



Title: Adaptation of a container tank to a savonius vertical axis turbine analyzed by reverse engineering

Authors: MORALES-PALOMARES, David, CRUZ-GÓMEZ, Marco Antonio, JUAREZ-ZERÓN, Tomás Aarón and FLOREZ-MARTINEZ, Guillermo

Editorial label ECORFAN: 607-8695

BCIERMMI Control Number: 2021-01

BCIERMMI Classification (2021): 271021-0001

Pages: 14

RNA: 03-2010-032610115700-14

ECORFAN-México, S.C.

143 – 50 Itzopan Street

La Florida, Ecatepec Municipality

Mexico State, 55120 Zipcode

Phone: +52 1 55 6159 2296

Skype: ecorfan-mexico.s.c.

E-mail: contacto@ecorfan.org

Facebook: ECORFAN-México S. C.

Twitter: @EcorfanC

www.ecorfan.org

Holdings

Mexico	Colombia	Guatemala
Bolivia	Cameroon	Democratic
Spain	El Salvador	Republic
Ecuador	Taiwan	of Congo
Peru	Paraguay	Nicaragua

Introducción



- Debido a la alarmante situación climática que experimentan todas las naciones, nos vemos en la necesidad de estudiar, desarrollar y mejorar con urgencia las tecnologías sustentables para la generación de energía eléctrica con el fin de abastecer la creciente demanda de generación en los sistemas eléctricos de potencia a nivel mundial.
- Las turbinas de eje vertical no necesitan ser direccionadas en el sentido del flujo de viento, además manejan mejor las turbulencias frente a las de eje horizontal, por lo tanto, las turbinas de eje vertical son excelentes para implementarse en un escenario urbano desarrollando todo su potencial. *Instituto tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. (2020).*
- El objetivo de esta investigación es generar una turbina de eje vertical Savonius adaptando un tanque, aprovechando su forma y dimensiones. A partir de la turbina generada mediante el proceso de ingeniería inversa se buscó obtener los parámetros de operación de este rotor eólico. Buscamos aportar datos de velocidad angular, fuerza interceptada y potencia proyectada de diseños Savonius similares al construido.

Metodología



Esta investigación se realizó bajo una metodología mixta utilizando enfoques tanto cuantitativos como cualitativos.

Método cuantitativo

- Por parte del enfoque cuantitativo utilizamos los datos de la carta psicrométrica del estado de Puebla, mediciones con un anemómetro y las dimensiones de diseño de un tanque de 200 L.

Método cualitativo

- La aplicación del método cualitativo permitió la posibilidad de obtener resultados a partir de estimar la variable de velocidad lineal del viento como constante el promedio de la velocidad de los flujos de aire (8.03 m/s), además de una estimación unitaria del coeficiente de arrastre.

Método Mixto

Por parte del método mixto; se realizó un análisis CFD al modelo CAD de la turbina, a través del simulador Fluent de ANSYS 2020 R2, en donde se implementó un volumen de control, en el cual se hizo pasar un flujo de viento constante regido por el modelo K-Épsilon y así poder observar el comportamiento del fluido con el rotor eólico en operación.

Diseño y materialización de la turbina de eje vertical Savonius.

1. A partir de un tambo contenedor de 200 L. Como se muestra en la figura 1 se decidió realizar un modelo de cinco alabes, y para lograrlo la pieza se dividió en siete partes

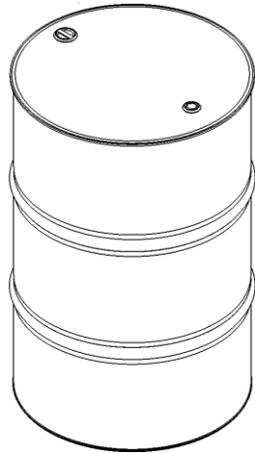


Figura 1 Modelo CAD Tambo contenedor de 200L Fuente: Grupo de tribología y transporte. Facultad de Ingeniería. BUAP; Solidworks 2018

2. A partir del esquema anterior, en la herramienta CAD Solidworks 2018 licencia libre, tal y como se muestra en la figura 2, se dividió el tambo en siete partes, cinco alabes iguales y dos tapas.

