Nacional.*

Autor: Raciél Manuel San Juan Sambert.

Tutor: Dr. Reinaldo Laborde

Año 53 del triunfo de la Revolución



Ministerio de Educación Superior
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO
Dr. Antonio Núñez Jiménez.
Facultad Metalurgia y Electromecánica
Moa – Holguín

TRABAJO DE DIPLOMA

*Titulo Evaluación del aporte energético del Parque Eólico de
Gibara al Sistema Energético Nacional.*

Autor: Raciél Manuel San Juan Sambert.

Tutores: Dr. Reinaldo Laborde.

Año 53 del triunfo de la Revolución

Declaración de Autoridad

Yo:

Diplomante: Racial Manuel San Juan Sambert

Tutor: Dr. Reinaldo Laborde B

Autor de este Trabajo de Diploma junto con el Dr.C. Reynaldo Laborde Brown certifico su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”, el cual podrá hacer uso del mismo para fines docentes y educativos.

Diplomante.

Raciel Manuel San Juan Sambert

Tutor.

Dr. Reinaldo Laborde B.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a todas aquellas personas que de una forma u otra posibilitaron su realización.

A mi familia por el apoyo que me han brindado, en especial a mis padres ya que sin ellos no hubiera sido posible estar aquí, a mis amigos y compañeros de cuarto.

Pensamiento

Investigar es ver lo que todo el mundo ha visto, y pensar lo que nadie más ha pensado.

Albert Szent Gyorgi. (1893-1986) médico húngaro

Agradecimientos

*Ni el papel más grande del mundo me alcanzaría para decir
una palabra tan corta pero que encierra mucho
"Gracias" para mis familiares, amigos a mis compañeros de
beca y a todas las personas que de una forma u otra me ha
brindado su apoyo en el transcurso de estos cinco años.*



Resumen

El presente trabajo de investigación se ve la Evaluación del aporte energético del Parque Eólico de Gibara-1 al Sistema Energético Nacional donde veremos diferentes parámetros como el recurso eólico en la zona. El comportamiento de los aerogeneradores, sus características, componentes y trabajo del mismo. Además abordaremos en cuanto a todos los aspectos económicos combustible dejado de comprar por este fin. También veremos los valores gases tóxicos dejados de emitido a la atmosfera como él (CO₂)

En la evaluación de los resultados se verán todo lo referida al tema del Trabajo de Diploma.



Abstract

The present work from investigation is seen the Evaluation of the energy contribution of the Eolic Park of Gibara-1 to the Energy National System where we will see several parameters like the resource eolic in the zone. The behavior of the aerogeneradores, their characteristics, components and work from the same. We will also undertake as for all the looks economical quit fuel buying for this end. We will also see the courage's gases toxics left of emitting to the atmosphere like the (CO₂)

They in the evaluation of the outputs will be seen everything it referred to the topic of the Work of Diplomat.



Declaración de Autoridad.....	I
Dedicatoria	II
Pensamiento	III
Agradecimientos.....	IV
Resumen	1
Abstract	2
Introducción General.....	5
Situación problemática.....	6
Problema.....	6
Inexistencia de una fuente de información documental donde se recoja y se evalúe el comportamiento de los diferentes parámetros técnicos del parque eólico de Gibara 1 desde su puesta en marcha. .	6
Objetivo.....	6
Objetivos Específicos	7
Objeto de estudio.....	7
Campo de acción	7
Como guía de acción para el trabajo ha sido formulada la siguiente hipótesis:.....	7
Hipótesis.....	7
Alcanzar los objetivos propuestos presupone el desarrollo de las siguientes tareas:	7
Tareas	7
Factibilidad del trabajo.....	8
Aportes del trabajo	8
<i>CAPÍTULO I. Marco teórico conceptual</i>	9
Introducción	9
Estado del arte.....	9
1.2. Fundamentación teórica.....	17
Figura 1.2 Aerogenerador de Muchas Palas	19
Figura 1.3 Aerogeneradores de Dos y Tres Palas	20
1.3.1 Ley Exponencial de Hellmann.....	34
1.3.3 Conclusiones del capítulo.....	35
En el presente capítulo se abordan los temas relacionados con las condiciones de los aerogeneradores y sus características principales. También en el estudio del viento en la zona para un mejor aprovechamiento del recurso eólico.....	35
<i>CAPÍTULO II. Materiales y métodos</i>	36
Introducción.....	36
2.1 Diseño de la investigación.....	37
2.2 Descripción del parque eólico Gibara -1.....	37
2.3 Características de los medios de medición empleados.....	42
2.4 Métodos empleados para el procesamiento de la información.....	45
Conclusiones del capítulo.....	46
<i>Capítulo III. Resultados y discusión</i>	47
3.1 Velocidades de los Promedios.....	48
3.2 Comportamiento de los generadores.....	50
3.2. Valoración económica.....	55
3.3. Energía eólica.....	55
3.4 Estimado de reducción de emisiones que se lograrán.....	57
3.5 Beneficios ambientales, sociales y económicos.....	57
3.6 Evaluación socio-ambiental.....	58
Conclusiones del capítulo.....	59
Conclusiones Generales.....	60



Recomendaciones.....	61
Bibliografía.....	62
Anexos.....	64



Introducción General

El uso indiscriminado de los recursos naturales principalmente por las principales potencias económicas del mundo ha conducido a una profunda crisis energética y medioambiental por lo que forzosamente se recurre a la búsqueda y desarrollo de las fuentes de energía renovables, destacándose entre ellas la energía eólica.

Del total de energía solar que recibe la tierra, el 2% se emplea para mover el aire, se ha estimado que la energía eólica total es del orden de 10^{14} MW y la utilizable por el hombre (en los 300 metros más próximos a la tierra) es del orden de 10^6 - 10^7 MW. Esta cantidad equivale a la producción al menos 1000 plantas nucleares o de combustibles fósiles de 1000 MW cada una.

En los últimos 20 años se observa un gran incremento en la utilización de la energía del viento, pero su aplicación se ha concentrado fundamentalmente en naciones con altos niveles de ingreso, sobretudo en Europa y E.U., con la honrosa excepción de la India, lo que se explica por razones tecnológicas y financieras.

El impulso de la energía eólica fue estimulado por los bajos precios de la producción de electricidad en California, que descendieron increíblemente en las últimas dos décadas, lo que permite establecer que la energía eólica es una fuente madura y competitiva.

La India es el país del tercer mundo con mayor crecimiento en la aplicación de aerogeneradores, Hasta 1993 tenía instalado 65 MW, en 1994 instaló 115 MW y en 1996 ya contaba con 600 MW y se espera que sea junto a China los países que más empleen esta energía.

Argentina, Brasil, México, Chile, Bolivia, China, Indonesia, Egipto y Marruecos son países del tercer mundo que dan importantes pasos en la aplicación de la energía eólica.

En nuestro país se han realizado varios estudios para el desarrollo de la energía eólica como en aprovechamiento del viento es una variante energética que en las zonas ventajosas de la costa norte puede competir con el petróleo y que se inscribe dentro de la primera línea de trabajo. De acuerdo a las experiencias en California, Dinamarca y Alemania y basándose en los criterios de los especialistas cubanos se plantea que en Cuba se puede llegar a instalar una capacidad de aerogeneradores de hasta el 10% de la capacidad actual instalada, es decir, 300 MW, sin que las oscilaciones del viento altere de manera importante el Sistema Electro-energético Nacional. Se han hecho varias investigaciones en otras partes del país para el montaje de Parques Eólicos.



Nuestro país está enfrascado en la revolución energética. Donde se han puesto en marcha varios proyectos para el ahorro de combustibles fósiles. En Cuba se hicieron investigaciones para el desarrollo de la energía renovables en las cuales se destacan la eólica con la instalación de varios parques eólicos en diferentes zonas del país ejemplo de ello en Los Canarreos, La Isla de la Juventud; Turiguanó, Ciego de Ávila y Gibara provincia de Holguín. Con este último parque se persigue, además de la generación, adquirir experiencias en estos tipos de instalaciones para luego pasar a proyectos de mayor envergadura en los diferentes sitios del país donde existe un potencial eólico considerable.

Situación problemática

Desde la puesta en marcha del parque, se ha ido recopilando información sobre los principales eventos técnicos acaecidos en el mismo, sin embargo, esta información se encuentra dispersa y no ha sido lo suficientemente organizada, como para elaborar una fuente de conocimiento que sirva de base para las inversiones futuras en el campo de la energía eólica en nuestro país, por lo que se presenta el siguiente problema:

Problema

Inexistencia de una fuente de información documental donde se recoja y se evalúe el comportamiento de los diferentes parámetros técnicos del parque eólico de Gibara 1 desde su puesta en marcha.

Para la solución de este problema ha sido trazado el siguiente objetivo:

Objetivo

Elaborar un documento que constituya una fuente de información sobre el comportamiento del parque eólico de Gibara desde su puesta en marcha, con la correspondiente evaluación de sus parámetros de diseño, a fin de contar con una base de conocimientos para los futuros proyectos de explotación de la energía eólica en el país.

Este objetivo se alcanza a través de los siguientes objetivos específicos:



Objetivos Específicos

1. Caracterizar el comportamiento del recurso eólico desde la puesta en marcha del parque
2. Evaluar el comportamiento de los generadores
3. Caracterizar el comportamiento de la energía entregada por el parque a la red.

Objeto de estudio

Parque eólico Gibara 1

El alcance del trabajo se define a través del campo de acción:

Campo de acción

Parámetros técnico-económicos del parque eólico de Gibara I desde (28 de febrero del 2008) hasta mayo de 2011.

Como guía de acción para el trabajo ha sido formulada la siguiente hipótesis:

Hipótesis

El procesamiento y análisis de las diferentes magnitudes eléctricas y mecánicas que se registran en el sistema de monitoreo y control del parque eólico de Gibara permite evaluar la efectividad de la instalación y crear una fuente de información sobre el comportamiento histórico del parque.

Alcanzar los objetivos propuestos presupone el desarrollo de las siguientes tareas:

Tareas

1. Recopilación y procesamiento de toda la información referida al comportamiento del viento en la zona del parque eólico.
2. Recopilación y procesamiento de toda la información referida a los registros de las principales magnitudes eléctricas y mecánicas de los generadores.



3. Recopilación y procesamiento de la información referida a la energía que entrega el parque a la red. Análisis de esta energía con respecto a la consumida por el municipio de Gibara.
4. Valoración económica y medioambiental.

Factibilidad del trabajo.

En la sala de control del parque eólico Gibara I, se registran constantemente en una computadora el comportamiento de un elevado número de magnitudes eléctricas y mecánicas que caracterizan el comportamiento del conjunto de máquinas que integran un aerogenerador, lo que permite con facilidad acceder a esta información para su procesamiento y análisis. Por otra parte es interés de la empresa eléctrica provincial que se recopile, organice y procese esta información de forma que pueda ser llevada a un documento único donde pueda ser rápidamente interpretada. En resumen, existe disponibilidad de los medios técnicos adecuados y necesarios para llevar a cabo el trabajo propuesto, el cual a su vez constituye una necesidad de conocimiento para la comunidad de técnicos, ingenieros e investigadores en general interesados en el tema de la explotación de la energía eólica.

Aportes del trabajo

Se espera resumir en un documento único toda la información correspondiente al comportamiento de los principales parámetros que caracterizan el comportamiento del parque eólico Gibara I desde su puesta en marcha, a fin de evaluar la efectividad del mismo a través de la comparación de dichos parámetros con los de diseño. El documento así elaborado debe constituir una fuente de consulta para las inversiones futuras en materia de explotación de la energía eólica.



CAPITULO I. Marco teórico conceptual.

Introducción

En el presente capítulo se realiza un análisis, realizando de los temas relacionados con la bibliografía consultando con la disposición de utilizar los elementos básicos que nos ayuden al desarrollo del trabajo.

Establece el Marco Teórico-Metodológico de la investigación para la consolidación del tema basado en el análisis de los trabajos realizados

Estado del arte

Del total de energía solar que recibe la tierra, el 2% se emplea para mover el aire, se ha estimado que la energía eólica total es del orden de 10^{14} MW y la utilizable por el hombre (en los 300 metros más próximos a la tierra) es del orden de 10^6 - 10^7 MW. Esta cantidad equivale a la producción al menos 1000 plantas nucleares o de combustibles fósiles de 1000 MW cada una.

1.1.2 La energía eólico a nivel mundial

En los últimos 20 años se observa un gran incremento en la utilización de la energía del viento, pero su aplicación se ha concentrado fundamentalmente en naciones con altos niveles de ingreso, sobretodo en Europa y E.U., con la honrosa excepción de la India, lo que se explica por razones tecnológicas y financieras.

El impulso de la energía eólica fue estimulado por los bajos precios de la producción de electricidad en California, que descendieron increíblemente en las últimas dos décadas, lo que permite establecer que la energía eólica es una fuente madura y competitiva.



En Europa se habían instalado más de 1550 MW en 1994, que producían 2 tW-h/año de energía, en el 2010 se espera llegue a 12 000 MW. Los países europeos que más aplican la energía eólica son Dinamarca, Alemania, Holanda y Gran Bretaña.

La energía eólica goza de buena reputación y es preferida por la población si se comparan con las plantas nucleares y convencionales. La aplicación de la energía eólica por países ha sufrido una gran transformación, aumentando significativamente el número de países que emplean este recurso. En 1990 E.U. producía el 76.6% de toda la energía Eolo-eléctrica del mundo, mientras en 1996 represento el 35% del total. Estados Unidos prácticamente tiene la misma potencia instalada que en 1989, lo que ha hecho es sustituir las máquinas menos eficientes en sus instalaciones eólicas.

La India es el país del tercer mundo con mayor crecimiento en la aplicación de aerogeneradores, Hasta 1993 tenía instalado 65 MW, en 1994 instaló 115 MW y en 1996 ya contaba con 600 MW y se espera que sea junto a China los países que más empleen esta energía.

Argentina, Brasil, México, Chile, Bolivia, China, Indonesia, Egipto y Marruecos son países del tercer mundo que dan importantes pasos en la aplicación de la energía eólica. En la actualidad cada vez son más los pises que se integran a la energía eólica.

1.1.3 Parques Eólicos en Cuba

Por el alza del petróleo a nivel mundial y el gasto de los combustibles fósiles por las llamadas sociedades de consumo. En nuestro país se han puesto en marcha varios proyectos para el ahorro de combustibles fósiles.

En Cuba se hicieron investigaciones para el desarrollo de la energía renovables en las cuales se destacan la eólica con la instalación de varios parques eólicos en diferentes zonas del país ejemplo de ello en Los Canarreos, La Isla de La Juventud 6 AGs Vergnet (Fran) 275 kW altura 30m y abatibles, bipalas, fecha puesta en marcha enero 2008, generador asincrónico; Turiguanó, Ciego de Ávila 2 AGs Ecotecnia (Esp) E28-225 altura 30m, generador asincrónico par tanden, fecha puesta en marcha 1999 y los parques Gibara 1 6 AGs Gamesa Eólica (Esp) G52-850 altura 55m generador asincrónico doblemente alimentado, fecha puesta en marcha febrero 2008; y Gibara 2 6 AGs Goldwind (China) S50-750 altura 50m, generador asincrónico fecha puesta en marcha diciembre 2010; Gibara provincia de Holguín. Todos conectados al SEN.



