



## 7. REFERENCIAS

- [1] Barnes D. & Kölling M. (2008). Objects First with Java, A Practical Introduction Using BlueJ. Fourth Edition.
- [2] Espejel M. & Ferreira H. (2005). Proyecto de actualización de la infraestructura de telecomunicaciones en la UNAM campus Morelia, UNAM. México.
- [3] Holzmann G. (1991). "Design and validation of computer protocols", Bell Laboratories, Murray Hill New Jersey. PRENTICE-HALL.
- [4] Holzmann G (1997). The Model Checker SPIN, IEEE TRANSACTIONS ON SOFTWARE ENGINEERING, VOL. 23, NO.
- [5] Institute, P. (2009). A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide). Fourth Edition, Official Spanish Translation, Paperback. Project Management Institute.
- [6] Kanik Y. (2005). "Software project scheduling, software project performance measurement and control". Thesis, School of Informatics of the Middle East Technical University.
- [7] LAM, M. (2006). LAM/MPI User's Guide. Version 7.1.2. The LAM/MPI Team, Open Systems Lab. Disponible en: <http://www.lam-mpi.org/>.
- [8] Murata T. (1989). "Petri Nets: Properties, Analysis and Applications", Article invited, PROCEEDINGS OF THE IEEE, VOL. 77, NO. 4.
- [9] Srivastava B. (2000). "Efficient planning by effective resource reasoning". Arizona State University.

## PROTOTIPO DE ASPA PARA UN AEROGENERADOR TIPO VERTICAL.

Ing. María Izbeth Lara Lavalle  
Ing. Manuel Bello Hernández

PROTOTIPO DE ASPA  
PROTOTIPO DE ASPA PROTOTIPO DE  
ASPA PROTOTIPO DE ASPA PROTOTIPO  
DE ASPA PROTOTIPO DE  
ASPA PROTOTIPO DE ASPA ASPA  
PROTOTIPO DE ASPA PROTOTIPO DE ASPA



Sumario: 1. Resumen/Abstract. 2. Introducción. 3. Antecedentes de un aerogenerador. 4. Microeolica. 5. Aerogeneradores tipo vertical. 6. Factores en el diseño de un prototipo de aspas. 7. Propuesta savonius a 45°. 8. Conclusiones. 9. Bibliografía

**1. RESUMEN:** El presente trabajo tiene por objetivo diseñar un prototipo de aspas tipo Savonius con la finalidad de poder captar la energía cinética del viento y después transferirla a algún medio de generación, este tipo de aerogenerador tiene la característica de poder ser utilizado a bajas velocidades de viento, ideal para entorno urbanos con turbulencias y lugares donde éste sea por rachas. Se hizo todo el estudio pertinente de los principales parámetros para hacerlo más eficiente para la ciudad de Xalapa, para verificar esto se simuló en solidworks y posteriormente se construyó el prototipo con el cual se determinó una velocidad de conexión de 1m/s, aceptable para un entorno urbano.

**ABSTRAC:** The main objective of this work is to design a prototype of blades, Savonius type, in order to capture the kinetic wind's energy and then to transfer it to some means of generation. This kind of wind's turbine has the feature of being able to be used at low speeds of wind, they are also ideal for urban environment with places where there is gusts and turbulence. All this relevant research of the main parameter was made, in order to make it more efficient for Xalapa city, to verify it, this was simulated in solidworks and then it was built the prototype which determined a connection speed of 1 m/s, acceptable for an urban environment

Palabras claves: Aerogenerador, Aerogenerador vertical, Savonius, Viento, solidworks.

## 2. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales retos que se está enfrentado en la actualidad es el cambio climático, provocado por la sobre explotación de las fuentes de energía no renovables y como consecuencia los fuertes problemas sociales que se han presentado provocados por el tema del efecto invernadero

como son las sequias o las inundaciones que provocan las pérdida de cosechas, pérdida de empleos, viviendas lo que provoca la migración de las personas a zonas más favorecedoras.

Esta línea de investigación tiene la característica que permite analizar los diferentes factores que se necesitan para el diseño de las aspas para un aerogenerador tipo vertical así como sus especificaciones técnicas el tipo, tamaño y forma de las aspas.

Debido a esta fuerte preocupación algunas naciones realizaron uno de los acontecimientos clave para poner normas sobre las emisiones de CO2 y que significó un fuerte impulso para el desarrollo de fuentes alternas de energía como la eólica y fue que se llevo a cabo el tratado de kyoto. Es un acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de seis gases provocadores del calentamiento global: dióxido de carbono, gas metano y óxido nitroso, en un porcentaje aproximado de un 5%, dentro del periodo que va desde el año 2008 al 2012, en comparación a las emisiones en el año 1990.

La industria de la energía eólica en el mundo ha logrado muchos avances desde la instalación de los primeros aerogeneradores se ha ido desarrollando fuertemente. Este crecimiento tiene su explicación en la situación energética mundial por la que pasa la humanidad, y en la respuesta que los gobiernos, empresas y la misma comunidad han dado.

Como ejemplos tenemos a los países europeos que están viviendo una presión por que sus yacimientos de petróleo o carbón no son suficientes para atender la demanda en concreto la energía eléctrica, países como España, Dinamarca, Noruega ente otros, se han visto en la necesidad de utilizar sus recursos naturales como el viento.

En los últimos diez años la capacidad instalada en el mundo respecto a la energía eólica ha crecido en forma rápida, a más de 120 mil en 2008. La capacidad mundial de generación de energía eólica se ha venido duplicando cada 3.5 años desde 1990, según la agencia internacional de

energía (IEA, por sus siglas en ingles) la industria eólica capta el 43 % de la inversión en el sector eléctrico del mundo y crece entre un 20% y 30% al año. (Ver figura 1)



Figura1. Energía eólica, capacidad instalada en el mundo  
Fuente: Debnigo, 2012: <http://en.wikipedia.org/wiki/User:Debnigo>

Existen muchas razones por las que el viento merece más apoyo como medio para obtener energía eléctrica limpia. El poder del viento no produce desechos peligrosos, ni contribuye al calentamiento global, es abundante y confiable México cuenta con uno de los recursos eólicos más importantes a nivel mundial en tierra figura 2.

