



RENIECYT - LATINDEX - Research Gate - DULCINEA - CLASE - Sudoc - HISPANA - SHERPA UNIVERSIA - E-Revistas - Google Scholar
DOI - REDIB - Mendeley - DIALNET - ROAD - ORCID

Title: Simulación y pruebas de laboratorio de un aspa de turbina de viento de 600W de acuerdo a la Norma IEC-61400-2.

Authors: MARÍN-TÉLLEZ, Paulina, LÓPEZ-GARZA, Víctor, PÉREZ-JUÁREZ, Erick y GONZÁLEZ-ÁVALOS, Gilberto.

Editorial label ECORFAN: 607-8695
BCIERMMI Control Number: 2019-166
BCIERMMI Classification (2019): 241019-166

Pages: 17
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

Las turbinas eólicas se encargan de convertir la energía eólica en energía eléctrica y se pueden clasificar de acuerdo con la potencia que generan como: aerogeneradores de baja potencia, aerogeneradores de media potencia y aerogeneradores de alta potencia. **Los aerogeneradores de baja potencia son aquellos que entregan una potencia de hasta 50 kW** y se utilizan principalmente para abastecer viviendas, así como establecimientos de pequeño tamaño.

Uno de los componentes claves en los aerogeneradores son los álabes, los daños estructurales en ellos pueden generar problemas que disminuyan su rendimiento, aceleren su proceso de degradación, disminuyan su eficiencia en la producción de energía e incluso provocar accidentes catastróficos durante su funcionamiento.

Introducción

Para evitar fallas en las palas, estas deben someterse a la verificación de confiabilidad mediante pruebas estáticas y de fatiga, cuya finalidad es verificar que no fallarán dentro de la vida útil planificada. **La Norma IEC-61400-2 es un estándar internacional para la evaluación y certificación de las de turbinas de viento de baja potencia y todos sus componentes.**

En el presente trabajo, se evalúa un álabe de una turbina de viento de 600W de acuerdo con las siguientes hipótesis de carga descritas en la norma IEC 61-400-2: operación normal, empuje máximo, inmovilización con carga del viento y exposición máxima. Utilizando simulación por elemento finito, así como técnicas de extensometría.

Metodología

Diseño y manufactura de álabes de turbinas de viento.

El álabe evaluado en este trabajo fue diseñado basándose en la Teoría de Elemento de Pala (BEM), la cual calcula la resultante de las fuerzas producidas por la pala en su interacción con el fluido, integrando las fuerzas que se crean en cada sección radial. El diseño del perfil aerodinámico se obtuvo del software TIMEO.

Para la manufactura del álabe se utilizaron técnicas de CAD (Diseño Asistido por Computadora) /CAM (Manufactura Asistida por Computadora), además fue necesario manufacturar una cama falsa que fue utilizada como eje virtual. El mecanizado de los modelos de los alabes fue realizado en madera por fresado y la manufactura final del álabe se realizó en fibra de vidrio.

Metodología

Esta aspa, está diseñada para una turbina de 600W, para una velocidad específica de 6 y una velocidad en la punta de la pala de 12.5 m/s^2 . Se empleó un perfil NACA 4412, con un radio de 0.95m, una cuerda máxima de 0.215m y se dividió en 10 secciones.

Metodología

Norma IEC-61400-2 y modos de carga analizados.

