



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

Tema: Uso del Bombeo Eólico para el Abasto de Agua en la Estación Experimental Tomas Roig utilizando diferentes tipos de Molinos de Viento.

Autores: Ms C: Nestor Mendez Jurjo

Ms C: Agustín Jesús Miranda León

Lic: Yania Castro Pérez

Universidad: Máximo Gómez Báez

Provincia: Ciego de Ávila

País: Cuba

Año: Octubre 2015

Correo electrónico: nestorm@unica.cu

agustinm@unica.cu

yania@unica.cu

Resumen

El trabajo se llevó a cabo en un banco de prueba hidráulico que existe en la estación experimental Tomás Roig, perteneciente a la Universidad Máximo Gómez Báez. Para el estudio se desarrolló el análisis de cuatro tipos de molinos de viento diferentes, es decir, producidos por varias instituciones: ETA de Ciego de Ávila de 85,5 y 75 mm de diámetro del cilindro, el 8.22 TAINO con diámetro del cilindro 85,5 mm y uno mejorado por el CIES y ISPJAE de un diámetro 100 mm de cilindro. Donde se determinaron los parámetros de tendencia del comportamiento del caudal y la eficiencia energética global en función de la velocidad para diferentes valores de alturas de carga o elevación, tomando el molino mejorado de 100 mm de diámetro del cilindro como el mejor y más recomendado, a pesar que el ETA de Ciego Ávila de 87,5 mm de diámetro de cilindro también posee un buen comportamiento, esta tendencia se observa para una altura de carga o elevación 13 m. El análisis se realizó mediante programas de cómputo como el Excel en la elaboración de tablas y gráficas.

Palabras Claves: Abasto, Bombeo Eólico, Eficiencia Energética, Molinos de Vientos.

Abstract

The work you carries out in a hydraulic test bank that Tomás existed in the experimental station Roig, belonging to the University Máximo Gómez Báez. For



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

the study the analysis of four types of different mills of wind was developed, that is to say, taken place by several institutions: ETA of Blind of Ávila 85,5 and 75 mm of diameter of the cylinder, the 8.22 TAINO with diameter of the cylinder 85,5 mm and one improved by the CIES and ISPJAE of a diameter 100 mm of cylinder. Where the parameters of tendency of the behavior of the flow and the global energy efficiency were determined in function of the speed for different values of load heights or elevation, taking the improved mill 100 mm of diameter of the cylinder like the best and more recommended, to weigh that the ETA of Blind Ávila 87,5 mm of cylinder diameter also possesses a good behavior, this tendency is observed for a load height or elevation 13 m. The analysis was carried out by means of computation programs like the Excel in the elaboration of charts and graphic.

Key Word: Supply, Eolian Pumping, Energetic Efficiency, Wind Mills.

1. introducción

Satisfacer las crecientes demandas de agua que exige una sociedad, economía y medio ambiente en perfeccionamiento constituye sin lugar a duda un reto de grandes proporciones, si tenemos en cuenta:

- Que en lo relativo a lo social (Bérriz, 2003):
- El 6% de la población recibe el agua por pipas que son dependientes del combustible;
- Un 16% la posee de fácil acceso (la busca hasta una distancia de 300 m).
- Un 4.5% no posee agua servida.

Que en el abasto agropecuario más de 700 mil bovinos se trasladan al año de sus unidades en la época de seca y se confinan para recibir agua por pipas, con las consiguientes pérdidas de peso vivo, aumento de accidentes, enfermedades y muertes o desnutrición no recuperables (Guillén, 2004).

En relación al clima la frecuencia de año con déficit moderado o severo de lluvias en el acumulado de las precipitaciones se duplicaron entre 1961-90, en



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

comparación con los años 1931-60, lo que redujo el período de retorno de este fenómeno negativo de 5 a 2.5 años, con un aumento simultáneo en la persistencia (Bérriz, 2003). Los años severos aumentaron aún más su frecuencia, de 1 a 4 veces cada 25 años al comparar ambos períodos (Moreno, 2006).

Los aspectos climáticos y económicos señalados, unidos a la reanimación y el perfeccionamiento de la sociedad, de la economía y los cambios en la estructura y tenencia de la tierra que hoy diversifica y amplía la producción, imponen una nueva óptica de desarrollo sostenible para el abasto de agua (Martínez, 2011). En esta vía urge la necesidad de encontrar soluciones apropiadas al abasto de agua en zonas rurales y peri urbanas utilizando Fuente Renovables de Energía (FRE) (Pérez, 2011).

