

PUESTA EN MARCHA, MEDICIONES Y RENDIMIENTOS DE UN PROTOTIPO DE MOLINO DE EJE VERTICAL CON GEOMETRÍA VARIABLE

Víctor Rodrigo¹, Javier A. Carletto², Rafael Rodrigo³.

Laboratorio de Energías Alternativas-Facultad de Ingeniería y Ciencias Económico Sociales-Universidad Nacional de San Luís

Ruta Nacional 148 S/N Ext. Norte – CP.5730 -Villa Mercedes San Luís.

Tel. 02657 - 434545 – 437890 – 430947 – 426367 - Int. 169

e-mail: rodrigo@fices.unsl.edu.ar – jcarletto@fices.unsl.edu.ar – rrodrigo@fices.unsl.edu.ar

RESUMEN: La finalidad perseguida por este trabajo, es obtener mediante mediciones prácticas, con un prototipo a escala de un Molino de Eje Vertical con Geometría Variable, la potencia motriz real disponible en el eje y así compararla con los resultados obtenidos en forma teórica. Esta máquina transformadora de energía es impulsada por el viento, el par motor se logra por la fuerza que produce el mismo en sus paletas móviles, con el objeto de aprovechar energías renovables y no contaminantes. El viento ejerce fuerzas aprovechables al máximo en las paletas dispuestas en tal sentido gracias a su geometría variable, siendo totalmente despreciable la resistencia de las paletas opuestas que modifican su posición cuando no corresponde recibir de frente la fuerza del viento. Esta máquina no requiere de dispositivo orientador (cola) que ordenen la dirección adecuada para enfrentar al viento su rueda motriz, debido a que su geometría variable permite aprovechar la fuerza del viento cualquiera sea su dirección.

Palabra Claves: Molino, Eje Vertical, Geometría Variable, Energía Renovable, Viento.

INTRODUCCION

El Molino de Eje Vertical con Geometría Variable tiene la característica de poseer siempre una de sus aspas enfrentadas al viento y con la mínima brisa comienza a girar. Si el viento cambiase de dirección, este molino continúa girando sin cambios bruscos en su velocidad. Figura 1.

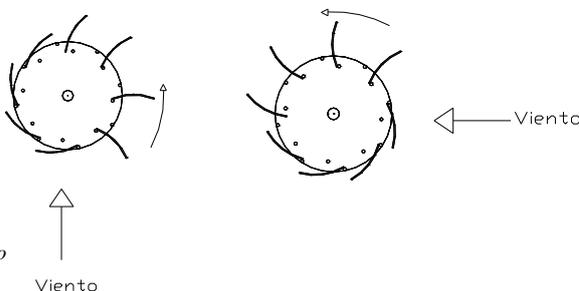


Figura 1: Incidencia del viento sobre el Molino

Introducción:

Este trabajo consiste en la puesta en marcha y medición de la potencia, y cálculo del rendimiento de un prototipo de molino de eje vertical con geometría variable. Del cual ya se realizaron los cálculos teóricos en el trabajo “Análisis Teórico de las Fuerzas Actuantes sobre un Molino de Eje Vertical con Geometría Variable”.

Se realizan una serie de mediciones, durante 5 días distintos. Con los datos obtenidos de velocidad de rotación del molino con un tacómetro y la velocidad del viento, con la medición de una estación meteorológica, se obtienen los datos del TSR (Tip-Speed Ratio) (Proporción de Velocidad en Punta de Aspa).

Utilizando la ecuación de la potencia del trabajo anterior:

$$P = \frac{\sqrt{2}}{2} \rho L r c_1^3 (2\lambda - \lambda^2) \quad (1)$$

Luego se compara este valor con la potencia real entregada por el prototipo, y se calcula el rendimiento teórico, una relación entre la potencia real y teórica, que se aproxima al 50%.

Después se busca una relación entre la potencia real que entrega el prototipo y la potencia disponible del viento en esa área de acción, esto nos da como resultado un rendimiento real del prototipo que ronda el 20%.