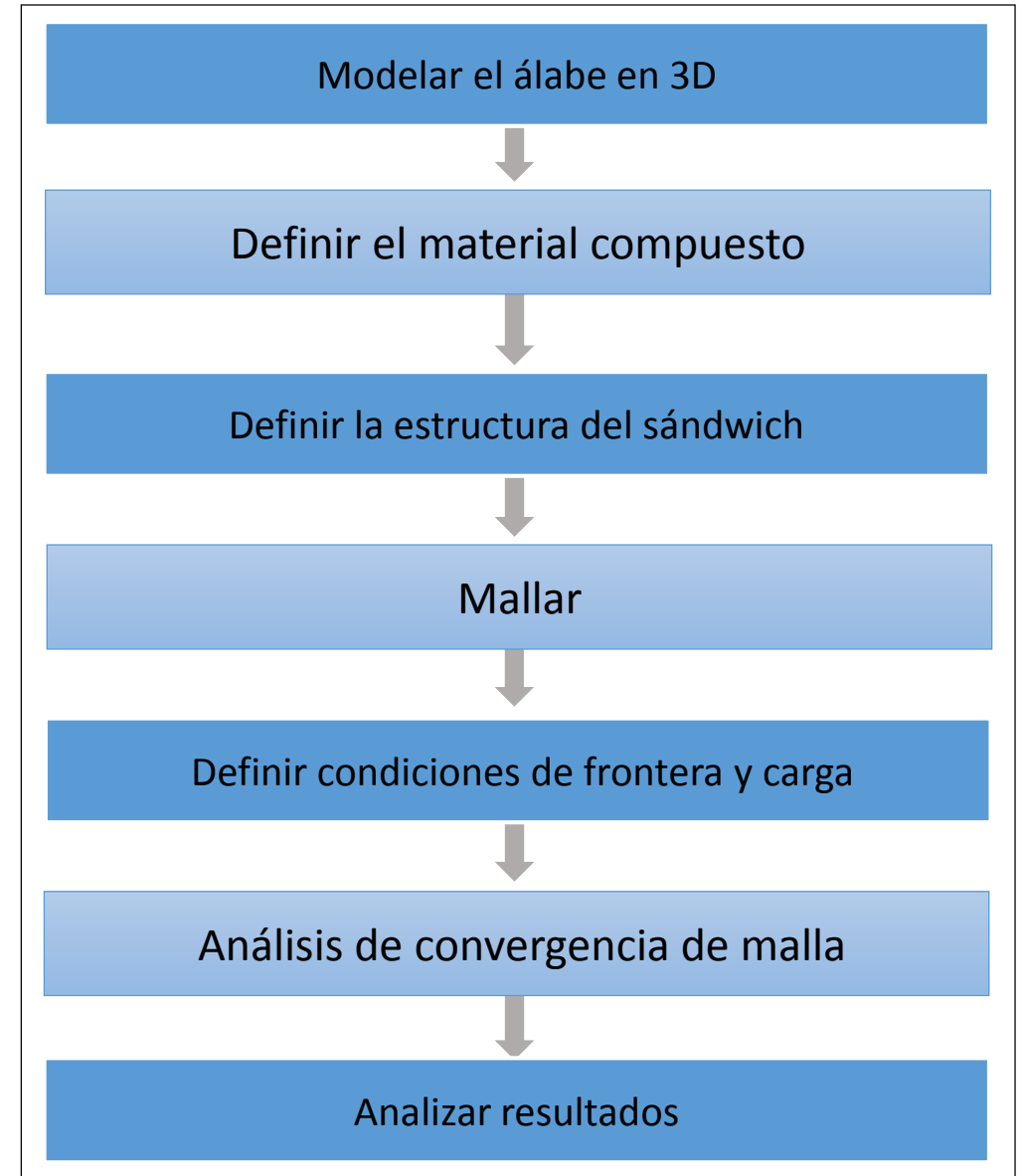
La Norma IEC-61400-2 divide a los aerogeneradores en clases de AP (Aerogeneradores Pequeños) considerando los valores de la velocidad del viento y la turbulencia independientemente del emplazamiento en específico.

Las hipótesis de carga de diseño utilizadas para determinar la integridad estructural de un AP se resumen en la tabla 1. Para cada estado de diseño, se expone el tipo apropiado de análisis por “F” (análisis de cargas por fatiga) y por “U” (análisis de cargas críticas).

Situación de diseño	Hipótesis de carga		Tipo de análisis
Producción de energía	A	Operación normal	F
	B	Orientación	U
	C	Error de orientación	U
	D	Empuje máximo	U
Producción de energía de más ocurrencia de fallo	E	Velocidad de rotación máxima	U
	F	Cortocircuito en la conexión de carga	U
Parada	G	Desconexión (frenado)	U
Carga extrema del viento	H	Carga extrema del viento	U
Condiciones de inmovilización y de falta	I	Inmovilización con carga del viento y exposición máxima	U
Transporte, montaje, mantenimiento y reparación	J	Deberá estar indicado por el fabricante	U

