

PROPUESTA PARA EL DISEÑO UN SISTEMA DE MEDICIÓN PARA LA ENERGÍA DEL VIENTO A SER EMPLEADO EN LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA WT-A-1

*F. González-Longatt**

* Candidato a Doctor en Ciencias de la Ingeniería, Universidad Central de Venezuela
 +58-414-4572832, flongatt@elecisc.ing.ucv.ve

RESUMEN: La velocidad del viento y la dirección son datos necesarios en una gran cantidad de situaciones y actividades: meteorología, aviación, industria, investigación, construcción, y muy particularmente en la industria de generación de electricidad proveniente del viento. El anemómetro es el instrumento empleado para la medición de la velocidad del viento, siendo el más común es el de copas; este es empleado para ayudar a determinar el clima en un sitio y permite monitorear las características del viento local. Los sistemas de medición del viento deben tener la característica de medir en alta velocidad y almacenar información proveniente de los sensores, tanto de velocidad como de dirección del viento. Además el sistema de medición ha de contar de un buen diseño de torre, sensor y software para adecuarse a los requerimientos de datos provenientes de la velocidad del viento, y a las necesidades de información estadística del recurso del viento. En este artículo se presenta una revisión muy superficial de la necesidad de la medición del viento, sus características principales, además de elementos, factores y elementos que constituyen un anemómetro. La “Idea”, es evidenciar la necesidad y características “más elementales” que ha de poseer el diseño de un sistema de medición para la energía del viento, ha ser incluido en la estación meteorológica WT-A-1.

Palabras Claves: Anemómetro, Velocidad y Dirección del viento, Medición, Estación Meteorológica

1. INTRODUCCION

Toda la energía renovable (excepto la potencia proveniente de las mareas y geotérmica), en incluso la energía proveniente de los combustibles fósiles, provienen en última instancia del sol. El sol irradia 174.423.000.000 kilovatios de energía a la tierra por hora. En otras palabras, la tierra recibe 1.74 x 10¹⁷ vatios de potencia. Aproximadamente el 1 a 2 por ciento de la energía que viene del sol es convertido en la energía de viento. Es aproximadamente 50 a 100 veces más que la energía convertida en la biomasa por todas las plantas sobre la tierra. Por ejemplo, con un rotor de 54 metros de diámetro, cada cilindro realmente pesa 2.8 toneladas, es decir, 2300 veces 1.225 kg [1].

La energía cinética de la energía de un cuerpo en movimiento es proporcional a su masa (o peso). La energía cinética en el viento entonces depende de la densidad del aire (masa por unidad de volumen). La energía cinética, E_c , en una pieza de masa de aire m , fluyendo a una velocidad v_w [m/seg] es dada por

$$E_c = \frac{1}{2}mv_w^2 = \frac{1}{2}(\rho Ax)v_w^2$$

donde A es la sección transversal (m^2), ρ es la densidad del aire (kg/m^3), y x es el espesor de la pieza (m). La potencia del viento P_w (W) es la derivada en el tiempo de la energía cinética.

$$P_v = \frac{dU}{dt} = \frac{1}{2}(\rho A)v_w^2 \frac{dx}{dt} = \frac{1}{2}(\rho A)v_w^3$$

En tal sentido, un viento más pasado, permite que más energía sea recibida por la turbina. A una presión atmosférica normal y a 15 grados centígrados, el aire pesa 1.225 kg por metro cúbico, pero la densidad

decrece un poco con el incremento de la humedad [1]. De igual modo, el aire es más denso cuando está frío que caliente. A altas altitudes (montañas) la presión del aire es menor y el aire es menos denso [2].

Una turbina de viento típica de 1000 kW posee un rotor con diámetro de 54 metros, es decir, que el área del rotor es de alrededor de 2.300 metros cuadrados. El área del rotor determina cuánta energía puede ser obtenida desde el viento. Debido a que el área del rotor se incrementa con el cuadrado del diámetro del rotor, una turbina que sea dos veces más grande recibirá cuatro veces más energía [1], [2].

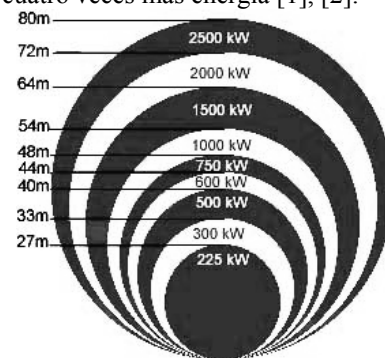
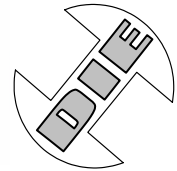


Figura 1. Ejemplo de diámetro de una turbina de viento y potencia asociada

La velocidad del viento es extremadamente importante para medir el valor de energía que una turbina de viento puede convertir en electricidad: La energía contenida en el viento varía con el cubo de la velocidad promedio, es decir, si la velocidad del viento es dos veces mayor, se logra ocho veces más energía.