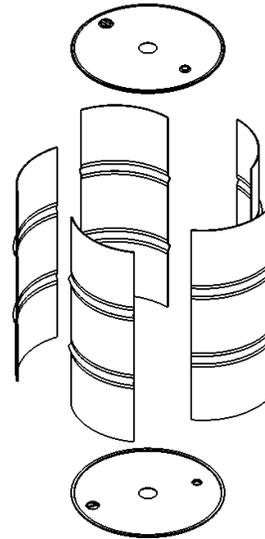


Figura 2 Modelo CAD piezas del ensamblaje Fuente: Grupo de tribología y transporte. Facultad de Ingeniería. BUAP; Solidworks 2018

3. Se propuso el siguiente diseño para mantener una porción del alabe dentro de la circunferencia de las caras en la base del ensamblaje; para aumentar el área de contacto con la base mejorando la resistencia del ensamble, como se muestra en la figura 3.

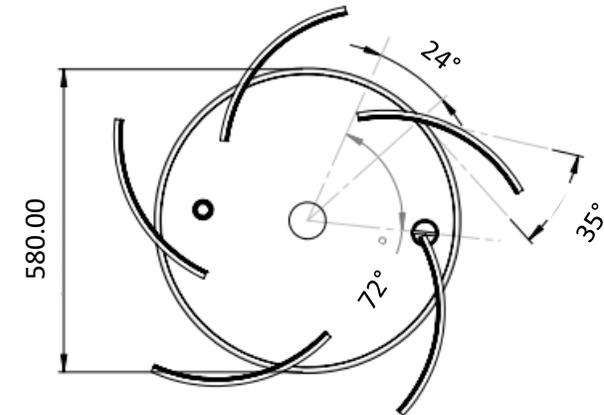


Figura 3 Planos descriptivos para la disposición de los alabes Fuente: Grupo de tribología y transporte. Facultad de Ingeniería. BUAP; Solidworks 2018

Diseño y materialización de la turbina de eje vertical Savonius.

4. Siguiendo la geometría en los planos anteriores, en la figura 4 se puede observar la vista isométrica del ensamblaje final.

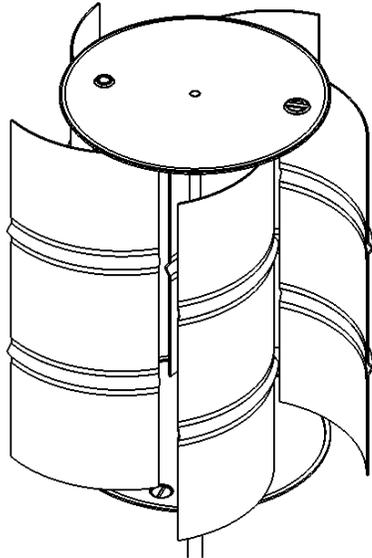


Figura 4 Ensamblaje CAD turbina Savonius *Fuente: Grupo de tribología y transporte. Facultad de Ingeniería. BUAP; Solidworks 2018*

5. Una vez aprobados los planos se procedió a realizar los cortes descritos en la conceptualización del ensamblaje en el Tambo contenedor de 200 L como se muestra en la figura 5.



Figura 5. Cortes y materialización de planos *Fuente: Grupo de tribología y transporte. BUAP; Solidworks 2018*

6. Usando como referencia los planos de diseño de la turbina, se re ubicaron las palas y bases del rotor vertical. En la figura 6, se muestra el rotor eólico soldado y ensamblado.



Figura 6 Turbina de eje vertical Savonius *Fuente: Grupo de tribología y transporte. Facultad de ingeniería. BUAP*

Análisis teórico de la turbina

- Para permitir el estudio de la turbina Savonius, se estimaron los siguientes parámetros:
 - ❖ Velocidad del viento constante (8.03 m/s)
 - ❖ Coeficiente de Arrastre unitario (1)

Identificación de la tasa de TSR

La Relación de Velocidad de Punta o TSR se obtuvo a través de la ecuación 1, que relaciona la velocidad lineal de la turbina con la velocidad lineal perpendicular a los flujos de viento.

$$\lambda = \frac{v}{V} = \frac{wr}{V} \quad (1)$$

Donde:

- λ : Relación de Velocidad de Punta
- V : Velocidad lineal del viento (m/s)
- v : Velocidad lineal de la turbina (m/s)
- w : Velocidad angular de la turbina (rad/s)
- r : Radio de la turbina (m)

Análisis teórico de la turbina

Identificación de la tasa de TSR

Donde la velocidad lineal de la rotor eólico será descrita por la ecuación 2.