En los últimos años, con motivo de la llamada “crisis energética”, esta tendencia ha ido revirtiéndose en todo el mundo, y se han desarrollado estudios para la aplicación de la energía del viento en distintos usos y para el desarrollo de tecnologías sencillas, susceptibles de ser aplicadas con facilidad en los países en vías de desarrollo (Villarrubia, 2004).

En Cuba, como resultado de la política energética del país, instrumentada por la Comisión Nacional de Energía, se están dando los pasos para introducir de nuevo, en las áreas rurales, la utilización de molinos de viento y desarrollar la construcción en el país de dichos equipos (Novo, 2005).

La cantidad de agua que puede suministrar un molino y la carga hidráulica que desarrolla depende del tamaño del rotor y de la velocidad del viento. Como en todos los lugares no están disponibles los instrumentos requeridos para medir la velocidad del viento, resulta necesario tener una idea de dicha velocidad a través del efecto que el viento produce, sin tener en cuenta los huracanes (www.cujae.edu.cu)



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

Atendiendo a su intensidad, los vientos pueden clasificarse en: flojos, suaves, moderaos, frescos, fuertes, vendavales y vendavales fuertes (García, 1997).

Los molinos de viento deben colocarse, al menos, a unos 4,5 m por encima de los obstáculos que obstruyan el viento, tales como edificios y árboles, en radio de unos 120 m alrededor del emplazamiento del molino (www.eolica.com.br).

Del estudio de las tablas de dos fabricantes reconocidas se puede llegar a la conclusión de que para vientos de 24 km/h (moderados), el caudal en litros por hora (LPH) que puede extraer el molino, con una bomba de pistón, multiplicado por la carga en metros (LPH. m), es una constante que oscila para los molinos con rotores de:

- a) 1,83 m de (10500 - 17000) LPH. M
- b) 2,44 m de (25000 - 29000) LPH. m
- c) 3,05 m de (48000 - 53000) LPH. m
- d) 3,66 m de (83000 - 92000) LPH. M

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se exponen de forma general los métodos fundamentales utilizados para la obtención de cada uno de los resultados de la investigación. Se ofrecen también las ecuaciones matemáticas para la realización de los cálculos correspondientes y se señalan las formas o criterios a seguir para elaborar los resultados experimentales.

Un análisis estadístico ha sido realizado utilizándose para ello las herramientas computacionales STARGAPHICS PLUS y EXELL 2007 con el propósito de obtener las relaciones funcionales entre la velocidad del viento con determinados parámetro de funcionamiento de los modelos de molinos de viento estudiados.

2.1 Evaluación de las características hidráulicas de los molinos de viento.

Localización y tipos de molinos a evaluar



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”
Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

La evaluación en el banco de prueba está constituido por un sistema formado por cuatro tanques de hormigón del tipo UFA elevados 13.0 m de altura, con una capacidad cada uno de 9 000 L, lo cual representa un volumen de almacenamiento de 36 000 L. Cuatro molinos de viento conformado por:

- 1- Dos molinos producidos por el ETA de Ciego de Ávila, uno de ellos con diámetro de cilindro de 87,5 mm con rotor multipala aerodinámico $\alpha = 1,5$ y cilindro de 75 mm.
- 2- Un molino modelo 8.22 TAINO producido por el SIME–Camagüey con diámetro de cilindro de 87,5 mm con rotor multipala tradicional de tipo americano.
- 3- Un molino mejorado por especialistas del Centro de Investigaciones de Energía Solar (CIES) y del Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría (ISPJAE) con diámetro del cilindro de 100,0 mm con un rotor multipala aerodinámico.



Figura 2.1. Funcionamiento de los molinos de viento

Los prototipos tecnológicos objeto de investigación están instalados sobre pozos artesanos directamente, lo cual facilitó el trabajo experimental en condiciones reales de explotación.



Figuras 2.1.1: Molinos de viento tradicionales o molino americano

Determinación de la altura de carga o elevación (H).

