

## ANALISIS TEORICO DE LAS FUERZAS ACTUANTES SOBRE UN MOLINO DE EJE VERTICAL CON GEOMETRIA VARIABLE Y LEVA CONDUCTORA

Víctor Rodrigo<sup>1</sup>, Luis R. Mercuri<sup>2</sup>, Lucas Rodrigo<sup>3</sup>, Omar Masini<sup>4</sup>, Rafael Rodrigo<sup>5</sup>, Javier Carletto<sup>6</sup>, Mario Bergoglio<sup>7</sup>, Luis Paz<sup>8</sup>, Carlos Medaglia<sup>9</sup>, Dante Savarino<sup>10</sup>.  
Laboratorio de Energías Alternativas-Facultad de Ingeniería y Ciencias Económico Sociales-Univ. Nac. de San Luis  
Ruta Nacional 148 S/N Ext. Norte – CP.5730 -Villa Mercedes San Luis.  
Tel. 02657 - 434545 – 437890 – 430947 – 426367 - Int. 169  
e-mail: [rodrigo@fices.unsl.edu.ar](mailto:rodrigo@fices.unsl.edu.ar) – [lmercuri@fices.unsl.edu.ar](mailto:lmercuri@fices.unsl.edu.ar) – [rrodrigo@fices.unsl.edu.ar](mailto:rrodrigo@fices.unsl.edu.ar)

**RESUMEN:** La finalidad de este trabajo es, mediante análisis teórico, obtener la potencia motriz disponible en el eje de un Molino de Viento de Eje Vertical con Geometría Variable y Leva conductora. Esta máquina transformadora de energía es propulsada por el viento y el par motor es obtenido por la acción que éste produce sobre las paletas móviles. La fuerza del viento actúa en forma eficiente sobre las palas gracias a la geometría variable producida por la leva conductora, siendo prácticamente despreciable la resistencia de las paletas opuestas que modifican su posición para no recibir de dicha fuerza. Esta máquina no presenta golpes al abrir y cerrar cada una de sus palas debido a que siguen el recorrido impuesto por la leva, que está siempre orientada por la cola, de modo que cada pala se enfrente al viento y se cierre en el momento oportuno.

**Palabras Claves:** Molino, Eje Vertical, Geometría Variable, Energía Renovable, Leva conductora, Viento.

### INTRODUCCION

El Molino de Eje Vertical con Geometría Variable y Leva conductora tiene la característica de poseer siempre una de sus aspas enfrentadas al viento y las restantes cerradas para no ofrecer resistencia. Esto permite que con la mínima brisa comience a girar. Si el viento cambiase de dirección, la cola orienta la leva en la posición correcta y el molino continúa girando sin cambios bruscos en su velocidad. Fig. 1

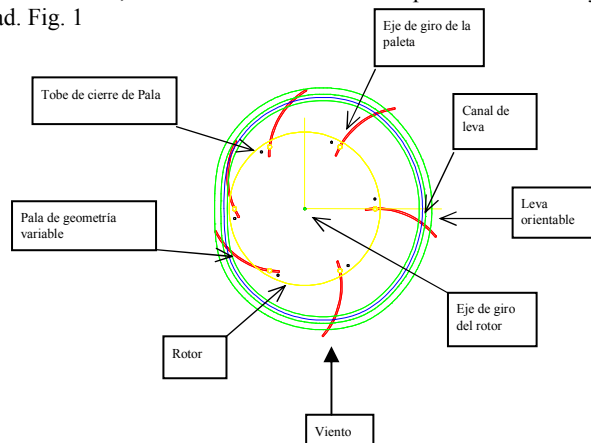


Figura 1: Molino de Eje Vertical con Geometría Variable y Leva conductora

Este sistema mencionado permite con un costo cero en combustible, distintas aplicaciones en el campo o la industria, por sus características, presentando un elevado rendimiento. Entre las ventajas se pueden mencionar, los elementos que requieren un cierto mantenimiento pueden ir situados a nivel del suelo, no requiere mecanismo de cambio de revoluciones, por cuanto que posee un gran momento de inercia, logrando con esto mantener velocidades de rotación prácticamente constantes frente a pequeñas variaciones del viento y no presenta el golpeteo que es característico en el modelo anterior de palas libres.