$$v = wr = 2\pi fr \quad (2)$$

Sustituyendo los datos en la ecuación 1.

$$\lambda = \frac{2\pi(60 \text{ Hz})(0.4425 \text{ m})}{8.03 \text{ m/s}}$$

$$\lambda = 20.7744$$

Dada la naturaleza de la turbina, se divide el TSR obtenido entre el número de alabes.

$$\lambda_R = \frac{\lambda}{5}$$

Donde:

- λ_R : Relación de Velocidad de Punta Real

Sustituyendo los datos en la ecuación 3.

$$\lambda_R = \frac{20.7744}{5} = 4.1548 \quad (3)$$

Coefficiente de arrastre

El TSR nos ayuda a medir el comportamiento de un cuerpo que rota sobre su propio eje y se ve regido por un arrastre aerodinámico, dada la forma las palas para la captación del viento son perpendiculares a los flujos del viento y tiene una gran área de contacto; se estimara un coeficiente de arrastre unitario.

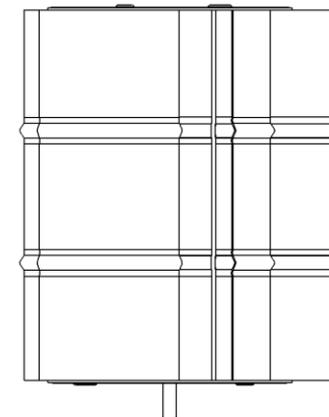


Figura 7 Vista frontal del ensamblaje Fuente: Grupo de tribología y transporte. Facultad de Ingeniería. BUAP; Solidworks 2018

Análisis teórico de la turbina

Fuerza y potencia de los flujos del viento captados por la turbina

A partir de las características geométricas del rotor eólico, la carta psicrométrica del Estado de Puebla

- Área de contacto = $A = 0.31911 \text{ m}^2$
- Constante de arrastre = $C_A = 1$
- Velocidad del viento = $v = 8.03 \text{ m/s}$
- Densidad del aire = $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$
- Radio de la turbina = $r = 0.4425 \text{ m}$

La fuerza ejercida por los flujos de aire ejercida en las palas de la turbina está definida por la ecuación 4.

$$F_w = C_A \frac{1}{2} \rho A v^2 \quad (4)$$

Sustituyendo los datos en la ecuación 4.

$$= \left(\frac{1}{2}\right)(1.225 \text{ kg/m}^3)(0.31911 \text{ m}^2)(8.03 \text{ m/s})^2$$

$$F_w = 12.6031 \text{ N}$$

La potencia por parte de la velocidad del viento se describe en la ecuación 5.

$$P_w = C_A \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (5)$$

Sustituyendo los datos en la ecuación 5.

$$= \left(\frac{1}{2}\right)(1.2 \text{ kg/m}^3)(0.3191 \text{ m}^2)(8.03 \text{ m/s})^3$$

$$P_w = 101.2029 \text{ W}$$

Análisis CFD de la turbina eólica Savonious

Para llevar a cabo el análisis CFD, como se observa en la figura 5, se implementó un volumen de control para definir el dominio por el cual pasaría el flujo de viento a través del rotor eólico. Así mismo, también se declaró un dominio de rotación para permitir el giro del modelo.

Se declaró el modelo de viscosidad K-Épsilon realizable con un tratamiento cerca de la pared escalable a esta misma. Además de programar los parámetros de frontera indicados en la tabla 1.