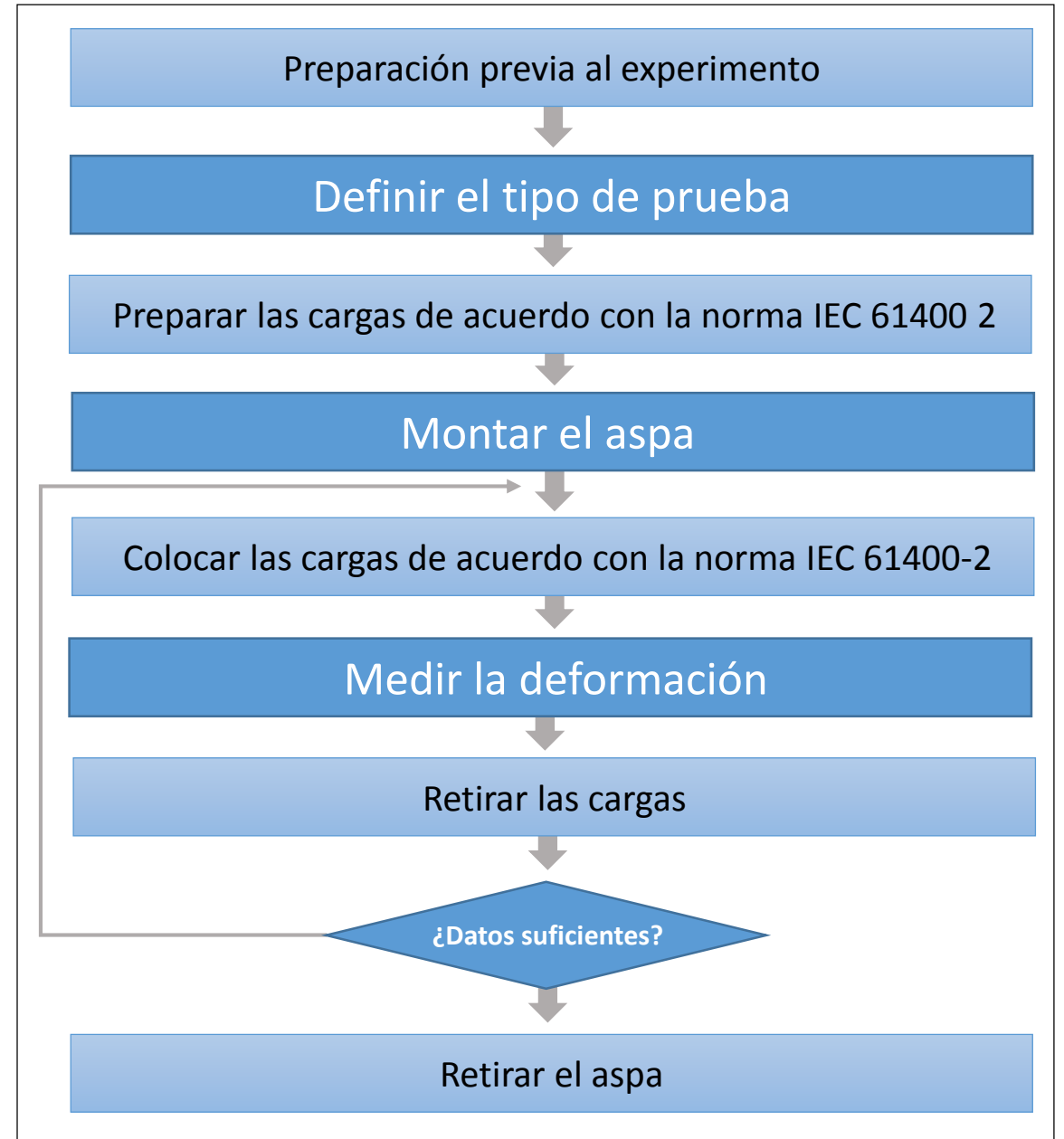
Metodología

De manera general, la metodología utilizada para la simulación y para las pruebas de laboratorio se muestran en la figura 1 y figura 2 respectivamente.



Metodología

De manera general, la metodología utilizada para la simulación y para las pruebas de laboratorio se muestran en la figura 1 y figura 2 respectivamente.



Metodología

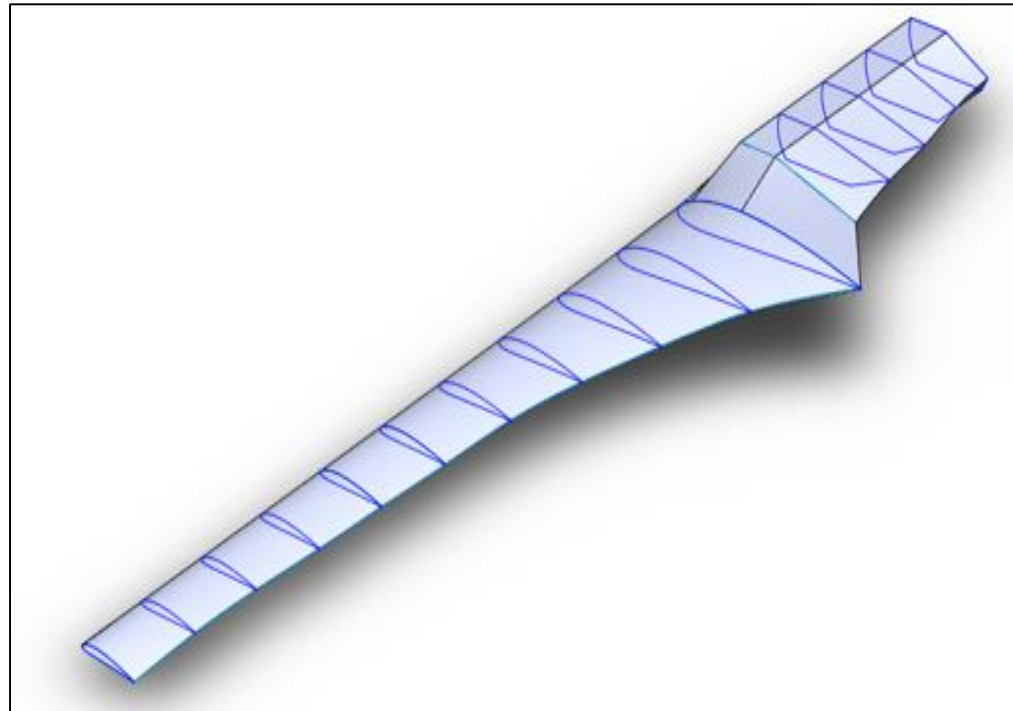
Cálculo de las cargas que se aplican al álabe