En el caso de la turbina de viento se emplea la energía proveniente de cortar el viento, y si se duplica la velocidad del viento, se puede obtener dos veces más rebanadas de viento que se mueven a través del rotor cada segundo, y cada una de estas rebanadas posee cuatro veces más energía.

Usos de la Cuantificación del Viento

La velocidad del viento y la dirección son datos necesarios en una gran cantidad de situaciones y actividades, por ejemplo, meteorología, aviación, industria, investigación y construcción. A continuación se muestran algunos ejemplos de las más comunes aplicaciones de los datos de velocidad del viento:

- En meteorología, datos del viento son necesarios para sustentar los pronósticos y predecir cambios a largo plazo en el clima global.
- En la aviación, los datos de viento es esencial a fin determinar la seguridad de despegues y aterrizajes.
- La seguridad de transporte, posee un rol importante también. En Estaciones meteorológicas de carreteras y de ferrocarriles se miden la velocidad de viento y la dirección para la seguridad. Otro ejemplo es la seguridad en puentes.
- La velocidad y la dirección del viento es de gran importancia para los barcos y los muelles. En los barcos los datos del viento son empleados para la navegación y seguridad. En los muelles la medición del viento es para propósitos de seguridad.
- En la industria eléctrica para la generación desde el viento, la medición del viento es esencial. En la producción de energía desde el viento la velocidad y dirección del viento es usada para controlar las turbinas de viento, la eficiencia y también es verificada comparando la salida de la turbina con la velocidad de viento medida. El continuo diagnóstico y monitoreo de una granja de viento necesita también de los datos del viento.
- Las plantas nucleares para la producción de electricidad previenen la dispersión de desechos nucleares. Los datos del viento ayudan a prevenir los riesgos ambientales. La eficiencia de las líneas de transmisión de potencia son una función de la dirección y velocidad del viento.
- Además, los datos del viento juegan un papel importante en la industria. Las plantas químicas necesita coleccionar la data del viento para el monitoreo de la dispersión.

2.0. MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO

Revisión

La medición de la velocidad del viento es usualmente hecha por medio de un *anemómetro*. El más conocido y empleado es el denominado

anemómetro de copa, o anemómetro de Robinson, creado en 1846 [3]. El anemómetro de copa posee un eje vertical y tres copas las cuales capturan el viento. El número de revoluciones por minuto es registrado electrónicamente. Normalmente, el anemómetro es fijado con una veleta o paleta de viento (*wind vane*) para detectar la dirección del viento.



Figura 2. Anemómetro de Copas de Robinson



Figura 3. Veleta para la dirección del viento

En vez de copas, el anemómetro puede poseer una hélice, pero esto no es común.



Figura 4. Anemómetro de palas

Otros tipos de anemómetros incluyen los anemómetros de ultrasonido o lasers, los cuales detectan el defasaje del sonido o la luz coherente reflejada por las moléculas del aire. Los anemómetros de cable caliente (*hot wire anemometers*) detectan la velocidad del viento a través de la diferente de temperatura en un minuto, entre alambres colocados en el viento y el la sobra del viento.



Figura 5. Anemómetro Ultrasonico [6]

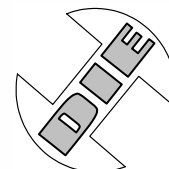


Figura 6. Anemómetro de Alambre Caliente [4]

La ventaja de los anemómetros no mecánicos puede ser que ellos son menos susceptibles a que el hielo y la nieve se depositen sobre ellos. En la práctica sin embargo, los anemómetros de copa tienen a ser usados en casi cualquier ubicación, y modelos especiales con ejes y copas eléctricamente calentadas pueden ser usadas en áreas árticas.

Calidad de los anemómetros que son necesarios para la medición de la energía del viento.

Un anemómetro de bajo costo puede ser adecuado, para la meteorología, pero pueden ser adecuados para la turbina de viento, donde una gran precisión no es realmente importante. Pero anemómetros no muy precisos, no son usables para mediciones de turbina de viento en la industria de energía del viento, debido a que ello puede ser muy impreciso y probablemente calibrado, con errores de medición pueden ser del 5% o incluso el 10% [1].