La innovación propuesta permite obtener su máximo rendimiento aerodinámico para un TSR (Tip-Speed Ratio) (Proporción de Velocidad en Punta de Aspa) pequeño, es decir giran a baja velocidad, asimismo funcionan con velocidades del viento muy pequeñas, entregando un gran par motriz. Esto permite fabricar molinos de gran tamaño, sin que se involucren fuerzas centrífugas exageradas y desgastes prematuros en ejes, obteniendo potencias considerables.

<sup>1</sup> Profesor Titular Mecánica Racional y Mecánica de los Fluidos FICES UNSL

<sup>2</sup> Jefe de Trabajos Prácticos FICES UNSL

<sup>3</sup> Auxiliar de Primera Física FICES UNSL

<sup>4</sup> Profesor Asociado Química Aplicada FICES UNSL

<sup>5</sup> Jefe de Trabajos Prácticos Física FICES UNSL

<sup>6</sup> Profesor Adjunto Computación FICES UNSL

<sup>7,8,9 y 10</sup> Alumnos de la FICES UNSL

## CALCULO MATEMATICO

### ENERGIA UTIL DEL VIENTO

En una corriente de aire de densidad  $\rho$ , y velocidad  $v$ , como se indica en la Fig. 2, la potencia eólica disponible que atraviesa una superficie  $A$  y hace un recorrido  $L$  en el tiempo  $t$ , viene dada por la expresión:

$$N_{Viento} = \frac{E_{cinetica}}{t} = \frac{\frac{mv^2}{2}}{t} = \frac{v^2}{2t} (vtA\rho) = \frac{\rho Av^3}{2} = kv^3$$

Para un molinete o aerogenerador de eje horizontal y diámetro de hélice  $D$ , la sección  $A$  es:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

Por lo que la potencia del viento quedará en la forma:

$$N_{Viento} = \frac{\pi \rho D^2 v^3}{8}$$

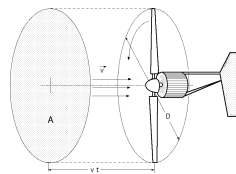


Figura 2: Área  $A$  barrida por el rotor de diámetro  $D$ .

La velocidad del viento varía con el tiempo y, por lo tanto, su potencia  $N$  también variará. Se puede considerar el valor medio de ambas, por ejemplo a lo largo de un año, obteniéndose:

$$\hat{N}_{VientoAnual} = \frac{1}{2} \rho A \hat{v}^3_{Anual}$$

De estos conceptos se obtienen las siguientes consecuencias:

- La  $N_{Viento}$  varía fuertemente con la velocidad  $\vec{v}$ , siendo preciso hacer las mediciones de  $\vec{v}$  en el lugar exacto donde se quiera instalar la aeroturbina.
- La  $N_{Viento}$  varía con la densidad del aire  $\rho$ , a causa de las variaciones de presión y temperatura, en valores que pueden oscilar de un 10% a un 15% a lo largo del año.

## FUNDAMENTOS AERODINAMICOS DE LAS MAQUINAS EOLICAS

El viento está compuesto por partículas de aire en movimiento; cuando la masa de aire esté conformada por filetes yuxtapuestos, perfectamente individualizados, se dice que el movimiento del mismo es laminar, mientras que si los filetes de aire se entrecruzan y no conservan su individualidad, se dice que el movimiento es turbulento; éste es el caso más general que acontece en el viento.

Si en cada punto de una masa de aire en movimiento turbulento se miden las velocidades instantáneas, se observa que estas varían en magnitud y en dirección sin ninguna regularidad, pero no suelen apartarse mucho de un valor medio. Los movimientos desordenados del aire a nivel macroscópico se llaman turbulencias, que pueden influir en masas de aire importantes. Cuando el viento se encuentra con un obstáculo, su movimiento empieza a ser perturbado y a hacerse irregular a una cierta distancia del mismo.