Se calcularon las cargas aplicadas al álabe de acuerdo con la norma IEC-61400-2 [1].

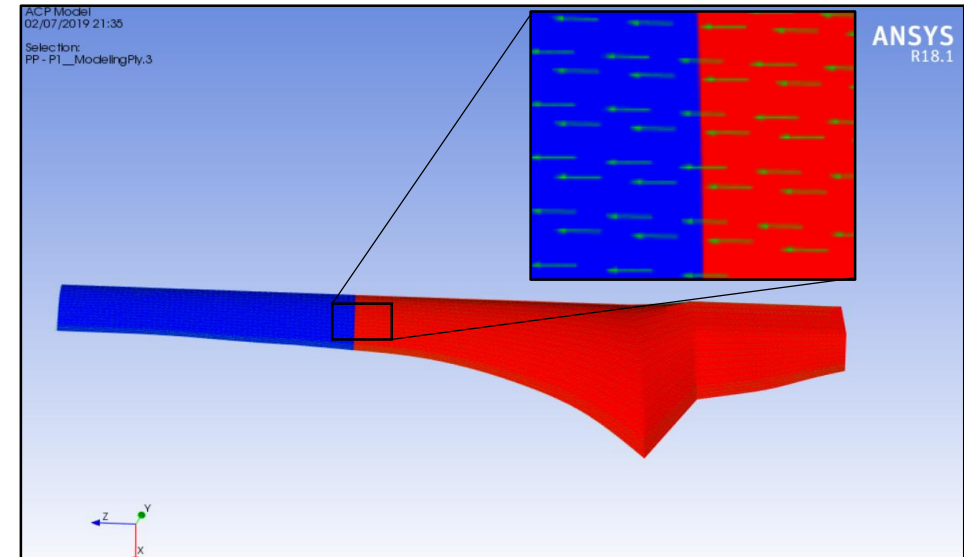
Hipótesis de carga		Valor calculado
A	Operación normal	$\Delta F_{zB}=35.743 \text{ N}$
		$\Delta M_{xB}=18.416 \text{ Nm}$
		$\Delta M_{yB}=76.394 \text{ Nm}$
D	Empuje máximo	$F_{x\text{-shaft}}=41.157 \text{ N}$
H	Carga extrema del viento	$M_{yB}=8.415 \text{ Nm}$
		$F_{x\text{-shaft}}=258.952 \text{ N}$
I	Inmovilización con carga del viento y exposición máxima	$F=86.317 \text{ N}$

Metodología

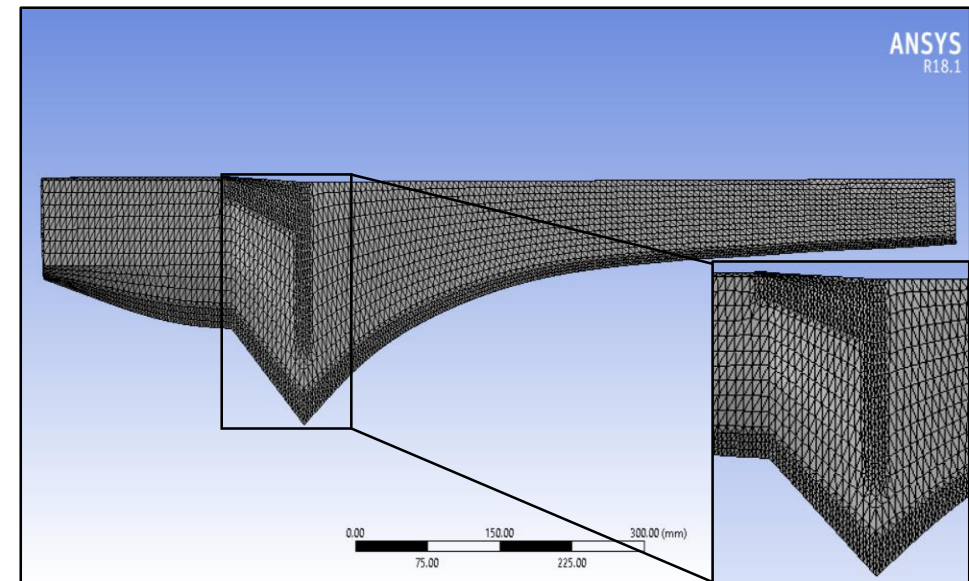
Modelado del álabe y simulación en FEM



Modelado del aspa.



