

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL EÓLICO EN LA BAHÍA DE CHETUMAL

EVALUATION OF THE WIND POTENTIAL IN CHETUMAL BAY

José Daniel Cámara Chi

Universidad de Quintana Roo, México
danielcam27@gmail.com

Joel Omar Yam Gamboa

Universidad de Quintana Roo, México
oyam@uqroo.edu.mx

María Norma Palacios Ramírez

Universidad de Quintana Roo, México
norpala@uqroo.edu.mx

Fernando Enrique Flores Murrieta

Universidad de Quintana Roo, México
feflores@uqroo.edu.mx

Recepción: 29/octubre/2020

Aceptación: 3/diciembre/2020

Resumen

El potencial eólico en la Bahía de Chetumal es caracterizado, por primera vez, con mediciones in situ de velocidad y dirección del viento usando instrumentación y metodología estándar. Los datos de velocidad y dirección del viento cubren el periodo de 2006 -2010 y fueron obtenidos con una estación meteorológica NRG con dos anemómetros, una paleta de dirección de viento y un sensor de temperatura. Como resultado se estimó una velocidad promedio de 6.5 m/s a una altura de 50 m, la cual es congruente con el valor obtenido en el Atlas Nacional de Zonas con Alto Potencial de Energías Limpias de la Secretaría de Energía. Con esto, el sitio se considera de bajo viento o clase III de acuerdo con The International Electrotechnical Commission (IEC). Como sugerencia se presenta como propuesta el aerogenerador onshore Siemens Gamesa modelo SG 2.1-114 optimizado para su uso en vientos de bajas velocidades y poca turbulencia.

Palabras Clave: Energía eólica, onshore, vientos bajos.

Abstract

The wind potential in Chetumal Bay (18°31'25.3"N 88°16'07.1"W) it's characterized, for the first time, with speed and direction in situ measurements using instrumentation and standard methodology. Wind speed and direction data includes the period of 2006 -2010 and these were measured with a weather station NRG with anemometers at 14 and 19.5 m high, a wind vane and a temperature sensor at 20 m and 6 m high respectively. As a result, a wind speed of 6.5 m/s at 50 m high was estimated, this is congruent with the value in the Atlas Nacional de Zonas con Alto Potencial de Energías Limpias published by the Secretary of Energy. With the above, the side is considered low wind or class III according to the International Electrotechnical Commission (IEC). The Siemens Gamesa model SG 2.1-114 onshore wind turbine optimized for use in low wind speeds and little turbulence is suggested..

Keywords: *Low wind, onshore, power wind.*

1. Introducción

La creciente aceptación del uso de las energías renovables a nivel mundial ha permitido la disminución de los costos en el desarrollo de estas tecnologías y ha atraído a más países a unirse a este popular grupo. México no es inexperto en la explotación energética con recursos renovables, incluso, en casos como la hidráulica, es un referente internacional. El potencial eólico en ciertas zonas del país es más que conocido y explotado desde hace décadas, sin embargo, hay zonas que han sido ignoradas por su aparente precariedad en el tema. Ahora, los avances en tecnología para micro generación y el aumento en la eficiencia de las turbinas, hacen posible replantearse y estudiar el costo-beneficio de su aprovechamiento. La bahía de Chetumal es una zona catalogada inicialmente con bajo viento promedio a lo largo del año, aunque, se da hasta ahora, la primera medición in-situ con técnicas estándar para catalogar los vientos de esta región y así poder emitir una propuesta de aprovechamiento acorde a los resultados, buscando aminorar la dependencia a los combustibles fósiles y contribuir a la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero. A la par, la micro generación es una tendencia que