1.1.4 Perspectivas de la energía eólica en Cuba

En Cuba la electricidad se produce fundamentalmente en las termoeléctricas a partir de la transformación de la energía química del petróleo en electricidad. Siendo la industria el principal consumidor de energía, con un 62% del total, contra un 8% del sector residencial.

El equipamiento de las Centrales Termoeléctricas está bastante afectado por la reducción de los mantenimientos en la última década y por los combustibles empleados para generar electricidad.

La combustión en el mundo, y especialmente en Cuba, es cada vez más contaminante por la reducción de la calidad de los combustibles que se queman. Siendo la aplicación en Cuba de aditivos para la combustión una variante que reduce la contaminación y las afectaciones al equipamiento y aumenta la eficiencia de la combustión, reduciendo la corrosión de altas y bajas temperaturas y los fenómenos de inestabilidad de las mezclas de combustible.

Finalmente la capacidad instalada no llega a cubrir la demanda creciente de electricidad, que se espera lo haga aceleradamente en el futuro dado el crecimiento económico del país, no previéndose en los próximos años un proceso inversionista que resuelva este problema, por lo que se requiere buscar alternativas energéticas que resuelvan la situación actual y futura.

Se han establecido dos líneas de trabajo. La primera se relaciona con el incremento del uso de los recursos energéticos nacionales como el crudo nacional, el biogás y otras fuentes renovables en lo cual se han alcanzado altos índices. La segunda línea abarca el incremento de la eficiencia energética, buscando obtener del kW-h el máximo de aprovechamiento, para ello se están sustituyendo gradualmente los equipos y tecnologías consumidoras en todos los sectores, se están reparando los equipos domésticos defectuosos y se aplica un programa de educación a la población para aumentar el ahorro de energía, entre otros.

El aprovechamiento del viento es una variante energética que en las zonas ventajosas de la costa norte puede competir con el petróleo y que se inscribe dentro de la primera línea de trabajo. De acuerdo a las experiencias en California, Dinamarca y Alemania y basándose en los criterios de los especialistas cubanos se plantea que en Cuba se puede llegar a instalar una capacidad de aerogeneradores de hasta el 10% de la capacidad actual instalada, es decir, 300 MW, sin que las oscilaciones del viento altere de manera importante el Sistema Electroenergético Nacional.



La aplicación a gran escala de la energía eólica en Cuba choca contra el criterio no existen vientos para ello se debe aclarar que los equipos para realizar una prospección adecuada de recurso eólico se obtuvieron hace más de nueve años y se trabajó fuertemente en la localización de sitios eólicos de interés, entre los que se destacaron Cayo Sabinal, Punta de Maisí, Santa Cruz del Norte y la Gran Piedra, no destacándose otros en la costa norte de Cuba, donde la combinación de los vientos alisios y las brisas del mar crean las condiciones necesarias para su explotación.

El Parque Eólico Gibara-1, 2^{do} de la revolución energética y el 3^{ro} del país, aprovecha el potencial energético del viento en una región con influencia estable del Anticiclón del Atlántico Norte, los vientos alisios del Norte y las brisas locales característica de la costa norte.

Aportan experiencias de la operación y exigencias de manteniendo de los aéreos generadores de velocidad de rotación variable, con limitación de potencia, usa multiplicadores de velocidad.

Se estima que alcanza el factor de capacidad de 28% genera anual mente 12.54GWh, el 22% del consumo promedio anual del Municipio de Gibara ó 26% de la generación promedio de un día del SEN, evitando consumir cada año unas 2.884 toneladas de combustible fósiles (7.9ton/día) y emitir 11.248 toneladas de CO₂ y de otro gases de efectos invernaderos

1.1.5 Reseña histórica del surgimiento de la Energía Eólica

Hasta la aparición de la máquina de vapor en el siglo XIX, la única energía de origen no animal para realización de trabajo mecánico era la proveniente del agua o del viento. La primera y más inmediata forma de aprovechamiento de la energía eólica ha sido desde los tiempos más remotos aplicada a la navegación; las primeras referencias de la utilización de embarcaciones a vela proceden de Egipto y datan del IV o V milenio antes de J.C. Los molinos de viento existían ya en la más remota antigüedad. Persia, Irak, Egipto y China disponían de máquinas eólicas muchos siglos antes de J.C.; Hammurabi. Rey de Babilonia, 17 siglos antes de J.C .utilizó molinos accionados por el viento para regar las llanuras de Mesopotamia y para la molienda del grano. Se trataba de primitivas máquinas eólicas de rotor vertical con varias palas de madera o caña, cuyo movimiento de rotación era comunicado directamente por el eje a las muelas del molino. En China hay referencias de la existencia de

molinos de rotor vertical y palas a base de telas colocadas sobre un armazón de madera, que eran utilizados para el bombeo de agua, máquinas conocidas como penémonas, precursoras de los molinos persas. El egipcio Hero de Alejandría representa en un estudio un molino de eje vertical de cuatro palas. Los molinos de viento fueron utilizados en Europa en la Edad Media, comenzando a extenderse por Grecia, Italia y Francia. Si el origen de las máquinas eólicas presenta notables incertidumbres, no menos lo hace su expansión por el Mediterráneo y por toda Europa. Según algunos autores, se debe a los cruzados la introducción de la tecnología eólica en Occidente, si bien otros opinan que Europa desarrolla su propia tecnología, claramente distinta de la oriental, ya que en Europa se imponen fundamentalmente los molinos de eje horizontal, mientras que los molinos orientales eran de eje vertical.

Sea cual fuese la forma de aparición de estas máquinas en diversos países europeos, lo cierto es que se encuentran abundantes ejemplos de la importancia que los molinos de viento llegaron a tener en diversas aplicaciones; citemos como ejemplo relevante los literarios molinos castellanos utilizados para la molienda y los no menos conocidos molinos holandeses usados desde 1430 para la desecación de los polders, todos ellos de eje horizontal.

En el siglo XVI Holanda perfecciona el diseño de los molinos y los utiliza para el drenaje; entre los años 1609 y 1612, Beemster Polder fue drenado con la ayuda de estas máquinas; sin embargo, no sólo utilizaron los molinos para drenar el agua, sino también para extraer aceites de semillas, moler grano, etc; precisamente el nombre de molinos proviene de este tipo de aplicaciones. Una idea de la importancia que en el pasado adquirió la energía eólica nos la da el hecho de que en el siglo XVIII, los holandeses tenían instalados y en funcionamiento 20.000 molinos, que les proporcionaban una media de 20kW cada uno, energía nada despreciable para las necesidades de aquella época.

En 1724 Leopoldo Jacob proyecta un molino de ocho palas que mueve una bomba de pistón; en 1883 aparece el pequeño múltipla americano diseñado por Steward Perry. Este molino, de unos 3 metros de diámetro utilizado para bombeo, ha sido el más vendido de la historia, llegándose a fabricar más de seis millones de unidades, de las que existen varios miles en funcionamiento. Como precursor de los actuales aerogeneradores, es necesario citar la



aeroturbina danesa de Lacourt (1892), máquina capaz de desarrollar entre 5 y 25kW.

Betz demostró en su famoso artículo "Die Wind muhlenim lichte neverer Forschung", (Berlín 1927), que el rendimiento de las turbinas aumentaba con la velocidad de rotación y que en cualquier caso, ningún sistema eólico podía superar el 60% de la energía contenida en el viento. Por lo tanto, los nuevos rotores debían funcionar con elevadas velocidades de rotación para conseguir rendimientos más elevados. La teoría demostró también que cuanto mayor era la velocidad de rotación menor importancia tenía el número de palas, por lo que las turbinas modernas podían incluso construirse con una sola pala sin que disminuyera su rendimiento aerodinámico significativamente. A pesar de los esfuerzos realizados y de la mayor eficacia de las nuevas turbinas, las dificultades de almacenamiento y las desventajas propias de la irregularidad de los vientos fueron la causa de que las aplicaciones basadas en el aprovechamiento del viento como recurso energético continuaran declinando hasta el final de la Primera Guerra.

Los combustibles fósiles, y en particular el petróleo, empezaban a imponerse como la principal e insustituible fuente de energía. Sin embargo, el petróleo presentaba un grave inconveniente al crear una dependencia entre los países consumidores y los productores, de forma que cuando el orden económico se veía alterado por alguna crisis y la dependencia energética se hacía patente, se adoptaban políticas de apoyo de los recursos autónomos, que se abandonaban una vez se superaba la crisis.

La primera de estas etapas fue una consecuencia inmediata de la Primera Guerra. Con una fuerte expansión de la electricidad como sistema energético universal y escasez de recursos para importar petróleo, las turbinas eólicas continuaron desarrollándose por dos caminos diferentes.

Por un lado, hacia el diseño, construcción y comercialización de aerogeneradores de baja potencia, capaces de generar electricidad en áreas rurales más o menos aisladas, a las que todavía no habían llegado las redes de electrificación.

Por otro, y a la sombra de una industria aeronáutica en pleno desarrollo, hacia el diseño y construcción de grandes plantas eólicas capaces de generar



electricidad a gran escala.

Este apoyo a los recursos energéticos autóctonos, que comenzó inmediatamente después de la guerra, se mantuvo durante la década siguiente, como consecuencia de la política proteccionista adoptada por los países occidentales tras la crisis de 1929. Durante este período fueron innumerables los trabajos realizados sobre plantas eólicas de gran potencia en Europa y USA, centrando los programas eólicos su interés en aspectos diferentes como, la evaluación de los recursos disponibles, obtención y tratamiento de datos meteorológicos, elaboración de mapas eólicos y localización de emplazamientos, y el cálculo, diseño y construcción de plantas de gran potencia, a la vez que intentó crear incentivos que motivasen a la iniciativa privada a fabricar y comercializar pequeñas turbinas con funcionamiento autónomo, que permitiesen cubrir las necesidades de explotaciones agrícolas o industriales situadas en zonas apartadas.

Dentro de los grandes proyectos, el Honnef alemán consistía en instalar torres de 300 metros de altura, con 3 ó 5 rotores de 150 metros de diámetro, capaces de generar 75 MW; aunque se realizaron estudios a pequeña escala, el prototipo de esta central fue destruido en una dispersa en países diferentes, sin demasiada conexión entre sí.

Solamente en Francia, Dinamarca e Inglaterra se llevaron a cabo programas de cierta importancia. El número de aerogeneradores instalados a finales de 1991 era superior a los 21.000, según datos de la Agencia Internacional de la Energía, con un total de potencia de 2.200 MW, equivalente a dos centrales nucleares de gran potencia, y de los cuales la mitad estaban instalados en los parques eólicos de California.

A finales de 1991 la potencia de origen eólico instalada en la red eléctrica danesa ascendía a 410 MW con una producción de energía equivalente al 2,3% del consumo del país.

En Alemania la potencia instalada era de 100 MW y estaba previsto alcanzar los 250 MW en breve plazo. Holanda contaba con 80 MW de potencia instalada y 100 más en construcción. El programa eólico holandés tiene previsto alcanzarlos 1.000 MW hacia el año 2000 y los 2.000 MW en el 2010. España tenía en fase



de realización varios proyectos que completarían los 50 MW hacia finales de 1992. El Plan de Energías Renovables, dentro del Plan Energético Nacional

1992-2000 alcanzó los 100 MW a finales de 1995, aunque las previsiones actuales sobrepasan ampliamente estas cifras.

En cuanto al tipo de máquinas de mayor interés, los resultados obtenidos de las numerosas experiencias realizadas permitieron concretar el campo de trabajo en dos modelos: las turbinas de eje horizontal de dos o tres palas y, en menor medida, las turbinas Darrieux de eje vertical.

El tamaño medio de las máquinas instaladas hasta 1990 estuvo en el rango de los 100 kW, aunque se observaba una clara tendencia ascendente.

En los últimos 10 años los pequeños aerogeneradores aumentaron poco a poco sus potencias, a la vez que mejoraban su fiabilidad y reducían sus costes; las potencias medias de los aerogeneradores instalados entre 1990 y 1991 era de 225 kW; en los últimos años se han podido construir aerogeneradores con potencias mayores, desarrollados por las grandes compañías de la industria aeronáutica, que aumentan la fiabilidad de las máquinas y reducen sus costes, convergiendo hacia una nueva generación de aeroturbinas de 500 kW a 1,2 MW, lo que demuestra el alto grado de madurez alcanzado por esta tecnología.

La fabricación de pequeñas máquinas ha ido perdiendo interés en países con redes de distribución de electricidad muy extendidas, y a que los costes superiores de la energía en instalaciones pequeña se individuales los hacen poco rentables.

El precio del kW/h eólico puede ser, en aerogeneradores de potencia media, la mitad que en los aerogeneradores de potencia baja. La rentabilidad de las aeroturbinas eólicas implica el intentar disminuir costos, tanto en su instalación inicial, como en los gastos de mantenimiento, procurando que el tiempo de vida de la instalación sea superior al del período de amortización incursión aérea.

El anteproyecto Heronemus (U.S.A.) consistía en la construcción de estaciones eólicas compuestas por torres de 113 metros de altura con tres rotores de 73 metros de diámetro; se pensaba que con 1400 estaciones de este tipo, ubicadas en la costa se podría generar el 8% de la demanda eléctrica U.S.A. En 1931 se instaló en el Mar Negro una máquina eólica de 100 kW. Entre 1941 y 1945

estuvo funcionando en U.S.A, una unidad de 1,2 MW. Una vez finalizada la Segunda Guerra, y como consecuencia del período de escasez que siguió, los países europeos elaboraron programas nacionales para elegir los emplazamientos más adecuados donde deberían instalarse las grandes plantas eólicas que se proyectaban. El segundo periodo de desarrollo de la energía eólica comienza en los años cincuenta y se prolonga hasta mediados de los sesenta en que, una vez restablecida la economía internacional, acaba perdiendo interés al no resultar sus precios competitivos con los de los combustibles fósiles convencionales, por lo que el bajo precio del petróleo, hasta 1973, cerró el camino al desarrollo de la tecnología eólica; a esta etapa siguió otra de precios del petróleo altos que se prolongó hasta 1986 y que favoreció el desarrollo de los aerogeneradores eólicos como fuente de energía alternativa, renovable y no contaminante, capaz de producir electricidad a precios competitivos.

En esta época, las redes de electrificación empezaban a ser lo suficientemente extensas como para cubrir la mayor parte de las zonas rurales, por lo que también disminuyeron las ventajas de los aerogeneradores de baja potencia utilizados en zonas aisladas.

