



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

DESARROLLO DE UNA TURBINA TIPO DARRIEUS PARA ENSAYOS EN TUNEL DE VIENTO

Jorge Lassig ^{*1}, Martín Stillger ^{*1}, Juan Valle Sosa ^{*1}, y Ubaldo Jara ^{*1}

^{*1} Departamento Mecánica Aplicada – Universidad Nacional del Comahue
Calle Buenos Aires 1400 – (8300) Neuquén - Argentina
e-mail: jorge.lassig@fain.uncoma.edu.ar.

RESUMEN

En la actualidad, hay dos categorías de turbinas eólicas, las de eje horizontal (cuyas siglas en inglés son HAWT) y las de eje vertical (VAWT). La principal ventaja de las VAWT es la omni direccionalidad respecto de la dirección de viento, por lo que no se requieren mecanismos de guiñada, simplificando así el diseño.

En los últimos años, hay un resurgimiento en el interés de las turbinas tipo VAWT, varias universidades han llevado a cabo amplias actividades de investigación y han desarrollado numerosos prototipos [1]. Estos trabajos son cruciales para el diseño de los parámetros óptimos y también para predecir el rendimiento de este tipo de aerogeneradores, antes de su fabricación.

En la Facultad de Ingeniería de la U.N.Comahue se están estudiando las turbinas de eje vertical del tipo Darrieus, en este trabajo se ha estudiado como posible aplicación en techos de edificios, en lo que se denominan edificios autosustentable. Para ello se construyó un modelo para ser ensayado en túnel de viento, con el objeto de obtener información de parámetros aerodinámicos para futuros desarrollos.

Para el diseño de esta turbina se utilizaron las normas IEC 61400-2 Standard, eligiéndose las de tipo III, caracterizadas por una Velocidad de referencia de 37,5 m/s, una Velocidad media de 7,5 m/s y una Intensidad de turbulencia de 0,17. Las dos palas del rotor se diseñaron con un perfil simétrico NACA 0024, con forma Troposkien, de un diámetro de 0,85m y un alto de 1,35m, con cuerda constante de 0,10m, dando una solidez del rotor de 0,47. Construida en PRFV (tela 100-resina epoxi). Para los cálculos aerodinámicos se utilizó el modelo de Múltiples Tubos de Corriente, basados en el Método de la Cantidad de Movimiento (BEM) [2].

Palabras Claves: Turbina eólica, Darrieus, Ensayos, Modelo Escala,

1.- INTRODUCCIÓN

La principal ventaja de las VAWT es su única parte móvil: el rotor, por lo que no se requieren mecanismos de guiñada, simplificando así las configuraciones de diseño de manera significativa.

Podemos clasificar a las turbinas tipo VAWT en dos: Savonius y Darrieus. En este trabajo nos ocuparemos solo de las del tipo Darrieus, por lo tanto cuando nombremos VAWT, significa para nosotros turbina Darrieus.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

Las aspas de las VAWT son de sección uniforme y sin torsión, haciéndolas relativamente fáciles de fabricar, a diferencia de las palas de las HAWT, que deben ser torsionadas y trapezoidales para obtener un rendimiento óptimo. Por otra parte, casi todos los componentes de las VAWT que requieren mantenimiento, se encuentran a nivel del suelo, lo que facilita dichas tareas de forma apreciable.

Una de las posibles aplicaciones es utilizarlos en edificios con criterios de autosustentabilidad, donde parte del consumo de la energía del edificio es abastecida por energías renovables. En particular a lo eólico, se tiende a ubicar aerogeneradores sobre los techos. El requerimiento para que este tipo de turbinas eólicas puedan ser aplicadas en techos de edificios, es que ruido y las vibraciones que generen sean lo mas bajo posible. El presente trabajo tuvo por objeto evaluar la posibilidad de utilizar turbinas tipo Darrieus Convencionales en aplicaciones eólicas sobre techos de edificios.

2.- MODELOS DE TURBINAS DARRIEUS.

Ha habido muchos diseños de turbinas de viento de eje vertical a través de los siglos. En la actualidad las turbinas eólicas Darrieus se pueden dividir en dos modelos básicos, a saber:

- (1) Darrieus Convencional, y (2) Darrieus de Rotor en H.