## FUERZAS SOBRE UN PERFIL

Un objeto situado en el seno de una corriente de aire presenta una resistencia al avance, deformando los filetes fluidos; esto depende de la forma del objeto y de su posición con relación a la dirección del viento, Fig. 3.1

Al estudiar los efectos de la resistencia del aire sobre una placa plana, se observa que la resultante  $\vec{R}$  de las fuerzas aplicadas a la placa es un vector cuyo punto de aplicación es su centro aerodinámico, (centro de empuje), siendo su dirección perpendicular a la placa, su sentido el del viento, y su intensidad proporcional a la superficie S expuesta y al cuadrado de la velocidad del viento v, en la forma:

$$R = C_w \rho \frac{Sv^2}{2} = kSv^2$$

En la que k es un coeficiente que depende del ángulo  $\alpha$  de incidencia, de las unidades elegidas y de la turbulencia del movimiento;  $C_w$  es un coeficiente de resistencia (penetración),  $\rho$  es la densidad del aire y S la sección frontal del perfil.

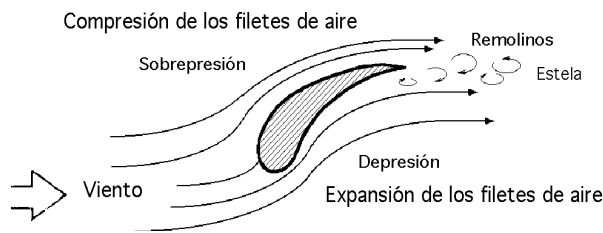


Figura 3: Perfil situado en el seno de una corriente fluida

Si el ángulo  $\alpha$  que forma el plano de la placa con la dirección del viento es grande, existe una sobre presión en la parte delantera de la placa y una depresión en su parte posterior de carácter turbillonario, Fig. 3.2; si el ángulo de incidencia  $\alpha$  es pequeño, la sobre presión aparece en la parte inferior de la placa y la depresión por encima, por lo que aparece una fuerza que tiende a elevarla, Fig. 3.3, conocida como fuerza de sustentación o de elevación.

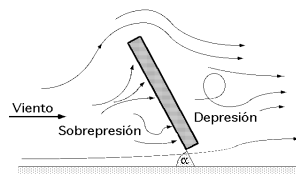


Fig. 3.2

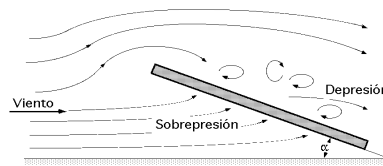


Fig. 3.3

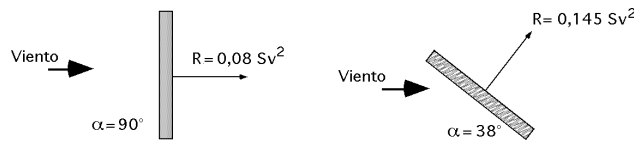


Fig. 3.4

En la Fig. 3.4 se representa un perfil placa plana con dos tipos de inclinación; se indican los valores de  $\vec{R}$  observándose que, contra más pequeño sea el ángulo de inclinación  $\alpha$ , la resultante  $\vec{R}$  será mayor. Para perfiles planos (fijos) de longitud L paralelos a la velocidad v del viento, el valor del n° de Reynolds es:

$$Re = \frac{vL}{\nu}$$

El valor de  $C_w$  viene dado por:

$$\begin{aligned} \text{Régimen laminar: } C_w &= \frac{1,328}{\sqrt{Re}} ; & Re < 10^5 \\ \text{Régimen turbulento: } C_w &= \begin{cases} \frac{0,074}{Re^{1/5}} ; & 10^5 < Re < 10^7 \\ \frac{0,455}{(\log Re)^{2,58}} ; & Re > 10^7 \end{cases} \end{aligned}$$

Para otros perfiles no planos con su eje de simetría paralelo a la dirección del viento, se indica en la Fig. II.5 el valor del coeficiente  $C_w$ .