¹ Profesor Titular Mecánica Racional y Mecánica de los Fluidos FICES UNSL

² Profesor Adjunto Computación FICES UNSL

³ Jefe de Trabajo Práctico Física FICES UNSL

CALCULO PRACTICOS Y MEDICIONES

Las mediciones se realizaron en el Laboratorio de Energías Alternativas de la FICES, se midió con un anemómetro la velocidad del viento, que en esta primera medición su magnitud estuvo comprendida entre los 16 Km/h y los 29 Km/h. y con un medidor de revoluciones se midió las vueltas por minuto que llevaba el molino para estos vientos. Este aparato nos mostraba las Rpm máximas y las Rpm mínimas.

Teniendo el número de vueltas del molino se pudo calcular la velocidad angular del mismo con la ecuación siguiente:

$$w = \frac{(2 * \pi * n)}{60} \tag{2}$$

w = Velocidad angular del Molino [1/seg.]
n = Numero de revoluciones por minuto [Rpm]

Una vez calculada la velocidad angular, con el radio en punta de aspa se calculó la velocidad tangencial del Molino utilizando la siguiente formula:

$$V = w * r \tag{3}$$

V = Velocidad tangencial del Molino [m/s]
r = Radio en punta de aspa [m]

Entonces conociendo la velocidad del viento, medida con el anemómetro, y la velocidad tangencial de Molino, calculada anteriormente, se obtuvo el valor del TSR que oscila entre 0,2275 y 0,2590 debido a la variación del viento.

$$TSR = \frac{V}{V_V} \tag{4}$$

V = Velocidad tangencial del Molino. [m/s]
V_V = Velocidad del viento. [m/s]

PRIMER DIA DE MEDICION

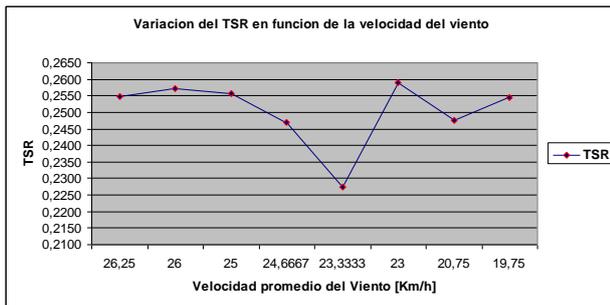


Gráfico 1: TSR del primer día de medición.

Se puede observar claramente en el gráfico la variación entre 0,2275 y 0,2590 del TSR y la variación de la velocidad del viento entre 19,75 Km/h y 26,25 Km/h. Esto quiere decir que el TSR promedio fue de 0,2504 y la velocidad promedio de 23,59 Km/h.

Con estos valores del TSR y de la velocidad podemos obtener y graficar la variación de la potencia y la cupla para esta primera medición:

Vel. Viento Km/h	TSR	CUPLA MOTRIZ	POTENCIA
		Cm [Nm]	P [W]
26,25	0,2549	0,362	4,481
26,00	0,2571	0,354	4,387
25,00	0,2556	0,328	3,880
24,67	0,2469	0,321	3,618
23,33	0,2275	0,290	2,853
23,00	0,2590	0,277	3,056
20,75	0,2476	0,227	2,159
19,75	0,2546	0,205	1,907