Si se planifica construir granjas de viento puede ser un desastre económico si se tiene un anemómetro que mide velocidades de viento con un error del 10%. En este caso puede ser un riesgo cuantificar la energía contenido en el viento, se puede demostrar que con un error de medición del 10%, se logra un 33% de energía más alto de lo que esta es en realidad [2]. Si se tiene que recalcular las mediciones a diferentes alturas de la ubicación de la turbina (por ejemplo, desde 10m llevarla a 50), usted incluso debe multiplicar el error por un factor de 1.3, entonces al final el error se puede alcanzar valores de hasta el 75% de la energía calculado [5].

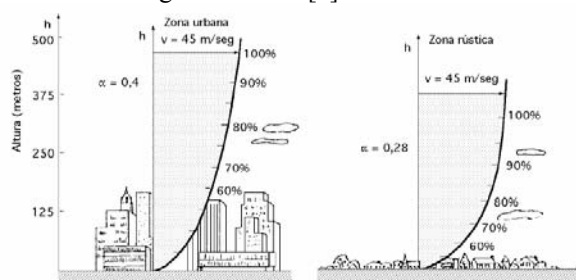


Figura 7 Efecto de la Altura en la Velocidad del viento, Ley de Hellmann

Un anemómetro profesional, bien calibrado permite mediciones con una exactitud de hasta 1% de error (con costos aproximados entre 700 y 900 US\$) [1]. Es bastante claro que los medidores de viento comprados pueden provocar un error económico desastroso [5].

La mejor forma de medir la velocidad del viento en un sitio potencialmente posible para la instalación de una turbina de viento es colocar en el sitio de interés el anemómetro fijo en el tope de un mástil que posea la misma altura que se espera se coloque que eje que se usará en la turbina de viento. De esta forma se previene la inconsistencia involucrada en el recalcular de la velocidad del viento a diferentes alturas.

Al fijar el anemómetro en el tope del mástil se minimiza las perturbaciones del flujo de aire provocado por el mástil mismo. Si los anemómetros son colocados de un lado del mástil es esencial que el mismo sea colocado en la dirección donde prevalece el viento, a fin de minimizar la sombra del viento producida por la torre [5]

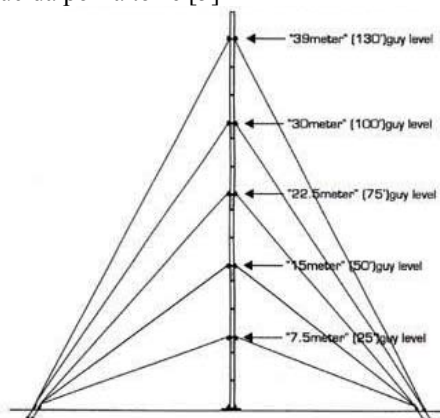


Figura 8. Mástil para soporte de anemómetros típico

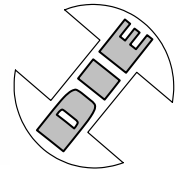
Postes delgados cilíndricos y soportados por guayas son preferido mas que las torres con celosías para colocar los dispositivos de medida de viento para de este modo limitar la sombra del viento producida por la torre. Los postes son proveídos por los fabricantes en estructuras que son de fácil instalación, y de hecho, se puede instalar el mástil para medidas en la (futura) altura del eje de la turbina sin el uso de una grúa.

Elementos del Anemómetro

El anemómetro consiste generalmente de algunos componentes dentro de los cuales se distinguen las siguientes funciones:

- *Sensor*: por ejemplo una hélice a base de copas.
- *Traductor*: un generador, por ejemplo (para medir la velocidad) o un potenciómetro (para medir la posición); es decir, que traslada lo que se está midiendo (velocidad del viento) a algo detectable por un instrumento de grabación (por ejemplo voltaje o frecuencia, voltaje dc, o pulsos que son contactos)
- *Datos* son colectados por señales (por ejemplo el procesador de una computadora o por una cinta de registro).

Características Funcionales del Anemómetro



Los anemómetros varían en términos de sus especificaciones y también de su confiabilidad. Sin embargo un anemómetro a ser instalado, debe ser calibrado contra un anemómetro de referencia. Los errores de calibración son notablemente presentes en todos los anemómetros sin importar el precio o la categoría. Hay algunos elementos del anemómetro que describen sus características funcionales:

- *Resolución*: el más pequeño cambio que puede ser medido y que es detectable por el instrumento.
- *Error*: la diferencia entre el valor medido por el instrumento y el valor real.
- *Precisión*: el grado con el cual la variable medida es medible.
- *Sensibilidad*: define la relación entre las señales de entrada y salida.
- *Respuesta*: rapidez con la cual el instrumento puede detectar un cambio en la intensidad de la señal que esta midiendo.
- *Repetitividad*: indica la capacidad del instrumento de repetir una secuencia de datos que poseen valores en forma alternante pero igual.
- *Confiabilidad*: la probabilidad que el instrumento trabajará a sus límites definidos.