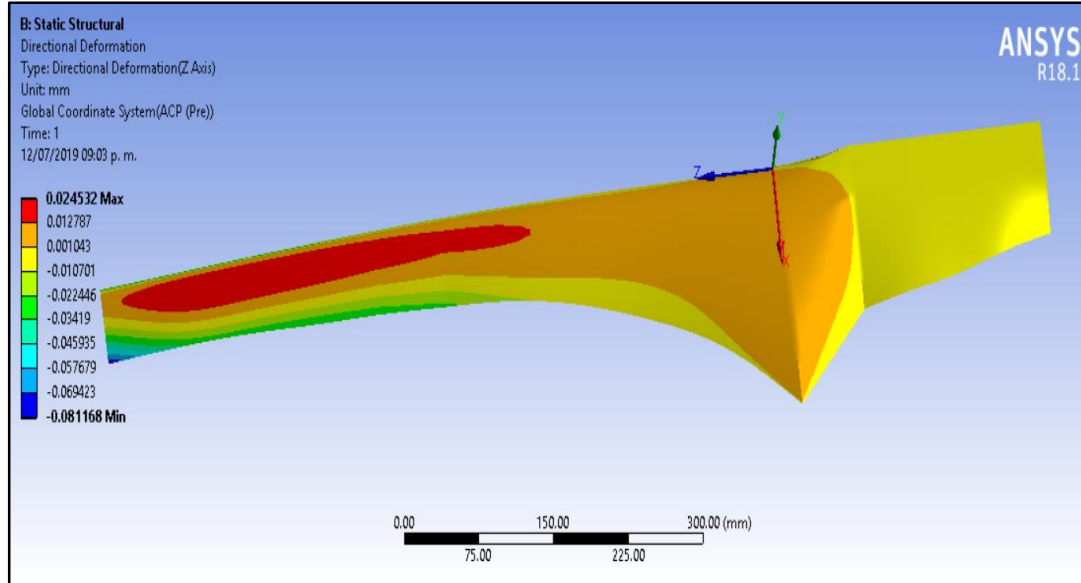
Orientación de las capas de fibra de vidrio del álabe.



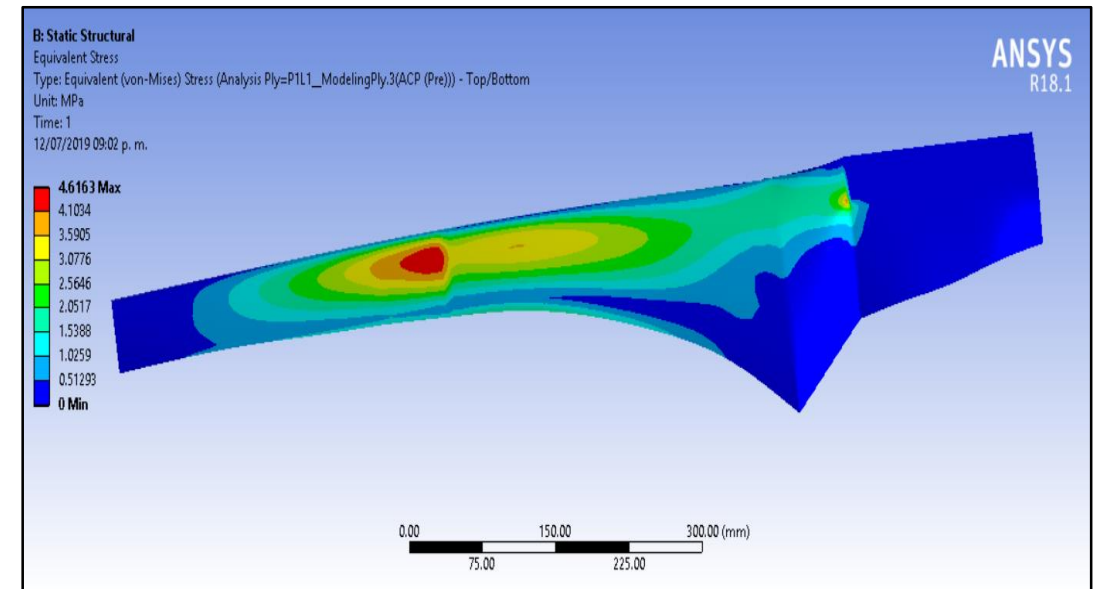
Mallado del extradós del álabe.