demuestra cada vez más ser una gran alternativa para la generación de energía, pues reduce considerablemente las grandes modificaciones al paisaje y los grandes problemas que acarrearán los megaproyectos energéticos, que, en muchas situaciones, pierden su sustentabilidad con tales impactos. Otro de los notorios beneficios de la micro generación es la ausencia de grandes centrales de transmisión de energía, pues la energía producida será consumida en el mismo lugar, lo que representa un significativo ahorro económico y energético. Quintana Roo es un estado en crecimiento que no cuenta con grandes centrales de generación de energía. Pronto las necesidades energéticas serán mayores y la demanda se volverá más difícil de cubrir, es por esta razón que se vuelve primordial contar con los estudios necesarios que avalen la aplicación de pequeños, medianos y grandes proyectos de producción eléctrica. En las siguientes secciones se dará una descripción del sitio y la metodología empleada para la obtención de datos representativos en dirección y velocidad del viento. Posteriormente se revisarán las gráficas obtenidas con apoyo del software Windographer y la categorización de la zona analizada.

2. Métodos

Descripción del sitio

La estación meteorológica se ubicó en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo, México, en las instalaciones de la Universidad de Quintana Roo (N 18.523704, W 88.268626) a una altura aproximada de 2 m sobre el nivel del mar y a una distancia de 40 m de la Bahía de Chetumal. Frente al sitio de la estación meteorológica se cuenta con una barrera de mangle y árboles de 7 m de altura en promedio. La ubicación geográfica del sitio donde se realizaron las mediciones se muestra en la figura 1. Se instaló una estación meteorológica NRG-System 20 Meter-Symphonie con un anemómetro de copas a 19 m, otro a 14.5 m, una paleta de dirección de viento a 20 m y un sensor de temperatura a 3 m, todos referidos al nivel del suelo, observables en la figura 2. El sistema de adquisición de datos meteorológicos es un Symphonie NRG Data Logger, permite recoger/guardar datos para un cierto periodo de tiempo y a su vez tiene la posibilidad de enviar datos a servidor de Internet.

Las alturas y las incertidumbres instrumentales de cada sensor se presentan en la tabla 1. Ambos anemómetros fueron calibrados con túneles de viento en los talleres de la Universidad de Quintana Roo y en las instalaciones del Laboratorio de Ingeniería Térmica e Hidráulica Aplicada de la ESIME, Zacatenco [Flores, 2009]. La paleta de dirección tiene como referencia el norte geográfico.

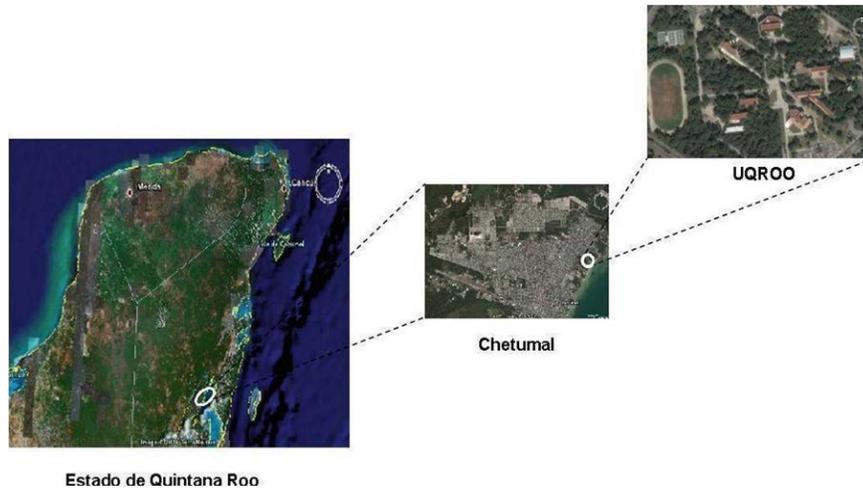


Figura 1 Ubicación del sitio de medición en la Universidad de Quintana Roo.



Figura 2 Estación anemométrica instalada en la Universidad de Quintana Roo.

Tabla 1 Características y alturas de los sensores instalados en la estación meteorológica.

