

De los
métodos
y las **maneras**



Posgrado
en Diseño

Espinosa Suárez Mario Alejandro

ORCID 0000-0001-8490-1401

*Diseño y construcción de un prototipo a
escala de turbina eólica aplicada a una
luminaria*

Capítulo 4

pp. 33-40

De los métodos y las maneras

Número 4

Coordinador de la obra

Dr. José Iván Gustavo Garmendia Ramírez

Compilación y Diseño editorial

Mtra. Sandra Rodríguez Mondragón

DCG. Martín Lucas Flores Carapia

México

Universidad Autónoma Metropolitana

Unidad Azcapotzalco

Coordinación de Posgrado de

Ciencias y Artes para el Diseño

Primera edición impresa: 2019

Primera edición electrónica en pdf: 2019

<http://hdl.handle.net/11191/6249>

ISBN de la colección en versión impresa: 978-607-28-1322-9

ISBN No. 4 versión impresa: 978-607-28-1787-6

ISBN de la colección en versión electrónica: 978-607-28-1326-7

ISBN No. 4 versión electrónica: 978-607-28-1790-6



Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

2020:

Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Azcapotzalco, Coordinación de Posgrado de Ciencias y Artes para el Diseño. Se autoriza la consulta, descarga y reproducción con fines académicos y no comerciales o de lucro, siempre y cuando se cite la fuente completa y su dirección electrónica. Para usos con otros fines se requiere autorización expresa de la institución.

Universidad
Autónoma
Metropolitana



Casa abierta al tiempo **Azcapotzalco**



Ciencias y Artes para el Diseño

**Cordinación de
Posgrado CyAD**

<http://cyadposgrados.azc.uam.mx/>

Diseño y construcción de un prototipo a escala de turbina eólica aplicada a una luminaria

Espinosa Suárez Mario Alejandro

Resumen

En este trabajo se describen las distintas etapas del proceso de diseño de un prototipo de luminaria que funciona con energía elíptica, la cual fue concebida según los requerimientos del contexto, y partiendo de ahí se cumplen los para determinar requerimientos de ingeniería.

Se describe el proceso de diseño de un prototipo a escala de turbina. Además, se hace una descripción del generador eléctrico y se describen los ensayos de caracterización del mismo, se plantean las componentes de las fuerzas aerodinámicas sobre las aspas y el diseño del sistema de regulación de velocidad de las mismas.

Se plantea también el estudio experimental de un tipo de perfil aerodinámico en el cual, al cambiar su geometría, regula la velocidad de giro del eje, el cual fue diseñado para tener extraer la máxima potencia mecánica en el eje del rotor. Se analizan los efectos aerodinámicos sobre un perfil de espesor variable y cuerda variable, ajustándolo a tres posiciones distintas.

Se analizan experimentalmente las características aerodinámicas y la eficiencia energética o coeficiente de potencia (C_p) de una turbina eólica de eje vertical tipo ciclo-giro a escala, también conocida como turbina tipo Darrieus de perfil recto, empleando un modelo a escala en el túnel de viento de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM). Se encontró que el eje de giro alcanza su máxima velocidad a una longitud

media de la cuerda del perfil y a un ancho medio de este, y por otro lado el rotor reduce su velocidad si la cuerda es muy larga y el perfil se aplana.

Palabras clave: perfil aerodinámico, coeficiente de potencia (C_p), cuerda, generador eléctrico.

Abstract

Design and construction of a scale prototype of wind luminaire

This work describes the different stages of the design process of a prototype of a luminaire that works with wind energy, which was conceived according to the requirements of the context, starting from the engineering requirements.

It describes the design process of the prototype of wind turbine. In addition, a description of the electric generator is made and the characterization tests are described, the components of the aerodynamic forces on the blades and the design of the speed regulation system of the same are considered.

It is also considered the experimental study of a type of aerodynamic profile in which, when changing its geometry, it regulates the speed of rotation of the axis, which was designed to extract the maximum mechanical power in the rotor shaft. The aerodynamic effects on a profile of variable thickness and variable rope are analyzed, adjusting it to three different positions.