Dibujos esquemáticos de estas dos variaciones de conceptos Darrieus se muestran en las Figuras 1 a y b, respectivamente.

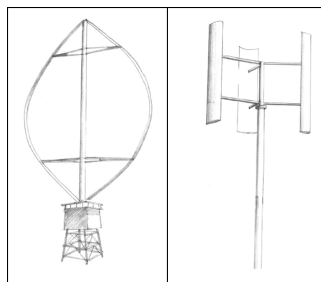


Figura 1: (a) Darrieus convencional; (b) Darrieus-H o Giromil.

El modelo Darrieus fue inventado por un ingeniero francés llamado George Jeans María Darrieus. El presentó su patente en 1931 [3], en los EE.UU., que incluye la pala curva y de sección constante.

Una variación del Darrieus original se desarrolló en National Research Council of Canadá [4,5], es la denominada Darrieus Troposkien, la cual logra minimizar la tensión de flexión en las palas, debido a que su forma se adapta a la deformación que causa la fuerza centrífuga.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

En el mercado de aerogeneradores de pequeña escala, a los Darrieus de pala recta, se los denomina Giromill o Darrieus-H, actualmente es el más atractivo por ser su diseño más simple.

Los Giromil o Rotores-H, como se muestra en la figura 1b, se han desarrollado en el Reino Unido a través de la investigación llevada a cabo durante las décadas de 1970 y 1980. Se encontró que el efecto creado detrás de una pala limitaría la velocidad del viento relativo de la pala opuesta, y que esto podría impulsar toda la configuración de la pala hacia delante, por lo tanto, los rotores-H se podrían convertir en aparatos capaces de lograr el auto-arranque y la auto-regulación en todas las velocidades del viento. Esta configuración se dividen en dos categorías: de paso fijo y de paso variable. Se ha encontrado que las VAWTs de paso fijo proporcionan un par de arranque inadecuado [6].

La mayoría de las actividades de investigación llevadas a cabo previamente en las VAWT se centró en palas rectas equipadas con superficies de sustentación simétrica (como la serie NACA de 4 dígitos 0012, 0015, 0018), que no fueron capaces de lograr el auto-arranque. Esta incapacidad de auto-arranque en el pasado se debió a varios factores (factores técnicos, la inadecuada labor de investigación y financiación), pero los más dominantes se deben a factores aerodinámicos. En años recientes se ha comenzado a experimentar con perfiles aerodinámicos no simétricos, y se ha determinado que en algunos casos estos permiten el auto-arranque, aunque el auto-arranque más preciso se obtiene al tener variación de paso (pitch) en las palas.

Por otra parte, si se hace una encuesta por Internet, se pueden observar que hay un puñado de productos comerciales VAWTs de palas recta, pero no hay información confiable desde una fuente independiente, con respecto al rendimiento de estos productos, y las afirmaciones hechas por los fabricantes aún no se han verificado con autenticidad.

En la actualidad, el desarrollo de grandes palas rectas VAWT se limita sólo a la fase de investigación, aunque en el pasado las grandes turbina de viento Darrieus Convencionales habían logrado llegar al mercado (1970-80) con grandes parques eólicos, pero más tarde desaparecieron al desarrollarse los aerogeneradores HAWTs.

3. EXPRESIONES MATEMÁTICAS PARA EL ANÁLISIS AERODINÁMICO DE PALAS TIPO DARRIEUS.

Las palas de los Darrieus en su análisis aerodinámico es bastante complejo. A continuación se presentan las expresiones matemáticas generales, que son comunes a la mayoría de los modelos aerodinámicos que se utilizan en el diseño de turbinas de viento tipo VAWT.

3.1. La variación del ángulo de ataque local.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

Las velocidades de flujo en los lados aguas arriba y aguas abajo de los VAWTs de tipo Darrieus no son constantes, como se ve en la figura. 2. De la figura se puede observar que el flujo a considerar es en la dirección axial. La componente de velocidad tangencial V_t y la componente de velocidad normal V_n , se obtienen a partir de las siguientes expresiones:

$$V_t = R\omega + V_a \cos \theta \quad (1)$$

$$V_n = V_a \sin \theta, \quad (2)$$

donde V_a es la velocidad de flujo axial (es decir, la velocidad inducida) a través del rotor, ω es la velocidad de rotación, R es el radio de la turbina, θ y es el ángulo de azimut. Haciendo referencia a la figura 2, el ángulo de ataque (α) se puede expresar como:

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{V_n}{V_c} \right). \quad (3)$$

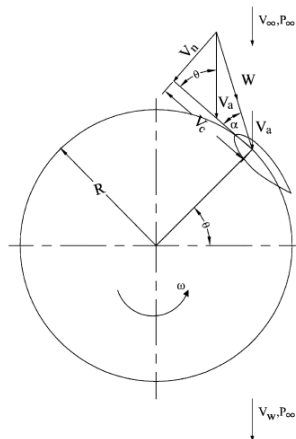


Figura 2: esquema de los vectores de velocidades que actúan sobre el elemento de pala en una turbina Darrieus.

Sustituyendo los valores de V_t y V_n y adimensionalizando, queda:

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{\sin \theta}{(R\omega/V_\infty)/(V_a/V_\infty) + \cos \theta} \right], \quad (4)$$

donde V_∞ es la velocidad del viento en la corriente libre. Si tenemos en cuenta el paso de la pala,



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{\sin \theta}{(R\omega/V_\infty)/(V_a/V_\infty) + \cos \theta} \right] - \gamma, \quad (5)$$

donde γ es el ángulo de las palas.

3.2. Variación de la velocidad relativa del flujo local.

La velocidad de flujo relativa (W) se puede obtener como (figura 2),

$$W = \sqrt{V_t^2 + V_n^2} \quad (6)$$

reemplazando los valores de V_t y V_n (Ec. (1) y (2)) en la ecuación. (6), y adimensionalizando, se puede encontrar la relación de velocidad como:

$$\frac{W}{V_\infty} = \frac{W}{V_a} \cdot \frac{V_a}{V_\infty} = \frac{V_a}{V_\infty} \sqrt{\left[\left(\frac{R\omega}{V_\infty} / \frac{V_{au}}{V_\infty} \right) + \cos \theta \right]^2 + \sin^2 \theta}. \quad (7)$$

3.3. Variación de las fuerzas tangenciales y normales

Las direcciones de las fuerzas de sustentación y arrastre, y sus componentes normal y tangencial se muestran en la figura. 3.

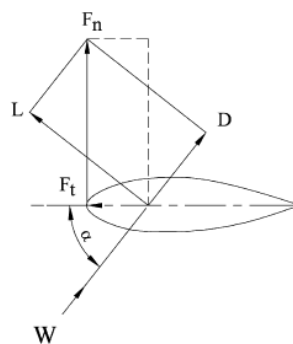


Figura 3: Fuerzas actuantes sobre el elemento de pala.

El coeficiente de fuerza tangencial (C_t) es básicamente la diferencia entre las componentes tangenciales de las fuerzas de sustentación y arrastre. Del mismo modo, el coeficiente de fuerza normal (C_n) es la diferencia entre los componentes normales de sustentación y las fuerzas de arrastre. las expresiones de C_t y C_n se pueden escribir como:



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

$$C_t = C_l \sin \alpha - C_d \cos \alpha, \quad (8)$$

$$C_n = C_l \cos \alpha + C_d \sin \alpha. \quad (9)$$

Las fuerzas tangenciales y normales netos se pueden definir como:

$$F_t = C_l \frac{1}{2} \rho C H W^2, \quad (10)$$

$$F_n = C_n \frac{1}{2} \rho C H W^2, \quad (11)$$

donde ρ es la densidad del aire, C es la cuerda de la pala y H es la altura de la turbina.

3.4. Cálculo del par total

Entonces, las fuerzas tangenciales y normales representados por las ecuaciones. (10) y (11) son para cualquier posición azimutal, de modo, que se consideran como una función del ángulo de azimut θ . Fuerza tangencial media (F_{ta}) de una sola pala se puede expresar como:

$$F_{ta} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} F_t(\theta) d\theta. \quad (12)$$

El par total (Q) para el número de palas (N) se obtiene como:

$$Q = N F_{ta} R. \quad (13)$$

3.5. Potencia de salida

La potencia total (P) se puede obtener como:

$$P = Q \omega. \quad (14)$$

4. MODELOS COMPUTACIONALES PARA PALAS DARRIEUS

Según la literatura, los modelos más estudiados y mejor validados se pueden clasificar en tres categorías:

- (1) Modelo de la Cantidad de Movimiento,
- (2) Modelo de Vórtices, y
- (3) el Modelo en Cascada.