Instrumento	Altura (m)	Rango de sensibilidad	Precisión
Paleta dirección de viento	20	0 a 360°	5°
Anemómetro 1	19.5	1 a 96 m/s	0.1 m/s
Anemómetro 2	14	1 a 96 m/s	0.1 m/s
Sensor de temperatura	2	-40 a 52.5 °C	0.2 °C

El Symphonie Data Logger tiene entradas digitales para anemómetros, pluviómetros, y entradas analógicas para paletas de dirección de viento, para sensores de temperatura, piranómetros y presión. Este sistema registra la velocidad del viento en intervalos de tiempo de 2 segundos y realiza un promedio fijo cada 10 minutos. Para su funcionamiento se utilizan dos pilas alcalinas con un voltaje nominal de 1.5 V. El rango de temperatura a la cual debe trabajar es de -40 a 65 °C, la humedad relativa permisible de trabajo es de 0 a 100%, su peso es de 1.3 kg. El Data Logger instalado se observa en la figura 3.



Figura 3 Data Logger NRG Symphonie.

Cada anemómetro tiene capacidad para registrar velocidades de viento de hasta 96 m/s. Son anemómetros de 3 copas de sección cónica, como se aprecia en la figura 4. Tienen un peso de 0.14 kg, y un rango de temperatura de operación de -55 a 60 °C. Con un rango de humedad relativa de 0 a 100%. El tipo de señal es de bajo nivel de onda senoidal CA, con frecuencia lineal proporcional la velocidad del viento.

El sensor de dirección de viento tiene una rotación mecánica de 360°, opera en un rango de temperatura de -55 a 60 °C y de humedad relativa de 0 a 100% y pesa 0.14 kg, (figura 5). La paleta de dirección opera en el rango de temperatura de -40 a 52.5 °C. En el interior de éste se encuentran amplificadores y linearizadores. El sensor se encuentra protegido de la radiación directa como se muestra en figura 6. Los seis platos son protectores UV y estabilizadores de radiación; y pesa en total 0.47 kg.

Los datos fueron capturados desde el primer minuto del año 2009 hasta el primer minuto del 2010 y organizados para su análisis en el software Windographer V4.1.0.



Figura 4 Anemómetro NRG #40.



Figura 5 Paleta de dirección de viento NRG #200P.



Figura 6 Sensor de temperatura NRG #110S.

Análisis

Para el análisis estadístico de los datos se tomó la función de distribución de probabilidades de Weibull definida en la ecuación 1.

$$F(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp \left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k \right] \quad (1)$$

Donde v [m/s] es la velocidad medida del viento, c [m/s] es el parámetro de escala de Weibull y k , es el parámetro de forma de Weibull y es adimensional. La potencia por unidad de área debida al viento está dada por la ecuación 2.

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

Donde, ρ [kg/m³] es la densidad del aire. La densidad de potencia del viento en términos de la función de distribución de Weibull, ecuación 3.

$$\frac{P}{A} = \int_0^{\infty} P(v)F(v)dv = \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma \left(\frac{k+3}{k} \right) \quad (3)$$

Donde A , es el área barrida. Así, la densidad de energía para un periodo T , se puede calcular mediante la ecuación 4.

$$\frac{E}{A} = \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma \left(\frac{k+3}{k} \right) T \quad (4)$$

Es posible obtener el perfil vertical de la velocidad del viento de dos formas [Guevara, 2003]. A partir de una ley de potencias la cual es una relación entre la velocidad del viento (conocida) a una altura y la velocidad (desconocida) a otra altura. Así, se puede estimar valores de la velocidad del viento para alturas mayores a los 19 m. La ley de potencias está dada por la ecuación 5.

$$v_E = v_R \left(\frac{h_E}{h_R} \right)^\alpha \quad (5)$$

Donde, h_R y v_R son la altura y la velocidad de referencia y h_E es la altura a la que se quiere estimar la velocidad v_E , el exponente α se conoce como el exponente de rugosidad (wind shear exponent) y se considera aproximadamente como 1/7.