The aerodynamic characteristics and the energy efficiency or power coefficient (C_p) of a vertical axis wind turbine type, also known as a Darrieus type straight profile turbine, are analyzed experimentally using a scale model in the wind tunnel of The Metropolitan Autonomous University (UAM). It was found that the axis of rotation reaches its maximum velocity at an average length of the profile cord and a mean width of the profile, and on the other hand the rotor reduces its speed if the rope is very long and the profile flattens.

Key words: aerodynamic profile, power coefficient (C_p), chord, electric generator.

I. Introducción

Este proyecto se justifica con la intención de impulsar el desarrollo de tecnologías de aprovechamiento eólico y dar solución a los problemas energéticos de viviendas que se encuentren alejadas de las redes de distribución de energía existentes o que habiéndolas no exista una infraestructura de distribución de energía eléctrica para iluminación de vías públicas. En este proyecto se muestran los resultados del desarrollo que forma parte un proyecto integral, el cual es una luminaria que genere energía eléctrica mediante una turbina eólica acoplada al poste, esta parte aún queda pendiente en este trabajo se plantea un estudio experimental de la turbina eólica tipo Darrieus a escala.

En este trabajo se describen los avances del proyecto titulado: “Diseño y construcción de una luminaria eólica”. El objetivo general en este proyecto es diseñar y construir una luminaria eólica en base a los parámetros de diseño hallados mediante una investigación del contexto.

Los objetivos parciales alcanzados hasta la publicación de este artículo son:

- Calcular el C_p (Coeficiente de potencia) de la turbina.
- Diseño, cálculo y construcción del prototipo a escala.
- Diseño y cálculo del sistema de regulación de velocidad de las aspas.
- Selección del generador eléctrico.

Quedando pendiente para el término de la investigación los siguientes objetivos:

- Probar y experimentar el prototipo a escala real en túnel de viento.
- Probar y experimentar el prototipo en el contexto seleccionado.

Los objetivos alcanzados hasta el momento han sido aplicados en un prototipo a escala de la turbina, la cual una vez obtenidas las dimensiones correspondientes será implementada en escala real como prototipo dentro un contexto de entorno urbano, específicamente en el fraccionamiento “La Noria”, ubicado en el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, em donde hay una velocidad e viento de brisa moderada segun la escala Beaufort o de 5.7- 8.2 m/s. El cual se caracteriza por la ausencia de iluminación en las vías públicas, a pesar de que hay suministro corriente de energía eléctrica por la red en todo el fraccionamiento, existen muy pocas luminarias instaladas en este lugar. Además de que en este lugar hay recurso eólico suficiente para que se genere la energía eléctrica necesaria para alimentar el sistema de carga y la batería. (Lannini. R., 2005)

Debido al requerimiento de diseño que exige que la luminaria sea de bajo costo, se ha construido un generador formado de varios pequeños generadores los cuales son piezas normalizadas que son fáciles de conseguir a un precio reducido.

Tradicionalmente, los materiales utilizados en la fabricación de palas han sido la madera, el acero, el aluminio y en los últimos años los materiales compuestos: poliéster o resina epóxica reforzado con fibra de vidrio o fibra de carbón. En este prototipo a escala se usarán láminas de polietileno, el cual es un material con la suficiente flexibilidad y ligereza de peso. En el prototipo a escala real se plantea el uso de hojas de lámina de aluminio, el cual cumple con los requerimientos estructurales y de durabilidad, además de puede ser reciclada una vez cumplida su vida útil.

¿Es posible regular la velocidad de giro de una turbina eólica variando la geometría de su aspa?