Cabe señalar que no todos los modelos consideran todos los componentes clave descriptos anteriormente.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

En el presente trabajo se utilizó el modelo de Múltiples Tubos de Corriente, basados en el Método de la Cantidad de Movimiento. Se basa en un modelo aerodinámico simplificado que es una adaptación de la teoría del elemento de pala de Glauerts [7]. Básicamente, esta teoría utiliza la ecuación de cantidad de movimiento en el sentido de la corriente, lo que equivale a las fuerzas en la palas de perfil aerodinámico debido al cambio en el momento del fluido a través del rotor.

Los cálculos se realizan para una serie de tubos de corriente que pasan a través del rotor, que da lugar a una distribución no uniforme de las velocidades del fluido a través del mismo.

Cada pala atraviesa un determinado tubo de corriente dos veces por cada revolución, aguas arriba y aguas abajo.

Los detalles del modelo pueden consultarse en la referencia [8] desarrollada en los Laboratorios Sandia en 1977.

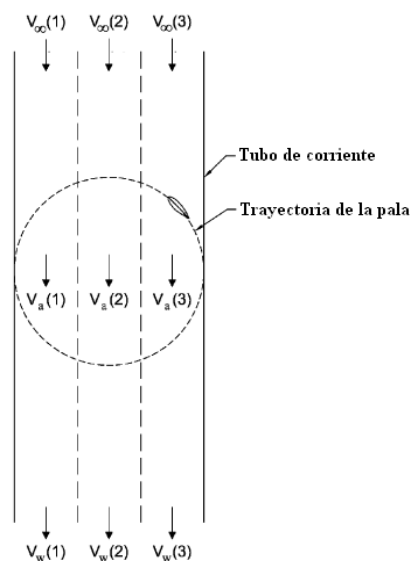


Figura 4: esquema del método de los múltiples tubos de corriente actuando sobre el rotor.

5. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PEQUEÑA TURBINA DARRIEUS A ESCALA

Como ya se dijera antes, la Darrieus, si bien tienen menor rendimiento (menor C_p) que las turbinas de eje horizontal (HAWTs), poseen la virtud de que el generador eléctrico puede estar en tierra haciendo que su estructura tenga menor peso y cargas, pero al estar cerca del suelo debido a la capa límite atmosférica, recibe menos intensidad de viento y por ello producirá menor potencia que una de eje horizontal de igual área barrida y ubicada a mayor altura. Tiene la ventaja de la omni direccionalidad respecto de la dirección de viento, o sea que funciona sin necesidad de orientación



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

de su rotor, pero sufre mayores esfuerzos en sus aspas lo que origina fatiga en los rotores, en particular los fabricados en aluminio (constatados durante 1980s y 1990s por varios fabricantes en el mundo). Si bien no posee par de arranque como los rotores horizontales, es fácil disponer del arranque por medios mecánicos, aerodinámicos o eléctricos.

Para el diseño de esta turbina se utilizaron las normas IEC 61400-2 Standard, eligiéndose las de tipo III, caracterizadas por:

$$V_{ref} : 37,5 \text{ m/s} \quad V_{med} : 7,5 \text{ m/s} \quad \sigma_u/V : 0,17$$

Donde: **V_{ref}** es el valor máximo de la velocidad promedio del viento en un intervalo de 10 minutos, que estadísticamente ocurre una vez cada 50 años; **V_{med}** es la velocidad media anual a la altura del eje de la turbina; y **σ_u/V** es la turbulencia máxima en un intervalo de 10 minutos.

Fue diseñada con un perfil simétrico NACA 0024, es de dos aspas de un diámetro de 0,90 metros y un alto de 1,35 metros, con cuerda constante de 0,10 metros, dando una solidez del rotor de 0,44. Construida en PRFV (roving 100-resina epoxi).

El centro de masa del rotor constituye lo que el eje de la turbina horizontal como referencia para la ubicación en altura.