Errores de Medición con el Anemómetro

Además de los errores comúnmente asociados con la especificación del instrumento, también hay otros errores los cuales resultan durante la medición de y por lo cual se debe tener cuidado. El primero es el problema de la calibración, esto es muy importante debido a que una inapropiada calibración lleva a lecturas que son imprecisas. Algunos anemómetros requieren ser medidos mas frecuentemente que otros, pero todos necesitan ser monitoreados periódicamente para la calibración de los errores.

Algunos errores los cuales han sido comúnmente observados incluyen: el efecto de la sombra de la torre en las velocidades de viento inferidas así como el sitio de refugio (que es el efecto que de la torre y el refugio que tienen en el bloqueo de que algún viento pase), la pérdida de datos (que es que alguna observaciones se pierden debido al mal funcionamiento del mecanismo de almacenamiento de datos, influyendo de la observación), y olvido de registro (que ocurriría sobre todo en sistemas de grabación de manual y que puede causar tendencias significativas ascendentes en estimaciones de velocidad de viento medias).

Período Promedio de Medición

Los anemómetros comúnmente indican la velocidad del viento y la dirección en un dispositivo de medición de voltaje. Los tipos mas antiguos usados para el monitoreo de la velocidad del viento sobre el tiempo, registraba la estadística por el trazado de una curva como es comúnmente observado en los barómetros. Algunos mas avanzados, los cuales ha incrementado su popularidad en las mediciones de

las condiciones del viento para actividades de energía del viento, también incluyen una computadora la cual no solo registra los datos que entran, sino que simultáneamente promedia la información sobre un periodo especificado (usualmente 10 minutos) y entonces almacena el valor promedio en memoria para su posterior uso en el análisis de distribuciones o graficación.

La selección de 10 minutos como un periodo común de promedio es solo una convención. Periodos más cortos o más largos pueden ser apropiados bajo ciertas circunstancias. La ventaja del periodo de 10 minutos es que este es usualmente suficientemente largo para suavizar ciertas turbulencias en las mediciones, lo cual no es significativo para aplicaciones de granjas de viento. Al mismo tiempo, es suficientemente corto para registrar un dramático cambio que ocurra debido a tormentas o cualquier otra situación de vientos altos los cual usualmente tienden a ser al menos de 5 a 30 minutos.

Claramente, el periodo de promedio ideal para cualquier situación es mas largo que uno que permita capturar el tipo de oscilación en el comportamiento del viento, que sea relevante para la aplicación en cuestión. El periodo de un promedio de 10 minutos ha resultado ser las mas empleado y común en las actividades de energía del viento.

3. PROPUESTA

Para medir la velocidad y la dirección del viento para ayudar a determinar el clima en el sitio es necesario erigir un sistema de monitoreo del viento. Estos sistemas de medición deben tener la característica de medir en alta velocidad y almacenar información proveniente de los sensores, tanto de velocidad como de dirección del viento. Esta data es de importancia que sea a una velocidad adecuada si se desea efectuar el monitoreo del desempeño de sistemas de conversión de energía proveniente del viento.

El sistema de medición ha de contar de un buen diseño de torre, sensor y software para adecuarse a los requerimientos de datos provenientes de la velocidad del viento, o para las necesidades para la operación de las turbinas de viento.

En tal sentido se sugiere efectuar una investigación destinada a:

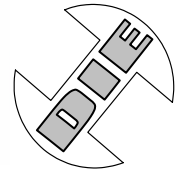
Diseñar un sistema de medición para la energía del viento a ser empleado en la estación meteorológica WT-A-1

REFERENCIAS DOCUMENTALES

- [1] Asociación Danesa de la Industria de Energía del Viento [Online] Available at: <http://www.windpower.org>
- [2] González-Longatt F. Fuentes de Energía Distribuida, Tecnologías Disponibles. Trabajo de Ascenso a la Categoría de Agregado de la



1^{eras} Jornadas de Proyectos de Ingeniería Electrónica 2006
JOPIE - UNEFA Maracay - Julio 2006



Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada. Maracay. Venezuela, 2004.

- [3] Global Water Instrumentation, Inc. [on line] Available at:
<http://www.globalw.com/products/407119.html>
- [4] González Longatt F. Tutorial de Sistemas de Conversión de Energía. Jornadas de Ingeniería Eléctrica 2005, universidad de Carabobo, Venezuela, 2005.
- [5] Anemometers.co.uk [Online] Available at:
http://www.anemometers.co.uk/ultrasonic_anemometer.html
- [6] Rene Moreno. World Bank. *Industry and energy department working paper*. 1991 [Online] Available at:
<http://www-wds.worldbank.org/servlet/>