La necesidad de un sistema de control en aerogeneradores es tan antigua como el origen de los mismos. El principal objetivo del sistema de control de regulación de velocidad es limitar la generación de potencia y las revoluciones por minuto en condiciones de vientos intensos. (Espinosa, 2011)

Por otro lado, el principal problema que tienen las turbinas eólicas tipo ciclo-giro es el del arranque a bajas velocidades, así como la regulación de velocidad a velocidades que superen los límites de operación óptimos del generador eléctrico. (Medina, 2000)

Se han hecho sistemas de arranque mecánicos colocando rotores Savonius en el eje de giro del rotor, pero estos también tienen un efecto contraproducente

debido a la poca eficiencia de estos y a los efectos de la turbulencia y fuerzas de arrastre que se presentan a altas revoluciones. También se ha logrado el arranque mediante métodos eléctricos, inyectando una corriente parásita al generador el cual actuaría como motor, y una vez alcanzada la velocidad de giro del rotor se deja de suministrar corriente y funciona como generador, este método tiene el inconveniente de consumir cierta cantidad de corriente con lo cual su objetivo principal que es el de generar electricidad a bajo costo se ve reducido. En este proyecto se plantea hacer un híbrido, usando la configuración aerodinámica Darrieus e implementando captadores de viento Savonius con forma aerodinámica para evitar así en medida de lo posible el efecto de arrastre indeseado con el cual la turbina pierde eficiencia.

Por lo tanto, en este trabajo se abordará una metodología distinta a las anteriormente planteadas para controlar la velocidad del eje de giro de un aerogenerador de eje vertical tipo Darrieus de perfil recto.

El mecanismo de control de la velocidad que se propone en este proyecto es poco explorado por los desarrolladores de grandes turbinas, sin embargo, la intención de este trabajo es ampliar el campo de conocimiento a este respecto.

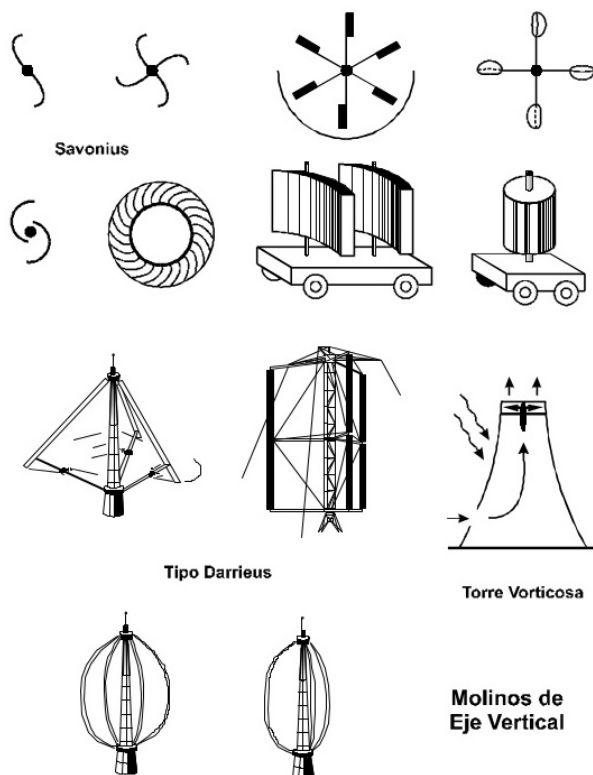


Figura 1.- Tipos de máquinas eólicas.

Marco teórico

Desde los comienzos de la utilización de la energía eólica se han desarrollado gran cantidad de máquinas de los tipos más variados (figura 1). “Se dice que los pedidos de patentes superan a las de cualquier otro dispositivo que se haya ideado. De todos ellos, son relativamente pocos los que se generalizaron y alcanzaron escala de producciónn comercial” . (Bautista, Porfirio, & Roberto, 1991)

Por costumbre se clasifica las máquinas eólicas según la posición del eje de rotación con respecto a la dirección del viento (J.F. Manwell, 2002), pudiéndolos dividir en dos categorías principales:

- Molinos de eje horizontal – Máquinas eólicas en las cuales el eje de rotación es paralelo a la dirección del viento.
- Molinos de eje vertical –Máquinas eólicas en las cuales el eje de rotación es perpendicular a la superficie terrestre y a la dirección del viento.

Objetivo general

Este documento tiene por objetivo diseñar y construir de una luminaria que utilice la energía del viento para generar electricidad que funcione dentro un entorno urbano (En lugar más adecuado en el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca), así como el estudio experimental de un tipo de perfil aerodinámico, el cual cambia su geometría para poder regular la velocidad de giro del rotor.