El período terminó con un gran número de instalaciones experimentales, construidas de una forma

1.2. Fundamentación teórica

Descripción de un aerogenerador, partes componentes, diferentes tipos de aerogeneradores, principio de funcionamiento, principales parámetros que se tienen en cuenta en el diseño de los aerogeneradores, expresiones matemáticas para el cálculo de la potencia de salida, energía que se le extrae al viento, eficiencia del aerogenerador. Definición de los diferentes factores que intervienen en las ecuaciones, curvas de potencia, etc. Toda la teoría que pueda exponer relacionada con los aerogeneradores que están instalados en Gibara.

1.2.1 Modelos de aerogeneradores (Sistemas Eólicos)

Los molinos de viento modernos se denominan actualmente aerogeneradores o sistemas eólicos.

Utilizan del aire circulante, el viento, una parte de la energía cinética contenida (energía de movimiento) y la transforman en energía rotacional. Con la energía rotacional, que se encuentra disponible en el eje del aerogenerador, se pueden accionar distintas máquinas por ejemplo trituradoras de grano, bombas de agua y generadores eléctricos.

Como se muestra en la figura 3, existen principalmente 2 formas constructivas de aerogeneradores, los

- de eje horizontal,
- de eje vertical.

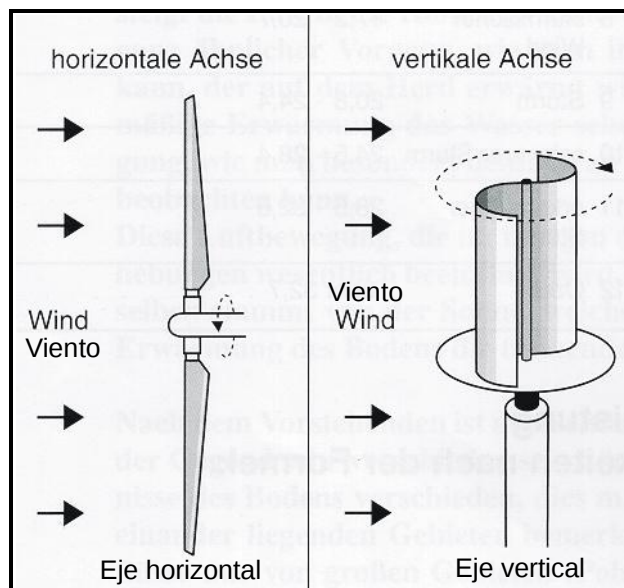


Figura 1.1 Modelos Constructivos de Aerogeneradores

Fuente: Practica de la energía renovable

Los dos modelos constructivos son históricos y se utilizan en la construcción de aerogeneradores modernos, donde el modelo de eje horizontal es el más utilizado y es específicamente utilizado en grandes aerogeneradores.

En el modelo de eje horizontal se diferencian nuevamente dos tipos de construcción de aerogeneradores modernos, los denominados de muchas palas y los de dos o tres palas.

En los aerogeneradores de muchas palas (figura 4), el rotor posee generalmente entre 12 a 24 hojas, construidas de superficies de latón planas o curvadas y fijadas oblicuamente al eje de giro. El rotor posee una gran área cubierta por las palas, por lo que el sistema ante bajas velocidades de viento comienza a funcionar. Posee además un alto valor de momento de partida, lo que es favorable para el accionamiento de bombas Kolben. Por ello, estos sistemas se implementan esencialmente para el bombeo de agua. Los aerogeneradores de muchas palas se reconocen porque poseen una bajo número de giros. Se denominan por ello de giro lento. La regulación de las revoluciones no es posible, lo que no es necesario en las bombas de agua.

A través de una veleta de viento (veleta de orientación) se orienta el rotor en forma natural en la dirección del viento. Una pequeña vela lateral sirve frecuentemente de seguridad ante tormentas, la que ante un viento de mayor intensidad hace girar el rotor fuera de la dirección del viento con lo que se protege el rotor de sobre revoluciones y daños.

La eficiencia global de un aerogenerador de muchas palas conectado a una bomba de agua puede alcanzar un 20%.

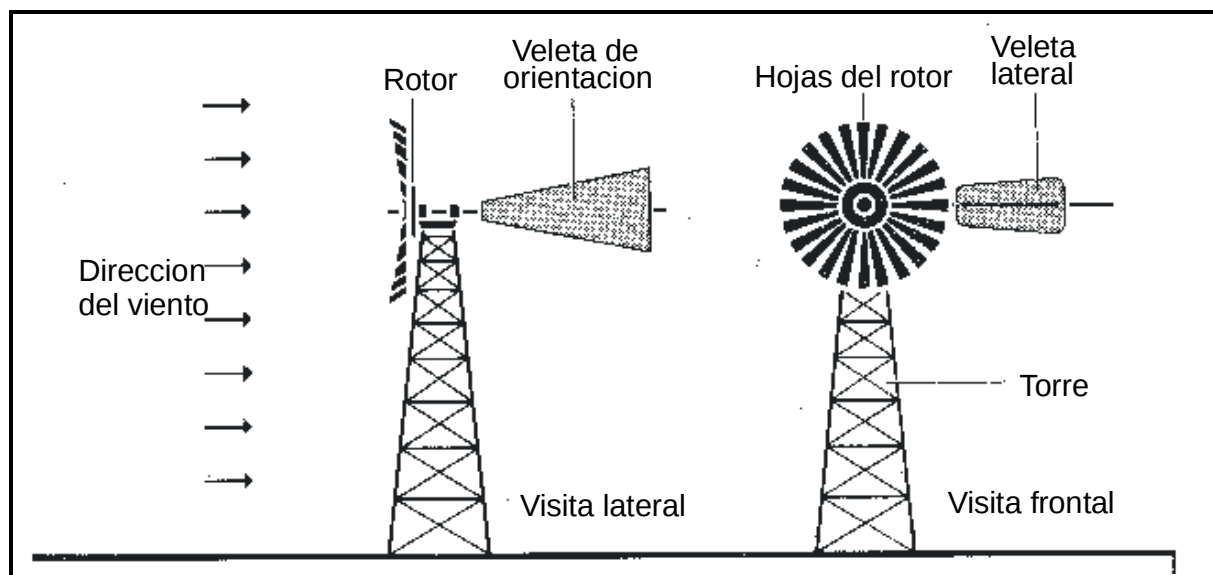


Figura 1.2 Aerogenerador de Muchas Palas

Fuente: Practica de la energía renovables

Para la generación de electricidad, las exigencias de los aerogeneradores son totalmente distintas. En esta aplicación las revoluciones de giro deben ser altas y regulables, o sea ajustables a un valor constante.

Estas condiciones se pueden lograr con aerogeneradores de dos y tres palas (figura 5). Poseen palas de forma aerodinámica, las que por motivos de regulación se giran sobre su eje más largo. Ante distintas velocidades de viento, las palas se orientan de tal forma que mantienen constantes las revoluciones de giro.

Ante altas velocidades, las palas deben reorientarse en forma automática para disminuir las sobre revoluciones, y poder disminuir la fuerza impulsora del viento. Ante bajas velocidades de viento se cumple el proceso inverso de regulación. Debido a las altas revoluciones de giro, estos aerogeneradores se denominan también de giro rápido.

Como consecuencia del bajo número de palas, la superficie de contacto con el viento es menor, por lo que estos aerogeneradores comienzan a girar a velocidades de viento mayores que las de los aerogeneradores de muchas palas. Por otro lado, pueden operar a mayores velocidades de viento.

Los aerogeneradores modernos de giro rápido llegan a alcanzar eficiencias hasta un 40%.

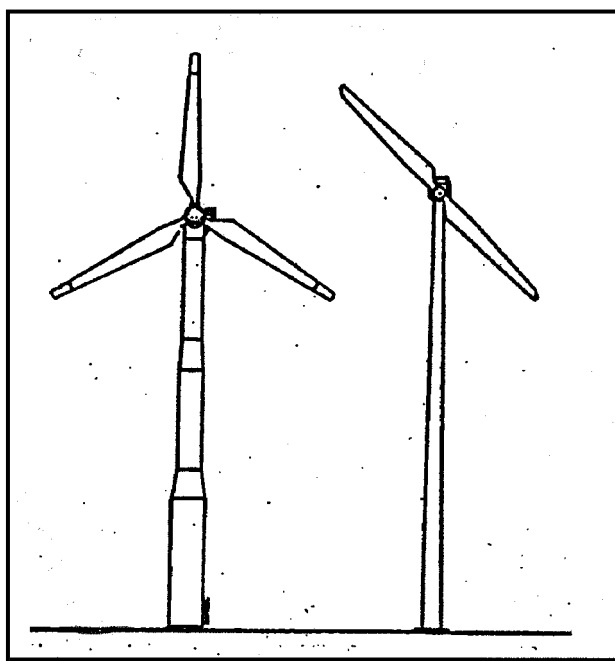


Figura 1.3 Aerogeneradores de Dos y Tres Palas

Fuente: Practica de la energía renovables

Dependiendo de la potencia nominal de los generadores, se dividen los aerogeneradores en tres grandes clases:

- Aerogeneradores pequeños con una potencia hasta 100 kW. Pertenecen a los actuales sistemas comercializados y poseen una tecnología madura. De estos modelos se instalaron miles en Dinamarca y USA. En muchos otros lugares se agrupan en parques eólicos. El primer parque eólico alemán con 30 aerogeneradores se fundó en 1986 en Kaiser-Wilhelm-Koog.

Los campos de aplicaciones típicos para estos sistemas son: operación en paralelo con la red, suministro a la red abierta, al igual que sistemas islas (ver figuras 6,7 y 8).

- Aerogeneradores medios con una potencia hasta 1 MW. De éstos hay en muchos lugares en Europa en construcción. En la isla Helgoland, por ejemplo, opera un sistema de 1,2 MW desde 1990, lo que debe cubrir 1/3 de las necesidades eléctricas de la isla (ver figura 9). En general, en nuestras latitudes, los aerogeneradores medios parecen poseer la mayor probabilidad de ser implementados.
- Aerogeneradores grandes con potencias de algunos mega-Watt. Aquí aparecen aún grandes problemas. Los pocos sistemas prototipos instalados hasta hoy, están pensados para adquirir experiencia en la operación y para probar materiales.

El aerogenerador más grande, existente en Alemania, es el AEOLUS II y se encuentra en el parque eólico de Jade (ver figura 10). Está en operación desde 1993 y posee una potencia nominal de 3 MW, la que alcanza con una intensidad de viento 7. La torre de hormigón pretrenzada, es de 92 m de altura. Las dos palas de carbono reforzadas con fibra de vidrio tienen una longitud de 38,8 m y pesan 9 toneladas.

1.2.2 Propiedades Especiales de los Aerogeneradores

En la estimación de un aerogenerador interesa de sobremanera la eficiencia y el factor de potencia, ya que con él se puede determinar la potencia útil del sistema.

EL factor de potencia, c_p , señala que parte del potencial del viento es transformado en energía útil. La potencia útil desarrollada por un aerogenerador es el producto del factor de potencia c_p , la densidad de potencia del viento Q_w y el área del rotor F .

$$P_N = c_p \cdot Q_w \cdot F \quad [W] \quad (1.1)$$

El factor de potencia c_p , alcanza bajo las mejores condiciones un valor máximo de 59,3%. Este valor se alcanza cuando la velocidad del viento inmediatamente después del área del rotor se reduce a un tercio de la velocidad incidente. Este hecho se comprobó por el aerodinámico, Betz, en los años 20. Este valor máximo se denomina también “factor de

potencia de Betz” y equivale exactamente el valor de 0,593.

Esto quiere decir, aproximadamente un 60% de la energía del viento. En la práctica este valor se encuentra muy por debajo. Las causas se deben a las pérdidas aerodinámicas que se deben a las pérdidas aerodinámicas que se torbellinos y roce con el aire, a las pérdidas mecánicas en la transmisión y a las pérdidas electromecánicas en el generador. La figura 1.3 muestra el tipo y magnitud de estas pérdidas. Dependiendo del tipo y tamaño de los distintos aerogeneradores, la eficiencia global varía entre un 25% a un 40%. El mayor factor de potencia de un rotor se alcanza cuando las palas poseen forma aerodinámica y están diseñadas de acuerdo a su número óptimo de rapidez.

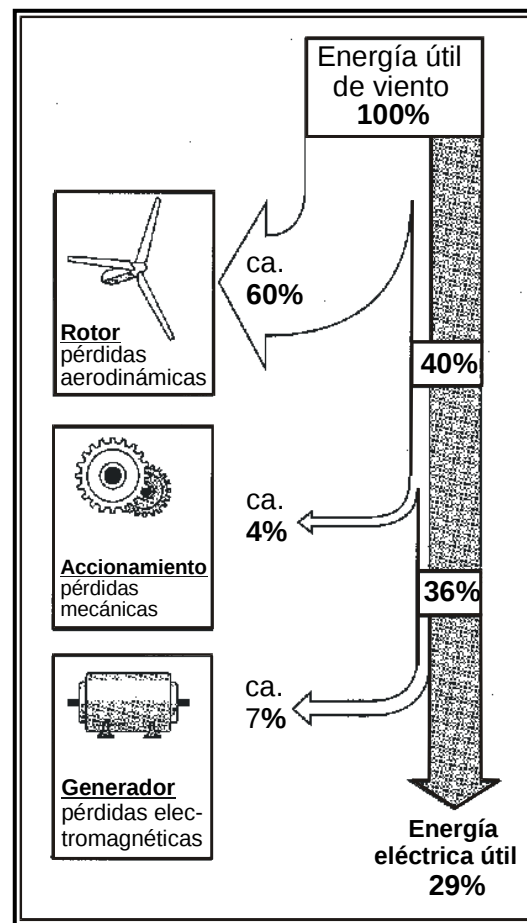


Figura.1.4 Fuentes de Pérdida en un Aerogenerador

Fuente: Practica de la energía renovables

1.2.3 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 parte izquierda del rotor que en la parte derecha.

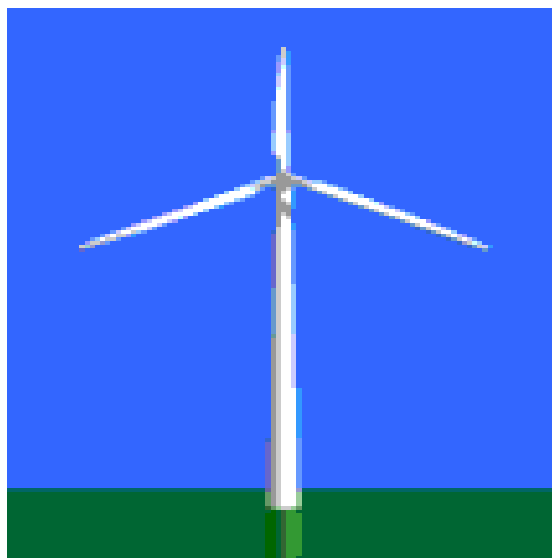


Figura.1.5 modelo de un aerogenerador

Fuente Centro de Formación en Energía Eólica de Ciego de Ávila

1.2.4 Dado que la cantidad de aire que pasa a través del área barrida por el rotor desde la derecha debe ser igual a la que abandona el área del rotor por la izquierda, el aire ocupará una mayor sección transversal (diámetro) detrás del plano del rotor.