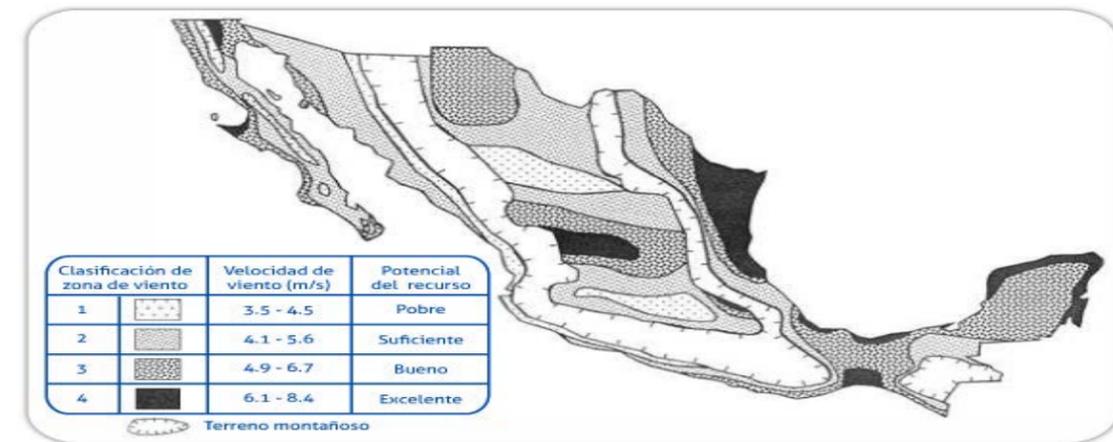


Figura 2. Zonas con potencial eólico en México  
Fuente: MASTERFAN, 2012: <http://www.masterfan.com.mx/situacion-en-mexico/>

La energía eólica del Istmo de Tehuantepec podría suministrarnos un 7% de las necesidades de energía eléctrica a nivel nacional. Dado los actuales costos elevados del gas y del petróleo, será más económica en un futuro la generación de electricidad mediante el poder del viento.

Países como Dinamarca y España destacándose China que ya obtienen un fuerte porcentaje de su electricidad mediante el poder del viento. (Ver figura 3.)

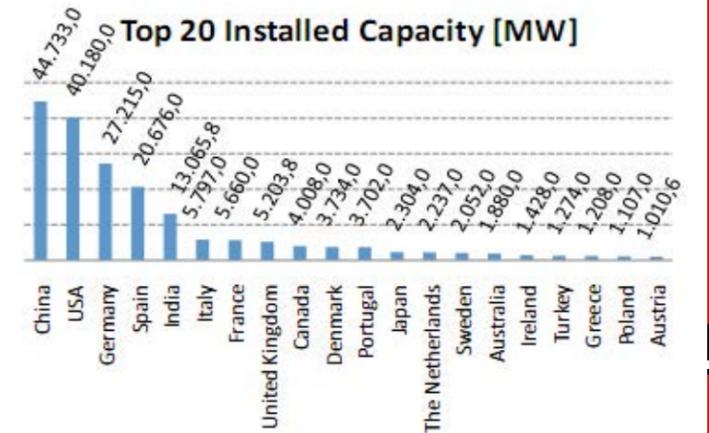


Figura 3. Top 20 de los países con mayor capacidad eólica instalada  
Fuente: WWEA, 2012: [http://www.wwindea.org/home/images/stories/pdfs/worldwindenergyreport2010\\_s.pdf](http://www.wwindea.org/home/images/stories/pdfs/worldwindenergyreport2010_s.pdf)



A diferencia de otras tecnologías, los aerogeneradores eólicos no son instalaciones que tengan un alto impacto en el lugar de su instalación. Por su mayor eficiencia en el aprovechamiento directo de la fuerza del viento, es más económico tanto en su fabricación como en su instalación al no necesitar base de sustentación ni mecanismos de orientación.

La energía eólica no contamina, es inagotable ayuda a frenar el agotamiento de combustibles fósiles contribuyendo a evitar el cambio climático y es una de las fuentes más baratas. El generar energía eléctrica sin que exista un proceso de combustión o una etapa de transformación térmica es un punto muy favorable, sin problemas de contaminación, etc. La generación de electricidad mediante turbinas eólicas no implica la liberación de dióxido de carbono o diferentes contaminantes que ocasionen la contaminación de terrenos o ríos y mares.

### 3. ANTECEDENTES DE UN AEROGENERADOR

Consideraciones históricas sobre la explotación del viento

El viento desempeña un papel fundamental en la vida terrestre, pues ayuda con el proceso de homogeneización atmosférica, a los ciclos del agua y otros elementos pero no conforme con lo anterior el ser humano lo ha utilizado para su propio beneficio, mediante el diseño de dispositivos que ayudan a captar la energía proveniente de esta fuente natural.

Aparentemente la primera aplicación práctica que se le dio fue en la navegación; los egipcios y los sumerios se aprovechaban de él en los cursos de los ríos Nilo y Tigris, respectivamente. Los molinos más antiguos que aparecen en Persia en el siglo 7 D.C eran de eje vertical y se utilizaba para la molienda de granos y bombeo de agua como se muestra en la figura 4.

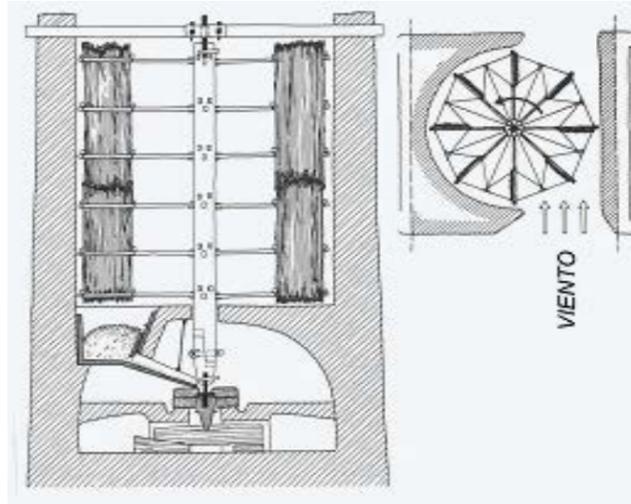


Figura 4. Molino Persa

Fuente: Renov-arte, 2012: <http://www.renov-arte.es/energia-eolica/evolucion-de-la-energia-eolica.html>

El primer molino de viento del que se tiene noticia histórica aparece en Persia, y se utilizó varios siglos antes de Cristo para pulverizar granos. Posteriormente los molinos aparecieron y se extendieron por toda Europa principalmente en Bélgica y los países bajos. El desarrollo de los molinos de viento se ve interrumpida por la revolución industrial, se populariza la utilización de vapor, aparece la electricidad al igual que los combustibles fósiles como fuente de energía. A mitad del siglo XIX aparece uno de los avances más importantes en el aprovechamiento de la energía eólica, la creación del molino conocido como "multipala americano" fabricado por Steward Perry que se convirtió en el más popular y el más utilizado. (Ver figura 5)

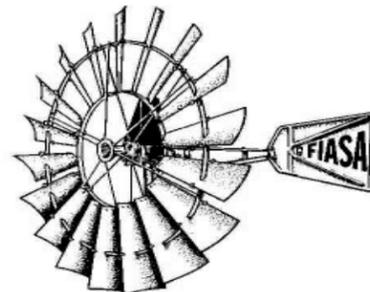


Figura 5. Multipala americano

Fuente: Renov-arte, 2012: <http://www.renov-arte.es/energia-eolica/evolucion-de-la-energia-eolica.html>

De acuerdo a Escudero J.M (2008) menciona en su Manual de la energía eólica, que la era moderna de los molinos de viento viene de la mano del desarrollo de la teoría de la aerodinámica, elaborada en las primeras décadas del siglo XX por Prandtl y Betz en Alemania, Joukowski, Dzewisky y Sabinin en Rusia y Constantin y Eiffel en Francia, que primeramente encontraron aplicaciones en la fabricación de alas y hélices utilizadas en la aviación y posteriormente en la pala de los rotores de los molinos.