Hipótesis

La velocidad del eje de giro cambiará al cambiar la configuración del perfil, a mayor longitud de la cuerda y más esbeltez del perfil mayor velocidad de giro y al reducir la longitud de la cuerda y ensancharse más el perfil se reducirá la velocidad en el eje de giro.

II. Requerimientos de diseño

Se plantean a continuación la importancia de cada requerimiento del diseño, los porcentajes fueron elegidos considerando la importancia que tiene cada factor en el diseño, tomando como base el contexto donde será ubicada.

1.- Costo 40% - Este porcentaje se determinó para que fuera accesible a un consumidor de clase media B.

1.1.- La turbina de la luminaria tendrá que estar construida con piezas normalizadas y tendrá que ser funcional. Por lo tanto, se propone el uso de varios motores de pequeña potencia de 12 volts unidos

mediante un engrane, evitando el costo de implementar un generador de imanes de Neodimio, lo cual elevaría considerablemente el costo.

1.2.- Integrar un sistema de arranque eficiente. - Esto con el objetivo de que arranque a bajas velocidades de viento, aprovechando así el recurso eólico disponible y reduciendo el costo de la energía total.

1.3.- Se plantea el uso de hojas de aluminio en las aspas, debido a la alta salinidad del medio ambiente donde será probada y además que cumple con los requerimientos estructurales.

2.- Calidad y confiabilidad 20%- Se hará una luminaria eólica de precio accesible, sin perder de vista el aspecto de que la turbina deberá ser diseñada con la suficiente calidad en sus piezas y procesos de manufactura para que tenga una vida útil de aproximadamente 10 años.

3.- Ubicación y contexto 20%-Se propone ubicarla en un espacio adecuado, tomando en cuenta la necesidad de iluminación de los usuarios que circulen en esa calle o avenida, además de que no existan obstáculos aéreos en el área que impidan obtenga el suficiente recurso eólico. Mediante una investigación cualitativa basada en encuestas y entrevistas abiertas se seleccionaron un gran número de lugares debido a su importancia estratégica, sin embargo, se tomó como contexto de aplicación el Fraccionamiento “La Noria” ubicado en el Istmo de Tehuantepec Oaxaca. Debido a que el estudio demostró la necesidad de iluminación en calles y avenidas de este lugar, en donde se han registrado varios incidentes delictivos debido a la falta de iluminación en las calles. Además de que cuenta con una densidad de población considerable como para que la luminaria sea usada por una cantidad de usuarios suficiente y cuenta con un recurso eólico suficiente.

4.- Factor humano (ergonomía) 10%-Integrar un sistema de arranque que se adapte al trabajo humano. Altura adecuada de la luminaria, que brinde una percepción de seguridad o de solidez adecuada, que la intensidad luminosa que sea la suficiente para iluminar un área de 16 metros cuadrados de una calle o avenida.

5.- Seguridad 10%-Se propone hacer un análisis estructural para que mediante software de elemento finito se analice las posibles fallas estructurales y se refuerce la estructura en esos puntos, además se propone implementar un sistema de frenado a velocidades superiores a los 15 m/s, ya que implica un riesgo para el generador al funcionar a velocidades fuera de las que fue diseñado.

III.- Metodología.

Requerimientos de iluminación. - Debido a que la intención del proyecto es la de iluminar un área de al menos 16 m² colocando la luminaria a una altura de 3 a 4 metros primero se buscó una luminaria que cumpliera con esos requerimientos. Se encontró este modelo de luminaria al cual cumple satisfactoriamente con los requerimientos, se trata del Modelo Cobra 12 W de la marca “Laser & Led” la cual tiene es de tecnología LED y tiene un consumo de 12 watts.

1) Diseño de las aspas:

Debido a que uno de los objetivos del proyecto es determinar los coeficientes de potencia (C_p) respectivos para distintas geometrías del aspa, se decidió construir un modelo que permitiera variar la cuerda del aspa, la cual es la distancia transversal del perfil aerodinámico de manera que el perfil se deforme y varíe su geometría al hacer el ajuste correspondiente de manera manual a la cuerda. Así mismo servirá para regular la velocidad de la turbina; con este control se espera regular la velocidad de la turbina.