5. 1.- Cálculo de las Performances

Como una de las condiciones es que genere poco ruido, esto hace que la velocidad de rotación deberá ser baja, lo que obliga a trabajar a velocidades específicas (λ) menores que 1. Por otra parte para que a bajas velocidades específicas genere un adecuado torque se debe aumentar la solidez del rotor. Ambas condiciones dan un número de Reynolds bajo. Todo ello lleva a que no existan antecedentes como referencia de turbinas Darrieus Troposkien de pequeño tamaño, bajos números de Reynolds, baja velocidad específica y alta solidez.

Para el cálculo de las performances de dicha turbina, se utilizó el modelo de Múltiples Tubos de Corriente, como se indicara en el ítem 4. Para ello se creó un programa en una versión comercial de VisualBasic en donde se ingresan los parámetros físicos de la turbina y la velocidad del viento. El resultado son las fuerzas tangenciales y normales sobre el rotor, y el coeficiente de potencia en función de la velocidad específica. Los resultados obtenidos se indican en las figuras 5 y 10.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

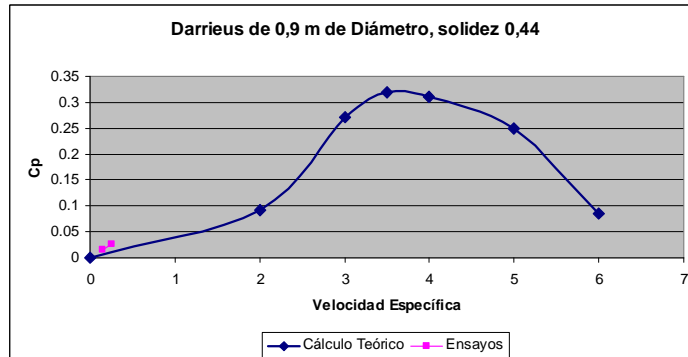


Figura 5: Variación del coeficiente de potencia C_p , en función de la velocidad específica λ .

6.- CONSTRUCCIÓN

Primero se tomó un tubo de aluminio de 6,50 mm de diámetro, y se lo curvó tratando de tener la forma Troposkien.



Figura 6: fotografías que muestran las distintas etapas de construcción de las palas.

Luego se pegaron los perfiles de polietileno expandido a lo largo del tubo curvado. Posteriormente se laminó con fibra de vidrio (roving) y resina epoxi.



Figura 7: despiece del rotor.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI



Figura 8: Darrieus montado en la estructura soporte.

Ambas aspas se abulonaron al eje vertical (un tubo estructural de 35 mm de diámetro), el cual se adosa a un rodamiento cónico en su base, quedando libre el extremo superior, esto es porque esta pequeña turbina está destinada a ser ensayada dentro de un túnel de viento, y es imposible colocar arriostamiento en su parte superior.

El generador se lo construyó con imanes permanentes [X], y se instaló un freno de emergencia en base a un freno de motocicleta modificado.

7. ENSAYOS EN EL TÚNEL DE VIENTO



Figura 9: ubicación de la turbina Darrieus dentro del túnel de viento y el equipamiento utilizado.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

Los ensayos se realizaron en el túnel de capa límite, de circuito abierto, instalado en el Laboratorio de Capa Límite y Fluidodinámica Ambiental (LaCLyFA) del Departamento de Aeronáutica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata.

El túnel tiene 24 m de longitud y sección transversal constante de 2,60 m x 1,80 m. Funciona por aspiración y cuenta con nueve ventiladores, cada uno de 1,25 m de diámetro y 15 HP de potencia.

La velocidad máxima a la que pueden realizarse ensayos es de 20 m/s.

8. RESULTADOS

En la figura 10 se sintetizan los resultados del comportamiento fluidodinámico sobre la pala de la turbina Darrieus al trabajar a velocidades específicas inferiores a la unidad.