Metodología

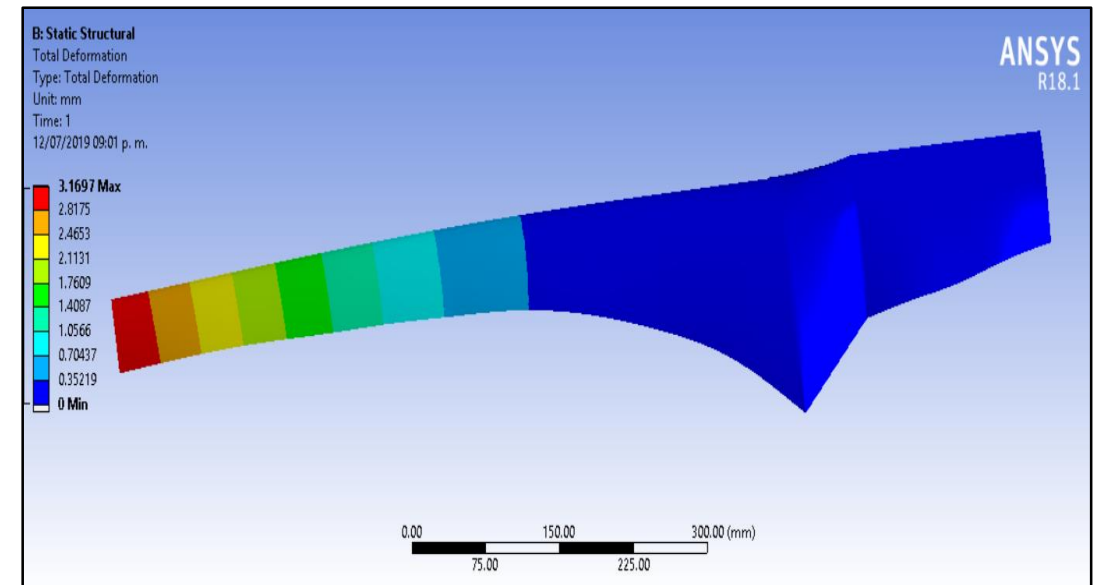
Modelado del álabe y simulación en FEM



Análisis de desplazamientos direccionales en el eje z en el software FEM .



Análisis de esfuerzos de Von Mises en el software FEM.



Análisis de desplazamientos totales en el software FEM.

Metodología

Modelado del álabe y simulación en FEM

Resultados para las cargas en el álabe

Hipótesis de carga	Carga	Valor máximo		
		Desplazamiento total (mm)	Esfuerzo de Von Mises (MPa)	Desplazamiento direccional (mm)
A	Operación normal	ΔF_{zB}	0.20991	0.10759
		ΔM_{xB}	1.0746	2.0216
		ΔM_{yB}	28.795	41.937
H	Carga extrema del viento	M_{yB}	3.1697	4.6163
I	Inmovilización con carga del viento y exposición máxima	F	8.5582	19.936