Este parámetro se mide en metros por la ecuación siguiente:

$H = DZ + y$ **Dónde:**



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

DZ: Magnitud variable, definida como la altura del terreno hasta el punto de descarga. Pueden lograrse diferentes valores cambiando el punto de descarga. En este caso el conducto de descarga es una manguera flexible, lo cual facilita esta operación sin dificultad.

y: Representa la altura existente entre el terreno y el nivel del manto freático. Mediante su retroalimentación controlada se logró mantener la profundidad del espejo de agua.



Figuras 2.1.2



Figuras 2.1.3

Figuras 2.1.2. Molinos de viento MV-2/9, MV-3/9 y MV-3/9 modificado, que se experimentan desde la década anterior en el polígono de pruebas del Centro Integrado de Tecnología Apropriada (CITA), en Camagüey.

Figuras 2.1.3. Molino de viento Delta, de tipo no convencional, que se identifica por poseer 32 aspas cortas en forma de delta.

2.1.1 Determinación del gasto volumétrico o caudal (Q).

Se utilizó un metro contador de agua o hidrómetro de velocidad, el cual determina el gasto entregado en un intervalo de tiempo dado. Este medidor está compuesto por una turbina, mecanismos para la transmisión del movimiento de la hélice, visor con indicador y/o totalizador, y cuerpo del medidor.

Este instrumento de medición fue instalado a la salida del tubo que conduce desde el pozo hasta donde comienza la manguera de descarga. De acuerdo con las normas se fijó a la distancia de 2 veces el diámetro interior de la tubería, a partir del codo de salida de la tubería.

Considerando la naturaleza del fluido (agua), el rango de caudales a medir, el rango de temperatura del agua, el espacio disponible para la instalación y el rango de presiones, fueron seleccionados por el hidrómetro. El mismo tiene las siguientes características:



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

- Diámetro nominal, 30 mm.
- Volumen máximo, 100 000 m³.
- Precisión, $\pm 0,000 1$ m³.

Con este instrumento se determinó el valor total del flujo de agua en un intervalo de 5 min, y en ese mismo intervalo se determinó la velocidad del viento.

2.2 Mediciones de la velocidad media del viento (v).

La velocidad media del viento (v) se midió en intervalos de 5 min. Se utilizó un anemómetro integrador de copas con las siguientes características:

- ✓ Rango de velocidad, 0 - 100 m/s.
- ✓ Precisión $\pm 0,01$.

La medición se realizó según el siguiente orden:

- ✓ Establecimiento de la altura de carga (H) a través de la fijación del punto de descarga a la salida de la manguera. Esta fue fijada a una sección de la torre del mismo molino.
- ✓ Fijación del embudo de recepción del agua de descarga para que la manguera de descarga derrame el agua en él. Este embudo está unido a otra manguera que conduce el agua de descarga al pozo, a modo de retroalimentación para mantener el nivel del agua constante en el pozo.
- ✓ Lectura del hidrómetro y del anemómetro después del tiempo establecido de 5 min.

2.3 Evaluación Anemométrica.

Los datos de las mediciones anemométricas de tres años fueron adquiridos de la estación climatológica perteneciente al CITMA de Ciego de Ávila, la cual se encuentra relativamente próxima al sitio experimental en la cual la velocidad del viento fue medida con una precisión de 0,1 m/s a una altura de 11,0 m. De cada medición se obtuvo la dirección de viento, obtenida a través de una brújula



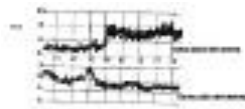
“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

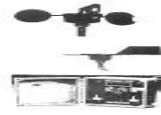
21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

magnética teniéndose como base la línea de referencia indicada por la veleta del molino de viento.

Las mediciones de la velocidad del viento y dirección en las estaciones meteorológicas se realizan de acuerdo a las normas internacionales a 10 metros de altura sobre el nivel del suelo. En las estaciones meteorológicas del Instituto de Meteorología se toman los valores medios de la velocidad del viento, de 3 horas, esto se hace cada 3 horas, es decir 8 veces al día. Lo mismo sucede con la dirección del viento. Los instrumentos empleados para realizar las mediciones de velocidad y dirección del viento, registran constantemente los valores de estos parámetros y los recogen gráficamente, a modo de ejemplo se muestra en la una sección de estos gráficos.



Figuras 2.1.4



Figuras 2.1.5

Figuras 2. 1.4 Registro de las mediciones de una estación meteorológica

Figuras 2.1.5 Estación anemométrica con Data Loggers.