Tabla 1: TSR, Cupla y Potencia

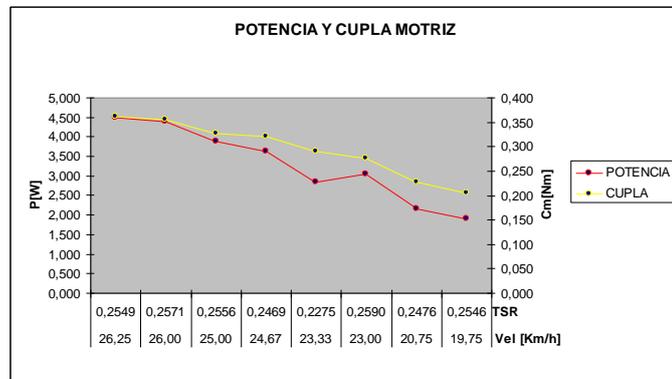


Gráfico 2: Cupla y Potencia en función del TSR y velocidad del viento

SEGUNDO DIA DE MEDICION

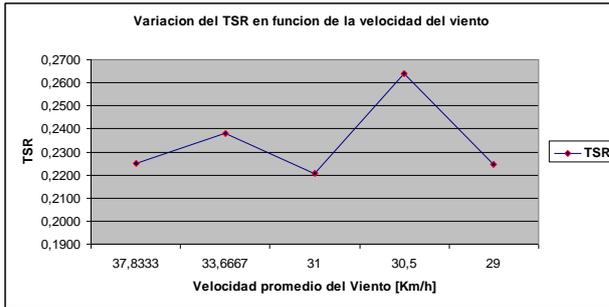


Gráfico 3: Segundo día de Medición

TSR varía entre 0,2208 y 0,2640 y la velocidad del viento entre 29 Km/h y 37,833 Km/h. Esto quiere decir que el TSR promedio fue de 0,2345 y la velocidad promedio de 32,4 Km/h

Con estos valores del TSR y de la velocidad podemos obtener y graficar la variación de la potencia y la cupla para esta segunda medición:

Vel. Viento Km/h	TSR	CUPLA MOTRIZ Cm [Nm]	POTENCIA P [W]
37,83	0,2251	0,764	12,051
33,67	0,2381	0,601	8,916
31,00	0,2208	0,514	6,518
30,50	0,2640	0,486	7,242
29,00	0,2245	0,449	5,415

Tabla 2: TSR, Cupla y Potencia

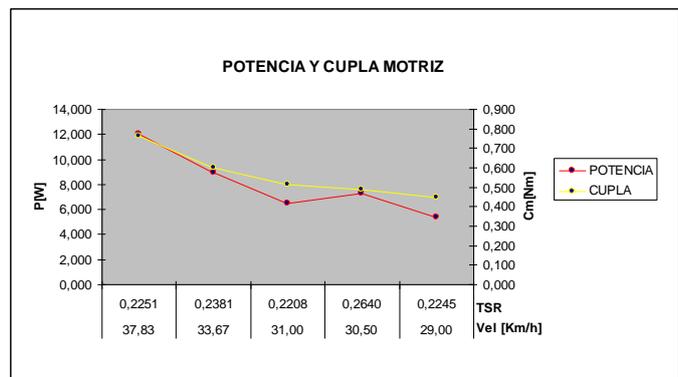


Gráfico 4: Cupla y Potencia en función del TSR y velocidad del viento

TERCER DIA DE MEDICION

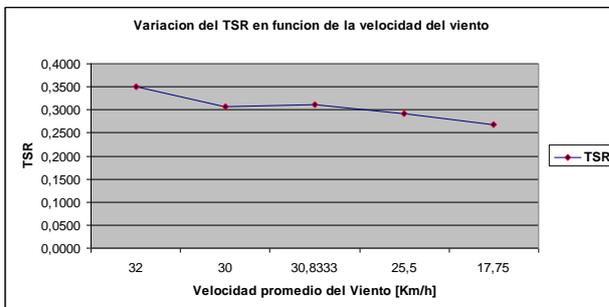


Gráfico 5: Tercer día de Medición

TSR varía entre 0,2673 y 0,3503 y la velocidad del viento entre 17,75 Km/h y 32 Km/h. Esto quiere decir que el TSR promedio fue de 0,3053 y la velocidad promedio de 27,216 Km/h

Con estos valores del TSR y de la velocidad podemos obtener y graficar la variación de la potencia y la cupla para esta Tercera medición:

Vel. Viento Km/h	TSR	CUPLA MOTRIZ Cm [Nm]	POTENCIA P [W]
32,00	0,3503	0,508	10,547
30,83	0,3079	0,484	8,506
30,00	0,3103	0,457	7,885
25,50	0,2909	0,334	4,592
17,75	0,2673	0,164	1,443