Para un perfil diseñado en forma aerodinámica se definen dos zonas que son:

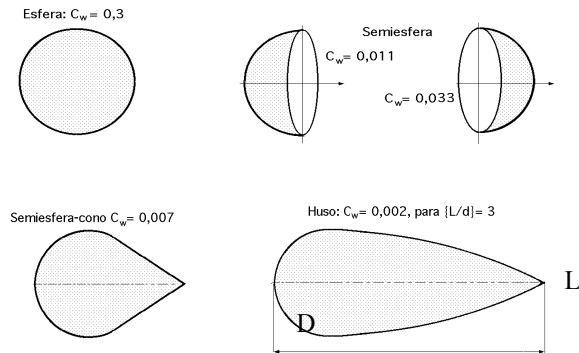


Fig. 3.5.- Coeficiente k para algunos perfiles semiesféricos

- a) El extradós, que es la parte del perfil en donde los filetes de aire están en depresión
- b) El intradós, que es la parte del perfil en donde los filetes de aire están en sobre presión.

Si la placa no está perfilada convenientemente, las turbulencias originadas sobre el extradós disminuyen la energía cinética del aire. Si se permite que la placa se desplace bajo el efecto de la fuerza ejercida por el viento, producirá un cierto trabajo recuperable en forma de energía mecánica; mientras menor sea la turbulencia, mayor será este trabajo.

### FUERZA DEL VIENTO SOBRE LAS ASPAS.

#### Introducción:

Para abarcar el estudio de la fuerza del viento sobre las aspas del molino, se considera el fluido gaseoso como un sistema de partículas.

Por cantidad de movimiento:

$$m_1 v_1 + F \Delta t = m_2 v_2$$

$$F \Delta t = m_2 v_2 - m_1 v_1$$

$$F = \frac{m_2 v_2 - m_1 v_1}{\Delta t}$$

El caudal que entra y sale es el mismo:

$$F = Q_2 v_2 - Q_1 v_1$$

$$F = Q_m (v_2 - v_1)$$

$Q_m = \text{Caudal Masico}$

$$Q_m = \rho Q$$

$Q = \text{Caudal Volumetrico}$

$\rho = \text{Densidad del Aire}$

$$F = \rho Q \Delta \bar{v}$$

(1)

#### Una sola Aspa fija:

Como una primera aproximación del análisis se considera el aspa fija.

El viento incide en el aspa con la velocidad  $\bar{C}_1$ . Despreciando el rozamiento  $C_2 = C_1$ . La fuerza que el fluido ejerce sobre el aspa es la reacción, o sea igual y de sentido contrario a la de la Ec. (1). Llamando a las componentes de la fuerza sobre el aspa  $F_x$  y  $F_y$  y observando que:

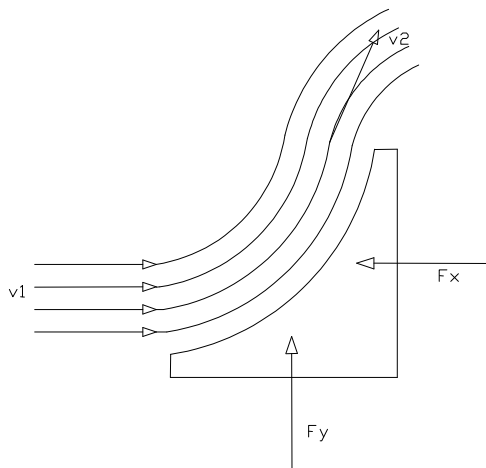


Figura 4: Análisis del fluido gaseoso.