El primer aerogenerador capaz de producir corriente continua fue fabricado por Charles Brush en los años 1886-87 tenía un rotor de 17 m de diámetro y estaba constituido por 144 palas de madera (Multipala americano). Podía generar hasta 12 kW de potencia (figura 6)

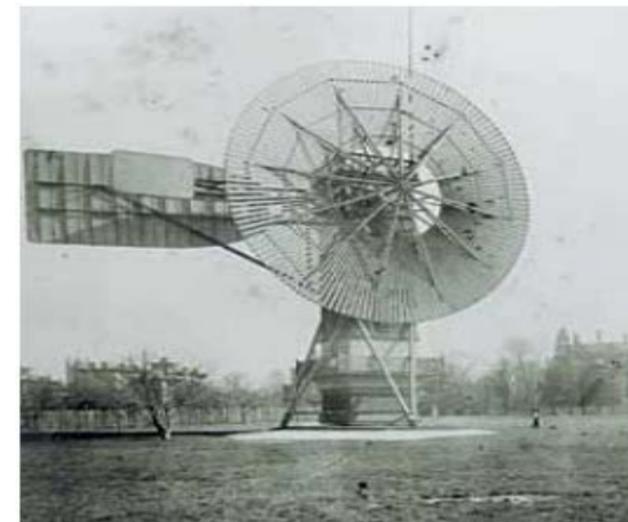


Figura 6. Primer aerogenerador

Fuente: Renov-arte, 2012: <http://www.renov-arte.es/energia-eolica/evolucion-de-la-energia-eolica.html>

La crisis energética de los años 70, ocasionó un abrupto encarecimiento del petróleo, y por consecuencia de sus derivados, provocó que aquellos países que tenían una importante dependencia de la importación de esos productos para la satisfacción de sus necesidades energéticas, buscaran soluciones alternativas a los grandes desequilibrios económicos que esta situación les

provocaba.

Es así como se comenzó a pensar seriamente en lo que dio en llamarse ahorro o conservación de energía y al mismo tiempo se comenzó a replantear el tema de la utilización de las energías no convencionales, apareciendo entonces la energía eólica, desde el punto de vista económico, como una fuente más competitiva para la producción de electricidad.

### 4. MICROEOLICA

El aprovechamiento de los recursos eólicos mediante la utilización de aerogeneradores de potencia inferior a los 100 Kw de acuerdo con las normas internacionales, los molinos de esta tecnología deben tener un área de barrido que no supere los 200 m<sup>2</sup>. En el plano de los pequeños aerogeneradores es necesario utilizar ciertos conceptos generales de generación eléctrica el concepto de generación distribuida o energía descentralizada (ED) consiste en generar la electricidad cerca de los puntos de consumo (incluso en el mismo punto de consumo). Es la contraparte a la generación centralizada que actualmente es la forma dominante en las redes convencionales y que se basa en grandes plantas de generación eléctrica normalmente alejadas de los centros de consumo. En realidad la ED no es un concepto nuevo, pues ya Edison en su concepción de la primera red de distribución la concebía como una red distribuida con unidades de generación en cada edificio. Lo que ocurrió es que esta red estaba concebida en corriente continua y tras ganar la batalla la corriente alterna, los transformadores y el transporte en alta y media tensión se abandonó la idea de ED. Pero en los últimos años ha vuelto a resurgir por la necesidad de mayor potencia de generación y la saturación de las actuales redes de transporte y distribución. Además el auge de las energías renovables a gran escala y el aumento de la conciencia medioambiental refuerzan la idea de la (ED). Esta tecnología cuenta con una serie de ventajas:

o Permite el suministro de electricidad en lugares



aislados y alejados de la red eléctrica.  
 o Genera energía de manera distribuida (Microgeneración distribuida) reduciendo de este modo las pérdidas de transporte y distribución.  
 o Produce electricidad en los puntos de consumo, adaptándose a los recursos renovables y a las necesidades energéticas de cada lugar.  
 o Puede combinarse con fotovoltaica en instalaciones híbridas.

La principal utilización es el autoconsumo de los edificios, viviendas o empresas donde la energía generada será consumida directamente ayudando a disminuir el pago por el servicio de energía eléctrica. De este modo se consigue una producción descentralizada que minimiza la pérdida de transporte, evita la proliferación de grandes centrales de generación eléctrica. Y no se visualiza lejos el futuro en que la mayoría de los propietarios de viviendas generen su propia energía convencional.

## 5. AEROGENERADORES TIPO VERTICAL

Savonius. En 1924, el finlandés Sigurd Savonius inventó un rotor de eje vertical capaz de trabajar con velocidades de viento muy bajas. El rotor Savonius está formado por dos semicilindros dispuestos alrededor de un eje vertical (Figura 7). La sencillez de su diseño hace que esa turbina requiera poco mantenimiento.

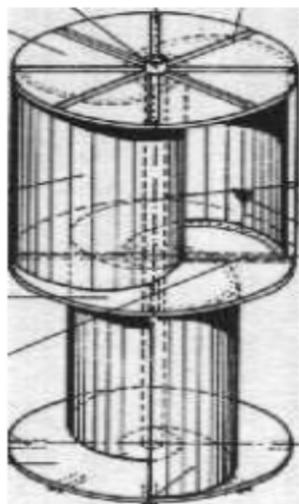


Figura 7. Rotor tipo Savonius  
 Fuente: Paneroma, 2012: <http://panemona.com.ar>

## Aerodinámica

La fuerza que experimenta un cuerpo cuando hay un movimiento relativo entre este y el fluido en el que se encuentra expuesto puede descomponerse en dos componentes, una paralela a la dirección del movimiento (fuerza de arrastre) y la otra que está perpendicular a la dirección del movimiento (Fuerza de sustentación). A menos que el cuerpo expuesto sea una placa plana se estará produciendo un gradiente de presión.

El gradiente de presión tiene efecto pronunciado en el comportamiento de flujo, un gradiente de presión adverso es condición necesaria para que ocurra una separación del flujo alrededor de la superficie del cuerpo. Este fenómeno de separación ocurre antes cuando el flujo es laminar, lo que genera una estela mayor y por lo tanto mayores coeficientes de arrastre.

Las superficies aerodinámicas son utilizadas para reducir los efectos que causan esta separación o desprendimiento del flujo detrás de los cuerpos expuestos. El objetivo principal es reducir el gradiente de presión contraria que se presenta detrás del punto de máximo espesor del cuerpo, lo que permite retrasar la separación de la capa límite y por lo tanto reducir el efecto del arrastre debido a la presión.

## El viento

El viento es aire que se mueve de un lugar a otro, bien sea de una ligera brisa o de un fuerte huracán. Tiene una procedencia directa de la energía solar. El calentamiento desigual de la superficie de la tierra produce zonas de altas y bajas presiones, este desequilibrio provoca desplazamientos del aire que rodea la tierra dando lugar al viento.

La cantidad de energía que puede ser extraída del viento se relaciona con el tiempo la velocidad de viento existente en un lugar considerado, la energía del viento en un sitio no está totalmente disponible para el usuario final debido a limitaciones impuestas por los elementos que lo componen y por las consideraciones de diseño el uso típico de la potencia producida por las aspas es

la operación de bombas extractoras de agua o en generadores eléctricos.