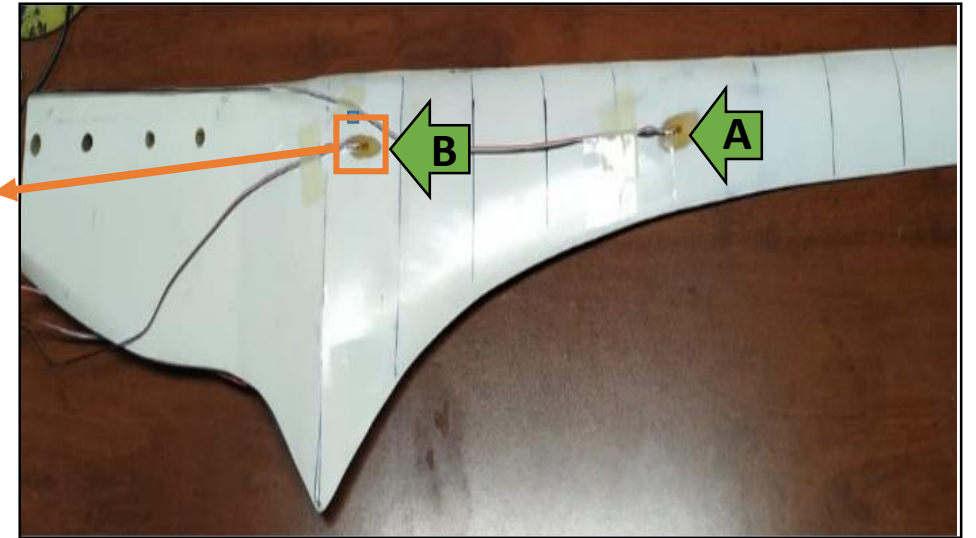
Metodología

Pruebas de laboratorio

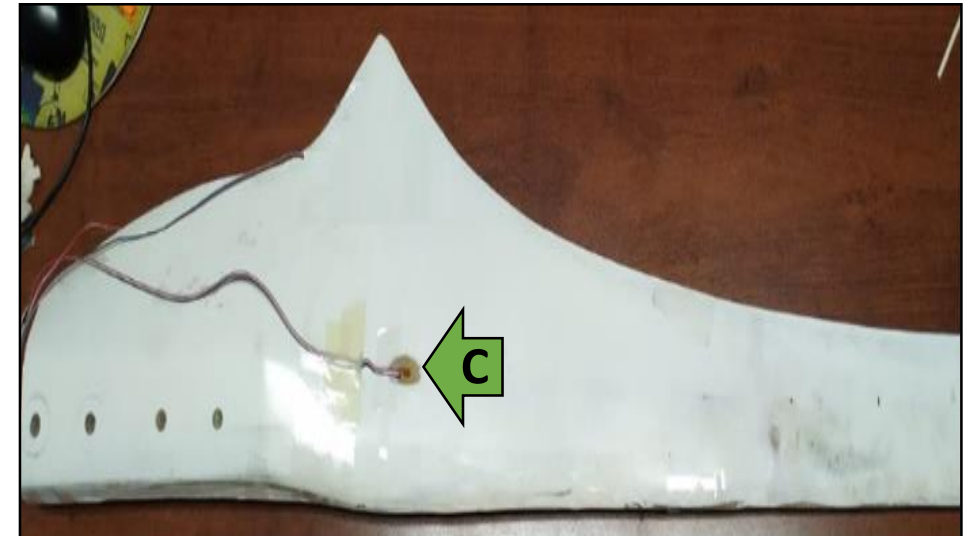
El principio de funcionamiento de las galgas extensométricas se basa en el efecto piezorresistivo de metales y semiconductores, según el cual, su resistividad varía en función de la deformación a la que están sometidos, el material del que está hecho y el diseño adoptado. De esta forma, el cambio en la resistencia eléctrica indicará un cambio en la deformación, que a su vez se relaciona con las fuerzas que actúan sobre el elemento instrumentado.



Pegado de una galga extensométrica en el álabe



Ubicación de las galgas en el extrádos del álabe



Ubicación de las galgas en el intrádos del álabe

Metodología

Resultados

Las galgas A y B registraron medidas a tensión mientras que la galga C registro medidas a compresión (como se esperaba). Los mayores valores de deformaciones se presentaron para el caso de operación normal con carga en M_{yB} mientras que los valores menores para el mismo caso, pero con carga en M_{xB} .

La galga A, presenta mayor sensibilidad en las mediciones, esto debido a la cercanía que tiene al área de aplicación de la carga. Mientras que la galga C, presento una menor sensibilidad.

Hipótesis de carga A Operación normal		
Carga M_{xB}		
Medidas de tendencia central y dispersión	Galga	
	A	C
Media ($\mu\epsilon$)	72	-111
Mediana ($\mu\epsilon$)	72	-110
Moda ($\mu\epsilon$)	65	-110
Desviación estándar ($\mu\epsilon$)	4.33	1.35
Coefficiente de variación	6.04	1.22
Rango ($\mu\epsilon$)	14	4

Hipótesis de carga A Operación normal			
Carga M_{yB}			
Medidas de tendencia central y dispersión	Galga		
	A	B	C
Media ($\mu\epsilon$)	2361	2524.1	-533.5
Mediana ($\mu\epsilon$)	2450	2543	-534.5
Moda ($\mu\epsilon$)	2450	2560	-
Desviación estándar ($\mu\epsilon$)	164.08	51.60	39.82
Coefficiente de variación	6.95	2.04	7.46
Rango ($\mu\epsilon$)	457	141	140

Metodología

Resultados

El coeficiente de variabilidad es bajo en general indicando una homogeneidad en las muestras, mientras que la desviación estándar nos indica que cuando se miden valores de deformación mayores se presenta una mayor dispersión de los datos que al medir valores de deformación pequeños.