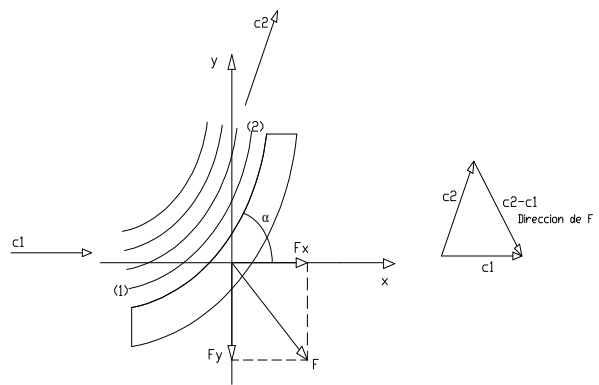


Figura 5: Análisis del fluido gaseoso en un solo aspa fija.

Aclaración: La ecuación (1):  
 $F = Q\rho(v_2 - v_1)$  Es la resistencia del aspa  
 La fuerza del viento es la misma fuerza pero en sentido contrario:  

$$F = -Q\rho(v_2 - v_1) \Rightarrow F = Q\rho(v_1 - v_2) \quad (2)$$

$$c_{1x} = c_1 ; c_{2x} = c_2 \cos \alpha$$

$$c_{1y} = 0 ; c_{2y} = c_2 \text{sen} \alpha$$

$$\begin{cases} F_x = Q\rho(c_{1x} - c_{2x}) \\ F_y = Q\rho(c_{1y} - c_{2y}) \end{cases}$$

$$\begin{cases} F_x = Q\rho(c_1 - c_2 \cos \alpha) \\ F_y = -Q\rho(c_2 \text{sen} \alpha) \end{cases} \quad (3)$$

**Una sola Aspa en movimiento.**

El aspa se mueve con movimiento de traslación y velocidad  $\bar{u}$  en la misma dirección que  $C_1$ , que es la velocidad del viento antes del aspa. La velocidad relativa del viento respecto al aspa a la entrada será  $\bar{W}_1 = \bar{c}_1 - \bar{u}$ . Despreciando el rozamiento la velocidad a la salida  $\bar{W}_2$  será igual a  $\bar{W}_1$  en módulo, pero formara un ángulo  $\alpha$  con  $\bar{u}$ .

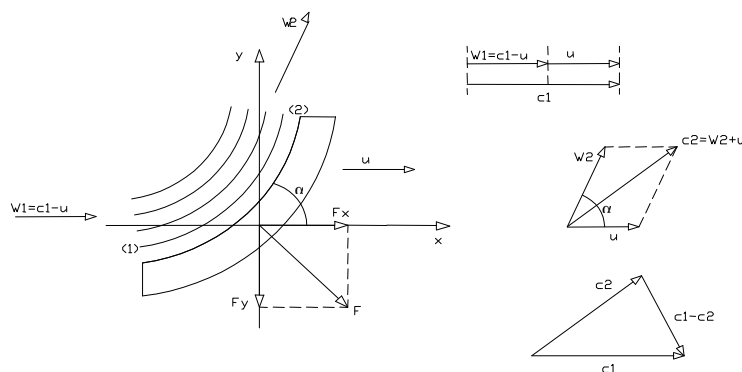


Figura 6: Análisis del flujo gaseoso en un solo aspa en movimiento.

En la Ecuación (3) puede tomarse tanto las velocidades absolutas como las relativas, porque en nuestro caso:

$$\bar{c}_2 - \bar{c}_1 = (\bar{W}_2 + \bar{u}) - (\bar{W}_1 + \bar{u}) = \bar{W}_2 - \bar{W}_1 \quad (4)$$

Por lo tanto, llamando  $F_x$  y  $F_y$ , como en el caso anterior a las fuerzas que el fluido ejerce sobre el aspa, iguales y de sentido contrario a las expresadas por la Ec. (1), considerando además velocidades relativas y teniendo en cuenta que:

$$\begin{aligned} W_{1x} &= c_1 - u ; W_{2x} = (c_1 - u) \cos \alpha \\ W_{1y} &= 0 ; W_{2y} = (c_1 - u) \operatorname{sen} \alpha \end{aligned} \quad (5)$$

Considerando también que el caudal de viento que incide sobre el aspa se podría calcular haciendo:

$Q = vA$  Donde  $v$  es la velocidad del viento y  $A$  el área de incidencia perpendicular a la dirección del viento.