Las curvas de potencias características demuestran que es posible seleccionar un diámetro de las aspas que proporcionen la potencia deseada a cualquier velocidad de viento, pero a medida que el diámetro del rotor aumente se incrementará su costo de fabricación.

## Velocidad del viento

El viento viene definido dos parámetros esenciales como son, su dirección y su velocidad, la dirección del viento se comprueba mediante una veleta, y la velocidad se mide con un anemómetro, según su velocidad se puede considerar tres tipos de definiciones.

- o Vientos instantáneos; se mide la velocidad en un instante determinado.
- o Viento medio aeronáutico; se mide la velocidad media durante 2 minutos
- o Viento meteorológico; se mide la velocidad media durante 10 minutos.

## El viento y su energía

La fuente de energía con la que se alimenta una turbina eólica es la llamada "energía cinética" del viento, es decir la del movimiento de aire y se determina por la siguiente fórmula.

$$E_c = 0.5 \rho A V^3 \dots (1)$$

Donde:

P= energía cinética

$\rho$ = Densidad del aire en kg/m<sup>3</sup>

A= Área en m<sup>2</sup>

V= velocidad del viento en m/s

Se hace notar que la energía por unidad de tiempo es la potencia, en el caso del viento, la medimos en Watts. La energía depende cúbicamente de la velocidad del aire es decir, que pequeños aumentos de velocidad del aire pueden suponer grandes incrementos de la electricidad obtenida

## Ley de Betz

La ley de Betz fue formulada por el físico alemán Albert Betz en 1919. Su libro "Wind energy" donde

se define la potencia captada por un obstáculo que frena el libre movimiento del viento, en este caso se consideran las aspas del aerogenerador como obstáculo. La ley de Betz dice que solo puede convertirse menos de 16/27 (el 59%) de la energía cinética en energía mecánica usando un aerogenerador quedando de esta manera (ver figura 8).



Figura 8: Limite de Betz

Fuente: Paneroma, 2012: <http://panemona.com.ar>

## EFICIENCIA DEL ROTOR

El rendimiento aerodinámico del rotor se denomina como el coeficiente de potencia ( $C_p$ ). La aerodinámica hace uso de los números adimensionales para describir los parámetros de diseño asociados al flujo de aire. Este análisis es similar a los números adimensionales asociados a flujo de fluidos, uno de los parámetros comunes en el análisis aerodinámico es el TIP SPEED RATIO (TSR). El TSR Es un término que sustituye al número de revoluciones por minuto del rotor sirve para comparar el funcionamiento de máquinas eólicas. Para rotores tipo Savonius como el que se pretende construir corresponde a:  $TSR = 0.8$  observar figura (9) y un rendimiento



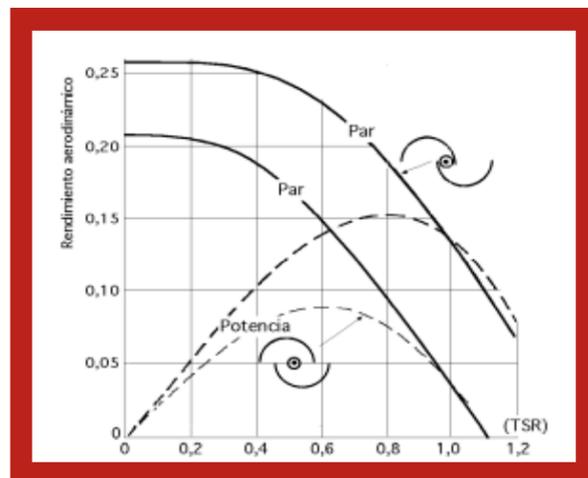


Figura 9: Rendimiento del rotor Savonius  
Fuente: Pedro, 2012: [www.exa.unne.edu.ar/fisica/maestria/modulo2/eólica](http://www.exa.unne.edu.ar/fisica/maestria/modulo2/eólica)

Tipo de aerogenerador	Velocidad de operación	Torque	Complejidad constructiva	C <sub>p</sub>	Robustez en %
Eje horizontal de moderadas RPM	Moderada	Bajo	Moderada	0.2-0.35	5-10
De altas RPM	Alta	Muy bajo	de precisión	0.3-0.45	< 5
<b>Eje vertical</b>					
Panemono	Baja	Medio	En bruto	> 0.1	50
Savonius	Moderada	Medio	Moderada	0.15	100
Darrius	Moderada	Muy bajo	De precisión	0.25-0.35	10-20
Geometría variable	Moderada	Muy bajo	De precisión	0.2-0.35	15-40

Figura 10. Rendimiento aerodinámico  
Fuente: Pedro, 2012: [www.exa.unne.edu.ar/fisica/maestria/modulo2/eólica](http://www.exa.unne.edu.ar/fisica/maestria/modulo2/eólica)

### Efecto Magnus

Fenómeno físico por el cual la rotación de un objeto modifica a la trayectoria del mismo a través de un fluido. Se debe entre otros al principio de Bernoulli. Un objeto al rotar crea un remolino de fluido a su alrededor. Sobre un lado del objeto, el movimiento del remolino tendrá la misma dirección que la corriente de fluido a la que el objeto está expuesto. En este caso la velocidad se incrementará. En el otro lado, el movimiento del remolino se produce en la dirección opuesta a la de la corriente de fluido disminuyendo la velocidad. La presión en el fluido se ve reducida proporcionalmente con cuadrado de la velocidad, con lo que la presión será menor en un lado que en otro, causando una fuerza perpendicular a la dirección de la corriente de aire. Esta fuerza desplaza al objeto de la trayectoria que tendría si no existiese el fluido. Ver (figura 11)

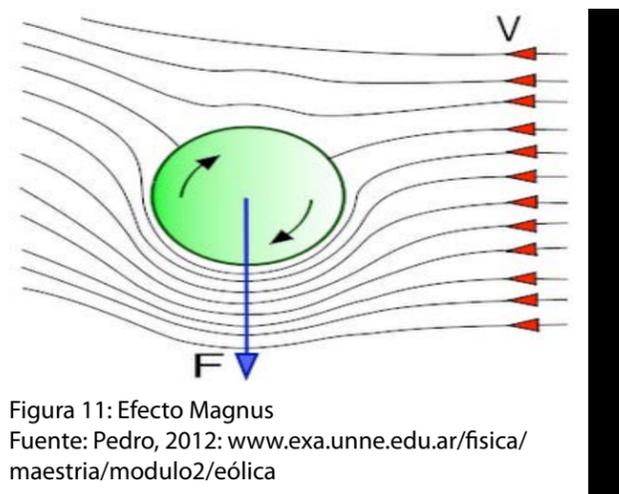


Figura 11: Efecto Magnus  
Fuente: Pedro, 2012: [www.exa.unne.edu.ar/fisica/maestria/modulo2/eólica](http://www.exa.unne.edu.ar/fisica/maestria/modulo2/eólica)

Por lo tanto las fuerzas de sustentación y de arrastre que presenta esta propuesta de aspas aparecerán por el efecto Magnus, las aspas frenan al viento por una parte (sotavento), mientras lo acelera por la parte contraria (barlovento).

