

ANEMÓMETRO AUTÓNOMO PARA EVALUACIÓN DEL RECURSO EÓLICO

Ernesto Palo Tejada - jpalot@unsa.edu.pe,
Alberto Montoya Portugal - almontoyap@hotmail.com
Wilson Cabana Hanco- wil10000@hotmail.com

Universidad Nacional de San Agustín, Departamento de Física, Centro de Energías Renovables y Eficiencia Energética

Resumen. Desarrollo de un anemómetro de copas cuyo propósito es el monitoreo del recurso eólico, el anemómetro consta de un sensor magnético que es activado por un imán de neodimio en cada revolución de las copas, además incorpora un sistema de captura electrónico basado en un microcontrolador que funciona con una batería de litio de 3 V. que le da una autonomía máxima de un año. La tasa de muestreo y otros comandos son programados mediante un software desde una computadora a través de un puerto USB.

La respuesta del anemómetro se ha comparado y calibrado con un anemómetro marca Davis, obteniéndose una muy buena correlación.

Se muestran los resultados del monitoreo de un mes en el sector de Rio seco ubicado en el cono norte de la ciudad de Arequipa

Palabras clave: Anemómetro, Micro controlador, Calibración, Instrumentación.

1. Principios de Operación

El instrumento es un clásico anemómetro de copas al que se le ha incorporado un sistema de captura electrónica de datos de muy bajo consumo, basada en tecnología de microcontroladores, la electrónica de baja potencia tiene un consumo máximo de 3mA en el momento de registro de datos.

El diseño de copas se escoge por su simplicidad robustez y suficiente precisión para las aplicaciones de monitoreo de recurso eólico.

El instrumento funciona con una batería de litio de 3 voltios CR2 DURACELL ULTRA. La autonomía máxima es de un año aunque esta depende en gran medida de la tasa de muestreo y la frecuencia de grabado de datos, pero en el peor de los casos, esto es, a una tasa alta de muestreo, se garantiza una autonomía de 1 mes.

En el anemómetro, un imán de neodimio está insertado en el cono superior, este cono está montado en un eje de acero a través de micro rodamientos de baja fricción. Las tres copas de plástico van montadas en el cono de teflón, como se muestra en la figura 1, en cada giro completo el imán activa un sensor magnético montado en el eje, el tren de pulsos producido por el giro es llevado desde el sensor a la electrónica de control que se encarga de procesar y guardar los datos de acuerdo a la configuración del software de control.

El anemómetro está diseñado para registrar velocidades de viento comprendidas entre 0(m/s) y 10 (m/s), las velocidades típicas de sistemas de generación eólico de imanes permanentes están comprendidas entre 3 (m/s) y 10 (m/s)

La velocidad de destrucción del anemómetro se estima en 40 m/s.

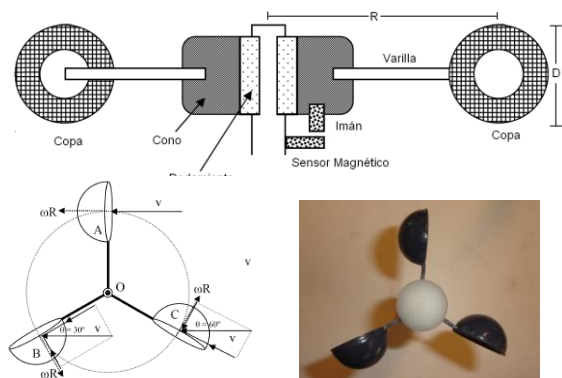


Figura 1: Esquema y fotografía del anemómetro

1.1 El Hardware

Desarrollada alrededor del microcontrolador 12F675 cuyo consumo en operación es de apenas $100 \mu A$. La base de tiempo es un cristal de 4Mhz con un error máximo de 10 ppm entre -20 y 70 °C.

El instrumento Incorpora una memoria EEPROM que a una tasa de registro de un dato por hora puede almacenar 4 años de datos.

Características físicas del anemómetro

- o Diámetro de las copas; 30mm
- o Número de copas: 3
- o Radio del eje al centro de la copa: 40mm
- o Altura del anemómetro: 170 mm.