La velocidad de incidencia del viento sobre el aspa es:

$$W_1 = c_1 - u \quad (6)$$

$$Q = W_1 A \quad (7)$$

$$\begin{cases} F_x = \rho A W_{1x} (W_{1x} - W_{2x}) \\ F_y = \rho A W_{1x} (W_{1y} - W_{2y}) \end{cases} \quad \begin{cases} F_x = \rho A (c_1 - u)^2 (1 - \cos \alpha) \\ F_y = -\rho A (c_1 - u)^2 \operatorname{sen} \alpha \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} F_x = \rho A (c_1 - u) ((c_1 - u) - (c_1 - u) \cos \alpha) \\ F_y = \rho A (c_1 - u) (0 - (c_1 - u) \operatorname{sen} \alpha) \end{cases}$$

$$\begin{cases} F_x = \rho A (c_1 - u) ((c_1 - u) (1 - \cos \alpha)) \\ F_y = -\rho A (c_1 - u)^2 \operatorname{sen} \alpha \end{cases}$$

#### Un Rotor.

Al aplicar la Ec. (8) a un rotor, que consta de una serie de aspas dotadas de la misma velocidad  $u$  se aprovecha ya el caudal total del viento  $Q = vA$   $v =$  Velocidad del viento y en este caso se tendrá:

$$\begin{aligned} F_x &= \rho Q ((c_1 - u) - (c_1 - u) \cos \alpha) \\ F_y &= \rho Q (0 - (c_1 - u) \operatorname{sen} \alpha) \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad \begin{aligned} F_x &= \rho Q (c_1 - u) (1 - \cos \alpha) \\ F_y &= -\rho Q (c_1 - u) \operatorname{sen} \alpha \end{aligned} \quad (9)$$

Como el aspa no se desplace en la dirección  $y$ , la fuerza  $F_y$  no realiza trabajo. La potencia teórica del rotor será:

$$\text{Según la Ecuación: } P = \frac{T}{t} = \frac{Fd}{t} \Rightarrow P = Fv \quad P = F_x u \quad (10)$$

$$P = \rho Q (c_1 - u) (1 - \cos \alpha) u \quad (11)$$

Según se ve en la Fig. 7, el viento incide en el aspa 2 con una velocidad  $C_1$  debido a la apertura que tienen en ese momento ese aspa, y a su concavidad sale de las mismas con una velocidad  $C_2$  aproximadamente igual a  $C_1$ , despreciando los roces y formando un ángulo  $\alpha_2$  con la horizontal.

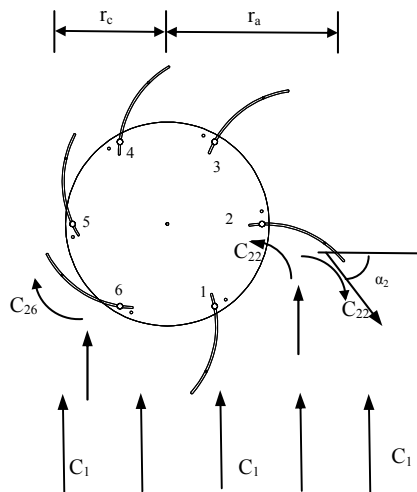


Figura 7: Análisis del flujo gaseoso en un rotor en movimiento.

Esto da un buen rendimiento en ese aspa ya que el ángulo que interviene en la Ec. (4) es mayor que  $90^\circ$ , ( $\alpha_2 \geq 90^\circ$ ).