### Fuerza de arrastre y ascensional

La fuerza de arrastre es la fuerza paralela al flujo de aire, y a veces también es llamada Fuerza de Resistencia al aire. Ocurre debido a la forma del cuerpo que interactúa con el flujo y a la fricción del flujo con la superficie de éste. En cuanto a sus signos, podemos decir que: El arrastre tiene signo positivo cuando va en el sentido del flujo, y negativo en caso contrario, ya que si el cuerpo se mueve contra el flujo debe vencer esta fuerza.

La Fuerza de Arrastre es una fuerza mecánica, generada por la interacción y contacto de un cuerpo rígido y un fluido. No es generada por un campo de fuerzas como en el caso de fuerzas gravitacionales o electromagnéticas, donde no es necesario el contacto físico. Por el contrario, para que exista Fuerza de Arrastre el cuerpo debe estar en contacto con el fluido.

Fuerza de sustentación es la fuerza que surge cuando un flujo de aire pasa por un perfil aerodinámico. Esta fuerza es perpendicular al flujo y es causada por la diferencia de presión entre la superficie superior (baja presión) y la inferior (alta presión). La diferencia de presión surge cuando el flujo (aire) es acelerado, debido a la forma del

objeto a través del cual está pasando.

Una manera de determinar el valor de los coeficientes de arrastre (Cx) y ascensional (Cy) para un rotor Savonius es mediante el siguiente gráfico, que muestra valores de estos coeficientes en función de la celeridad o TSR. (Figura 12)

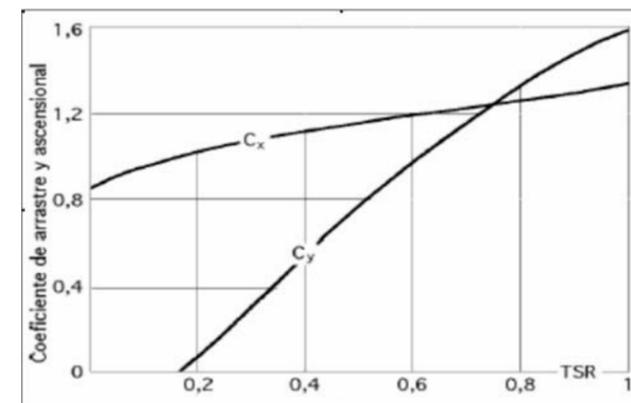


Figura 12: Coeficiente del rotor Savonius  
Fuente: Franquesa, 2012: [www.uv.es/~navasqui/OtrosAerogeneradores/Savonius.pdf](http://www.uv.es/~navasqui/OtrosAerogeneradores/Savonius.pdf)

$$\text{Fuerza ascensional} = 1.08CypAV^2 \dots (2) \quad \text{Fuerza de arrastre} = 1.08Cx pAV^2 \dots (3)$$

Donde:

- C<sub>x</sub>= coeficiente ascensional
- C<sub>y</sub>= coeficiente de arrastre
- p= Densidad del aire en kg/m<sup>3</sup>
- A= Área en m<sup>2</sup>
- V= velocidad del viento en m/s

La velocidad de giro numero de revoluciones. Para determinar cual es la velocidad de giro de las aspas sobre un eje se utiliza la siguiente fórmula:

$$N = (60 \cdot \lambda \cdot V) / (\pi \cdot D) \dots (4)$$

Donde:

- N= Es el número de revoluciones por minuto [rpm]
- λ= se llama velocidad específica y se denomina (TSR). Como se menciono anteriormente el TSR para aerogeneradores tipo Savonius es de (0.8)
- V= Es la velocidad del viento en metros por segundo [m/s].
- D es el diámetro de la eólica en metros [m]
- π= pi

Los rotores Savonius son de hecho más resistentes a las tensiones mecánicas que todos los

aerogeneradores que corren rápido, la potencia correspondiente emitida es muy superior a la de cualquier máquina de viento rápida en funcionamiento, en el caso de utilizar el mismo ancho del área de barrido frente al viento, y el mismo valor de la tensión mecánica máxima en las aspas.

De hecho, los rotores Savonius pueden ser considerados de alta productividad y bajo tecnicismo sobre máquinas eólicas. Es probablemente la razón por la que se suelen utilizar especialmente en los países pobres y en lugares aislados por tal motivo a partir de este punto en adelante el diseño de un rotor Savonius mejorado será el punto central de esta investigación. Se ha intentado mejorar el diseño con el paso del tiempo, adaptándolo de diferentes maneras por tal motivo se ha pensando en un diseño poco, como se menciono anteriormente el diseño original presente un problema de sobre presión en la parte cóncava del semicilindro.

Por lo que se mejoró separando ambas aspas y dejando un hueco entre ambas para que exista un flujo de aire (ver figura 13). Para tener una mejor idea del proyecto se ha realizado un primer diseño en SKETCH-UP BY GOOGLE, del prototipo para un generador eólico tipo vertical basado en un aerogenerador tipo Savonius mejorado. (Ver figura 14)



Figura 13: Rotor Savonius mejorado  
Fuente: Franquesa, 2012: [www.uv.es/~navasqui/OtrosAerogeneradores/Savonius.pdf](http://www.uv.es/~navasqui/OtrosAerogeneradores/Savonius.pdf)

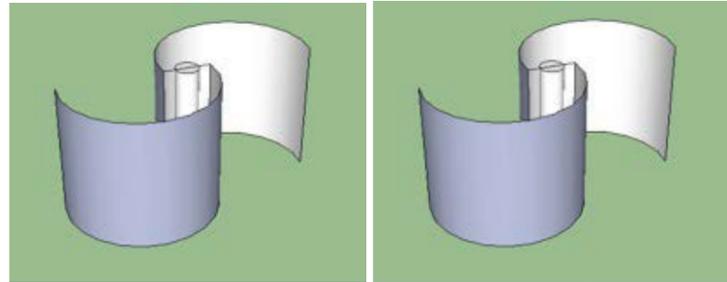


Figura 14: Diseño en SKETCH-UP, propuesta de aspas para un aerogenerador tipo Savonius mejorado.

Fuente: Dibujo Propio tomado del original savonius clásico

Ya se ha determinado por ensayos de los diferentes modelos, que el numero optimo de aspas es de 2, Silvase garam, Shankar y sandia laboratorios hallaron que el coeficiente de potencia máximo para un rotor de dos aspas es de 30% a 50% mayor que si fuera de tres aspas. A continuación se muestra una imagen (figura 15) donde se muestra la distribución de presiones en un rotor Savonius realizado en un estudio por la universidad Université de Valenciennes - Le Mont Houy F-59313 Valenciennes Cedex 9 FRANCE donde se puede observar como la parte expuesta al viento obtiene la mayor presión mientras la otra opone poca resistencia.