Para el diseño de la luminaria eólica se comenzó partiendo del diseño del rotor de la turbina a escala, dicha metodología se describe a continuación:

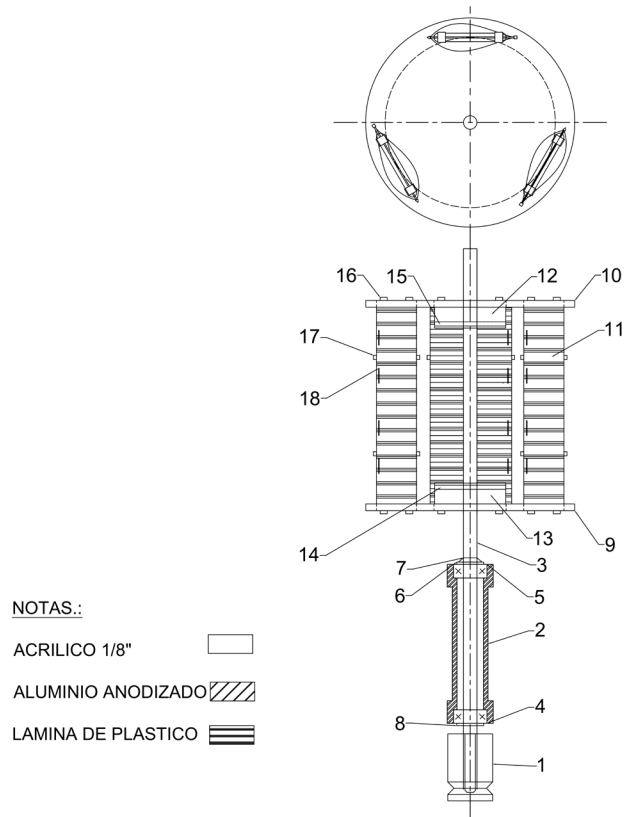
Aspas

Las aspas fueron diseñadas en base a la teoría aerodinámica de perfiles aerodinámicos usada en turbinas de eje vertical, se obtienen tres tipos de perfiles distintos para para cada longitud de la cuerda. Las aspas a escala son de 10 cm de longitud (figura 2), se muestra en la siguiente tabla las respectivas configuraciones que toma el perfil como se aprecia en la figura 3.

Para medir de manera adecuada las fuerzas de sustentación (F_s) y de arrastre (F_a) se decidió hacer un modelo a escala de los perfiles de la turbina (Escala 1: 2.25).

Longitud de la cuerda del perfil (cm)	Configuración
6.20	1
5.80	2
5.35	3

Tabla 1.- Longitudes de la cuerda para el perfil aerodinámico



LISTA DE PARTES

No.	Nombre
18	GRAPAS
17	CINTILLO (CINCHO)
16	CINTILLO (CINCHO)
15	PASADOR DE SOPORTE DE DISCO (SUP)
14	PASADOR DE SOPORTE DE DISCO (INF)
13	SOPORTE INFERIOR DE DISCO DE ALABES
12	SOPORTE SUPERIOR DE DISCO DE ALABES
11	REVESTIMIENTO DE ALABE
10	SOPORTE SUP. DE ALABES
9	SOPORTE INF. DE ALABES
8	SEGURO PARA RODAMIENTOS (INF)
7	PASADOR DE SEGURO DE RODAMIENTOS
6	SEGURO PARA RODAMIENTOS (SUP)
5	RODAMIENTO SUP. DE BOLAS KUGELLAGER R42RS
4	RODAMIENTO INF. DE BOLAS KUGELLAGER R42RS
3	EJE
2	SOPORTE DE EJE
1	ACOPLADOR TURBINA-GENERADOR

Figura 2.- Modelo de turbina eólica a escala.