Figura.1.6

Fuente Centro de Formación en Energía Eólica de Ciego de Ávila

1.2.5 A lo largo del tubo de corriente hay una discontinuidad entre las velocidades del viento V_1 y V_2 , que alcanzan su valor máximo después que pasa por la turbina.

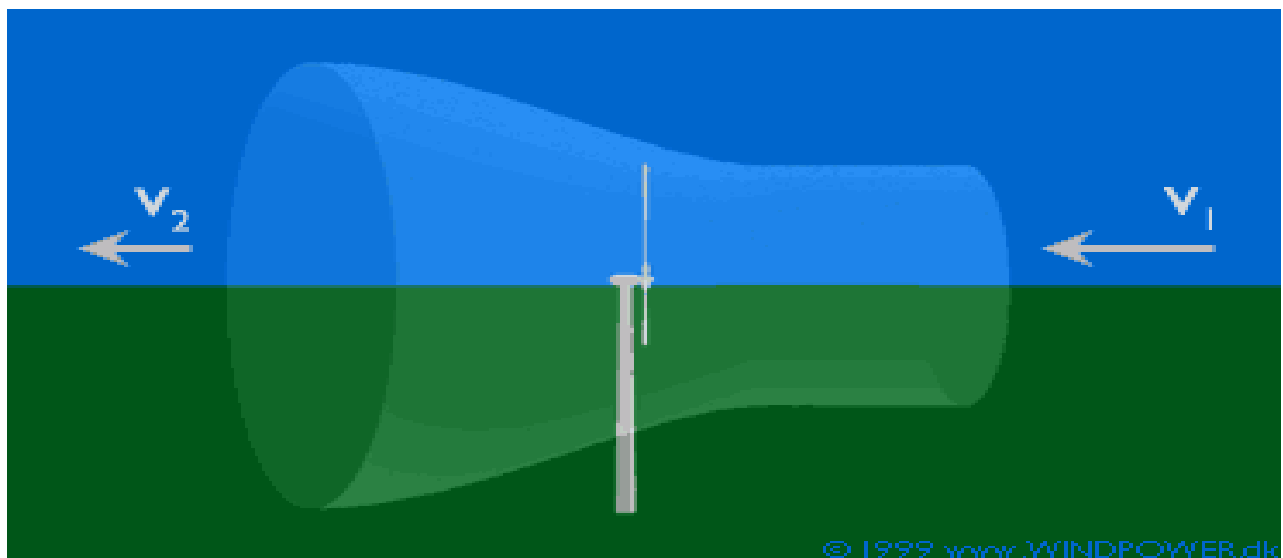


Figura.1.7 Cómo se comporta el viento antes y después de pasar por la turbina.

Fuente Centro de Formación en Energía Eólica de Ciego de Ávila.

La velocidad media que atraviesa la turbina corresponde a la media aritmética de V_1 y V_2

$$V_{\text{turbina}} = (V_1 + V_2) / 2 \quad (1.2)$$

El viento se frena la mitad antes de pasar por la turbina y la otra mitad después.

La potencia mecánica que se extrae del viento, P_m , es el resultado de la energía cinética que este pierde a su paso por la turbina:

$$P_m = [\rho V_{\text{turbina}} (\pi D^2/4)] (\frac{1}{2} V_1^2 - \frac{1}{2} V_2^2) \quad (1.3)$$

- Masa que atraviesa la turbina por unidad de tiempo $[\rho V_{\text{turbina}} (\pi D^2/4)]$ (1.4)
- Energía cinética que pierde el viento por unidad de masa $(\frac{1}{2} V_1^2 - \frac{1}{2} V_2^2)$ (1.5)

De la ecuación anterior se observa que cuanto mayor sea el bloque que produce la turbina, o mayor sea el *factor de velocidad inducida* a menor será V_2 y mayor será el segundo factor, pero por otra parte menor será V_{turbina} y menor será el primer factor

$$V_2 = V_1 (1 - 2a) \quad (1.6)$$

$$V_{\text{turbina}} = V_1 (1 - a) \quad (1.7)$$

Por tanto debe haber un valor óptimo que dé máxima potencia

$$P_m = \frac{1}{2} \rho V_1^3 (\pi D^2/4) (1 - a) [1 - (1 - 2a)^2] \quad (1.8)$$

$$a = \frac{1}{3} \quad (1.9)$$

Derivando esta ecuación e igualando a cero se llega a que el máximo de potencia se obtiene para: **$P_m = \frac{1}{2} \rho V_1^3 (\pi D^2/4) \frac{16}{27}$** (1.10)

Este resultado se suele expresar utilizando una forma adimensionalizada de la potencia que se denomina: *Coefficiente de Potencia*, **$C_p = 16/27$** (1.11)

$$C_p = P_m / \frac{1}{2} \rho V_1^3 (\pi D^2/4) \quad (1.12)$$

El *coeficiente* indica el tanto por uno que se aprovecha de la potencia asociada a la energía cinética del viento que pasa por la turbina. Se conoce como Límite de Bezt. Una turbina eólica puede convertir en energía mecánica como máximo un 59.26 % de la energía cinética del viento que incide sobre ella.

1.2.6 Componentes de un aerogenerador

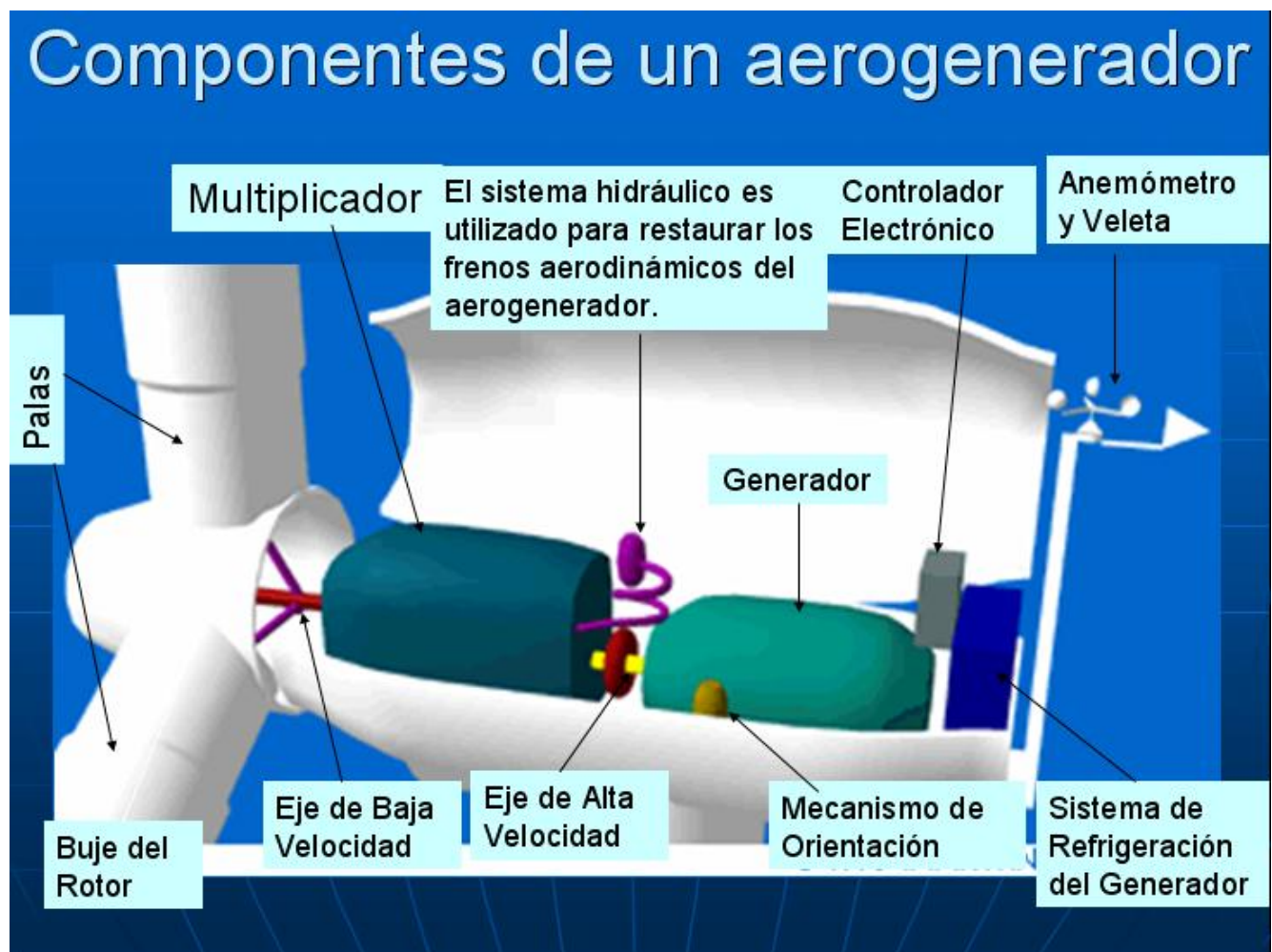


Figura.1.8 muestra los diferentes componentes de un aerogenerador.

Fuente Centro de Formación en Energía Eólica de Ciego de Ávila

1.2.7 Descripción Aerogeneradores G52/G58_850kW

Los aerogeneradores G52/G58–850kW de Gamesa son aerogeneradores de rotor tripala a barlovento, regulado por sistema de cambio de paso y con sistema de orientación activo. Lagama G52/G58_850kW permite tener dos aerogeneradores de igual potencia y características eléctricas y mecánicas, cuya diferencia reside en que la G52 está especialmente adaptada para emplazamientos de mayor potencial eólico (vientos medios anuales de alrededor de 8.5 y 10 m/s), y soporta condiciones de viento de clase Ia y IIa. Sin embargo, hay otros emplazamientos de menores condiciones de viento (vientos medios anuales de 6.5 m/s), en los que el mayor diámetro de la G58 permite captar más energía, pero queda restringido para emplazamientos de menor potencial eólico, clase IIb. Los aerogeneradores G52/G58–850kW tienen un rotor de 52 y 58 m. de diámetro respectivamente y utilizan el sistema de control capaz de adaptar el aerogenerador para operar en velocidad de rotor variable. El rotor consiste en tres palas con pitch variable en la envergadura completa de la pala, rodamiento de cambio de paso y un buje en fundición dúctil de hierro. Las palas son de 25.3 m (G52) y 28.3 m (G58) de longitud y están realizadas en fibra de vidrio utilizando tecnología prepreg. Cada pala consiste en dos conchas, pegadas a unas vigas o porte, unos Insertos especiales de acero conectan la pala al rodamiento de la misma. El rodamiento de la pala es de bolas 4-puntos, atornillado al buje de la pala. Las variaciones del ángulo de paso de las palas son activadas desde la góndola por un sistema hidráulico que permite una rotación de -5° a 90° . Este sistema también provee presión al sistema de frenado mecánico.

El sistema de orientación consiste en dos motores operados eléctricamente y controlados por el sistema de control del aerogenerador de acuerdo a la información recibida de la veleta colocada en la parte superior de la góndola. El motor del sistema de orientación hace girar los piñones del sistema de giro, los cuales engranan con los dientes de la corona de orientación montada en la parte superior de la torre. El bastidor con las motorreductoras puede girar respecto a la corona de orientación en la torre mediante un cojinete de fricción.

1.2.8 ELEMENTOS DEL AEROGENERADOR

La Figura. 1.9 muestra la disposición de los diferentes elementos en la góndola del aerogenerador G52 – 850 kW.

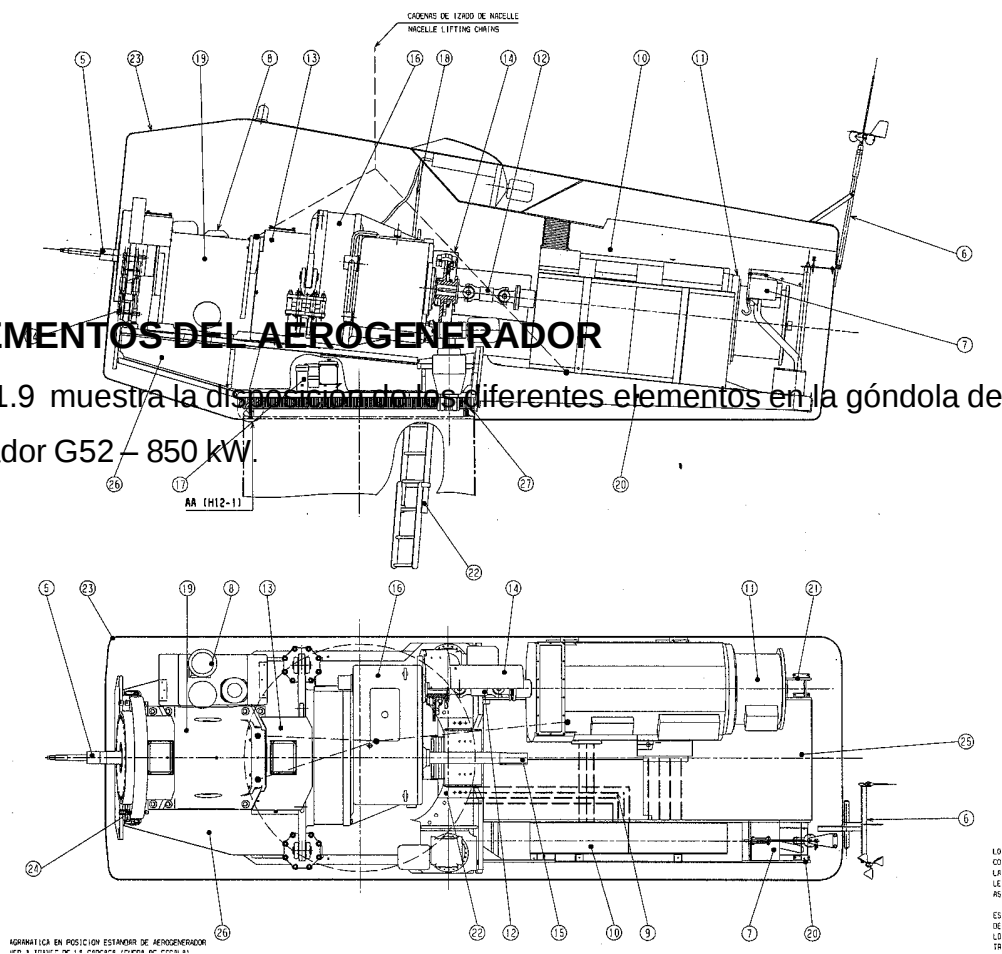


Figura. 1.9 Aerogenerador G52/850kW

Fuente Característica del aerogenerador G52/850kW Gamesa Eólica.