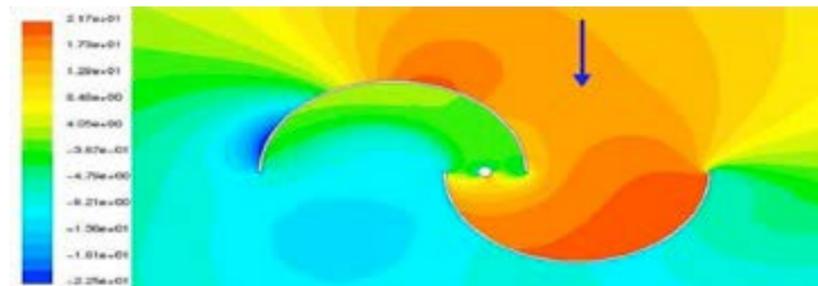


Figura 15. Distribuciones de presiones en un rotor Savonius Fuente: Universidad valenciana, 2012: <http://www.univ-valenciennes.fr/>

Cuando se habla de dimensionar un rotor no solo se esta refiriendo a la altura o al ancho que este debe tener también se deben tomar en cuenta aspectos geométricos que permitirán diseñar el mejor prototipo posible. A continuación se muestra una comparación de las tres principales configuración que se manejan en un rotor Savonius para poder determinar cual es la que mejores resultado proporciona, esto apoyado con imágenes de simulación realizadas en Solidworks con una herramienta llamada asistente para análisis FloXpress la cual nos permite ver las líneas de flujo del viento sobre una superficie expuesta. Cabe mencionar que para fines de comparación los tres modelos tienen las mismas medidas solo cambia la configuración de este.

En las imágenes se puede observar una escala de la velocidad del viento (ver figura 16)

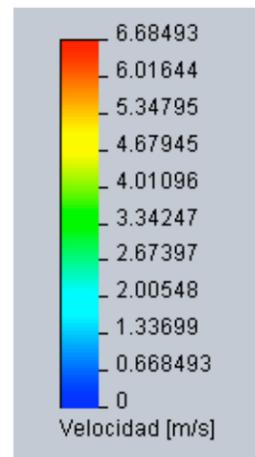


Figura 16. Escala de velocidad viento m/s Fuente: Propia

La escala va de los 0m/s hasta los 6m/s se eligió este tope de velocidad por que a esta velocidad el viento ya tiende a mover las copas de los arboles grandes 22k/h y para los fines de estudio se considero que era una velocidad considerable para la obtención de los resultados. Savonius clásico. (Ver figura 17)

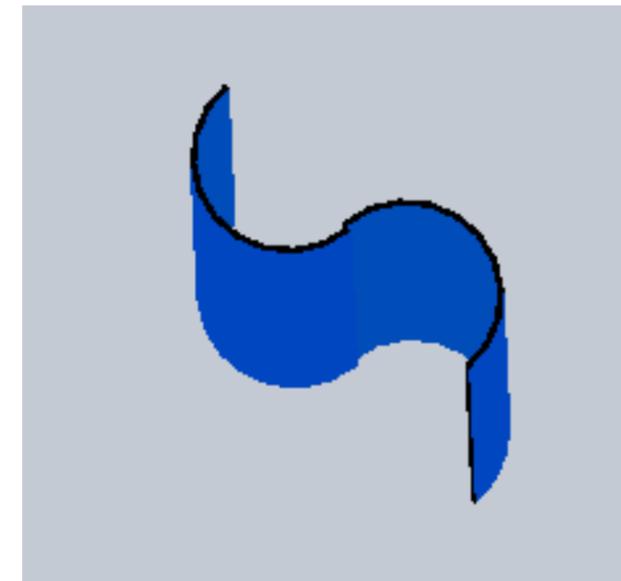


Figura 17. Savonius Clásico Fuente: Dibujo Propio tomado del original Savonius clásico

Aspectos geométricos

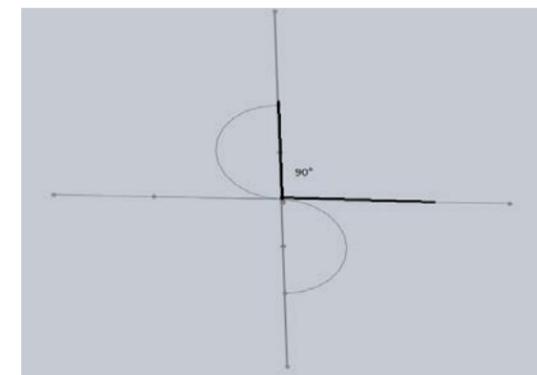


Figura 18. Aspecto geométrico Savonius clásico Fuente: Dibujo Propio tomado del original savonius clásico

Como se puede observar en la (figura 18) el rotor tipo Savonius clásico esta configurado por dos semicilindros con un ángulo de 90° este modelo es útil cuando se pretende diseñar un sistema Savonius de manera sencilla y no solo con dos aspas, puede ser hasta con múltiples aspas. Si este fuera el caso se colocaría una aspa cada 90° es decir es decir una en 180° otra en 270° y una mas en 360°, esto claro para un rotor de tres aspas, este modelo es de los mas populares ya que no presenta mayor problemas a la hora de fabricarlos usualmente colocan las mitades de un barril o incluso de una cubeta, pero como se comento en esta investigación el Savonius clásico presenta una sobrepresión a la hora que el viento entra y posteriormente quiera salir ya que no existe una cavidad en la parte central que permita el flujo del aire lo que provoca turbulencias. A continuación se muestra una figura que demuestra lo antes mencionado. (Ver figura 19)

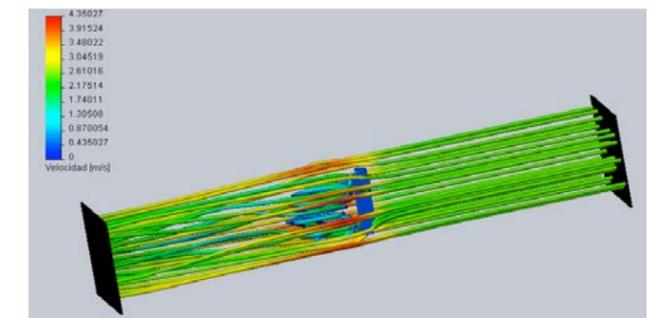


Figura 19. Simulación Solidworks líneas de viento Savonius Clásico Fuente: Propia

Como se puede observar el las líneas de color azul no siguen un curso lineal estas chocan con la parte cóncava, empujan las aspas pero al mismo tiempo realizan un movimiento de rebote creando remolinos en la siguiente imagen se pude observar con mas detalle este fenómeno. (Ver figura 20)

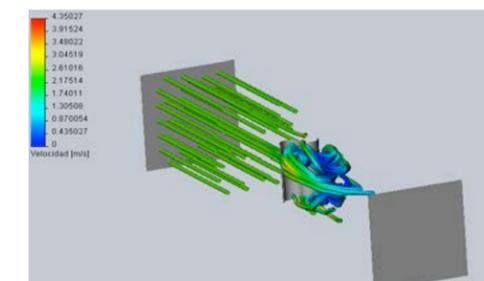


Figura 20. Turbulencias Rotor Savonius Clásico Fuente: Propia





# Savonius clásico con abertura

## Aspecto geométrico

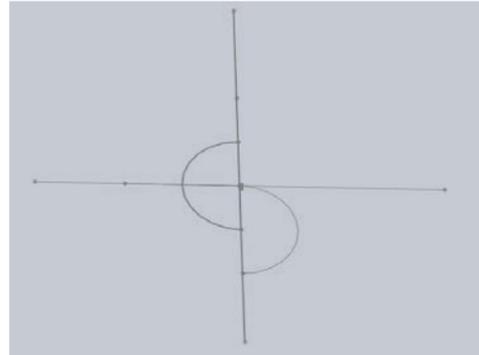


Figura 21. Savonius Clásico con abertura Fuente: Dibujo Propio tomado del original Savonius clásico con abertura

Este tipo de rotor aun tiene configurado las aspas una de la otra a 90° como se observa en la (figura 21) pero tiene la nueva característica que cuenta con una cavidad central la cual permite separar una aspa de la otra y así obtener un flujo de aire evitando la sobrepresión del Savonius Clásico la separación entre estos normalmente corresponde al radio de los semicírculos como se puede observar en la figura 22 el comportamiento del viento cambia aunque sigue habiendo turbulencias a la salida pero no rebotan contra la aspa.