Tabla 3: TSR, Cupla y Potencia

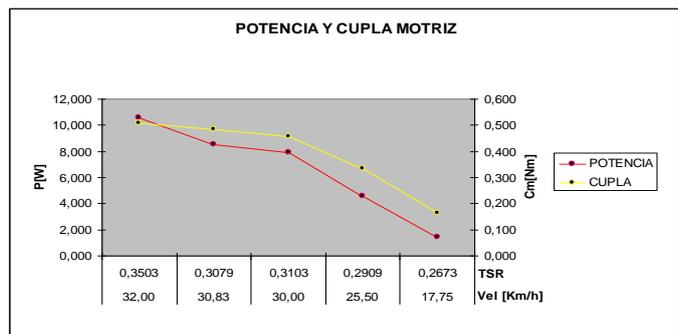


Gráfico 6: Cupla y Potencia en función del TSR y velocidad del viento

CUARTO DIA DE MEDICION

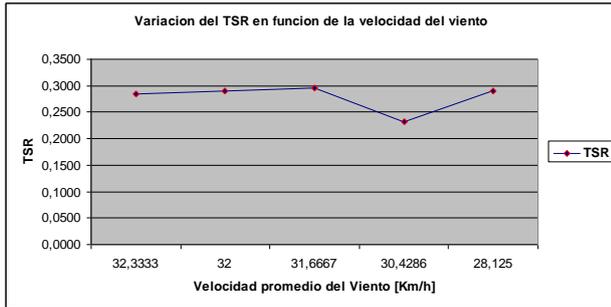


Gráfico 7: Cuarto día de Medición

TSR varía entre 0,2330 y 0,2955 y la velocidad del viento entre 28,125 Km/h y 32,33 Km/h. Esto quiere decir que el TSR promedio fue de 0,2784 y la velocidad promedio de 30,91 Km/h. Con estos valores del TSR y de la velocidad podemos obtener y graficar la variación de la potencia y la cupla para esta cuarta medición:

Vel. Viento Km/h	TSR	CUPLA MOTRIZ Cm [Nm]	POTENCIA P [W]
32,33	0,2837	0,540	9,167
32,00	0,2898	0,527	9,045
31,67	0,2955	0,514	8,908
30,43	0,2330	0,492	6,461
28,13	0,2904	0,407	6,152

Tabla 4: TSR, Cupla y Potencia

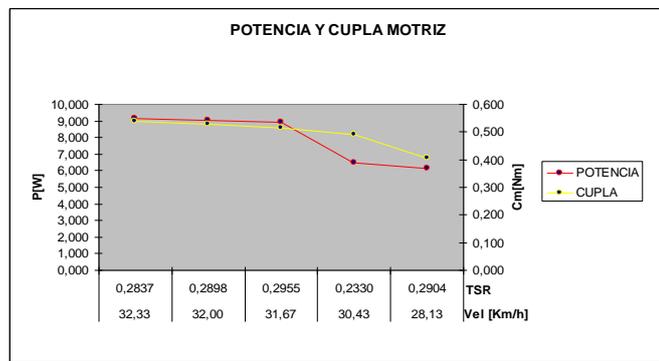


Gráfico 8: Cupla y Potencia en función del TSR y velocidad del viento

QUINTO DIA DE MEDICION

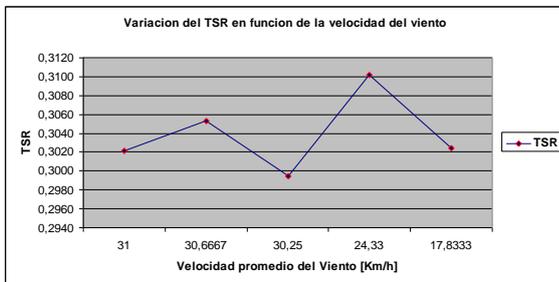


Gráfico 9: Quinto día de Medición

TSR varía entre 0,2995 y 0,3102 y la velocidad del viento entre 17,83Km/h y 31 Km/h. Esto quiere decir que el TSR promedio fue de 0,3039 y la velocidad promedio de 26,81 Km/h. Con estos valores del TSR y de la velocidad podemos obtener y graficar la variación de la potencia y la cupla para esta quinta medición:

Vel. Viento Km/h	TSR	CUPLA MOTRIZ Cm [Nm]	POTENCIA P [W]
31,00	0,3021	0,491	8,511
30,67	0,3005	0,481	8,204
30,25	0,2995	0,468	7,852
24,33	0,3102	0,301	4,206
17,83	0,3024	0,162	1,622