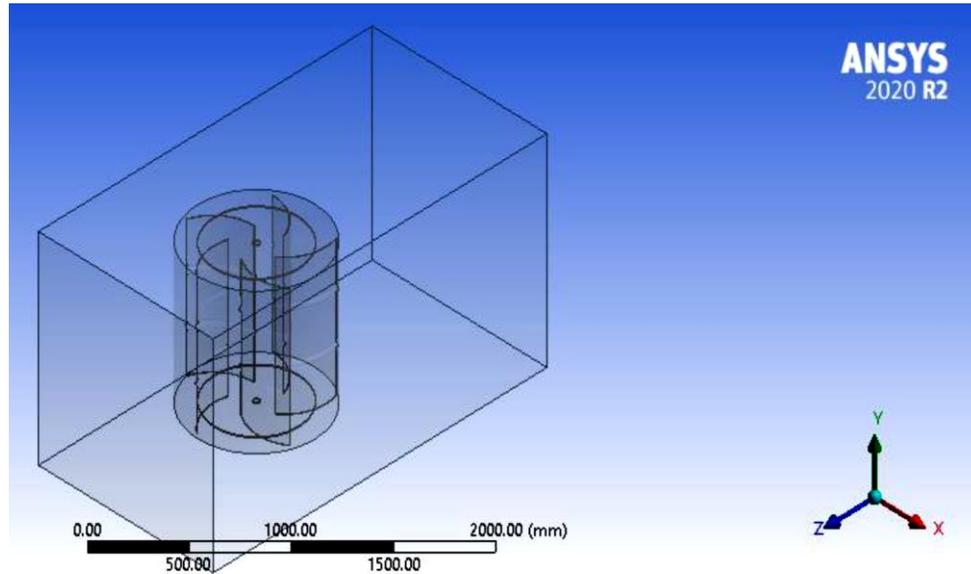


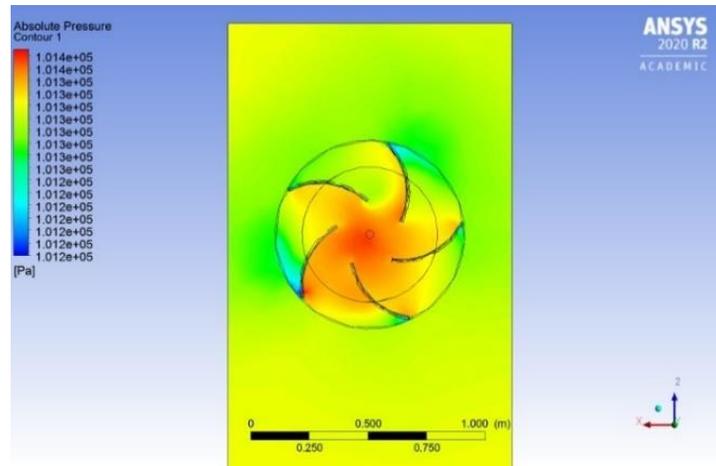
Figura 8 Implementación de los dominios de control y rotación *Fuente: Grupo de tribología y transporte. Facultad de ingeniería. BUAP; ANSYS R2 2020. Licencia estudiantil*

Parámetros	Coefficientes y características
Fluido	Aire Densidad = 1.225 kg/m ³ Viscosidad = 1.784e-05 kg/m·s
Inlet	8.03 m/s hacia to -Z
Presión relativa en el volumen de control (except en el Inlet)	1.00863 atm
Dirección de rotación en el dominio de rotación	Y = 1
Velocidad máxima de rotación en el dominio de rotación	18.1468 rad/s
Número TDR de Prandtl	1.2
Número TKE de Prandtl	1

Tabla 1 Parámetros de frontera del análisis CFD *Fuente: Grupo de tribología y transporte. Facultad de Ingeniería. BUAP. (2021).*

Análisis CFD de la turbina eólica Savonius

La figura 8 muestra cómo la presión absoluta se concentra en el centro del rotor y se distribuye uniformemente por las palas, concentrándose en las zonas de contacto de la turbina, lo que permite una rotación constante en la dirección deseada.



en el alabe transversal a la dirección del viento y como aún no se ha roto la inercia del prototipo; esta velocidad se disipa conforme gira la turbina.

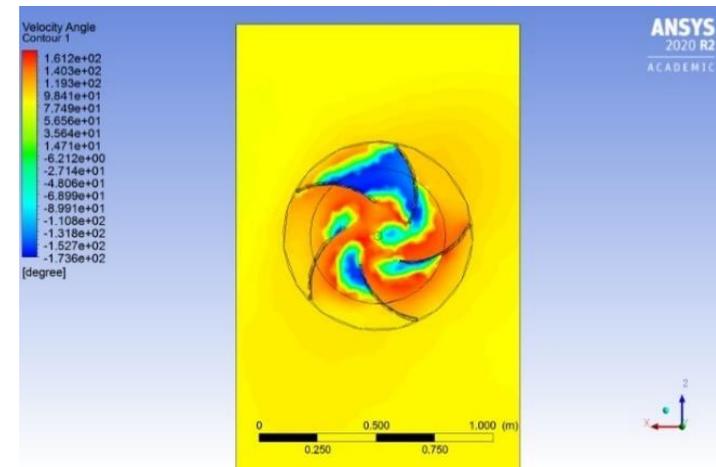


Figura 8 Resultados de presión absoluta CFD de la turbina de eje vertical *Fuente: Grupo de tribología y transporte. Facultad de Ingeniería. BUAP; ANSYS R2 2020. CFX. Licencia estudiantil*