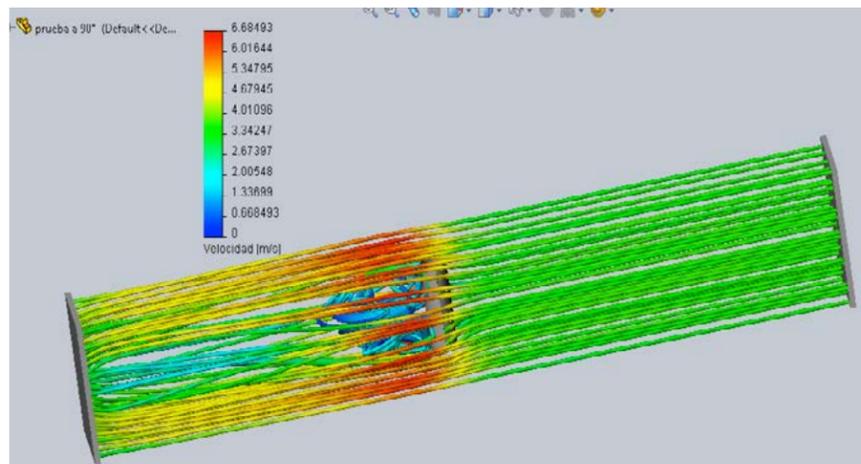


Figura 22. Simulación Solid-works líneas de viento Rotor Savonius con abertura Fuente: Propia

Para poder apreciar mejor se cambiaron las líneas de fluidos por puntos, se puede ver como un mayor numero de puntos verdes chocan contra la pala y estos son transferidos por la abertura central que después son rebotados contra la aspa de alado ya de color azul. (Ver figura 23)

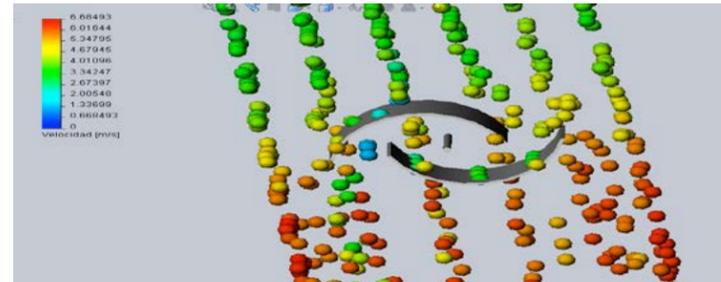


Figura 23. Asercamiento rotor Savonius con abertura Fuente: Propia

Otras de los cambios que se observaron en las simulaciones fue, que en este tipo de rotor las líneas de color rojo predominan a diferencia del anterior donde se notaba una mayoría de líneas azules. Como se ha ido observando los cambios que se le han realizado a este tipo de rotores ha tenido muchos mejores resultados, la sobrepresión en el centro ha ido disminuyendo.

### 7. PROPUESTA SAVONIUS A 45°

La forma básica de un rotor Savonius esta formado por dos semicilindros como el que se muestra a continuación. Como se ha apreciado la geometría en este tipo de rotores es muy importante al ser considerados como aerogeneradores de arrastre el área de barrido y su posición son fundamentales

para obtener mejores resultados por tal motivo se decidió en base a los resultados observados en las simulaciones y la información adquirida respecto del tema realizar las siguientes modificaciones.

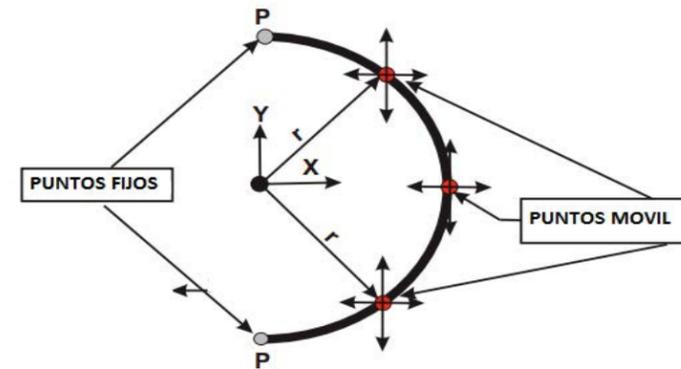


Figura 24. Puntos Fijos y móviles del semicírculo Fuente: Propia

La forma semicircular pose dos puntos fijos que son los extremos pero en este caso nos centraremos en mover la parte interna del semicírculo de tal forma que podamos reducir la zona de ingreso del aire para poder darle paso directamente hacia el otro extremo, (ver figura 24) como se observo en las simulación el tener un cilindro provoca que el viento se arremoline, al desplazar dichos puntos móviles y acercándolos a los extremos de esta manera se habrá cambiado la forma de semicírculo para formar un arco, esto se consigue utilizando un ángulo de 45° grados.

Para la demostración se tomaran los valores geométricos de las aspas que se mencionaron anteriormente en el apartado de Prototipo. Un diámetro de cada aspa de 28 cm al ser semicircular el radio seria de 14 cm en la (figura 25) se puede observar las dimensiones.

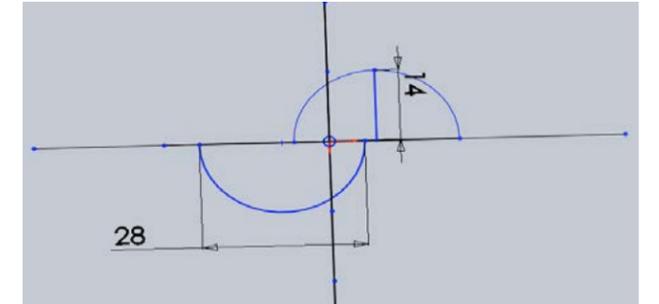


Figura 25. Valores geométricos Savonius clásico con abertura Fuente: Propia

Se procede a la modificación utilizando el mismo tipo de rotor pero con un ángulo de 45°, lo primero se selecciona la distancia de separación entre cada aspa en este caso 6cm. (Ver figura 26)