Tabla 5: TSR, Cupla y Potencia

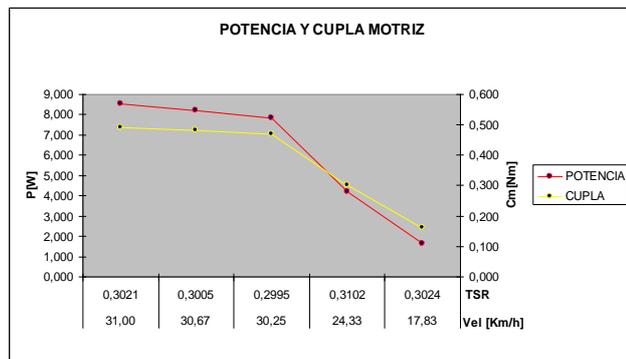


Gráfico 10: Cupla y Potencia en función del TSR y velocidad del viento

Con estas cinco mediciones podemos calcular un promedio de la potencia y de la cupla para cada una de ellas y un promedio general.

Para la primera medición los promedios de la potencia y la cupla fueron: $\left\{ \begin{array}{l} \text{Potencia promedio: } 3,2926 \text{ W} \\ \text{Cupla promedio: } 0,2955 \text{ Nm} \end{array} \right.$

Para la segunda medición los promedios de la potencia y la cupla fueron: $\left\{ \begin{array}{l} \text{Potencia promedio: } 8,0284 \text{ W} \\ \text{Cupla promedio: } 0,5628 \text{ Nm} \end{array} \right.$

Para la tercera medición los promedios de la potencia y la cupla fueron: $\left\{ \begin{array}{l} \text{Potencia promedio: } 6,5946 \text{ W} \\ \text{Cupla promedio: } 0,3894 \text{ Nm} \end{array} \right.$

Para la cuarta medición los promedios de la potencia y la cupla fueron: $\left\{ \begin{array}{l} \text{Potencia promedio: } 7,9466 \text{ W} \\ \text{Cupla promedio: } 0,4960 \text{ Nm} \end{array} \right.$

Para la quinta medición los promedios de la potencia y la cupla fueron: $\left\{ \begin{array}{l} \text{Potencia promedio: } 6,079 \text{ W} \\ \text{Cupla promedio: } 0,3806 \text{ Nm} \end{array} \right.$

Promedio general de la potencia y de la cupla: $\left\{ \begin{array}{l} \text{Potencia promedio: } 6,390 \text{ W} \\ \text{Cupla promedio: } 0,4248 \text{ Nm} \end{array} \right.$

Con esto se demuestra que este prototipo tiene una potencia teórica de aproximadamente de 6,4 W y una cupla teórica de 0,42 Nm.

A continuación calculamos la potencia real del molino para compararla con los valores teóricos y así poder encontrar su rendimiento.

Las mediciones de la potencia se realizaron en forma teórica midiendo las masas de cada una de las partes del molino con dos balanzas de precisión, una de ellas de comparación, con una precisión de 100 mg, capacidad máxima 100 g y capacidad mínima 5 g, que se utilizó para las pequeñas partes y la otra una balanza digital que se utilizó para las demás partes, capacidad mínima 10 g, capacidad máxima 1000 g y precisión 200 mg.

Elementos	Masa Unitario [g]	Cantidad	Masa Total [g]
Aspas	125	8	1000
Eje	710	1	710
Tensores	11,25	8	90
Tuercas y arandelas	100	4	400
Crapodinas	30	8	240
Discos	310	2	620
Eje de las aspas	45	8	360
Rodamientos	68	2	136
			Masa Total: 3556

Tabla 6: Masas de los elementos del Molino

Con cada uno de las masas se calculó la inercia de rotación respecto al centro de giro del Molino con la siguiente formula:

$$I = mr^2 \text{ [Kg m}^2\text{]} \quad (5)$$

m = masa puntual en Kg.

r = radio al centro de giro en metros.