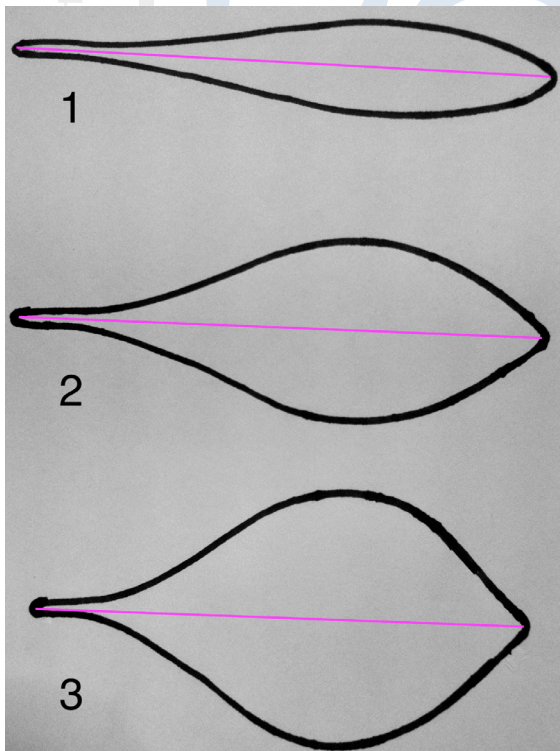


Figura 2.- Configuraciones 1,2 y 3 del perfil.

Sistema de regulación de velocidad

Para este diseño se eligió un sistema de regulación de velocidad manual, el cual puede ser diseñado para ser instalado en un lugar reducido, sin tener un costo excesivo de fabricación y eliminando mecanismos, ya que no existen engranajes, la velocidad se ajusta manualmente ajustando una tira la cual flexiones el perfil.

Semejanza

Cenguel dice:

“Para adquirir una noción de la influencia de algunos factores del rotor como son la separación de las aspas y su comportamiento, es indispensable recurrir a estudios experimentales. Para ello se construyen modelos reducidas o maquetas que se prueban en el túnel aerodinámico.

Estas maquetas deben ser semejantes geométricamente a un prototipo que se pretendiera construir posteriormente. Se prueban en el seno de corrientes que producen los mismos ángulos de ataque de los álabes por el aire circulante, o sea, en corrientes cinéticamente semejantes.” (Yanus A. Cenguel, 2006)

Adquisición de datos

Para la adquisición de datos en el túnel de viento es necesario establecer las condiciones en las cuales trabajara el túnel de viento, especificar la velocidad de viento y a qué velocidad angular se van a efectuar las pruebas.

Se registró la velocidad angular mediante un tacómetro óptico el cual mide las RPM del eje del modelo, la velocidad de viento se midió con la ayuda de un anemómetro de hilo caliente, el torque mediante el freno Prony y un dinamómetro voltaje y amperaje mediante un multímetro.

Todo el proceso descrito anteriormente para obtener cada uno de los puntos de la gráfica fue repetido para una longitud de cuerda distinta hasta cubrir todos los valores planeados para la experimentación.

Instrumentación y equipo

Freno prony, dinamómetro, anemómetro, amperímetro, voltímetro, tacómetro, túnel de viento.

Objetivos del experimento

- Determinar los coeficientes de potencia (C_p) respectivos para distintas geometrías del aspa y distintas velocidades de viento.
- Obtener los valores de voltaje y potencia eléctrica que genera la turbina por medio de un pequeño generador eléctrico.

Metodología de experimentación

Las pruebas se realizaron en el túnel de viento con que cuenta la Universidad Autónoma Metropolitana, consta de un ducto que tiene una sección cuadrada con dimensiones de 30 cm por lado y una longitud de 5 metros, funciona a velocidades de 0-30 m/s.

Prueba 1

Pruebas con el perfil aerodinámico. Se muestra la instrumentación que se usó para medir las fuerzas de sustentación y de arrastre.

VARIABLE A REGISTRAR	INSTRUMENTACIÓN Y EQUIPO	REGISTRO DE LA INFORMACIÓN
F_s (Fuerza de sustentación).	Dinamómetro	Se toma la lectura del dinamómetro.
F_a (Fuerza de arrastre).	Dinamómetro	Se toma la lectura del dinamómetro.