Analizando la ecuación de la fuerza sobre un aspa, puede verse que:

$$F_x = \rho Q (c_1 - u) (1 - \cos \alpha) \quad (12)$$

El último producto  $(1 - \cos \alpha)$  se transforma en un número mayor que 1, debido a que el ángulo  $\alpha$  varía entre  $90^\circ$ , desde que el aspa se abre en la posición 1, a  $135^\circ$  cuando el aspa llega a la posición 3.

Pero si se hace un estudio más detallado de lo que sucede con el flujo de aire al incidir en las aspas abiertas, se tiene lo siguiente:

Desde el momento que el aspa se abre, hasta la posición 2 ( $90^\circ$ ), la salida del aire  $C_2$ , se produce con un ángulo cercano a  $90^\circ$  hasta superar los  $90^\circ$  en las próximas posiciones.

Para calcular la fuerza del viento sobre las aspas abiertas, sería una buena aproximación considerar la salida  $C_2$  del flujo de aire con  $90^\circ$  sobre la dirección  $C_1$ , ya sea para un lado o para el otro del aspa, para el caso es lo mismo.

Con lo que la ecuación de la fuerza queda:

$$F_x = \rho Q (c_1 - u) (1 - \cos \alpha) \quad F_x = \rho Q (c_1 - u) \quad (13)$$

Se analiza ahora las aspas cerradas, la otra mitad del rotor. En este sector el viento produce un trabajo negativo, frenando el rotor, la salida del flujo de aire  $C_{26}$  en la posición más desfavorable forma  $45^\circ$  con la dirección  $C_1$  de entrada del viento, hasta la  $C_{25}$  en la cual tiene la misma dirección y velocidad que  $C_1$ . En este caso no hay fuerza de frenado para el rotor debido a que el ángulo  $\alpha$  de salida al ser  $0^\circ$ :  $(1 - \cos \alpha) = 0$

Entonces la ecuación de la fuerza de frenado para esta posición 1 será:  $F_x = \rho Q (c_1 + u) (1 - \cos \alpha) = 0$

Se ve que ahora en el primer producto se suman las velocidades del viento  $C_1$  y del rotor  $u$ , debido a que en esta mitad la rueda del molino gira en contra de la dirección del viento.

Resumiendo el análisis y observando la Figura 5. Integrando las fuerzas positivas y negativas que actúan sobre el rotor:

El viento actúa en la mitad útil del rotor (aspas abiertas) con una fuerza  $F_A = \rho Q (c_1 - u)$

Siendo  $C_1$  la velocidad de incidencia del flujo de aire sobre el área definida entre el centro del rotor y la punta del aspa abierta 3, radio  $r_A$ , y el largo L del aspa.

En la otra mitad del rotor la fuerza negativa del viento es:

$$F_C = \rho Q (c_1 + u) (1 - \cos 45^\circ) \quad (14)$$

En este caso como se dijo en párrafos anteriores se suma la velocidad de incidencia del viento con la del rotor por dirigirse en dirección opuesta y el ángulo de salida, se considera el más desfavorable que se produce en el aspa 6 y es  $45^\circ$ . Este flujo de aire actúa sobre el área comprendida entre el centro de la rueda y la punta del aspa cerrada 6, radio  $r_C$  por el largo L del aspa.

La fuerza útil sobre el rotor es:  $F = F_A - F_C$

$$F_A = \rho Q (c_1 - u) \quad F_A = \rho r_A L c_1 (c_1 - u) \quad (15)$$

$$F_A = \rho c_1 A (c_1 - u)$$

Esta fuerza  $F_A$  produce una cupla motriz  $C_A$ :

$$C_A = F_A \frac{r_A}{2} \quad (16)$$

La fuerza que actúa en la parte cerrada de la rueda es:

$$F_C = \rho Q (c_1 + u) (1 - \cos 45^\circ) \quad F_C = \rho r_C L c_1 (c_1 + u) (1 - \cos 45^\circ) \quad (17)$$