Para los discos la inercia de rotación es: $I = \frac{1}{2}mr^2 \text{ [Kg m}^2\text{]} \quad (6)$

Para el eje central, tuercas y rodamientos la inercia de rotación es: $I = \frac{m}{2}(r_1^2 + r_2^2) \text{ [Kg m}^2\text{]} \quad (7)$

Elementos	Masa [Kg.]	Radio [m]	Inercia de Rotación [Kgm2]	Cantidad	Inercia de Rotación Total [Kgm2]
Aspas	0,125	0,135	0,002278125	8	0,018225
Eje	0,71	Int: 0,0158 Ext: 0,0215	0,000252721	1	0,000252721
Tensores	0,1125	0,115	0,001487813	8	0,0119025
Tuercas y aran.	0,1	Int: 0,0215 Ext: 0,0365	0,000089725	4	0,0003589
Crapodinas	0,03	0,135	0,00054675	8	0,004374
Discos	0,31	0,15	0,006975	2	0,01395
Eje de las aspas	0,045	0,135	0,000820125	8	0,006561
Rodamientos	0,068	Int: 0,0200 Ext: 0,042	0,000073576	2	0,000147152
					0,055771273

Tabla 7: Inercia de Rotación de los elementos del Molino

En el quinto día de medición, en el cual las ráfagas de viento se mantenían aproximadamente en un valor de 30 Km/h, se midió el tiempo que demora el rotor en alcanzar, desde reposo a la velocidad máxima constante, para cada medición.

	Velocidad del Viento		Vientos promedios		RPM Max.	RPM min.	RPM Prom.	w	V		Tiempo
	[Km/h]	[m/s]	[Km/h]	[m/s]					[m/s]	[Km/h]	
1°	28,00	7,78	31,00	8,61	119,0	68,7	93,85	9,82	2,60	9,36	1,310
	31,00	8,61									
	24,00	6,67									
	35,00	9,72									
	37,00	10,28									
2°	32,00	8,89	30,67	8,52	126,4	61,3	93,85	9,82	2,60	9,36	1,338
	28,00	7,78									
	33,00	9,17									
	31,00	8,61									
	34,00	9,44									
3°	26,00	7,22	30,25	8,40	110,4	71,2	90,80	9,50	2,52	9,06	1,332
	35,00	9,72									
	31,00	8,61									
	29,00	8,06									
	26,00	7,22									

Tabla 8: Tiempo del rotor en alcanzar la velocidad promedio

Se trabajo solo con las tres primeras mediciones del quinto día debido a que en ellas el viento se mantuvo más constante. Se calcula la potencia del Molino y del viento para cada una de ellas y luego se toma el promedio de estas tres mediciones. Con este tiempo y con la velocidad angular calculamos la aceleración angular α con la siguiente formula:

$$\alpha = \frac{w_f - w_i}{t} \left[\frac{1}{s^2} \right] \quad (8)$$

w_f = Velocidad angular final [1/s]

w_i = Velocidad angular inicial [1/s]

t = Tiempo en segundos, transcurrido entre la velocidad angular inicial y final.

$$1^\circ \text{ Medición: } \alpha_1 = \frac{w_{f1} - w_{i1}}{t_1} \Rightarrow \alpha_1 = \frac{9,82 - 0}{1,31} \Rightarrow \alpha_1 = 7,496 \frac{1}{s^2}$$

$$2^\circ \text{ Medición: } \alpha_2 = \frac{w_{f2} - w_{i2}}{t_2} \Rightarrow \alpha_2 = \frac{9,82 - 0}{1,338} \Rightarrow \alpha_2 = 7,339 \frac{1}{s^2}$$

$$3^\circ \text{ Medición: } \alpha_3 = \frac{w_{f3} - w_{i3}}{t_3} \Rightarrow \alpha_3 = \frac{9,5 - 0}{1,332} \Rightarrow \alpha_3 = 7,132 \frac{1}{s^2}$$

Con cada una de estas aceleraciones angulares (α) y con la Inercia de rotación (I) calculamos la cupla real del Molino.

Con la siguiente formula: $C_{Real} = I \alpha$ [Nm] (9)

$$1^\circ \text{ Medición: } C_{Real1} = I \alpha_1 \Rightarrow C_{Real1} = 0,05577 * 7,496 \Rightarrow C_{Real1} = 0,418 \text{ [Nm]}$$

$$2^\circ \text{ Medición: } C_{Real2} = I \alpha_2 \Rightarrow C_{Real2} = 0,05577 * 7,339 \Rightarrow C_{Real2} = 0,4092 \text{ [Nm]}$$

$$3^\circ \text{ Medición: } C_{Real3} = I \alpha_3 \Rightarrow C_{Real3} = 0,05577 * 7,132 \Rightarrow C_{Real3} = 0,3977 \text{ [Nm]}$$

Con el valor de la cupla real (C_{Real}) y con la velocidad angular (w) calculamos la potencia real que entrega el Molino.