Uno de los resultados más importantes que se puede obtener tanto de las mediciones en estaciones meteorológicas como en estaciones anemométricas móviles, es la distribución de frecuencias de la velocidad del viento, útil para obtener las disponibilidades de energía de los sistemas de aprovechamiento de energía eólica.

2.4 Determinación del caudal del molino de viento.

En función de la velocidad instantánea del viento (v), se determinó el caudal medio (Q) en (l/s), empleándose para ello el método volumétrico y utilizándose los siguientes instrumentos:

- ❖ Recipiente de 10 L.
- ❖ Una probeta graduada de 2 L de capacidad y precisión de 1mm.
- ❖ Cronometro digital de 1s de precisión



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016” Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

3. Resultados y Discusión

Los resultados han sido elaborados en gráficos y tablas, de manera que resulten más comprensibles, realizándose además, una detallada discusión en relación a los mismos, obtenidos por otros autores que han trabajado en esta temática.

3.1 Resultados de la evaluación de las características hidráulicas de los molinos de viento.

De acuerdo con la metodología, para la obtención de las curvas características de los cuatro molinos de vientos evaluados, los parámetros principales medidos fueron los siguientes: velocidad media del viento (v), altura de carga o elevación (H) y el gasto volumétrico (Q).

3.1.1 Resultados de la evaluación hidráulica del molino ETA de Ciego de Ávila, con diámetro de cilindro de 87,5 mm, con rotor multipala aerodinámico.

Valores promediados de los parámetros medidos en el molino de viento ETA de Ciego de Ávila con rotor multipala aerodinámico y diámetro de cilindro de 87,5 mm.

Table with 5 columns: H(m), V(m/s), Q L/min, Pu(W), ηe. It contains 20 rows of data points.

Tabla 3.1 Resultados obtenidos de la relación entre la eficiencia energética global y la velocidad del viento para el molino ETA de Ciego de Ávila, con diámetro de cilindro de 87,5 mm, con rotor multipala aerodinámico.

Como puede observarse en dichas figuras existe una marcada tendencia de disminución de la eficiencia energética global (ηe) con respecto a la velocidad del

viento (v), indicando que el comportamiento del coeficiente de eficiencia



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”
Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

energético global del molino, tiendo un comportamiento similar al del coeficiente de potencia (C_p), de acuerdo con el resultado debemos señalar que los promedios de las mediciones indirectas de potencia útil (P_u) y disponible (P_d) se corresponden con los valores promedios de las mediciones directas y fueron calculados mediante estas. Su relación ha permitido determinar la eficiencia energética global de la instalación (η_e). Es decir que a medida que se incrementa la velocidad del viento, para cada altura de carga la eficiencia disminuye, y los menores valores de la eficiencia ocurren

para la altura de carga menor ($H = 6$ m).

Figura3.1. Resultados obtenidos de la relación entre el caudal y la velocidad del viento para el molino ETA de Ciego de

Ávila, con diámetro de cilindro de 87,5 mm, con rotor multipala aerodinámico.

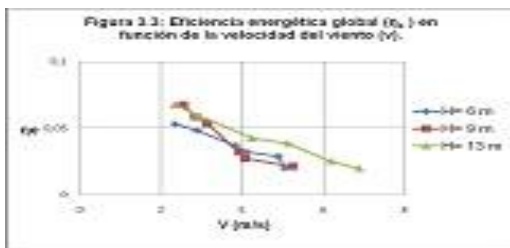
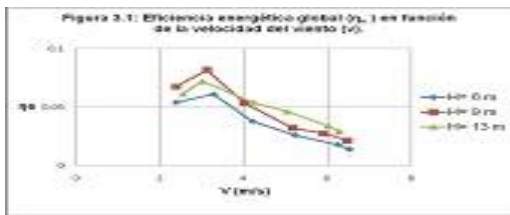


Figura3.2

Del mismo modo el caudal del molino se incrementa en la medida que la velocidad del viento aumenta, llegándose alcanzar valores de 22 L/min cuando la velocidad del viento era de más de 6 m/s, pero no variando de forma lineal, existiendo una tendencia logarítmica, que para las mediciones realizadas en el rango considerado indicó la menor desviación estándar.

Resultados de la evaluación hidráulica del molino ETA de Ciego de Ávila, con diámetro de cilindro de 75 mm, con rotor multipala aerodinámico.