También es posible usar un modelo de perfil de viento logarítmico para estimar el perfil del viento en el sitio. Este modelo viene dado por la ecuación 6. Donde, h_0 , es la altura o longitud de rugosidad medida en metros.

$$v_E = v_R \frac{\ln \left(\frac{h_E}{h_0} \right)}{\ln \left(\frac{h_R}{h_0} \right)} \quad (6)$$

3. Resultados

Para el análisis de los datos se software Windographer. Como resultados se obtiene; la dirección preferencial y variación diurna del viento, los meses donde el recurso eólico es más intenso y mediante ajustes, usando la ecuación 5, estimar la velocidad del viento a otras alturas.

En la figura 7 (rosa de los vientos), se observa una dirección predominante hacia el sureste (velocidad del viento > 5 m/s), en la dirección de la bahía. En la misma figura 7, se observa también una ligera presencia de vientos del noroeste, los cuales ocurren durante los meses de invierno. La figura 8, muestra un resultado esperado, debido a que se observa poco viento en las horas de la mañana y un notable

incremento al atardecer cuando la diferencia de temperaturas permite una mayor corriente de viento y se tienen, al atardecer, las brisas provenientes de la bahía. Así, la velocidad del viento alcanza su máximo por la tarde y su mínimo a media mañana. Este comportamiento mostró poca variación con las estaciones del año. Las curvas corresponden a los anemómetros a las alturas de 19 m (curva superior) y 14 m (curva inferior).

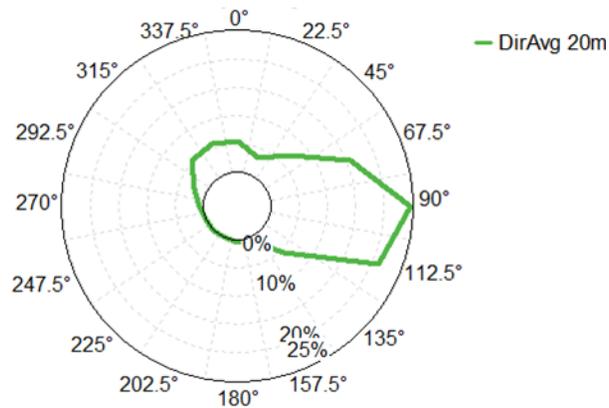


Figura 7 Distribución de frecuencias de la dirección del viento.

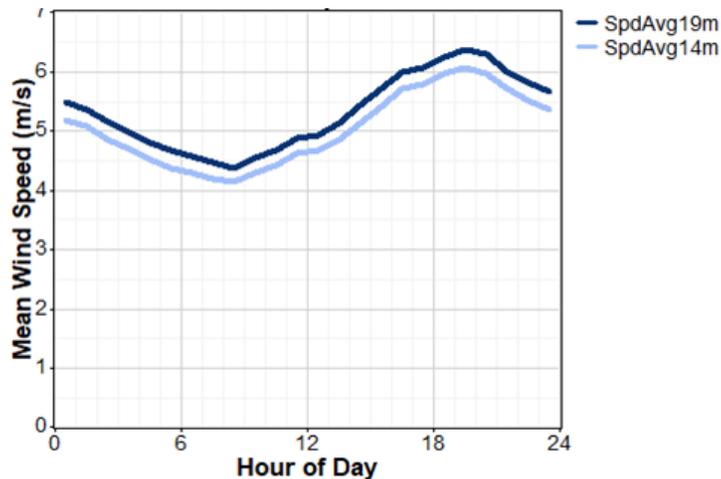


Figura 8 Velocidad del viento como función de la hora del día.

En la figura 9, se aprecia que los meses con los mejores vientos (velocidad promedio del viento > 5 m/s) inician en el mes de febrero y se mantienen hasta aproximadamente a mitad de octubre. Así, aproximadamente el 80% del tiempo se tiene velocidades promedio del viento arriba de 5 m/s a la altura de 19 m.