Utilizando la siguiente formula: $P_{Real} = C_{Real} w$ [W] (10)

$$1^\circ \text{ Medición: } P_{Real1} = C_{Real1} w_1 \Rightarrow P_{Real1} = 0,418 * 9,82 \Rightarrow P_{Real1} = 4,1047 \text{ [W]}$$

$$2^\circ \text{ Medición: } P_{Real2} = C_{Real2} w_2 \Rightarrow P_{Real2} = 0,4092 * 9,82 \Rightarrow P_{Real2} = 4,0183 \text{ [W]}$$

$$3^\circ \text{ Medición: } P_{Real3} = C_{Real3} w_3 \Rightarrow P_{Real3} = 0,3977 * 9,50 \Rightarrow P_{Real3} = 3,7781 \text{ [W]}$$

Con la potencia teórica de ese quinto día y la potencia real, encontramos la relación que existe entre ellas:

$$\varepsilon = \frac{P_{Real}}{P_{Teorica}} \times 100 \quad (11)$$

Recordamos los valores teóricos obtenidos en la medición:

Vel. Viento	TSR	CUPLA MOTRIZ	POTENCIA
Km/h		Cm [Nm]	P [W]
31,00	0,3021	0,491	8,511
30,67	0,3005	0,481	8,204
30,25	0,2995	0,468	7,852

Tabla 9: TSR, Cupla y Potencia del quinto día de medición

$$\varepsilon_1 = \frac{P_{Real1}}{P_{Teorica1}} \times 100 \Rightarrow \varepsilon_1 = \frac{4,1047}{8,511} \times 100 \Rightarrow \varepsilon_1 = 48,002\%$$

Esto quiere decir que en esta primera medición, la potencia real es un 48 % de la potencia teórica.

$$\varepsilon_2 = \frac{P_{Real2}}{P_{Teorica2}} \times 100 \Rightarrow \varepsilon_2 = \frac{4,0183}{8,204} \times 100 \Rightarrow \varepsilon_2 = 48,979\%$$

Esto quiere decir que en esta segunda medición, la potencia real es un 48,9 % de la potencia teórica.

$$\varepsilon_3 = \frac{P_{Real3}}{P_{Teorica3}} \times 100 \Rightarrow \varepsilon_3 = \frac{3,7781}{7,852} \times 100 \Rightarrow \varepsilon_3 = 48,116\%$$

Esto quiere decir que en esta tercera medición, la potencia real es un 48,11 % de la potencia teórica.

La potencia que el viento le entrega al molino sale del siguiente análisis:

La energía del viento es una consecuencia de la energía cinética de las partículas del aire en movimiento. La energía cinética es igual a:

$$E_c = \frac{1}{2} mV^2 \text{ [Joule]} \quad (12)$$

Donde m es la masa de las partículas del aire y V la velocidad de las mismas. A su vez, la masa que atraviesa una sección A , perpendicular a la dirección del viento, es: $m = \rho A l$ [Kg]

Donde ρ es la densidad del aire y l el desplazamiento de las partículas. Consecuentemente, la energía cinética que pasa por A en la unidad de tiempo es la potencia disponible en el viento.

$$P_d = \frac{1}{2} \rho A V V^2 \text{ [Watts]} \Rightarrow P_d = \frac{1}{2} \rho A V^3 \text{ [Watts]} \quad (13)$$

Considerando $\rho = 1,225 \text{ Kg} / \text{m}^3$ en la atmósfera Standard a nivel del mar y el área A sale de: $A = r_{Pa} * h \text{ [m}^2 \text{]}$

Donde h es la altura del rotor y r_{Pa} es el radio en punta de aspa, que esta formado por el radio del rotor del molino y el largo del aspa.