H(m)	V(m/s)	Q(L/min)	Pu(W)	η_e
6	2,34	16	3,12	0,0532
6	2,89	19	3,9200	0,0483



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

Table with 5 columns and 16 rows of numerical data.

Tabla 3.1.1 Resultados obtenidos de la relación entre la eficiencia energética global y la velocidad del viento para el molino ETA de Ciego de Ávila, con diámetro de cilindro de 75 mm.

En la tabla se presentan los resultados de la relación existente en entre la eficiencia energética global (ηe) y la velocidad del viento (v) a los valores de la altura de carga o elevación estudiados. Tiendo un comportamiento similar al del coeficiente de potencia (Cp). Debemos señalar que los promedios de las mediciones indirectas de potencia útil (Pu) y disponible (Pd) se corresponden con los valores promedios de las mediciones directas y fueron calculados mediante estas. Puede observarse que para este molino los valores de ηe= f(v) no tuvo un comportamiento exactamente igual al del molino ETA de Ciego de Ávila con diámetro de 87.5 mm, aunque la tendencia es similar.

Resultados obtenidos de la relación entre el caudal y la velocidad del viento para el molino ETA de Ciego de Ávila, con diámetro de cilindro de 75 mm, con rotor multipala aerodinámico.

En la figura 3.4 se presenta la relación existente entre el caudal (Q) y la velocidad del viento (v) considerando diferentes valores de altura de carga o elevación (H) del molino. Del mismo modo que en el caso anterior el caudal del molino se incrementa en la medida que la velocidad del viento aumenta, llegándose alcanzar valores de hasta 58 L/min cuando la velocidad del viento era de aproximadamente de 6,8 m/s, igualmente no se observa una variación de tipo lineal, sin embargo existiendo una tendencia logarítmica, que para las mediciones realizadas en el rango considerado indicó la menor desviación estándar.

“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”
Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

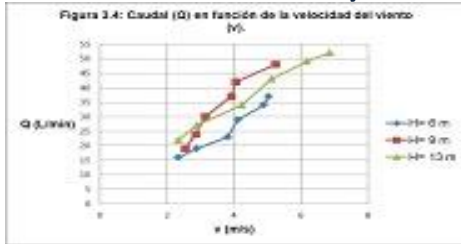


Figura 3.3 Resultados de la evaluación hidráulica del molino modelo 8.22 TAINO con diámetro de cilindro de 87,5 mm, con rotor multipala tradicional de tipo americano.

Tabla 3.1.2 Valores promediados de los parámetros medidos en el molino de modelo 8.22 TAINO con diámetro de cilindro de 87,5 mm con rotor multipala tradicional de tipo americano.

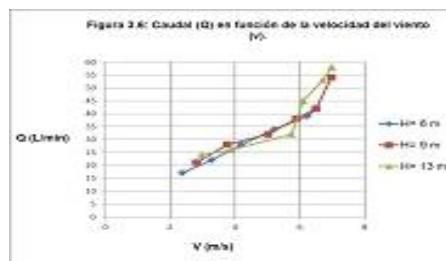
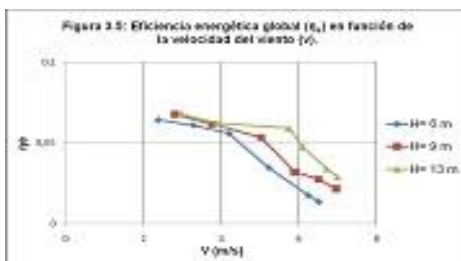
H(m)	V(m/s)	Q(L/min)	Pu(W)	η_e
6	2,38	17	4,66	0,0642
6	3,28	22	12,3500	0,0609
6	4,2	28	14,9	0,0559
6	5,22	34	17,64	0,0346
6	6,24	39	19,88	0,0175
6	6,52	42	22	0,0134
9	2,82	21	6,09	0,0675
9	3,76	28	14,52	0,0616
9	5,02	32	19,4	0,0534
9	5,89	38	26,25	0,032
9	6,5	42	31,15	0,0275
9	6,97	54	34,84	0,0213
13	2,98	24	6,15	0,0677
13	3,9	26	17,08	0,0622
13	5,75	32	24,89	0,0591
13	6,1	45	33,37	0,0476
13	6,72	53	41,13	0,034
13	6,99	58	43,95	0,0289

Resultados obtenidos de la relación entre la eficiencia energética global y la velocidad del viento para el molino modelo 8.22 TAINO con diámetro de cilindro de 87,5 mm, con rotor multipala tradicional de tipo americano.