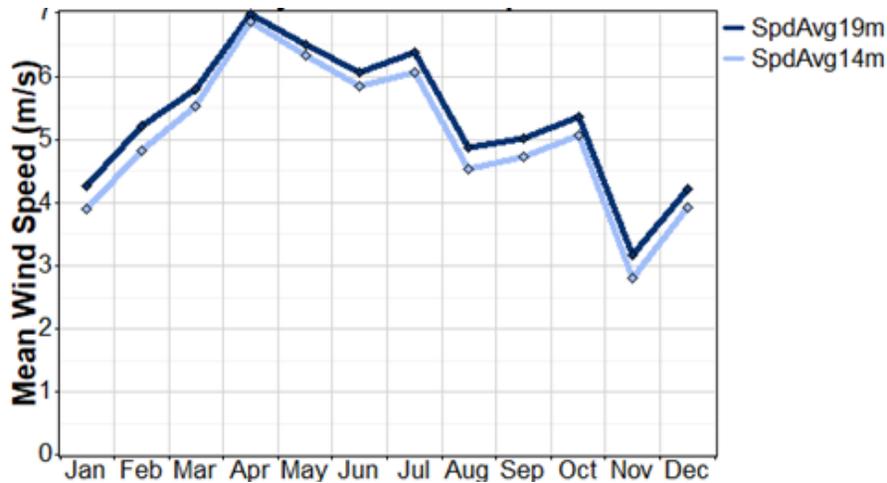


Figura 9 Variación mensual de la velocidad promedio del viento.

La velocidad promedio del viento baja en los meses de noviembre a enero, siendo el mes de noviembre el mes con las velocidades promedio de viento menores.

En la figura 10, el histograma de frecuencias de la velocidad promedio del viento en intervalos de 0.5 m/s, para el anemómetro colocado a 19 m de altura.

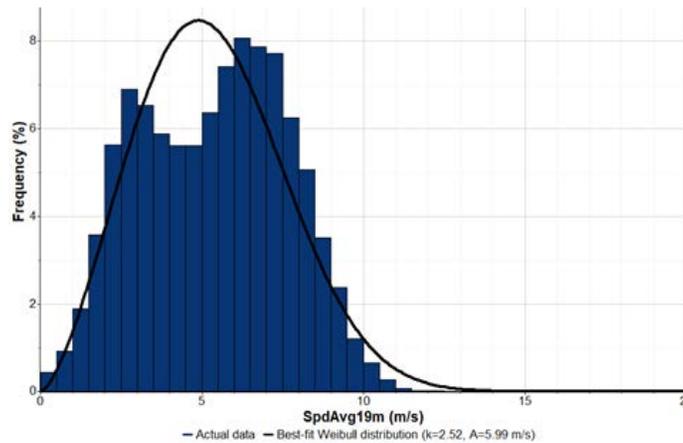


Figura 10 Histograma de frecuencias de la velocidad promedio del viento.

La curva sólida sobrepuesta al histograma de la figura 10, representa el mejor ajuste obtenido de la distribución de Weibull (Ecuación 1) para las velocidades promedio del para el anemómetro a 19 m de altura. Con las mediciones de dos anemómetros a diferentes alturas es posible estimar el perfil vertical de la velocidad promedio del viento para el sitio mediante ajustes de curvas usando ecuaciones 5 y 6.

En la figura 11 se muestran los ajustes de los modelos de potencias y logarítmicos, los puntos verdes en las curvas indican las velocidades promedio del viento a las alturas de los dos anemómetros. En la tabla 2, se muestran los valores de entrada y salida del análisis de los datos.