Figura 9 Resultados de velocidad angular CFD de la turbina de eje vertical Savonius *Fuente: Grupo de tribología y transporte. Facultad de Ingeniería. BUAP. ANSYS R2 2020. Licencia estudiantil. (2021).*

Dado que el análisis parte del estado estacionario de la turbina, se puede apreciar en la figura 9 como la velocidad angular del rotor alcanza su punto máximo

Sin embargo; tras unos segundos la velocidad angular del flujo en la turbina será casi simétrica, aun centrándose en la cuchilla transversal al viento.

Análisis CFD de la turbina eólica Savonius

En la figura 10 se puede observar como el prototipo en estado estacionario, impide el flujo de viento y reduce su velocidad gradualmente (puede observarse claramente cómo disminuye la velocidad en el volumen de control; antes y después de hacer contacto con la turbina). No obstante, siendo análogos con el análisis de velocidad angular de la figura 7, la velocidad lineal del flujo comienza a excitar al rotor a partir del contacto del fluido con el alabe transversal al viento, comportándose de forma uniforme por casi toda el área de la cuchilla.

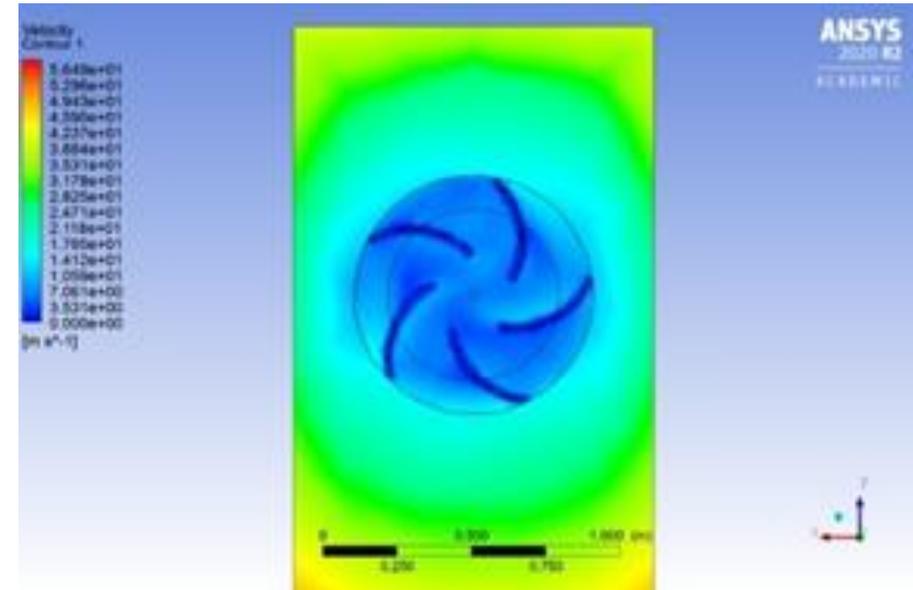


Figura 10 Resultados de velocidad lineal CFD de la turbina de eje vertical Savonius *Fuente: Grupo de tribología y transporte. Facultad de Ingeniería. BUAP; ANSYS R2 2020. CFX. Licencia estudiantil*



BUAP

Resultados

La tabla 2 contiene los datos obtenidos a partir de la geometría de la turbina Savonius y los datos psicrométricos correspondientes.

Descripción	Valor calculado
Relación de velocidad punta	4.1548
Fuerza de flujo interceptada	12.6031 N
Potencia proyectada (Cuando el eje esta ensamblado directamente al rotor)	101.2029 W

Tabla 2 Resultados calculados *Fuente: Grupo de tribología y transporte. Facultad de Ingeniería. BUAP. (2021).*

En lo que concierne al análisis CFD, se puede interpretar que el flujo de viento interceptado por los alabes de la turbina comienza a formar remolinos de aire que excitan el movimiento del rotor y estos se disipan hasta 135° con respecto al eje XZ tras la captación.