Tabla 2.- Variables a registrar prueba 1.

Prueba 2

Pruebas con la turbina Ciclo-giro. Se muestra a continuación la instrumentación con la cual se midieron las variables a registrar.

Configuración	Cut-in (m/s)	RPM
1	4.6	72
2	4.2	108
3	4	138

VARIABLE A REGISTRAR	INSTRUMENTACIÓN Y EQUIPO	COMO SE REGISTRAR LA INFORMACIÓN
Potencia eléctrica (Watts).	Amperímetro	Colocar el amperímetro y conectar las terminales en serie junto con la carga que en este caso es un pequeño foco incandescente
Voltaje del generador (Volts)	Voltímetro	Colocar el multímetro y conectar las terminales en paralelo
Revoluciones por minuto (RPM).	Tacómetro.	Apuntar el rayo láser a la polea donde se ha adherido un reflejante
Torque (N-m).	Freno Prony	Al arrancar la turbina se enreda una cuerda lubricada en la polea, conforme suben las RPM se colocan pesos en la canastilla al punto que frena la turbina parcialmente, se toma la lectura del dinamómetro

Tabla 3.- Variables a registrar prueba 2.

IV. Resultados

Se descubrió que la configuración 2 es la que presenta un desempeño aerodinámico óptimo y por lo tanto en esta configuración la turbina alcanza un máximo número de RPM. Por otro lado, la configuración 3 es la óptima para que la turbina arranque a una velocidad mínima de 4 m/s.

En este apartado se presentan las tablas y gráficas obtenidas de los datos recopilados en el experimento, así como los parámetros calculados para diferentes configuraciones de la geometría del aspa.

Revoluciones por minuto

Configuración	Cuerda (cm)	RPM
1	6.2	1238
2	5.8	2538
3	5.35	1917

Tabla 4.- Medición de revoluciones por minuto.

Velocidad de arranque de la turbina

Configuración	Cuerda (cm)	RPM
2	5.8	2538

Tabla 5.- Medición de la velocidad de arranque.

Los resultados obtenidos de las variables para las tres longitudes de cuerda se muestran a continuación.

Cp máximo de la turbina

Configuración	Cuerda (cm)	Cp (adimensional)	λ (adimensional)
1	6.2	0.032	0.392
2	5.8	0.090	0.721
3	5.35	0.106	0.581

Tabla 6. Cp máximo

Generación de energía eléctrica máxima y de la potencia calculada en el eje de la turbina

Configuración	Cuerda (cm)	Voltaje (Volts)	Amperaje (Amp)	Potencia eléctrica generada (Watts)	Potencia en el eje (calculada) (Watts)
1	6.2	2.199	0.11	0.645	0.930
2	5.8	2.23	0.11	0.663	2.644
3	5.35	1.88	0.1	0.471	2.368

Tabla 7. Generación eléctrica.

Respecto a la potencia y el voltaje, los valores más altos se obtuvieron para la configuración de cuerda de 5.8 cm, obteniendo valores de voltaje de 2.23 volts, 0.11 Amperes y 0.663 Watts medidos.

Máximo número de RPM.

Configuración	Cuerda (cm)	RPM
2	5.8	2538

Tabla 8. Máximo número de revoluciones por minuto

El mayor número de revoluciones por minuto lo registro la configuración 2.

V.Análisis de resultados.

Los resultados obtenidos muestran que las configuraciones donde se obtuvo un valor mayor de Cp son las configuraciones 2 y 3, obteniendo un valor cercano de Cp= 0.10. Si se tiene en cuenta que el Cp de estas turbinas llega al alrededor de 0.40 se puede decir que en esta turbina sería necesario cambiar el material con el que se forro la estructura de los álabes por uno que presente menor rugosidad, ya que esto incrementa la capa límite del fluido haciendo que la turbina pierda considerablemente su eficiencia.