Tabla 1.1 DATOS DE LOS AEROGENERADORES

Rotor:	Diámetro:	52	m
	Área de barrido:	2124	m ²
	Velocidad de giro:	14,6 – 30,8	r.p.m.
	Peso con buje:	10 000	Kg
	Peso góndola	23 500	Kg
Generador:	Tipo:	Asincrónico doblemente alimentado	
	Potencia:	850	KW.
	Tensión:	690	V (CA)
	Frecuencia:	60	Hz
	Número de Polos:	4	U
	Velocidad de Giro:	900 – 1900	rpm
	Intensidad nominal:	670	A.
	Factor de potencia	0,95 Cap – 0,95 Ind	
Multiplicadora:			
	Tipo	1 Etapa planetaria, 2 Etapas Paralelas	
	Relación	1: 74,47	Veces.
	Enfriamiento	Bomba de aceite con radiador	
Torre tubular:			
	Tipo:	3	secciones
	Altura:	55	m

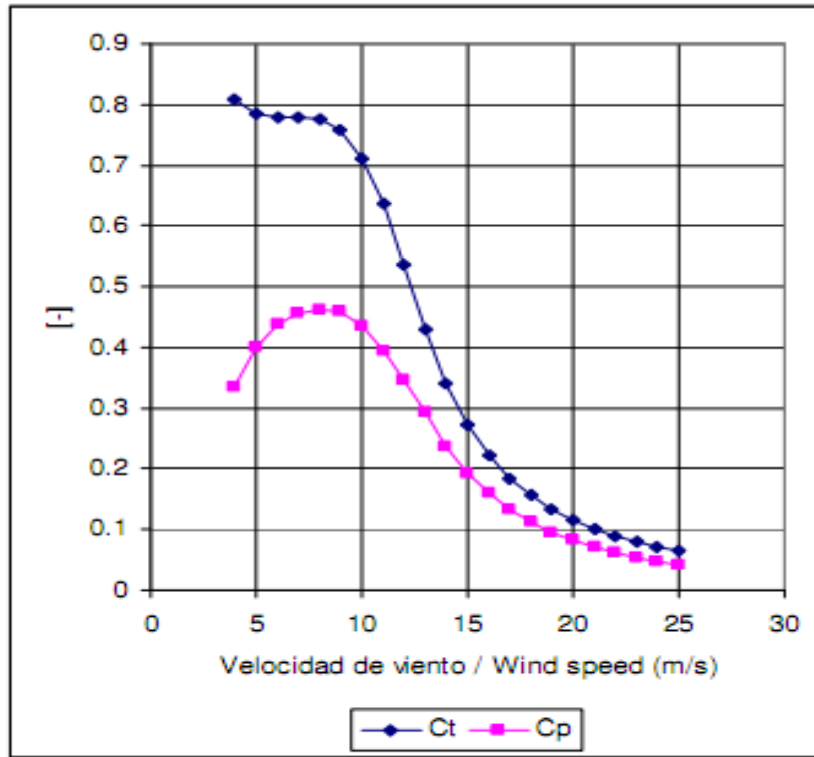
	Peso	57 000	Kg.
Palas:			
	Número	3	U
	Longitud:	25,3	m
	Material:	Fibra de vidrio pre impregnada de resina	
	Peso	1 900	Kg

Fuente Gamesa Eólica

1.2.9 Curva de potencia

Mediante las curvas de potencia se puede conocer cuando una aeroturbina suministra energía. Cuando el viento supera la velocidad mínima v_{conex} la máquina comienza a suministrar potencia aumentando ésta a medida que aumenta la velocidad del viento, hasta que éste alcanza una velocidad v_{nom} que se corresponde con la potencia nominal del generador; para velocidades superiores los sistemas de control mantienen constante la potencia, evitando una sobrecarga en la turbina y en el generador.

Las curvas que relacionan la velocidad del viento, con el número de horas de funcionamiento del aerogenerador, $t = f(v)$, indican el número de horas al año en que la velocidad del viento supera un cierto nivel. A partir de estas curvas se puede obtener la curva de potencia disponible del viento, y la curva de potencia eléctrica suministrada por el aerogenerador. El área encerrada por esta última, proporciona la energía eléctrica generada en un año, siendo frecuente expresar estas potencias y energías, por unidad de superficie barrida por el rotor.



Curvas C_p y C_t del aerogenerador G52 850 kW 50_60Hz

Nacional

dad

2

14

Series1
Potenci...

1.2.10 Velocidad del viento

El viento viene definido por dos parámetros esenciales que son, su dirección y su velocidad. La dirección del viento y su valoración a lo largo del tiempo conducen a la ejecución de la llamada rosa de los vientos, Fig.1.10

La velocidad media del viento varía entre 3 y 7 m/seg, según diversas situaciones meteorológicas; es elevada en las costas, más de 6 m/seg, así como en algunos valles más o menos estrechos. En otras regiones es, en general, de 3 a 4 m/seg, siendo bastante más elevada en las montañas, dependiendo de la altitud y de la topografía.

La velocidad media del viento es más débil durante la noche, variando muy poco, aumenta a partir de la salida del Sol y alcanza un máximo entre las 12 y 16 horas solares partir de la salida del Sol y alcanza un máximo entre las 12 y 16 horas solares. Para realizar la medida de las velocidades del viento se utilizan los anemómetros; existen muy diversos tipos de estos aparatos, que en un principio se pueden clasificar en anemómetros de rotación y anemómetros de presión.

Figura.1.11 Rosas de viento características para un flujo dominante dentro de un valle, en una planicie sur y por encima de las elevaciones extremas de un valle

Fuente: Energía Eólica Pedro Fernando Díaz

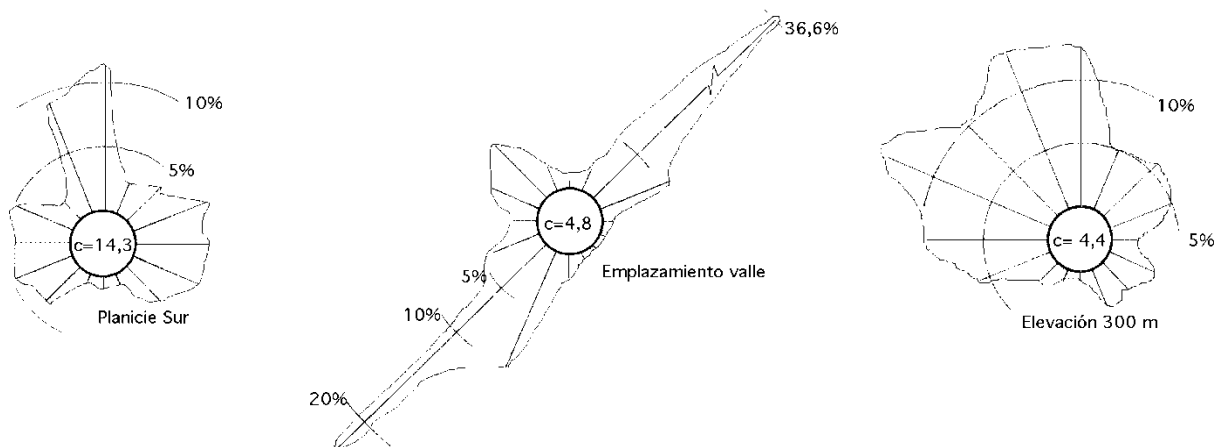


Fig1.10 Rosas de viento características para un flujo dominante dentro de un valle en una planicie sur y por encima de las elevaciones extremas de un valle.

El anemómetro de rotación más característico es el de Papillon, que es un molino de eje vertical con cazoletas en forma de semiesfera o el de aletas oblicuas de Jules Richard. El anemómetro de presión se basa en el método del tubo de Pitot. La dirección del viento se comprueba mediante una veleta, mientras que la velocidad se mide con un anemómetro.

Según sea la velocidad se pueden considerar tres tipos de definiciones:

- Viento instantáneo; se mide la velocidad del viento en un instante determinado.
- Viento medio aeronáutico; se mide la velocidad media durante 2 minutos
- Viento medio meteorológico; se mide la velocidad media durante 10 minutos

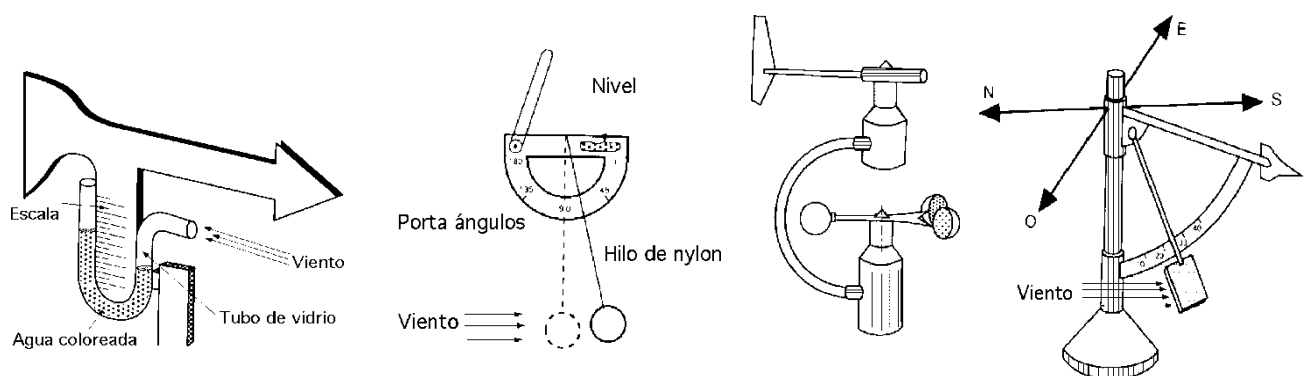


Figura. 1.12 Diversos tipos de anemómetros
Fuente: Energía Eólica Pedro Fernando Díaz

Hay que distinguir también entre golpe de viento y ráfagas. Una ráfaga es un aumento brutal y de corta duración de la velocidad del viento, propio de tormentas y borrascas. El golpe de viento concierne a la velocidad media del viento, cuando sobrepasa los 34 nudos, 62 km/hora, y es una señal de advertencia, sobre todo para la navegación marítima. Un golpe de viento se corresponde con una

velocidad media del viento comprendida entre 75 y 88 km/hora.

1.3.1 Ley Exponencial de Hellmann

La velocidad del viento varía con la altura, siguiendo aproximadamente una ecuación de tipo estadístico, conocida como ley exponencial de Hellmann, de la forma: $v_h = v_{10} (h/10)^\alpha$

En la que v_h es la velocidad del viento a la altura h , v_{10} es la velocidad del viento a 10 metros de altura y α es el exponente de Hellmann que varía con la rugosidad del terreno, y cuyos valores vienen indicados a continuación.

Valores del exponente de Hellmann en función de la rugosidad del terreno.

- Lugares llanos con hielo o yerba $\alpha = 0,08$
- Lugares llanos (mar, costa) $\alpha = 0,12$
- Terrenos poco accidentados $\alpha = 0,13$
- Zonas rústicas $\alpha = 0,16$
- Terrenos accidentados o bosques $\alpha = 0,2$
- Terrenos muy accidentados y ciudades $\alpha = 0,26$

Las fuentes eólicas más interesantes se encuentran en las costas marinas y en determinados pasos entre montañas; existen zonas en las que se puede disponer de más de 3.000 kWh/m² año, y en otras puede que no se llegue a los 200 kWh/m² año.



1.3.3 Conclusiones del capítulo

En el presente capítulo se abordan los temas relacionados con las condiciones de los aerogeneradores y sus características principales. También en el estudio del viento en la zona para un mejor aprovechamiento del recurso eólico.



CAPITULO II. Materiales y métodos

Introducción.

En este capítulo abordaremos acerca de los métodos utilizados, para el análisis de cada una de las variantes. Los métodos a emplear para dar solución a nuestro problema cada una de los objetivos y a las distintas tareas que realizadas para crear una base de dato respecto al trabajo realizado.

2.1 Diseño de la investigación

Para la realización del trabajo se toma la data registrada del Parque Eólico de Gibara-1. Con estos datos se ha determinado el comportamiento de la energía y recurso eólico y comportamiento del mismo desde su puesta en marcha. Por lo que se tomara el mismo para base de dato o archivo del funcionamiento del parque y para nuevos proyectos de igual magnitud o mayor potencial

Para dar cumplimiento a estas tareas se utilizarán los métodos siguientes:

El método histórico-lógico en el análisis de las tecnologías empleadas en el país y de la demanda del municipio Gibara.

El método de análisis y síntesis al procesar la información obtenida en registro y eventos de los interruptores y anemómetro, así como la experiencia de los expertos en el tema, para la caracterización del objeto y campo de acción de la investigación.

Métodos empíricos como: métodos estadísticos, observación directa, consulta con especialistas del área y análisis de documentos para la recopilación de información.

Procesamiento y análisis de la información: Para garantizar el análisis de la información generada por la investigación.

2.2 Descripción del parque eólico Gibara -1

El Parque eólico de Gibara-1 cuenta con: Seis aerogeneradores GAMESA del tipo-52 de 850kW; distribuido a 150metros uno del otro en dirección perpendicular al este noreste, aproximadamente a 6.5Km de la ciudad de Gibara en la carretera hacia Playa Calentones.

Cuenta con 6 Torres de 55m de alto, maquinas tripalas con un diámetro de 47m, 23.5m cada pala, de 850 KW de GAMESA Eólica, para una potencia total de 5.1 MW.

Estas máquinas son generadores asincrónicos, por tanto necesitan de referencia de sistema para poder generar, generan a 690 V y dentro de la misma torre se eleva a 34.5 kV en transformadores secos de 1000 kVA, se

entrelazan entre ellas por cables soterrados a 34.5 kV, dividida en 2 secciones, donde la sección 1 comprende la torre 1 a la 3 y la sección 2 de la torre 4 a la 6. Por tanto necesitan de referencia de sistema para poder generar.

El Parque Eólico Gibara 1, 2^{do} de la revolución energética y el 3^{ro} del país, aprovecha el potencial energético del viento en una región con influencia estable del Anticiclón del Atlántico Norte, los vientos alisios del Norte y las brisas locales característica de la costa norte.

Aportan experiencias de la operación y exigencias de manteniendo de los aéreos generadores de velocidad de rotación variable, con limitación de potencia, usa multiplicadores de velocidad.

2.2.1 Ubicación del Parque Eólico.



Fig.1.13 Satelital de la localidad donde se encuentra el parque de Gibara-1

Fuente: Interne Google

2.2.2 Rotor

El rotor del aerogenerador G52 es un rotor de tres palas unidas a un buje esférico mediante los rodamientos de pala. El rotor está dotado de un ángulo de conicidad de 3°, que aleja la punta de las palas de la torre.

2.2.3 Palas

Las palas del aerogenerador G52 son de 25.3 m de longitud y tienen un sistema pararrayos que recoge las descargas eléctricas y las transmite, vía un cable de acero que recorre la pala longitudinalmente, hasta el buje.