En la siguiente figura se muestra la relación entre eficiencia energética global (η_e) en función de la velocidad del viento (v), a la carga de altura o elevación consideradas.

Como puede observarse en la citada figura

existe una marcada tendencia de disminución de la eficiencia energética global (η_e) con respecto a la velocidad del viento (v). Es decir, que a medida que se incrementa la velocidad del viento, para cada altura de carga la eficiencia disminuye, y los menores valores de la eficiencia ocurren para la altura de carga de ($H = 6$ m).





“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

Figura3.4

figura3.5

Figura3.4 Resultados obtenidos de la relación entre el caudal y la velocidad del viento para el molino modelo 8.22 TAINO con diámetro de cilindro de 87,5 mm, con rotor multipala tradicional de tipo americano.

En la figura 3.6 se presenta gráficamente la relación entre el caudal (Q) en función de la velocidad del viento (v), considerando distintos valores de altura de carga o elevación (H) del molino. Puede observarse que el caudal se incrementa con la velocidad del viento, el cual dentro del rango de mediciones de velocidades realizadas. Alcanzado valores del caudal de hasta 52 L/min cuando la velocidad del viento era de aproximadamente 7 m/s. los máximos incrementos del caudal se encontraron cuando la altura de carga o elevación era de (H= 13 m).

Figura3.5 Resultados de la evaluación hidráulica del molino mejorado por especialistas del (CIES) y del (ISPJAE) con diámetro del cilindro de 100,0 mm con un rotor multipala aerodinámico.

En la tabla se presentan los resultados de evaluación en valores promediados por intervalos de mediciones de la velocidad del viento y el caudal.

Tabla3.1.3 Valores promediados de los parámetros medidos en el molino mejorado por especialistas del (CIES) y del (ISPJAE) con diámetro del cilindro de 100,0 mm con un rotor multipala aerodinámico.

H(m)	V(m/s)	Q(L/s)	Pu(W)	ηe
6	2,55	22	4,66	0,0642
6	3,59	25	12,3500	0,0609
6	4,56	34	14,9	0,0359
6	5,47	39	17,64	0,0246
6	6,37	43	19,88	0,0175
6	7,2	48	22	0,0134
9	2,74	25	6,09	0,0675
9	3,42	37	14,52	0,0816
9	4,36	41	19,4	0,0534
9	5,72	46	26,25	0,032
9	6,45	50	31,15	0,0275
9	7,2	59	34,84	0,0213
13	2,58	29	5,1	0,0677
13	3,62	36	17,08	0,08226
13	4,58	48	24,89	0,0591



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”
Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

13	5,43	54	33,37	0,0476
13	6,71	59	41,13	0,034
13	7,03	66	43,95	0,0289

3.1.4 Resultados obtenidos de la relación entre la eficiencia energética global y la velocidad del viento para el molino mejorado por especialistas del (CIES) y del (ISPJAE) con diámetro del cilindro de 100,0 mm con un rotor multipala aerodinámico.

la eficiencia energética global y la velocidad del viento para el molino mejorado por especialistas del (CIES) y del (ISPJAE) con diámetro del cilindro de 100,0 mm con un rotor multipala aerodinámico.

En la figura se representa gráficamente la eficiencia energética global (η_e) en función de la velocidad viento del molino analizado (v), existiendo una tendencia de disminución de la eficiencia energética global (η_e) con respecto a la velocidad del viento (v), indicando que el comportamiento del coeficiente de eficiencia energética global del molino, tiendo un comportamiento similar al del coeficiente de potencia (C_p), de acuerdo con el resultado planteado. En otras palabras, en la medida que se incrementa la velocidad del viento, para cada altura de carga la eficiencia disminuye, y los valores más bajos de la eficiencia se corresponden con las menores alturas de carga ($H = 6$ m).