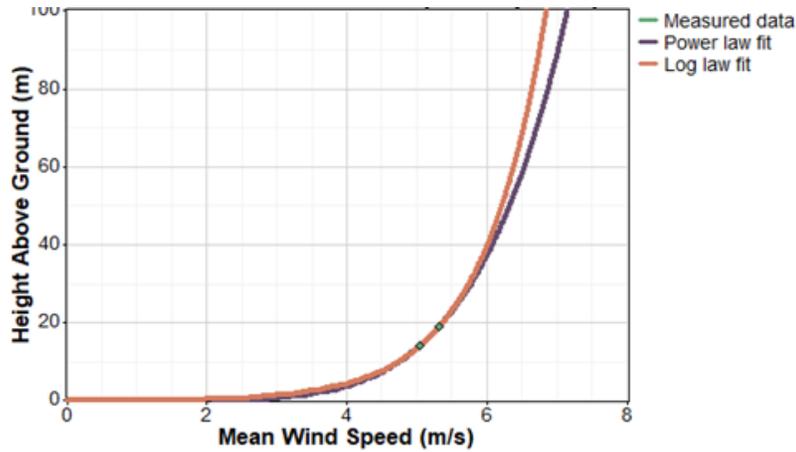


Figura 11 Curvas de ajuste para el perfil vertical del viento.

Tabla 2 Datos de entrada y salida del análisis de los datos del viento.

Variable	Valor
Latitud	N 18.523704
Longitud	W 88.268626
Elevación	2 m
Fecha de inicio	01/01/2009 00:00
Fecha de termino	01/01/2010 00:00
Duración	12 meses
Intervalo de muestreo	10 minutos
Velocidad límite de calma	0.4 m/s
Temperatura promedio	29.84 °C
Densidad del aire	1.156 kg/m ³
Densidad de potencia a 50 m de altura	195 W/m ²
Clase de potencia de viento	1 (Pobre)
Exponente de ley de potencia	0.178
Rugosidad de la superficie	0.0596 m
Clase de rugosidad	1.57

Utilizando la ley de potencias (ecuación 5) y los datos obtenidos por el software Windographer y las mediciones in situ, se calculó la velocidad a una altura de 150 m, dando como resultado 8.7 m/s. Por otra parte, se realizó el cálculo utilizando la ecuación del perfil de viento logarítmico (ecuación 6) y el resultado fue de 8.1 m/s.

4. Discusión

Los resultados muestran que el 80% del tiempo se tiene velocidades promedio del viento mayores a 5 m/s. Con los ajustes de los modelos de potencias y logarítmicos podemos estimar una velocidad promedio de viento de apenas mayor a 6 m/s para una altura de 50 m, en ambos ajustes. Por otro lado, la densidad de potencia a 50 m de altura es cercana al límite inferior a los sitios catalogados como clase 2. Consideramos que debido a obstáculos cercanos a la estación meteorológica la velocidad promedio del viento puede estar subestimada. Por esto, sería conveniente realizar más mediciones con al menos tres anemómetros con separación de alturas de al menos 10 m; es decir colocar los anemómetros a alturas de 10, 20 y 30 m de altura. Con esto se obtendrán mejores ajustes del perfil vertical del viento y una mejor clasificación del sitio.

Basándonos en las estimaciones realizadas analíticamente de la velocidad del viento a una altura de 150 m, se sugiere un aerogenerador optimizado para vientos bajos y de altura considerable para evitar posibles turbulencias ocasionadas por construcciones y árboles cercanos a la costa. Se propone el aerogenerador de la marca Siemens Gamesa modelo SG 2.1-114 [Siemens Gamesa, 2020]. En la figura 12 podemos apreciar la curva de potencia del modelo mencionado.

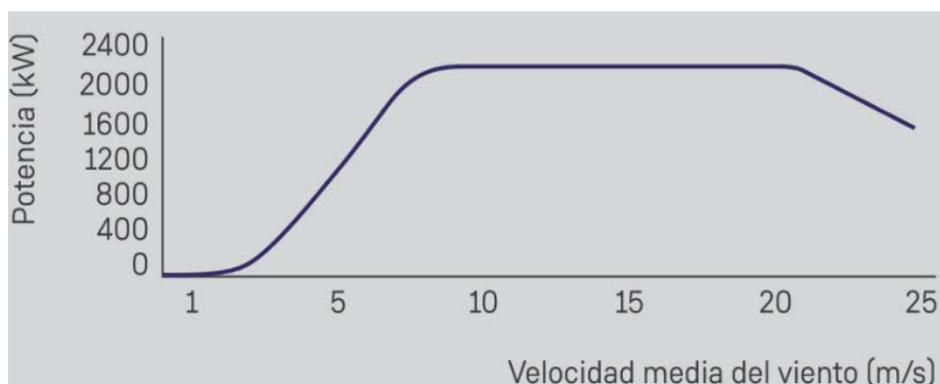


Figura 12 Curva de potencia del aerogenerador SG 2.1 – 114.