Hipótesis de carga H Carga extrema del viento			
Carga MyB			
Medidas de tendencia central y dispersión	Galga		
	A	B	C
Media ($\mu\epsilon$)	210	254	-12
Mediana ($\mu\epsilon$)	216	254	-12
Moda ($\mu\epsilon$)	220	254	-12
Desviación estándar ($\mu\epsilon$)	14.91	3.16	1.77
Coeficiente de variación	7.10	1.24	14.37
Rango ($\mu\epsilon$)	46	12	7

Hipótesis de carga I Inmovilización con carga del viento y exposición máxima			
Carga F			
Medidas de tendencia central y dispersión	Galga		
	A	B	C
Media ($\mu\epsilon$)	1373	1670.9	-192
Mediana ($\mu\epsilon$)	1372	1671.5	-194
Moda ($\mu\epsilon$)	-	1673	-197
Desviación estándar ($\mu\epsilon$)	44.21	11.39	8.53
Coeficiente de variación	3.22	0.68	4.45
Rango ($\mu\epsilon$)	150	37	29

Conclusiones

El análisis estructural del diseño de los álabes mediante elemento finito es necesario para brindarnos información sobre su comportamiento cuando se somete a cargas antes de ponerlo en funcionamiento. Por lo que es un paso clave previo a la manufactura ya que nos indica si es necesario hacer un rediseño o modificar algún factor; lo cual nos permite ahorrar valiosos recursos y nos otorga parámetros para realizar tanto la manufactura como las pruebas.

Únicamente aplicando las pruebas de laboratorio se puede garantizar un funcionamiento seguro y confiable del álabe en operación durante su vida útil.

Referencias

IEC 61400-2 “Wind Turbines - Part2: Design requirements of small wind turbines”, Edition 2015.

IRENA (2017), REthinking Energy 2017: Accelerating the global energy transformation. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

REN21, (2018), Renewables 2018 Global Status Report, (Paris: REN21 Secretariat) ISBN 978-3-9818911-3-3

AMDEE (Asociación Mexicana de Energía Eólica) (2018), “El viento en numeros”, <https://www.amdee.org/el-viento-en-numeros>, 20 de febrero del 2019.

Jean-Daniel Pitteloud and Stefan Gsänger (2017). World Wind Energy Association. Small Wind World Report small wind reportw. WWEA, Bonn, Germany.

Hak GuLee y JungwanLee (2018). Measurement theory of test bending moments for resonance-type fatigue testing of a full-scale wind turbine blade. Elsevier,200, 306-312.

Clemence Rubiella, Cyrus A.Hessabi y Arash SoleimanFallah (2018). State of the art in fatigue modelling of composite wind turbine blades. Elsevier,117, 230-245.

Z. Pan and J. Wu (2017), A Novel Multi-Point Excitation Fatigue Testing Method for Wind Turbine Rotor Blades, vol. 10. 2017.

Germanischer Lloyd, Hamburg, Germany: “the new guideline for the certification of wind turbines”, Edition 2010

Erick Pérez Juárez (2019). Construcción de una máquina de ensayo a fatiga para álabes de aerogeneradores de baja capacidad (tesis de maestría). Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo.

D.J.Willis, C.Niezrecki, D.Kuchma, E.Hines y S.R.Arwade (2018). Wind energy research: State-of-the-art and future research directions. Elsevier,125, 133-154.

Sina Yasin Erturk (2014). Tower design load verification of 3.5 kW wind turbine (tesis de maestría). University of Wyoming.

J.H.Wu y F.M.Lai (2014) Fatigue Life Analysis of Small Composite Sandwich Wind Tuebine Blades, 14, 2014-2020.

Referencias

- Hong-Kwan Kim, Jang-Ho Lee, Se-Myong Jang y Ki-Weon Kang (2013). Structural Analysis and Testing of 1.5kW Class Wind Turbine Blade. Journal of Fluid Machinery,13, 37-44.
- L.Menegozzo, A.Dal Monte, E.Benini y A.Benato (2018). Fatigue small wind turbines: A numerical study for aerodynamic performance assessment under gust conditions, 121, 123-132.
- Anup KC, Jonathan Whale y Tania Urmee (2019). Urban wind conditions and small wind turbines in the built environment: A review,131, 268-283.
- Yuan-KangWua, Huei-JengLinb y Jhieh-HaoLinb (2019). Certification and testing technology for small vertical axis wind turbine in Taiwan. Elsevier,31, 34-42.
- H. J. Sutherland (1999), On the Fatigue Analysis of Wind Turbines. United States, 1999.
- Monje, C. (2011). Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa guía didáctica, Neiva, Colombia: Universidad Surcolombiana.
- Erick Yuvaniel Gómez Urieta (2012). Diseño y manufactura del Hub y álabes de una turbina de viento (tesis de maestría). Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo.
- Tony Burton, David Sharpe, Nick Jenkins, Ervin Boss Anyi (2001). Wind Energy Handbook, John Wiley & Sons, Ltd.
- David Wood (2011), Small Wind turbines, Analysis, Design, and Application. Springer-Verlag London Limited 2011.
- Erich Hau (2006), Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics, Second Edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006.
- Ferrero, José María. Guijarro, E. (1994). Instrumentación Electrónica. Sensores. España, servicio de publicaciones UPV, 1994.



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)