La distancia de la raíz de las palas hasta el centro del buje es de 0.7 m, con lo que se alcanzan los 52 m de diámetro del rotor.

Las palas del aerogenerador G52 están fabricadas en material compuesto, con resina poxy y fibra de vidrio. En su fabricación se emplea la tecnología del pre impregnado ("prepreg"), que permiten controlar de un modo muy preciso el volumen de fibra del material y, con él, las propiedades mecánicas de las palas.

La estructura de las palas del aerogenerador G52 está formada por un larguero interior alrededor del cual va pegado separado. La misión del larguero es aportar resistencia estructural al conjunto, resistir las cargas propias de la pala y transmitir esfuerzos al buje. El revestimiento no posee misión estructural, sino que tiene la forma aerodinámica adecuada para convertir la energía cinética del viento en par motor para la generación de electricidad.

El larguero es en sí mismo una viga de sección tubular cerrada con una geometría adaptada a la forma aerodinámica de los perfiles de la pala.

El revestimiento es una estructura sándwich con núcleo de PVC y laminados de fibra de vidrio en resina poxy. La unión de la pala al rodamiento de pala es atornillada. Se practican 52 agujeros en la sección de raíz del larguero en los que se introducen insertos metálicos roscados, para facilitar la unión atornillada.

2.2.4 Buje

El buje es de forma esférica y está fabricado en fundición nodular. Está montado directamente en el eje principal. Posee una abertura en la parte frontal que permite el acceso al interior para realizar inspecciones y dar el par de apriete a los tornillos de las palas.

2.2.5 Cono de la nariz

El cono de la nariz protege el buje y los rodamientos de pala del ambiente. El cono se atornilla a la parte frontal del buje.

2.2.6 Rodamientos de pala

Los rodamientos de la pala son la interfaz entre la pala y el buje y permiten el movimiento de cambio de paso de aquélla. Son rodamientos de bolas con juntas sellantes y agujeros pasantes en el anillo exterior para la unión con el buje, y agujeros pasantes en el anillo interior para la unión a la pala.

2.2.7 Sistema de Cambio de paso

El sistema de cambio de paso actúa durante todo el tiempo de funcionamiento del aerogenerador: (i) Cuando la velocidad del viento es inferior a la nominal el ángulo de paso seleccionado es aquél que maximiza la potencia eléctrica obtenida para cada velocidad del viento (sistema Optitip); (ii) Cuando la velocidad del viento es superior a la nominal el ángulo de paso es aquél que proporciona la potencia nominal de la máquina.

El movimiento de cambio de paso de la pala es un giro alrededor de su eje longitudinal. Para conseguir este movimiento en el aerogenerador G52 se utiliza un mecanismo de bielas y manivelas que colocan las tres palas al mismo ángulo de paso en cada instante.

Un cilindro hidráulico con un émbolo mueve longitudinalmente una varilla actuadora que atraviesa la multiplicadora y el eje principal y termina en una pieza plana triangular montada perpendicularmente. En los vértices del triángulo se colocan las bielas que dan el movimiento de rotación a las palas.

2.2.8 Eje principal

La transmisión del par motor que provoca el viento sobre el rotor hasta la multiplicadora se realiza a través del eje principal. El eje se une al buje con una brida atornillada y está apoyado en un caballete con dos rodamientos esféricos de doble hilera que absorben las cargas transversales del rotor. El caballete o caja del eje transmite las cargas al bastidor a través de cuatro patas atornilladas a éste. La unión con la entrada de baja velocidad de la multiplicadora se consigue con un disco cónico de apriete.

2.2.9 Bastidor

El bastidor del aerogenerador G52 se ha diseñado bajo los criterios de simpleza mecánica y robustez adecuada para soportar los elementos de la góndola y transmitir las cargas hasta la torre. La transmisión de estas cargas se realiza a través del cojinete de la corona de orientación.

El bastidor se divide en dos partes:

- La parte delantera consiste en un ensamblaje de chapas soldadas que configura una viga rígida, donde la caja de rodamientos y el sistema de orientación están fijados.
- La parte trasera está formada por dos vigas las cuales trabajan de forma separada desde el punto de vista estructural. Esta parte ha sido diseñada para soportar al generador (derecha) y el controlador del *Top* (izquierda). Entre ellas el suelo de la góndola permite el acceso para la realización de tareas de reparación y mantenimiento.

2.2.10 Capota

La capota es la cubierta que protege los componentes del aerogenerador que se encuentran en la góndola. Está fabricada en resina poliéster con refuerzos de fibra de vidrio que garantizan un aislamiento acústico adecuado. En el interior de la góndola hay suficiente espacio para realizar las operaciones de reparación y mantenimiento del aerogenerador. Una

trampilla en la parte frontal permite el acceso al interior del cono de la nariz, y una puerta en la parte trasera permite operar el polipasto. La claraboya del techo proporciona luz solar por el día, ventilación adicional y acceso al exterior, donde se encuentran los instrumentos de medida de viento y pararrayos. Las partes giratorias están debidamente protegidas para garantizar la seguridad del personal de mantenimiento.

2.2.11 Medida de viento

En el exterior de la capota, en la parte trasera, un mástil vertical con dos brazos transversales sirve de soporte de los sensores de medida de viento (anemómetro y veleta).

2.3 Características de los medios de medición empleados

Los medios de medición empleado para el estudio del comportamiento de los viento son los recogidos en la datos de los registros del Parque Eólico de Gibara-1. Donde los anemómetros que se encuentran en los aerogeneradores y en la estación de medición que se encuentra en el lugar donde está el parque, estos miden la velocidad del viento y están conectado el software del telemando donde las magnitudes mecánicas son convertidas en magnitudes físicas de esta forma se puede determinar el mejor aprovechamiento del viento y sus diversos cambios o variaciones.

Se encuentran activas 3 Estaciones de Medición en Gibara.

El instrumento para este fin, más difundido actualmente, a nivel comercial, es el anemorumbógrafo con memoria de estado sólido, que registra la velocidad media y dirección del viento en un intervalo de tiempo que puede ser programado por el usuario.

Con las posibilidades de estos instrumentos para la toma de datos, se recomienda tomar muestras con una frecuencia de 5 a 10 segundos y promedios a intervalos de 10 minutos a 1 hora.

La integración de data loggers a las estaciones a las estaciones anemométricas además la ventaja de que los registros se realizan

automáticamente y que pueden trabajar en un sitio remoto. La frecuencia de las mediciones depende en parte del parámetro a medir.

A partir de esta serie temporal de datos se obtienen los resultados estadísticos de los parámetros representativos del potencial eólico y sus características particulares: valores medios, máximos, direcciones predominantes, distribución de frecuencia de las velocidades, curva de duración, etc, así como las representaciones gráficas correspondientes. Todo esto se realiza mediante un software

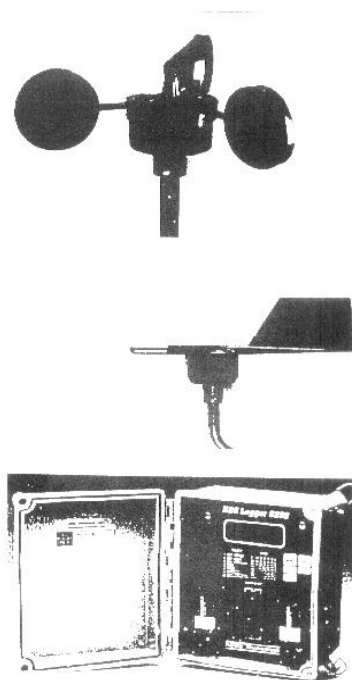


Figura.1.14 Vista de un anemométrica con que se mide la velocidad, variaciones su comportamiento del viento en los aerogeneradores.

Fuente: Practica de la energía renovables

2.3.1 Medida de viento

En el exterior de la capota, en la parte trasera, un mástil vertical con dos brazos transversales sirve de soporte de los sensores de medida de viento (anemómetro y veleta).

2.3.1 Características del software que permite las mediciones

El controlador se comunica con un control remoto en una oficina en el parque eólico, o en un puesto central de cliente. Desde este telemando es posible conocer los datos de detalle del aerogenerador (valores actuales de operación, producciones, disponibilidades,...), así como operar la máquina.

La operación de la máquina incluye solicitud de paradas o arranques, incluso el conocimiento de ciertas alarmas de menor prioridad que pudieran ocurrir en la máquina. En todo caso, todas las alarmas serán informadas al telemando, pero las críticas será necesario reconocerlas localmente en el panel de operación del aerogenerador para inspeccionar la máquina y diagnosticar la avería.

El telemando permite hacer estadísticas de producción y gestión del histórico de alarmas y eventos. Dado que la máquina puede ser puesta en marcha a partir del telemando, es necesario deshabilitar la operación desde el telemando accediendo al menú servicios en el caso de inspecciones y mantenimiento.

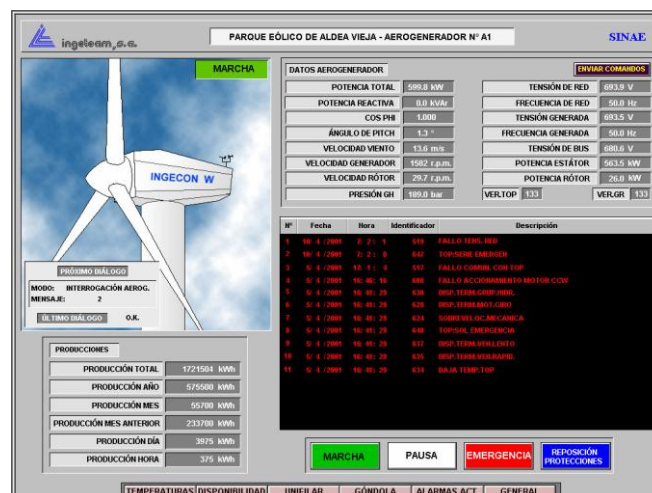


Figura 1.15 Muestra el software que controla los aerogeneradores

Fuente: Característica de los aerogeneradores G52/850kW

2.3.1 Medios de medición.

En la zona de Gibara se utilizó la instalación de los Mástiles de medición (4) a una altura de 50 metros, con el objetivo de comprobar la dirección y



velocidad de los vientos en toda la zona, para lo cual se necesita como mínimo un año de estudio de éstos parámetros para poder llegar luego a una conclusión.

Además se realizaron otros estudios del terreno como son:

1. Resistencia del terreno a cota de cimentación.
2. nivel freático.
3. Zona sísmica.
4. Agresividad del terreno.
5. Asientos previsibles.

2.4 Métodos empleados para el procesamiento de la información

El método de análisis y síntesis al procesar la información obtenida en registro y eventos de los interruptores y anemómetro, así como la experiencia de los expertos en el tema, y el software de procesamiento y almacenamiento de información para la caracterización del objeto y campo de acción de la investigación.

Métodos empíricos como: métodos estadísticos, observación directa, consulta con especialistas del área y análisis de documentos para la recopilación de información.

Procesamiento y análisis de la información: Para garantizar el análisis de la información generada por la investigación.



Conclusiones del capítulo

En este capítulo abordamos todo lo referente acerca de los métodos utilizados, que se llevó a cabo para dar cumplimiento a nuestro trabajo de diploma, se dieron a conocer empleadas para obtener nuestros resultados, los cuales se abordan en el capítulo 3 así cómo los pasos que se siguieron para efectuar los mismos.



Capítulo III. Resultados y discusión

Introducción

En este capítulo se realizará una comparación en los resultados obtenidos marzo del 2011, cuanto a los vientos obtenidos en el parque en un tiempo determinado así como la generación de energía eléctrica y los diferentes resultados del mismo.

3.1 Velocidades de los Promedios

En el siguiente grafico se muestra la velocidad promedio del viento (comportamiento).

Gibara - Velocidad Promedio (27 Noviembre 2008 al 18 Marzo 2011)

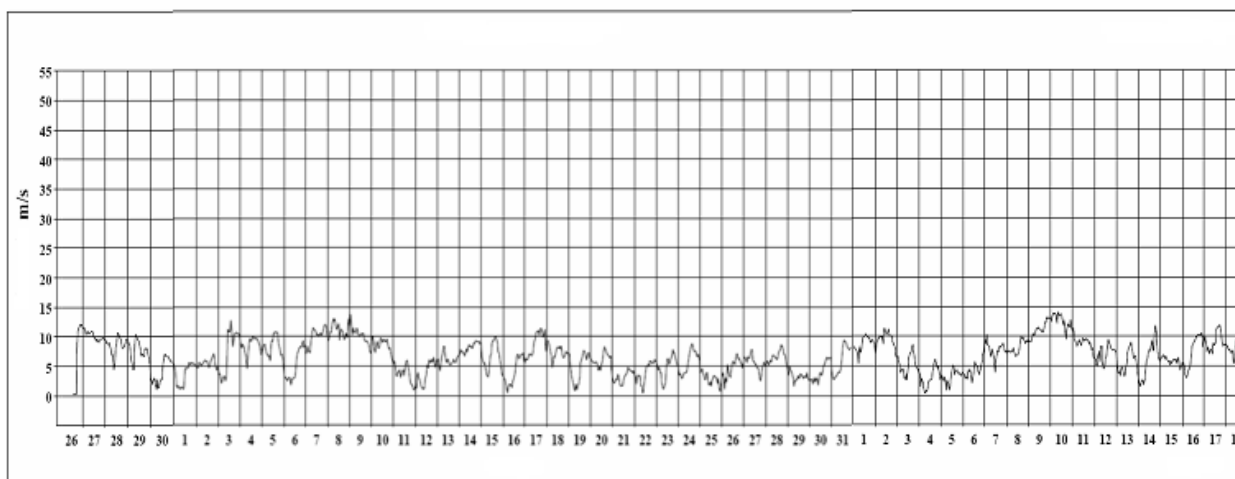


Figura 1.16

Fuente Reporte de mediciones del viento en el parque

3.1.2 Comportamiento del viento en la zona del Parque Eólico

Según los resultados de los vientos, medidos en la zona desde finales del 2005, obtuvimos un factor de capacidad del 28 %, presentándose vientos promedios de 6 m/s con lo cual se puede obtener una Generación de 12.5 GW al año, representando un ahorro aproximado de 2884 Toneladas de combustible convencional por este concepto en este período.

Resultado de las mediciones del viento de la velocidad Gibara-1 desde 26/2/08 hasta 7/03/11.