En las configuraciones 2 y 3 se obtuvo el Cp más alto debido a que logra un equilibrio entre el coeficiente de arrastre y de sustentación. Se esperaba que la configuración más favorable fuera la 2, y aunque estuvo muy cerca, se puede decir que esa ligera ventaja la obtuvo debido a que la configuración 3 tiene una fuerza de empuje mayor que la 2, ya que esta capta más viento debido a que actúa a manera de una vela.

Respecto a la potencia eléctrica se obtuvo un valor de 0.663 Watt's a un voltaje de 2.23 Volt's. En un generador pequeño que es momentáneo en lo que se diseña y construye el generador final. Lo cual es aceptable para el tamaño de la turbina. Estos factores son también importantes ya que lo que se busca en la industria eólica es una turbina que genere una potencia eléctrica suficiente para recuperar el costo en determinado tiempo.

Respecto a la regulación de la velocidad de la turbina modificando el ancho del perfil se observó que el punto máximo de RPM fue la configuración 2, ya que se logra un equilibrio entre el arrastre y la sustentación. Si el perfil se aplana mucho la turbina perderá velocidad, por lo que se puede concluir que si se desea frenar la turbina se debería aplanar el perfil completamente para obtener este efecto, si se ensancha demasiado el perfil también perderá velocidad por lo que se recomienda emplear la configuración 2 como referencia para obtener la máxima velocidad.

Cabe mencionar que el sistema de regulación de velocidad se puede desarrollar posteriormente implementando un control automatizado y servomotores de manera que la cuerda varíe en función de la velocidad de viento.

El presente proyecto cumplió satisfactoriamente con los objetivos planteados en un inicio, quedando pendiente la construcción a escala real de la turbina y las pruebas de campo. Se dejan las bases para desarrollos posteriores. Fue realizado con la intención de promover las energías alternativas y para que la energía eólica contribuya de manera significativa a la oferta energética del futuro del país.

VI. Conclusiones

Se realizó este estudio experimental obteniendo los resultados de las comparativas se puede decir que este método de control de la velocidad funciona y cabe mencionar que el sistema de regulación de velocidad se puede desarrollar posteriormente implementando un control automatizado y servomotores de manera que la cuerda varié directamente en función de la velocidad de viento.

Este sistema para controlar la velocidad tiene la ventaja se evitar frenos mecánicos, los cuales con el tiempo de desgastan incrementando así los intervalos de servicio y mantenimiento, así como se evita el calentamiento del freno el cual puede ser muy elevado en zonas de alto viento poniendo así en riesgo de incendio a la turbina.

Respecto a la regulación de la velocidad de la turbina, modificando el ancho del perfil se observó que el punto máximo de RPM fue la configuración 2, ya que se logra un equilibrio entre el arrastre y la sustentación. Si el perfil se aplanar mucho la turbina perderá velocidad, por lo que se puede concluir que si se desea frenar la turbina se debería aplanar el perfil completamente para obtener este efecto, si se ensancha demasiado el perfil también perderá velocidad por lo que se recomienda emplear la configuración 2 como referencia para obtener la máxima velocidad.

El presente proyecto ha cumplido hasta el momento satisfactoriamente con los objetivos planteados en un inicio, y se dejan las bases para desarrollos posteriores y concluir los objetivos pendientes, como sería el fabricarlo a escala real como una luminaria la cual llevará acoplada en el poste la turbina a escala real y será probada en el contexto específico seleccionado.

Bibliografía

- Lannini, R., G. J. (2005). *Energía Eólica Teoría y Características de Instalaciones*. N/D.
- Alejandro, E. (2011). *Análisis Experimental de una turbina eólica tipo ciclo-giro con perfil de geometría variable*. México D.F.: UAM.
- Bautista, S., P. G., & R. T. (1991). *Análisis experimental de una turbina eólica tipo ciclo giro*. México D.F.: UAM.
- J.F. Manwell, J. M. (2002). *Wind Energy Explained*. Amherst.
- Medina, J. L. (2000). *Construcción y evaluación de un modelo de rotor eólico de eje vertical tipo Savonius*. México D.F.: UAM.
- Yanus A. Cenguel, J. M. (2006). *Mecánica de fluidos: fundamentos y aplicaciones*. EUA: Mc Graw Hill.