1.2 El software

El anemómetro puede ser conectado a un computador por una conexión USB, y se puede interactuar con el sistema a través de una serie de comandos enviados como cadenas de caracteres ASCII desde la computadora. Cualquier Programa de computadora capaz de enviar y recibir cadenas de caracteres ASCII por un puerto puede ser usado, por ejemplo el Hyper Terminal de Windows. Figura 2

Modos de operación: El anemómetro puede trabajar en dos modos. Los cuales se configura enviando los comandos 'c' o 'w'

Modo de operación captura: este modo de operación esta activo por defecto e indica que el instrumento envía los datos directo al PC sin guardarlos en memoria

Modo de operación Escritura: este modo de operación se activa cuando se envía el comando 'w', indica que el instrumento guardara los datos tomados en memoria.

Comandos de configuración: Los comandos de configuración son:

- 'a' comando que configura la tasa de muestreo si a=1 se contarán el número de impulsos que llegan del sensor magnético por segundo (Hz). Si a=60 se contarán el número de impulsos que llegan del sensor en 60 s. (RPM)
- 'm' Comando que indica cada cuanto tiempo se registrara el dato en memoria.
- 'e' Comando que indica cuanto tiempo esperara el instrumento antes de empezar a registrar los datos
- 'h' Comando que configura la hora, también inicia la operación en uno de los dos modos de operación.
- 'f' Configura la fecha
- 'L' Configura la latitud
- 'G' Configura la longitud
- 'd' Configura el número de identificación
- 'r' Comando para descargar la memoria
- 'b' Comando para borrar la memoria
- 's' Muestra la configuración actual del sistema.
- 'N' Muestra el estado de la memoria

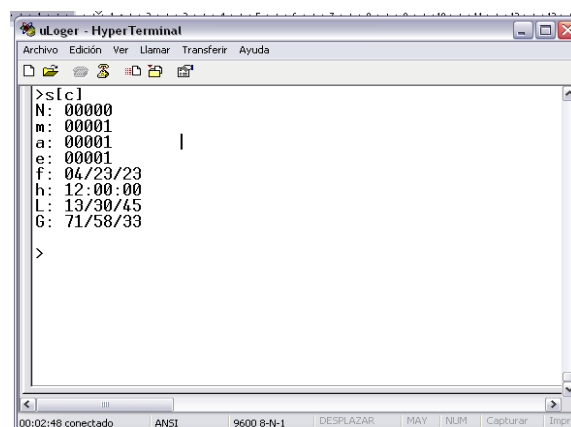


Figura 2: Configuración del anemómetro

2. Calibración y comparación

Se estudio el desempeño del anemómetro comparándolo con el anemómetro instalado en la estación meteorológica Davis, esta estación se encuentra en el edificio de la escuela de Física UNSA – Arequipa, a 10 metros del nivel del techo del edificio. El anemómetro Unsa (uA) se instalo a la misma altura y a 10 cm del anemómetro de la estación Davis (Ad).

Tanto el anemómetro de la estación Davis como el anemómetro Unsa se programaron para empezar a registrar los datos a las 8 AM. Del día 4-01-2010 y a una tasa de muestreo de 1 dato por minuto. Previamente los relojes de ambos instrumentos se sincronizaron. La medición se realizo durante 8 horas y los resultados se muestran en la figura 3.

El principio de medición del anemómetro Unsa y el anemómetro Davis es el mismo y esta basado en un imán de neodimio montado en el eje que sostiene las copas y un interruptor magnético situado en el soporte del eje. Al girar el imán sobre el interruptor este se cierra llevando a masa el terminal de entrada de datos, este hecho, genera un tren de pulsos cuya frecuencia es proporcional a la velocidad del viento.

El tratamiento de datos de la electrónica y de software del anemómetro de la estación Davis es desconocido. El anemómetro Unsa mide el periodo de cada pulso del tren que se genera en el Terminal de datos durante el intervalo de tiempo que se programo, después calcula el valor medio de la función en este intervalo, este resultado se guarda en memoria.