ESTACIONES DE MEDICION	GIBARA HLG1101 LOS COCOS
➤ Período de Mediciones	
✓ Inicio	26 / Feb /08
✓ Última medición	7 /03/11
▪ Velocidad Promedio a 50 m:	
- Nov 08	7.56 m/s
- Dic 09	6.08 m/s
- Ene 10	7.67 m/s
- Mar 11	7.68 m/s
- ACUMULADA	7.98 m/s
▪ <u>Velocidad promedio máxima – 1 hora</u>	16.2 m/s
▪ <u>Velocidad máxima registrada – 10 min</u>	20.7 m/s
▪ Índice de Turbulencia - Acumulado	9 %
▪ Tiempo de utilización para $V \geq 4$ m/s - Acumulado	85.8 %
▪ Factor de Capacidad	
- Dic 08	24.3 %
- Ene 09	40.1 %
- Feb 10	39.8 %
Acumulado	37.6 %
Dirección de los Vientos Acumulada	

Tab.1.2

3.2 Comportamiento de los generadores

Los aerogeneradores G52/850 trabajan cuando la velocidad del viento alcanza valores por encima de los 4m/s para producir energía. Si la velocidad del viento no sobrepasa los 4m/s el aerogenerador no puede generar electricidad por lo tanto en ese momento consume de la red y como se encuentra conectado al sistema necesitan energía de la red.

Esto sucede muy pocas veces pero ese caso el operador lo manda parar para evitar ese pequeño consumo hasta que mejoren las condiciones del viento.

Generador.

Como se ha mencionado, el generador eléctrico es asíncrono de rotor devanado con anillos deslizantes, que se conectan a un convertidor de frecuencia que controla las corrientes del rotor. El generador incorpora una conexión del estator en estrella o triángulo, lo que permite obtener un mayor rango de variación de velocidad, y unas menores pérdidas del generador a baja carga (situación frecuente de vientos bajos). El rango de velocidad de giro estable es de 900 rpm a 1620 rpm, a un que dinámicamente puede alcanzarlas 1950 rpm.

El generador está protegido frente a corto-circuitos y sobrecargas. La temperatura es también continuamente monitorizada por PT 100 en puntos del estator y de rodamientos.

La ventilación del generador es por un ventilador axial, en el lado del acoplamiento, solidario al eje, que succiona aire de la góndola por la parte trasera del generador y lo expulsa al exterior de la carcasa. El compartimento de anillos deslizantes incorpora también un ventilador.



Figura 17 Vista del generador asincrónico.

Fuente: Característica generales de G52-850kW Gamesa Eólica.

Datos del generador.

Generador:	Tipo:	Asincrónico doblemente alimentado	
	Potencia:	850	KW.
	Tensión:	690	V (CA)
	Frecuencia:	60	Hz
	Número de Polos:	4	U
	Velocidad de Giro:	900 – 1900	rpm
	Intensidad nominal:	670	A.
	Factor de potencia:	0,95 Cap – 0,95 Ind	

3.2.1 Comportamiento de la energía generada desde febrero hasta septiembre del 2008 en kW/h.

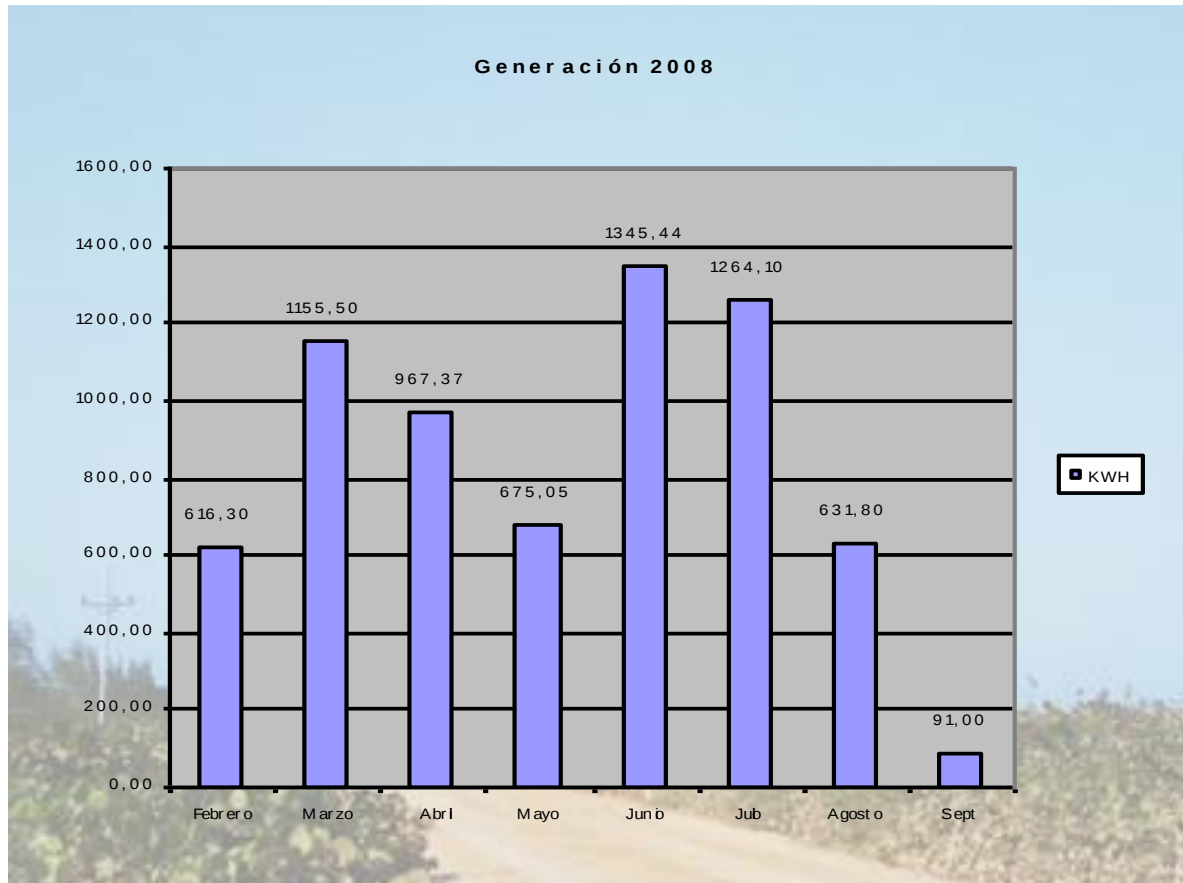


Figura 18

En el siguiente grafico se muestra la generación promedio mensual del parque.

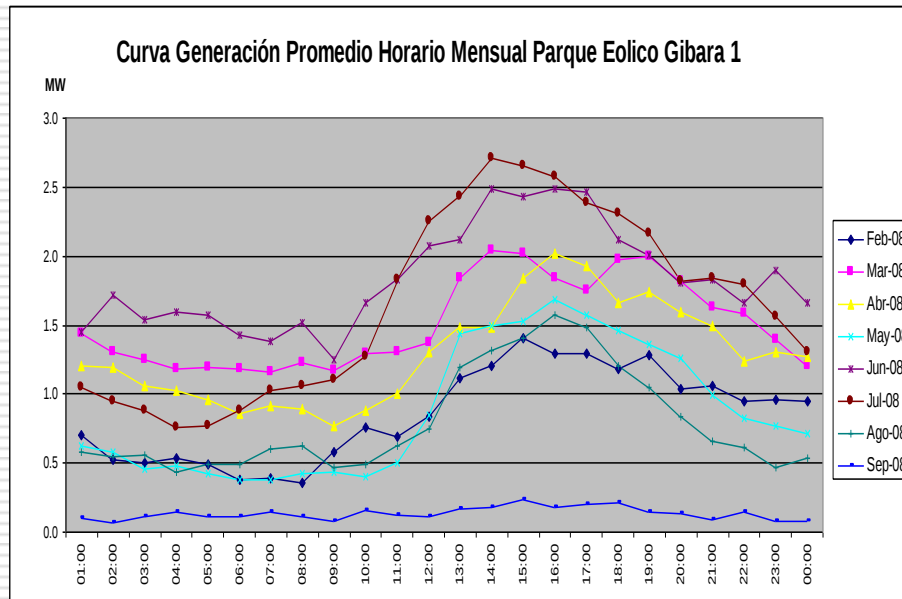


Figura 19

En la siguiente tabla veremos resultados por meses en el parque

RESUMEN DE PRODUCCION POR MESES					
Fecha	Lectura	Producción	Cons Esp bruto	Combustible desplazado	CO2 no emitido
		kWh	g/kWh	Ton	Ton
29/02/2008	586507	616307	218,3	134,6	458,4
31/03/2008	1742036	1155529	221,6	256,1	1159,7
30/04/2008	2709408	967372	222,8	215,5	617,9
31/05/2008	3384456	675048	223,4	150,8	596,24
30/06/2008	4729900	1345444	222,2	299,0	1109,4
31/07/2008	5993999	1264099	223,0	281,9	882,2
31/08/2008	6625800	631801	224,7	142,0	473,1
07/09/2008	6717233	91433	220,4	20,2	92,4
Total		6747033		1499,9	5389,3

Tabla 1.3

3.2.2 Evaluación del Parque Eólico de Gibara-1

El Parque Eólico de Gibara-1 según su característica de diseño. No ha estado al cien por ciento ya que ha tenido varias interrupciones que ha afectado su funcionamiento a toda capacidad, ya que no pudieron hacer a tiempo el pedido de lubricante que utilizan los aerogeneradores que es especial y la parada por el ciclón Ike esto fueron los sucesos más importantes en el tiempo transcurrido desde su puesta en marcha. El cual destruyo parte de la instalación de control por la penetración del mar en la instalación.

A pesar de los diversos pesares que esto pueda causar el parque se ha mantenido en perfecto funcionamiento cada vez haciendo mayor su eficiencia y aprovechamiento del mismo aportando cada vez más energía al SEN.

Eólico de Gibara-1 desde su puesta en marcha.

3.2.2 Tabla Resultados del Parque Eólico de Gibara-1 desde su puesta en marcha.

RESUMEN POR AÑOS			2008	2009	2010	2011	Acum
1	Generación Bruta	MWh	6736,6	2137,3	9509,2	2222,7	20605,8
2	Velocidad Prom. Viento	m / s	6,51	6,15	6,14	6,7	6,38
3	Factor de Disponibilidad	%	92,11%	59,8%	94,5%	55,6%	75,51%
4	Factor de Capacidad	%	27,25%	21,8%	21,3%	24,9%	23,83%
5	Consumo Esp. Bruto	g / kWh	221,96	222,1	223,6	220,7	222,12
6	Combustible sustituido	Ton	1496,8	459,5	2123,9	491,4	4571,6
7	Entrega 6880 La Caridad	MWh	16392,3	17151,8	25411,8	7865,4	66821,3
8	Participación Eólica en Generación Total	%	29,13%	11,1%	27,2%	22,0%	23,6%
9	CO2 no emitido	Ton	5389,3	1655,4	7607,3	1758,9	16411,0
10	Días en operación	Días	204	240	364	76	884
11	Generación Promedio Diaria	MWh/d	33,0	8,9	26,1	29,4	23,3
12	Combustible sustituido diario	ton/d	7,3	1,9	5,8	6,5	5,2

Tabla.1.4

El Parque Eólico Gibara-1 no sufraga la demanda del municipio de Gibara ya que el circuito es muy grande pero se estima que alcanza un Factor de Capacidad de 28% del consumo promedio del Municipio de Gibara o 26% de la generación promedio del SEN, evitando consumir cada año unas 2.884 toneladas de combustibles fósiles (7.9ton/día) y emitir 11.248 tonelada de CO₂,

de otros gases de efecto invernaderos.

La demanda es mucha pero con la implementación del Parque Eólico Gibara-2 de 4.5MW esto sí es posible.

En horarios de por la madrugada cuando el consumo de la demanda baja esto dos parques son capaces de aportar energía al SEN por la subestación de La Caridad que donde se alimenta el circuito de Gibara y a la vez el Parque Eólico Gibara-1 ver [Anexo 1](#)

3.2. Valoración económica

Los resultados del Parque Eólico de Gibara-1, desde su puesta en marcha son verdaderamente considerables y positivos ya que para ser un parque pequeño comparado con los grandes parques de los países desarrollados su impacto en la red es muy y considerable

Los resultados obtenidos demuestran lo referido a ello. Siendo un gran ahorro económico de sustitución de combustible y dinero gastado en otro tipo de combustible.

En la Tabla. Podemos ver la generación bruta, combustible sustituido, entrega de energía a la subestación de La Caridad (6880), CO₂ no emitido y generación del promedio diario.

RESUMEN POR AÑOS			2008	2009	2010	2011	Acum
1	Generación Bruta	MWh	6736,6	2137,3	9509,2	2222,7	20605,8
2	Combustible sustituido	Ton	1496,8	459,5	2123,9	491,4	4571,6
3	Entrega 6880 La Caridad	MWh	16392,3	17151,8	25411,8	7865,4	66821,3
4	CO ₂ no emitido	Ton	5389,3	1655,4	7607,3	1758,9	16411,0
5	Generación Promedio Diaria	MWh/d	33,0	8,9	26,1	29,4	23,3
6	Combustible sustituido diario	ton/d	7,3	1,9	5,8	6,5	5,2

Tabla 1.5

3.3. Energía eólica

3.3.1. Evaluación técnico-económica

En los últimos años la energía eólica ha experimentado un notable desarrollo: se ha pasado de máquinas de potencia de decenas de kW a aerogeneradores de potencia nominal en torno a los 650 kW. Dentro del ámbito comercial, las

máquinas que han tenido un mayor desarrollo son las tripalas de eje horizontal, gracias a que la experiencia ha demostrado que requieren un escaso mantenimiento y tienen una vida útil superior a los 20 años. Además, no sólo existe un determinado modelo, la técnica se ha desarrollado de tal manera que se permiten variaciones del tamaño de la torre, del diámetro del rotor, etc... para aprovechar lo mejor posible los recursos eólicos de cada zona.

Las máquinas que se suelen emplear más extensamente son las de media potencia (entre 100 y 1000 kW), usadas en la mayor parte de los campos eólicos.

3.2.1 Situación actual

La utilización de la energía eólica para la generación de electricidad ha sido un deseo del gobierno cubano que ha tenido que postergarse continuamente debido a dificultades económicas y al hecho de que esta tecnología no resulta competitiva para el país, en comparación con las tecnologías tradicionales empleadas.

En los últimos años, el estado cubano ha hecho esfuerzos adicionales para tratar de desarrollar las energías renovables, por sus multiplicaciones para el desarrollo sostenible del país y dentro de estas ha impulsado la exploración y explotación de los recursos eólicos disponibles, por considerarse esta una de las fuentes de recursos energéticos renovables más abundantes para Cuba

3.4 Barreras

3.4.1 Barreras Financieras

Las inversiones en proyectos eólicos tienen costos superiores a otros proyectos de energías renovables, ya que el factor de carga para energía eólica tiene un máximo de 27%, por lo que la proporción para el retorno de la inversión resulta muy baja y esto es considerado por los financistas como un alto riesgo a la inversión de capital por obtener menos energía y depender de la fiabilidad del viento.

3.4.2 Barreras tecnológicas

Algunas tecnologías deben incrementar su capacidad tecnológica para reducir costos, inversión, comodidad a los usuarios, etc. No se dispone en el país de una grúa de prestaciones adecuadas para montar máquinas por encima de 50 m, por cuanto su importación puede ser muy cara debido a la elevación de los costos de fletes marítimos.