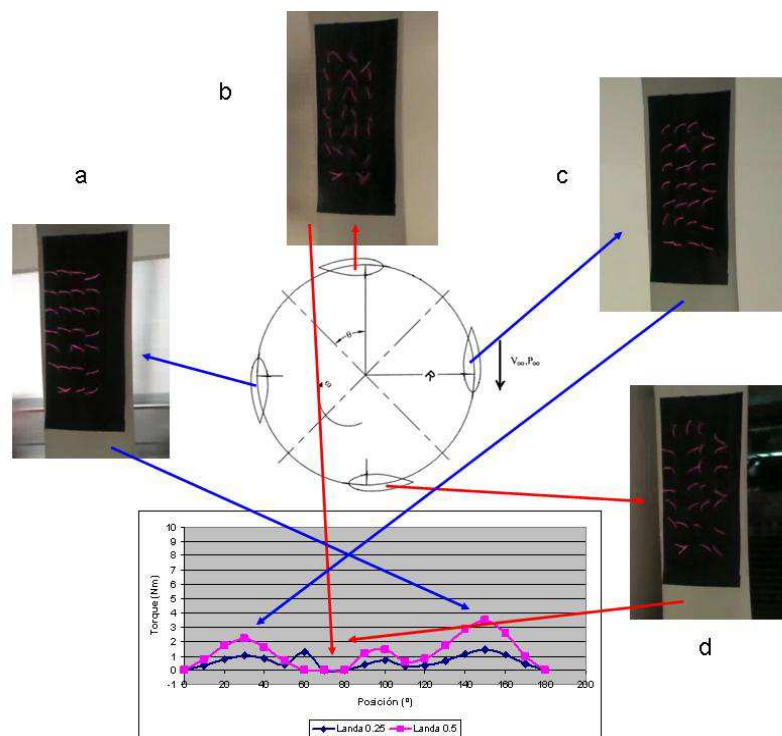


Figura 10: distintos patrones de flujo fotografiados mientras giraban las palas y su asociación a los cálculos teóricos del torque generado por el rotor.

En la posición (a) el flujo incidente del viento impacta sobre el borde de ataque del perfil y este funciona correctamente con ángulos de ataque positivos entre 0 y 45°. En (b) al ser la velocidad tangencial de la pala inferior a la del viento, el perfil siente una velocidad relativa prácticamente



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

perpendicular a su cuerda y la pala trabaja como una placa plana enfrentada al viento. En (c) al ser la intensidad del viento mayor que la velocidad tangencial, hace que el viento relativo impacte en el borde de fuga y no por el borde de ataque invirtiendo el flujo sobre el perfil por lo tanto funcionando a ángulos de ataque cercanos a 180° . Por último la posición (d) la pala recibe en forma perpendicular la intensidad del viento mas el flujo de la estela de la otra pala.

Este tipo de funcionamiento originan un torque y C_p muy bajo, lo que los hacen inútiles a este tipo de turbinas en sus versiones de pequeños tamaños, para funcionar a bajas velocidades de rotación. No así si los tamaños superan los 3 m, ya que es posible lograr velocidades específicas coherentes con las velocidades angulares posibles de obtener mecánicamente.

Agradecimientos

Este Proyecto se realizó con fondos del PICTO CIN II 2010-0085, y del proyecto de investigación de la Universidad Nacional del Comahue 04/I 185.

REFERENCIAS

- [1] Mazharul Islam, David S.K. and Ting, Amir Fartaj; "Aerodynamic models for Darrieus-type straight-bladed vertical axis wind turbines"; Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol 12 (2008), pp 1087–1109; Ed. Elsevier.
- [2] Strickland, J.H.; "The Darrieus Turbine: A Performance Prediction Model Using Multiple Streamtubes". Report SAND75-0431; Sandia Laboratories; Albuquerque, New Mexico; October 1975.
- [3] Darrieus GJM.; "Turbine Having its rotating shaft transverse to the flow of the current". US Patent No.1835081; 1931.
- [4] South, P. and Rangji, RS.; "Preliminary Tests of a High Speed Vertical Axis Windmill Model", National Research Council of Canada, LTR-LA-74, March 1971.
- [5] South, P. and Rangji, RS.; "A Wind Tunnel Investigation of a 14 Ft. Diameter Vertical Axis Windmill", National Research Council of Canada, LTR-LA- 105, September 1972.
- [6] Kirke BK; "Evaluation of self-starting vertical axis wind turbines for stand-alone applications". PhD thesis, Griffith University, Australia, 1998.
- [7] Glauert, H. "The Elements of Aerofoil and Airscrew Theory"; The Macmillan Co., New York, (1943).
- [8] Strickland, J.H.; "The Darrieus Turbine: A Performance Prediction Model Using Multiple Streamtubes". Report SAND75-0431; Sandia Laboratories; Albuquerque, New Mexico; October 1975.