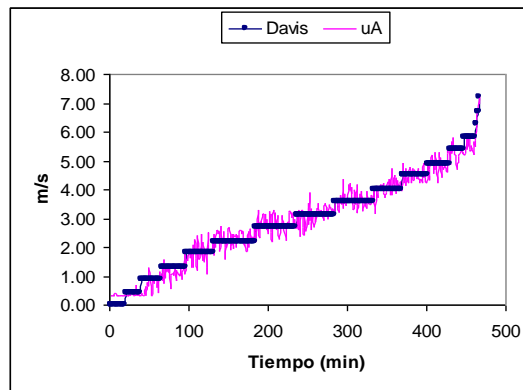


Figura3: Respuesta del anemómetro Unsa y del anemómetro Davis en función del tiempo, la figura continua corresponde al anemómetro Unsa

De la figura 3 se destaca la alta correlación de los datos de ambos anemómetros, sin embargo observamos un comportamiento notable en el anemómetro Davis este anemómetro solo registro 16 valores diferentes de velocidades de viento en contraste con el anemómetro Unsa que registro valores continuos ente 0 y 7 m/s. Este comportamiento singular de la estación Davis lo atribuimos al tratamiento de datos que la estación Davis aplica al tren de pulsos generado por el giro de las copas.

Pensamos que esta baja resolución del anemómetro Davis compromete su aplicación en monitoreo de recurso.

De los datos mostrados en la figura 3 y aplicando

$$V_i(uA) = \frac{\sum_j V_j(uA)}{N_i} \quad (1)$$

Obtenemos la tabla 1. Donde el índice j corre sobre todos los valores de velocidad de viento entregados por el anemómetro uA en los que la velocidad de viento entregada por el anemómetro Ad sea igual.

Donde:

$$N = \sum_i N_i \quad (2)$$

Es el número total de datos.

Tabla 1. Datos relacionados de los anemómetros uA y Ad

i	N_i	$V_i(Ad)$	$V_i(uA)$
1	20	0	0.0
2	18	0.4	0.4
3	25	0.9	0.7
4	30	1.3	1.1
5	34	1.8	1.8
6	52	2.2	2.3
7	50	2.7	2.8
8	48	3.1	3.1
9	48	3.6	3.7
10	35	4	4.1
11	31	4.5	4.5
12	27	4.9	4.9
13	17	5.4	5.2
14	14	5.8	5.5
15	1	6.3	6.2
16	1	6.7	7.1

La tabla 1 muestra que un histograma de repetición de vientos construida con los datos de velocidad entregados por el anemómetro Davis tendría una pobre resolución cuando los datos son muestreados a una tasa de 1 minuto.

3. Calibración

Si se intenta Graficar directamente $V(uA)$ en función de $V(Ad)$ obtenemos los resultados mostrados en la figura 4, una mejor aproximación consiste en graficar los datos de velocidades de la tabla 1. Los resultados se muestran en la figura 5, en la que se aplico un ajuste de mínimos cuadrados donde $V(uA) = 0.98V(Ad) + 0.05$ como se puede calcular existe un error de compensación de 0.05 m/s y un error de linealidad de 0.85 % a escala completa. Figura 4.

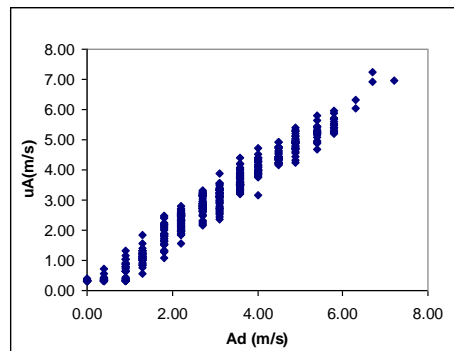


Figura 4: Respuesta del uA versus Ad, para velocidades que comprendidas entre 0 y 7 m/s

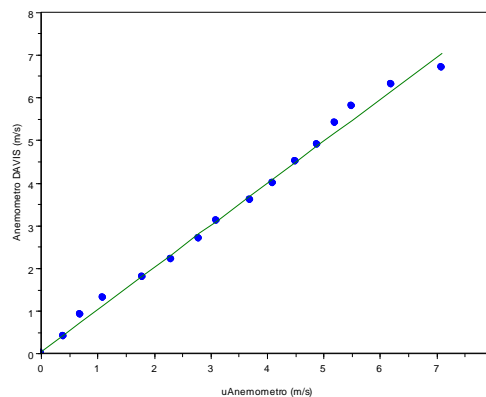
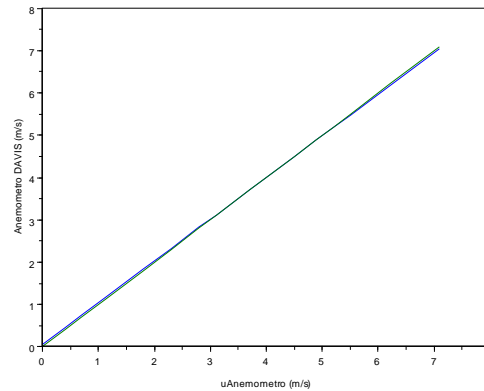