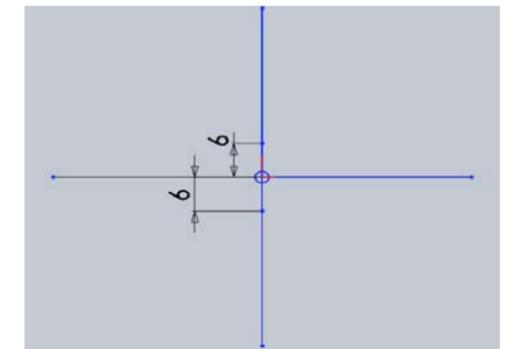


Figura 26. Distancia de separación entre las aspas Fuente: Propia

Luego se traza una línea a 45° tomando como partida se toma uno de los puntos marcados anteriormente (Ver figura 27)

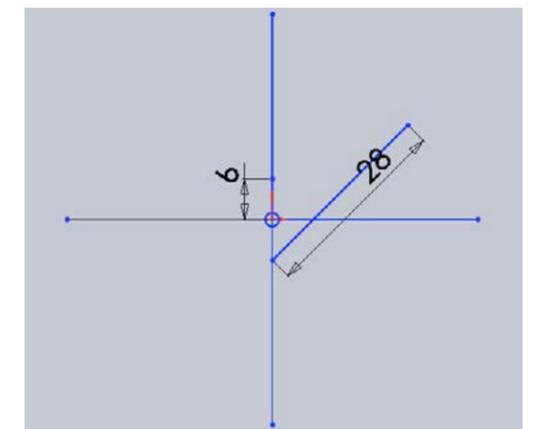


Figura 27: línea a 45° respecto al punto de separación





Y se traza un arco a 90° con respecto al eje Y (ver figura 28)

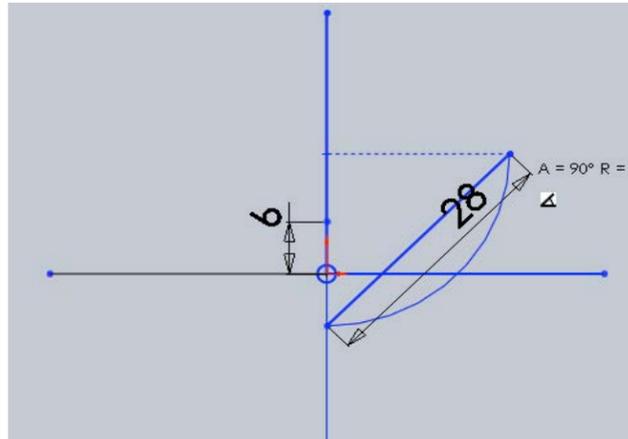


Figura 28. Arco de 90° respecto al eje Y del plano cartesiano  
Fuente: Propia

Se realiza el mismo procedimiento solo que el ángulo será a 225° y como se aprecia en la (figura 29) el diámetro de la aspa sigue siendo de 28cm la distancia del radio cambio paso de 14cm a 5.80cm.

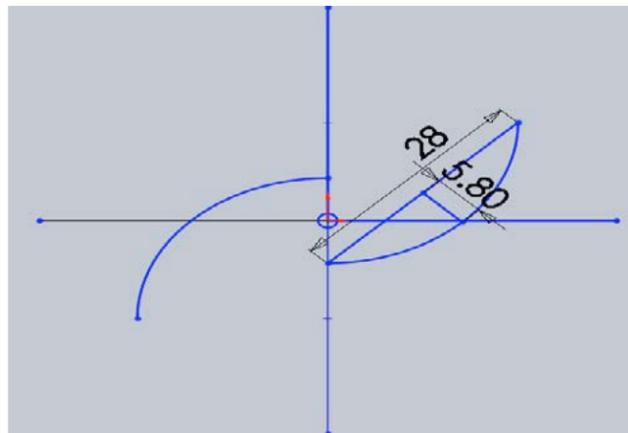


Figura 29: Nuevas dimensiones geométricas  
Fuente: Propia

Simulación de rotor Savonius con un ángulo de 45°  
Como se observa en la simulación el haber reducido la cavidad cóncava del aspa mejoro el traspaso del aire sobre esta se pueden ver que las zonas de turbulencia de color azul son muy pocas. (Ver figura 30)

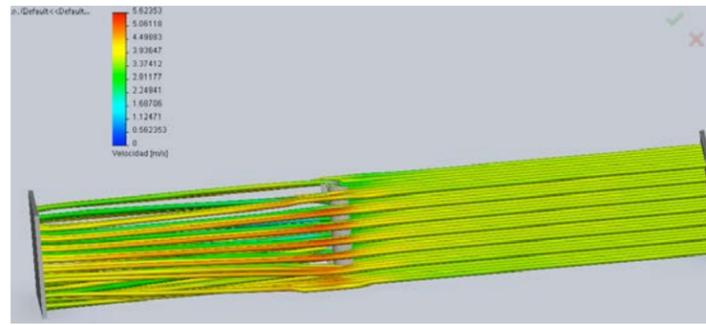


Figura 30: simulación túnel de viento, Rotor Savonius con un ángulo de 45°  
Fuente: Propia

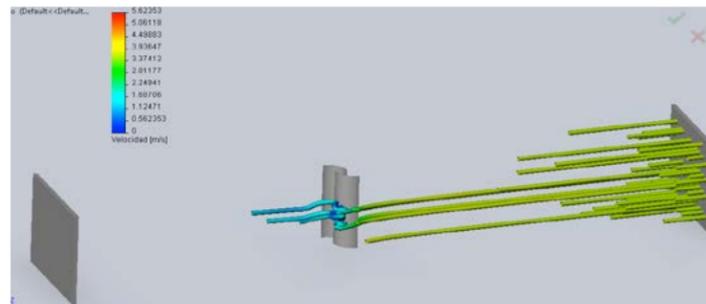


Figura: 31 turbulencias a la salida del viento  
Fuente: Propia

En la figura 31 se ve como disminuye considerablemente los remolinos que se observaron con los dos anteriores modelos, además el flujo del viento es constante siendo la mayoría en un promedio respecto a la escala de colores de color amarillo a verde

#### 8. CONCLUSIONES

La necesidad de obtener energía limpia y de manera sustentable ha dado principio al desarrollo de esta investigación, se planteo desde un principio la idea de realizar un aerogenerador, pero esté tenía que ser practico, de bajo costo y lo principal que funcione con velocidades de viento bajas propias del entorno urbano en la ciudad de Xalapa. Ver, se enfocó al diseño de las Apas que debía tener el aerogenerador por que estas son la principal fuente de obtención de energía cinética, el mayor numero de resultados se obtuvieron mediante la experimentación, se determino que la geometría en este tipo de aerogeneradores y principalmente en el diseño de las aspas es muy importante ya que permite obtener un mejor aprovechamiento



De mitos fundacionales,  
Padres primordiales y  
psicoanálisis arqueológico:

“Una lectura crítica de tótem y  
tabú”.

• Lic. Israel Ladrón de Guevara

Licenciado en Psicología y Criminología por la UANL; formación psicoanalítica con gente del CPM; estudios en Historia del Arte, Historia de las Religiones e Historia de las Culturas Prehispánicas.

Con experiencia en docencia, clínica psicoanalítica y en elaboración de perfiles psicológico-criminológicos para el área de investigación criminal. Académico de la Universidad de Xalapa.