$$F_C = \rho c_1 A (c_1 + u) (1 - \cos 45^\circ)$$

Esta fuerza  $F_C$  produce una cupla frenante  $C_C$ :

$$C_C = F_C \frac{r_C}{2} \quad (18)$$

La cupla motriz útil es:

$$C_m = C_A - C_C \quad (19)$$

Entonces como:  $C_A = F_A \frac{r_A}{2}$

$$C_A = \rho r_A L c_1 (c_1 - u) \frac{r_A}{2} \quad C_A = \rho r_A^2 L c_1 (c_1 - u) \frac{1}{2} \quad (20)$$

$$C_C = F_C \frac{r_c}{2}$$

$$C_C = \rho r_c L c_1 (c_1 + u) (1 - \cos 45) \frac{r_c}{2} \quad C_C = \rho r_c^2 L c_1 (c_1 + u) (1 - \cos 45) \frac{1}{2} \quad (21)$$

La cupla motriz útil queda:

$$C_m = C_A - C_C \quad (22)$$

$$C_m = \frac{1}{2} \rho L c_1 [r_A^2 (c_1 - u) - r_c^2 (c_1 + u) (1 - \cos 45)] \quad (23)$$

Donde:

$r_c$  = Radio cerrado, es igual al radio del rotor.

$r_A$  = Radio abierto, es igual al radio del rotor más el ancho del aspa.

La potencia es igual a la cupla motriz por la velocidad angular de rotación de la rueda.

$$P = C_m \omega \rightarrow P = C_m \frac{u}{r} \rightarrow P = \frac{1}{2} \rho L c_1 \frac{u}{r} [r_A^2 (c_1 - u) - r_c^2 (c_1 + u) (1 - \cos 45)] \quad (24)$$

Es sabido que todos los molinos, de la potencia disponible que entrega el viento, sólo una parte puede ser captada por la hélice y el grado de eficiencia de ésta depende entre otras cosas del TSR, también llamado  $\lambda$ , que es la relación entre la velocidad de punta de aspa y la del viento.

$$\lambda = \frac{u}{c_1} \quad (25)$$

Este molino por sus características tiene un TSR que varía entre 0 y 1. Entonces la velocidad de punta de aspa es:  $u = \lambda c_1$

Variando  $\lambda$  entre 0 y 1 según diseño de construcción del rotor se obtiene la potencia:

$$P = \frac{1}{2} \rho L \lambda \frac{c_1^2}{r} [r_A^2 (c_1 - u) - r_c^2 (c_1 + u) (1 - \cos 45)] \quad (26)$$

## CONCLUSIONES

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

Basándose en las ecuaciones teóricas obtenidas, 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. Esto se ve claramente en el último resultado obtenido, ecuación (29), por poseer un TSR ( $\lambda$ ) menor que 1.

Otras de las ventajas de poseer un TSR bajo, 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 y Leva conductora trabaja con potencias relativamente constantes ante una gran gama de velocidades de vientos.

## REFERENCIAS

- Bastianon R. (1999). Energía del Viento y diseño de Turbinas Eólicas.  
 Halliday D y Resnick R. Física Parte I.  
 Sears F. W. Mecánica Movimiento Ondulatorio y Calor.  
 Mataix C. Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas.  
 Rodrigo R. y Rissio M. (2008). Trabajo Final "Molino de Viento de Eje Vertical con Geometría Variable".

## ABSTRACT:

The purpose of this paper is, by theoretical analysis, get the engine power available at the shaft of a Variable Geometry Vertical Axis and Cam driver Windmill. This energy processing machine is propelled by wind and torque is obtained by its action on the mobile blades. The wind force efficiently acts on the blades due to the variable geometry produced by the cam driver, being practically negligible resistance opposing blades that alter their position to not receive such a force. This machine has no blows to open and close each of their blades because they follow the path set by the cam and this is always directed by the tail so that each blade faces the wind and close in a timely manner.

**Keywords:** Windmill, Vertical Shaft, Variable Geometry, Renewable Energy, Cam Driver, Wind