En la figura 13 se muestran las especificaciones técnicas brindadas por el fabricante.

Torre		Datos generales	
Tipo	Diferentes tecnologías disponibles	Potencia nominal	2.1 MW
Altura	68, 80, 93, 106, 125, 127, 153 m y según emplazamiento	Clase de viento	IEC IIA/IIIA/S
		Control	Pitch y velocidad variable
		Temperatura operativa estándar	Rango desde -20°C hasta 40°C ⁽³⁾
Multiplicadora		Rotor	
Tipo	3 etapas	Diámetro	114 m
		Área de barrido	10.207 m ²
		Densidad de potencia	205,74 W/m ²
Generador		Palas	
Tipo	Doblemente alimentado	Longitud	56 m
Tensión	690 V AC	Perfil	Siemens Gamesa
Frecuencia	50 Hz/60 Hz	Material	Fibra de vidrio reforzada con resina de epoxi o poliéster
Clase de protección	IP 54		
Factor de potencia	0,95 CAP-0,95 IND en todo el rango de potencias ⁽³⁾		

Figura 13 Especificaciones técnicas del aerogenerador SG 2.1 -114.

5. Conclusiones

Los resultados obtenidos del análisis de los datos de velocidad y dirección del viento obtenidos de la estación meteorológica instalada en la Unidad Chetumal de la Universidad de Quintana Roo para el año 2009 muestran que la Bahía de Chetumal presentan resultados desfavorables para la aplicación de aerogeneradores de gran potencia. Sin embargo, los resultados muestran también que aproximadamente el 80% del tiempo se tienen velocidades arriba de 5 m/s. La evaluación realizada permite sentar las bases para la elección correcta de aerogeneradores que se adapten a las características del lugar. A manera de ejemplo se presenta el modelo Siemens Gamesa modelo SG 2.1-114, favorable por estar optimizado para bajas velocidades y de colocación *on-shore* para facilitar los mantenimientos y minimizar los costos de instalación.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Aaronson S. A. Theory of Human Motivation. Psychological Review, No. 50, 370-396, 1943.
- [2] Chandrinos K. V., & Trahanias P. E. Web-based Information Systems. ERCIM Workshop Proceedings. Toronto, Canada. October, 1998.
- [3] Guevara J. Cuantificación del perfil del viento hasta 100 m de altura desde la superficie y su incidencia en la climatología eólica. Terra Nueva Etapa, XXIX, 81-101, julio-diciembre, 2013.

- [4] Dayra M. Como redactar y publicar artículos científicos. Organización Panamericana de Salud. Monterrey, México. 1994.
- [5] Siemens Gamesa (20/junio/2020). SG 2.1-114: www.siemensgamesa.com/es-es//media/siemensgamesa/downloads/es/products-and-services/onshore/brochures/siemens-gamesa-onshore-wind-turbine-sg-2-1-114-es.pdf
- [6] Flores Murrieta F., Yam Gamboa O., Cuevas Domínguez J., & Acosta Olea, R., (2009). La calibración anemométrica para el recurso eólico. *Caos Conciencia*, 11.
- [7] Gallego González N. Evaluación del potencial eólico y montaje de un mini-aerogenerador en la Universidad de Moa (Cuba). Universidad Carlos III de Madrid. Madrid, 2019.
- [8] Castillo Núñez R. A. Análisis de las características de viento y evaluación del potencial eólico disponible en los valles de Chao, Virú y Moche, como fuente renovable de generación de energía. Universidad Nacional de Trujillo. Perú 2019.