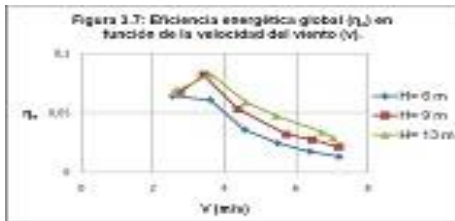


Figura3.6

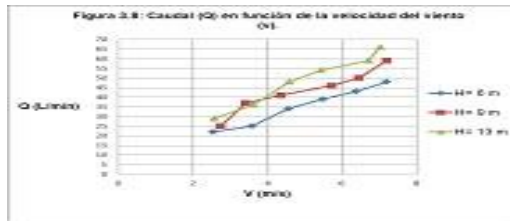


Figura 3.7

figura3.6 Resultados obtenidos de la relación entre el caudal y la velocidad del viento para el molino mejorado por especialistas del (CIES) y del (ISPJAE) con diámetro del cilindro de 100,0 mm con un rotor multipala aerodinámico.

En la figura se muestra la relación existe entre el caudal (Q) en función de la velocidad del viento (v). Puede observarse que existen incrementos del caudal a medida que la velocidad aumenta. Tendencia esta que ha sido similar para los demás casos estudiados. Se obtuvieron valores máximos del caudal de 26 L/min



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

cuando la velocidad del viento era de 7.3 m/s, cuando la altura era de unos $H=6$ m.

Figura 3.7 valores máximos del caudal de 26 L/min cuando la velocidad del viento era de 7.3 m/s, cuando la altura era de unos $H=6$ m.

Conclusiones

1. Las curvas características de los cuatro molinos de viento evaluados manifiestan una tendencia de disminución de la eficiencia energética global en la medida que la velocidad del viento se incrementa, para las cargas de altura o elevación de $H=6$, 9 y 13 m. Comportamiento este similar con los reportados por la literatura especializada.
2. El caudal de cada molino de viento se incrementa, no variando de forma lineal, existiendo una tendencia logarítmica, para las mediciones realizadas en el rango considerado.
3. El molino mejorado por especialistas del (CIES) y del (ISPJAE) con diámetro del cilindro de 100,0 mm con un rotor multipala aerodinámico, es que ha tenido el mejor desempeño en relación a la eficiencia energética global y el caudal entregado para diferentes velocidades del viento.

Bibliografía

1. **Guillén Solís, Omar, (ene.-mar., 2004):** «Herramientas de análisis para simulación de sistemas híbridos», en Eco Solar (7). ISSN 1028-6004.
2. **Moreno Figueredo, Conrado, (ene.-mar., 2006):** «Calcular la energía», en Energía y tú (33): 34-36. ISSN 1028-9925. Tel. (537) 2605060. E-mail: conrado@ceter.ispjae.edu.cu.
3. **Leopoldo Gallardo, Quiñones, (2004):** Tecnologías apropiadas para el abasto de agua. Especificaciones Técnicas. Camagüey: Centro Integrado de Tecnología Apropiada. 32 pp.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

4. **Martínez Torres, Julio, (2011):** Análisis de Energía y Tecnologías de Avanzada. Observatorio Cubano de Ciencia y Tecnología (OCC y T-ACC).
7. **Pérez Torres, Ricardo, (2011):** Análisis de la Economía en Cuba. Centro de Estudios de la Economía Cubana (CEEC) de la Universidad de La Habana (UH).
5. **Novo Meseгуé, Raúl, (4-11, oct.-dic., 2005):** «El viento en Cuba», en *Energía y tú* (32). ISSN 1028-9925.
6. **Soltura Morales, Rolando, (2004):** Evaluación del potencial eólico de Cuba. La Habana: Instituto de Meteorología.
7. **Novo Meseгуé, Raúl (15, abr.-jun., 2002):** «Parque eólico de Turiguanó», en *Energía y tú* (18): ISSN 1028-9925
8. **Menéndez González, Mercedes, (2001):** «Diseño de sistemas híbridos eólico-fotovoltaicos para la generación de electricidad en instalaciones autosustentables de pequeña capacidad en Cuba». Tesis para optar por el grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Tutor: Dr. Antonio Sarmiento Sera. La Habana: Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. 125 pp.
9. **Moreno Figueredo, Conrado, (2008):** Energía eólica. Centro de Estudios de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER). CUBASOLAR Tel. (537) 2605060. E-mail: conrado@ceter.ispjae.edu.cu
10. **Saldaña F., Ricardo y Gonzáles G., Raúl, (2004):** La energía eólica. Uso, planificaciones y desarrollo en México.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”
Multidisciplinario
21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México