Por parte del área de sostenibilidad el diseño de turbina eólica, beneficiará a la sociedad otorgando una alternativa en la capacidad de generación de energía eléctrica de manera ecológica y viable económicamente, pues cualquier persona que tenga acceso a un tanque tiene la posibilidad de realizar un ensamble similar.

Por el lado sustentable, el modelo Savonius en el ambiente urbano se adapta perfectamente a las condiciones ambientales y no tienen que ser direccionadas en sentido a las corrientes de aire.

Por lo tanto, estos diseños de rotor eólicos son los más adecuados para ciudades cerradas, fomentando una cultura de concientización que se preocupa en el cuidado del medio ambiente y la integración de novedosos sistemas de generación de energías limpias en los entornos urbanos.

Conclusiones

En este estudio, se ha propuesto la adaptación de una turbina de eje vertical Savonius a partir de un tanque de 200 L para su implementación en las grandes ciudades. Sin embargo, los resultados obtenidos en este análisis demuestran el potencial limitado de generación y el gran reto que supone generar grandes cantidades de kilowatts de forma sustentable sin mencionar las constantes intermitencias propias de las tecnologías eólicas.

Aun así, el rotor Savonius representa una gran ventaja al producir energía de manera sostenible en entornos urbanos, pues no necesita ser direccionada hacia el flujo de aire, y al tener un desempeño sobresaliente en el manejo de las turbulencias al igual que muchos diseños de turbinas de eje vertical como el Darrieus.



Referencias

- Saavedra, A., Alejos, R. (2019). *Diseño de la geometría de un aerogenerador de eje vertical tipo Savonius*. 2-3. **BUAP**
- Vázquez, M. (2007). *Diseño de una turbina eólica de eje vertical con rotor mixto*.
- Barrera, J., Jurado, F., Razo, J., González, R. *Aerogenerador de eje vertical para aplicaciones In-situ. Análisis y modelado de un aerogenerador de eje vertical. Innovación y sustentabilidad Tecnológica. Instituto Tecnológico de Misantla.*
- Tseng, Y., Kuo, C. (2011). *Engineering and construction torsional responses of glassfiber/Epoxy composite blade shaft for a small wind turbine. Procedia Engineering 14.*
- (2021). *Red Automática de Monitoreo Meteorológico 12: DIAU-BUAP. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. <http://urban.diau.buap.mx/estaciones/ramm/ramm.html>*
- Diago, C. (2019). *Diseño de un aerogenerador Savonius para uso doméstico. Universidad Tecnológica de Valencia. 41-45.*
- (2021). *Estadística de la Energía Generada Liquidada Agregada (MWh) Intermitente y Firme por Tipo de Tecnología. Sistema Eléctrico Nacional. Días de Operación del Mes de: febrero 2021. Proceso de Liquidación: Original (L0). <https://www.cenace.gob.mx/SIM/VISTA/REPORTES/EnergiaGenLiqAgregada.aspx>*
- Guanoluisa, E. (2011). *Aplicación del método de elementos finitos en la dinámica de fluidos. 38-50*

Referencias

- *Canalejo, D. (2011). Generador eólico para uso doméstico. Escuela Universitaria Politécnica de Mataró. 5-7.*
- *Regueiro, R. (2011). Las implicaciones ambientales del proceso de implantación de parques eólicos: La situación en Galicia. Revista Galega de Economía. Volumen 20. 3-8.*
- *Villanueva, J., Álvarez, R. (2007). Modelado del coeficiente de potencia de un aerogenerador por efecto de fricción. Universidad Nacional Autónoma de México.*
- *Estrella, B. (2008). Prototipo Experimental Turbina Eólica de Eje Vertical. Tecnológico de Monterrey. 8-19.*
- *Huacuz, J. (2016). Tendencias en el Desarrollo de la Tecnología Eólica. Premio Nacional de Tecnología e Innovación.*
- *Torres, A. (2015). Simulación y análisis de interacción fluido-estructura en alabe de turbina de motor a reacción mediante método por elemento finito. Instituto Politécnico Nacional.*
- *Batista, H. (2000). Las turbinas eólicas. Universidad Nacional de la Plata.*
- *Solidworks. (2021). <https://www.solidworks.com/es>*
- *ANSYS. (2021). <https://www.ansys.com/>*



ECORFAN®

© ECORFAN-Mexico, S.C.

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BCIERMMI is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- (www.ecorfan.org/booklets)