Figura 5: $V_i(uA)$ versus $V_i(Ad)$ de la tabla 1



Gráfica 6. Error de linealidad de 0.8%

3.1 Calculo de Velocidad

El anemómetro Unsa no entrega los datos en unidades de (m/s) , en su lugar nos entrega un dato que esta relacionado con la frecuencia de rotación de las copas, el parámetros ‘a’ y ‘t’ de configuración mediante la siguiente ecuación.

$$V = \frac{D \cdot k \cdot 2^t}{100 \cdot a} \quad (m/s) \quad (3)$$

Donde D es el dato entregado por el anemómetro Unsa, t es el parámetro de configuración de incremento de tiempo, a es el parámetro que configura de intervalo de integración, el parámetro k es un parámetro de calibración y puede tomar el valor de $k = 36$ para el anemómetro de las características físicas descrito anteriormente.

El recurso eólico en la ciudad de Arequipa en general no es suficiente para aerogeneración, sin embargo existen puntos que por su geografía podrían ser aprovechados. Uno de estos puntos es el sector de Río Seco Cono norte de la ciudad. Se instalo un anemómetro en el sector durante un mes (enero-2010), se registro la velocidad de viento a una tasa de 1 dato por minuto. En la figura se muestran los resultados de la primera semana.

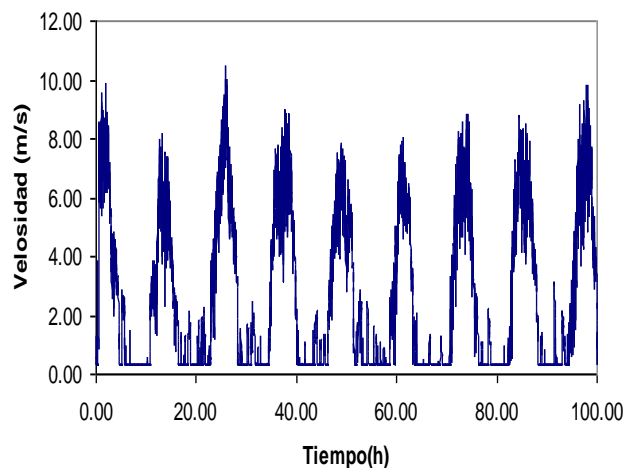


Figura 7 Velocidad en función del tiempo durante una semana.

Los datos muestran que la velocidad media apenas supera los 3 m/s, esta velocidad esta en el limite inferior de generación para la mayoría de generadores eólicos de imanes permanentes.

Conclusiones.

- Al comparar la respuesta de los anemómetros Davis y Unsa se muestra una buena correlación en los datos
- El anemómetro Unsa muestra una mejor resolución que el anemómetro Davis
- El anemómetro Unsa es un instrumento portátil de fácil instalación y con autonomía en el registro de datos y energía de alimentación.
- El anemómetro Unsa mostró ser un instrumento versátil y de bajo costo ideal para construir mapas de viento en zonas geográficas que presentan diversidad de microclimas, como es el caso de la Región Arequipa.
- En futuros desarrollos se podría incluir capacidad de transmitir por UHF

REFERENCIAS

- Asociación Danesa de la Industria de Energía del Viento [Online] Available at: <http://www.windpower.org>
- González-Longatt F. Fuentes de Energía Distribuida, Tecnologías Disponibles. Trabajo de Ascenso a la Categoría de Agregado de la Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada. Maracay. Venezuela, 2004.
- Global Water Instrumentation, Inc. [on line] Available at: <http://www.globalw.com/products/407119.html>
- González Longatt F. Tutorial de Sistemas de Conversión de Energía. Jornadas de Ingeniería Eléctrica 2005, universidad de Carabobo, Venezuela, 2005.
- Anemometers.co.uk [Online] Available at: http://www.anemometers.co.uk/ultrasonic_anemo_meter.html
- Rene Moreno. World Bank. *Industry and energy department working paper*. 1991 [Online] Available at: <http://www-wds.worldbank.org/servlet/>