$$A = 0,2648 * 0,2 \Rightarrow A = 0,05296 \text{ [m}^2 \text{]}$$

$$\text{De esta manera la potencia que el viento entrega para cada medición es: } P_d = \frac{1}{2} \rho A V^3 \text{ [Watts]} \quad (14)$$

$$A = 0,05296 \text{ m}^2$$

$$\rho = 1,225 \text{ Kg/m}^3$$

	Velocidad del Viento		Vientos promedios		Potencia del viento [Watts]	Potencia Real Molino [Watts]
	[Km/h]	[m/s]	[Km/h]	[m/s]		
1°	28,00	7,78	31,00	8,61	20,712	4,1047
	31,00	8,61				
	24,00	6,67				
	35,00	9,72				
	37,00	10,28				
2°	32,00	8,89	30,67	8,52	20,051	4,0183
	28,00	7,78				
	33,00	9,17				
	31,00	8,61				
	34,00	9,44				
3°	26,00	7,22	30,25	8,40	19,245	3,7781
	35,00	9,72				
	31,00	8,61				
	29,00	8,06				
	26,00	7,22				

Tabla 10: Potencia disponible del viento y Potencia entregada por el Molino

$$1^\circ \text{ Medición: } P_{d1} = \frac{1}{2} \rho A V_1^3 \Rightarrow P_{d1} = \frac{1}{2} * 1,225 * 0,05296 * 8,61^3 \Rightarrow P_{d1} = 20,712 \text{ [Watts]}$$

$$2^\circ \text{ Medición: } P_{d2} = \frac{1}{2} \rho A V_2^3 \Rightarrow P_{d2} = \frac{1}{2} * 1,225 * 0,05296 * 8,52^3 \Rightarrow P_{d2} = 20,051 \text{ [Watts]}$$

$$3^\circ \text{ Medición: } P_{d3} = \frac{1}{2} \rho A V_3^3 \Rightarrow P_{d3} = \frac{1}{2} * 1,225 * 0,05296 * 8,4^3 \Rightarrow P_{d3} = 19,245 \text{ [Watts]}$$

Con la potencia que el viento entrega y la potencia real del molino, calculada anteriormente, calcularemos el rendimiento del molino.

$$\eta = \frac{P_{Real}}{P_d} \times 100 \quad (15)$$

Calcularemos el rendimiento para cada medición, para poder luego calcular un promedio.

$$1^\circ \text{ Medición: } \eta_1 = \frac{4,1047}{20,712} \times 100 \Rightarrow \eta_1 = 19,817\%$$

$$2^\circ \text{ Medición: } \eta_2 = \frac{4,0183}{20,051} \times 100 \Rightarrow \eta_2 = 20,040\%$$

$$3^\circ \text{ Medición: } \eta_3 = \frac{3,7781}{19,245} \times 100 \Rightarrow \eta_3 = 19,631\%$$

Esto quiere decir que para estas mediciones el rendimiento promedio esta en el orden del 19,82%.

CONCLUSIONES

Con el siguiente estudio se obtiene la potencia real y la cupla motriz sobre este **Molino de Eje Vertical de Geometría Variable**.

Basándose en las mediciones prácticas de un prototipo fabricado a escala, se llega a la conclusión de que su potencia no es un valor elevado, pero tiene la característica de mantenerse constante ante grandes variaciones de la velocidad del flujo de aire, y la posibilidad de comenzar a trabajar con la mínima brisa.

Otras de las ventajas es que puede funcionar con vientos de gran velocidad sin comprometer ningunas de sus partes constructivas, y obtener una buena potencia sobre la base de su alta cupla motriz. Por esto y el punto anteriormente mencionado este Molino de Eje Vertical con Geometría Variable trabaja con potencias relativamente constante ante una gran gama de velocidades de vientos.

ABSTRACT: The objective of this project is to obtain through direct measures the power produced by the vertical shaft of a geometrically variable windmill. The energy is produced by the rotation of a rotor, driven by wind, which is a non-contaminating renewable form of energy. The geometrical variability of the rotor's flaps enables the mill to maximize the wind's force, due to the rotor's very low resistance, because of the fact that the flaps alter their position when not blown on. No guiding device or tail is needed on this kind of mill, due to its horizontal rotation. This enables the mill's rotor to rotate no matter where the wind is blowing from.

Key Words: Windmill, vertical shaft, geometrically variable, renewable energy source, wind.