3.4.3 Barreras Geográficas y naturales

El muelle de Puerto Carúpano no tiene certificada su resistencia estructural para manipular cargas excepcionales. La reparación de los tramos del camino Peña 2 – Las Codornices – Caletones que se hallan en estado crítico tiene un costo muy elevado, en comparación con la cantidad de unidades a transportar y su costo, el costo de la inversión en la construcción del parque y el rendimiento energético pronosticado de la instalación.

La carretera de Holguín a Gibara tiene al menos 11 obras de fábrica en mal estado técnico, que deben ser re-inspeccionadas, reparadas o reforzadas para permitir el desplazamiento seguro de los medios que transportarán los componentes más pesados de los aerogeneradores, así como los equipos y materiales de construcción

3.4 Estimado de reducción de emisiones que se lograrán

Teniendo en cuenta que se estima que el proyecto no tiene asociada ninguna emisión de CO₂, la reducción anual de emisiones será igual a la cantidad de CO₂ que el proyecto desplaza y que en ausencia del mismo sería servida por las plantas del SEN y corresponde a: 7835.24 tCO₂/año.

3.5 Beneficios ambientales, sociales y económicos

El parque eólico propuesto permitirá a la Provincia de Holguín diversificar sus fuentes de generación eléctrica, basadas fundamentalmente en la quema de combustibles fósiles. Su construcción posibilitará el aprovechamiento económico de un recurso natural renovable con amplias posibilidades de explotación en esa región.

El parque eólico significará además un beneficio ambiental evidente al eliminar emisiones de CO₂, además de otras emisiones de gases contaminantes asociadas a la quema de combustibles fósiles.

3.6 Evaluación socio-ambiental

La instalación de un parque eólico se precede de un EIA que debe ser aprobado por la CA correspondiente con el objetivo de obligar a los promotores de la instalación eólica a tomar las medidas oportunas para maniobrar los efectos negativos que se puedan producir sobre el medio ambiente local. Las medidas que se suelen tomar para paliar los efectos son variadas: posición de los aerogeneradores, restauración de la cubierta vegetal, forma de las torres, pinturas o enterramientos de las líneas eléctricas así como un plan de vigilancia que asegure la afectación mínima en el entorno del parque.

Para realizar una correcta evaluación se deben considerar los siguientes impactos ambientales propios del abastecimiento energético con la energía eólica:

Los parques eólicos se instalan donde el recurso eólico presenta un mayor nivel de disponibilidad, es decir, en las áreas de montaña cerca de las líneas de cumbre. En estas zonas el grado de conservación natural es elevado y además existe un valor paisajístico añadido. Es evidente comprobar que se obtiene un impacto por ocupación sobre el terreno y de alteración sobre los recursos naturales, paisajísticos o culturales de la zona. No obstante este impacto es bastante escaso ya que salvo la zona ocupada por los aerogeneradores, el resto de la superficie del parque eólico queda disponible para los usos habituales de la zona. Las instalaciones eólicas sólo usan en forma efectiva una pequeña porción del terreno (entre el 1 y el 10 %), constituyendo la explotación más eficiente respecto del terreno apropiado de todas las FER. Además, al final de la vida útil se pueden restablecer las condiciones iniciales de la zona a un coste relativamente bajo. Por tanto, los esquemas eólicos tienen escasas probabilidades de afectar significativamente al empleo de la tierra o a los hábitats naturales siempre que se construyan alejados de zonas arqueológicas, zonas de alta conservación y zonas con ecosistemas de elevada sensibilidad.



Conclusiones del capítulo

En este capítulo abordamos todo lo referentes acerca de la valoración económicas en cuanto niveles de petróleo dejado de comprar promedio de la generación diaria resumen de la generación por meses y años

Así como datos específicos del generador y promedios de la velocidad del viento. De esta forma se podrá contar con un registro al cual podrán evaluar el Parque Eólico de Gibara-1 en cuanto a recurso eólico en la zona.

También la evaluación técnico-económica, situación actual, barreras en el campo, estimado de reducción de emisiones que se lograrán, beneficios ambientales, sociales, económicos y evaluación socio-ambiental.



Conclusiones Generales

Como conclusiones generales de este trabajo puedo explicar de manera general los resultados obtenidos durante el transcurso del periodo de puesta en marcha del Parque Eólico de Gibara-1 hasta la actualidad. Todo esto puede ser utilizado como base para estudio del comportamiento en el parque y su característica.



Recomendaciones.

- Continuar con el estudio del parque para un mejor conocimiento y aprovechamiento del mismo.
- Seguir abordando del tema en años venideros.

Bibliografía.

- 1- Tecnología de aerogeneradores capítulo III José Luis Rodríguez Amenedo Universidad Carlos III de Madrid Javier Suarez Feito Universidad Carlos III de Madrid.
- 2- Control de Generador Eléctrico capítulo V Carlo Vegazone Nicolás Universidad Politécnica de Madrid, Mónica Chonchilla Suarez Universidad Carlos III de Madrid.
- 3- Característica de los Aerogeneradores G52/850kW Gamesa Eólica autor FPL..
- 4- Comportamiento e Influencia del Parque Eólico de Gibara-1 autor Ing. Orlando E. Parra Infante Especialista Principal Regímenes Despacho Provincial Holguín
- 5- Trabajo de Diploma Análisis de la energía Eólica en Turiguano autor José Carlos Hernández curso 2002 a 2003.
- 6- Centro de Formación en Energía Eólica de Ciego de Ávila (CFEE)
- 7- Datos de los registro del Parque Eólico de Gibara-1
- 8- Trabajo de Diploma de Daniel Batista curso 2007 a 2008.
- 9- <http://www.Gamesa Eólica>
- 10-Monitorización y Telemando de Parques Eólicos F.J.(Universidad Carlos III de Madrid) F. Ruedas (Ibecon).
- 11-Integración de Energía Eólica en la Red Eléctrica J. Usuloa Universidad Carlos III de Madrid Instrumentación y Control Automático, universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ingeniería.
- 12-Sistemas Eólicos de Producción de Energía Eléctrica. El equipo docente e investigador de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Carlos III de Madrid, junto a reconocidos profesores, investigadores y profesionales del sector, lleva impartiendo desde el año 1996 diferentes cursos y seminarios relacionados con los sistemas de generación de energía eólica. La experiencia acumulada durante estos años se recoge en esta obra, enfocada tanto a estudiantes de ingeniería como a profesionales



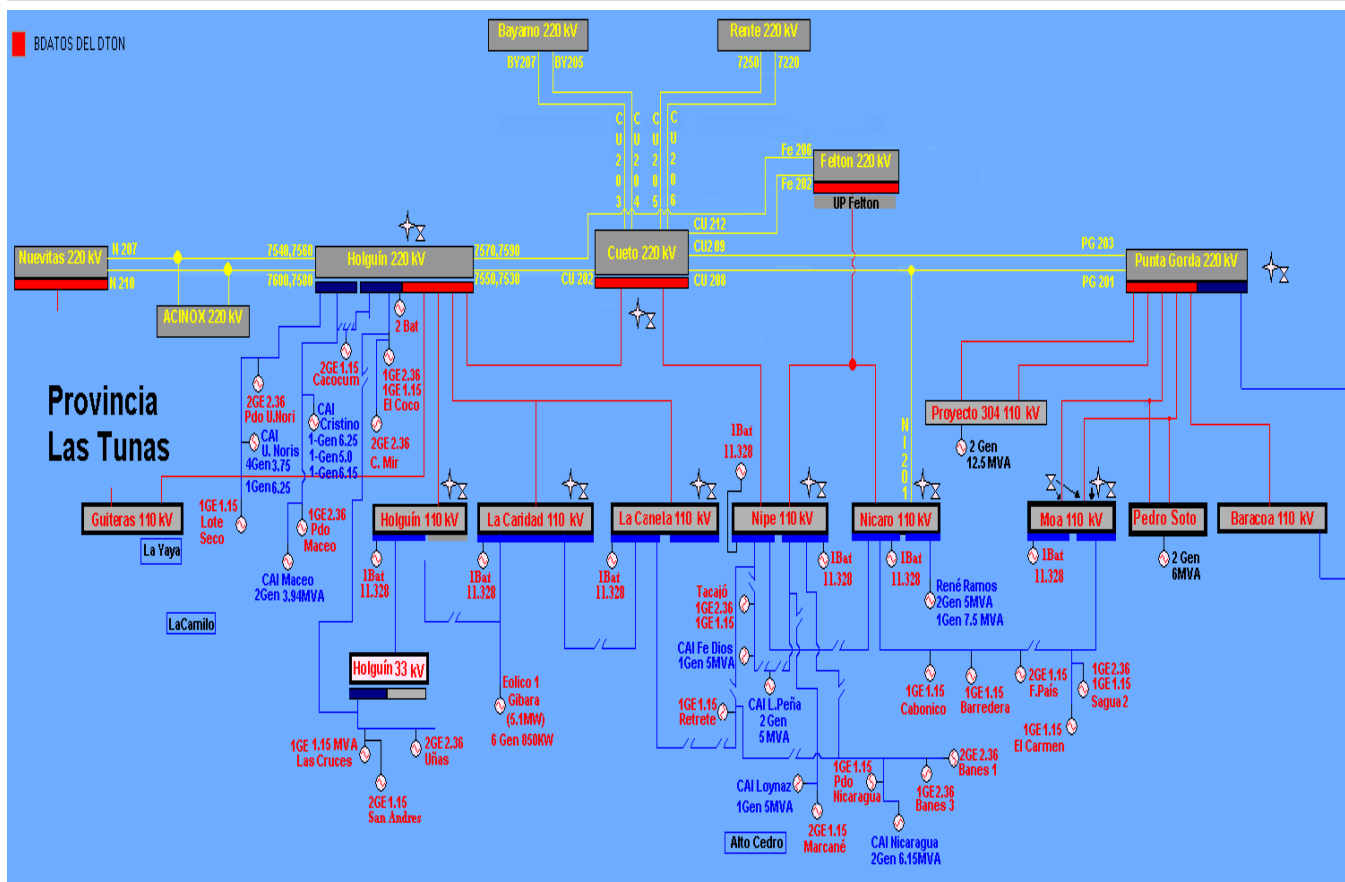
del sector de la energía eólica. Presentados de una forma progresiva, los conocimientos plasmados adquieren una estructura pedagógicamente muy acertada editorial Rueda SL.

13-Unión Eléctrica Grupo de Energía Eólica Holguín.

Anexos

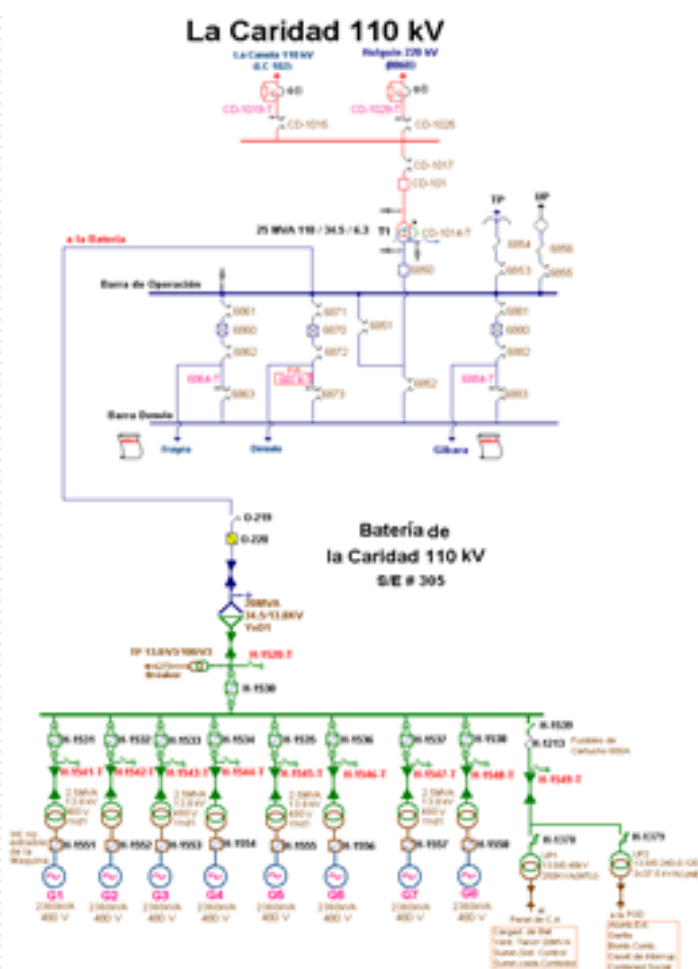
Anexo #1 Ubicación del parque en la provincia.

Red Provincia Holguín



Anexo #2

Monolineal de la subestación de la Caridad donde se encuentra conectado el Parque Eólico de Gibara-1

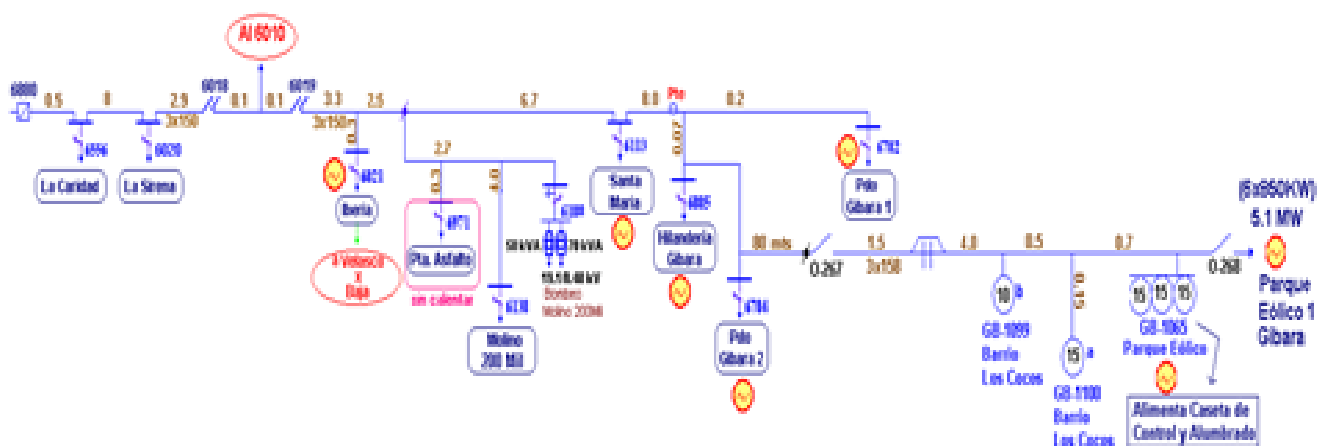


Monolineal
Subestación
La Caridad

Anexo #3

Monolineal línea de 33kV -6880

Monolineal línea 33 kV -6880



Anexo #4

Esquema Monolineal Parque Eólico Parque Eolico #1 Gibara # 419

