



Conference: Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables -  
Mantenimiento Industrial - Mecatrónica e Informática

*Booklets*



**RENIECYT**

Registro Nacional de Instituciones y  
Empresas Científicas y Tecnológicas

**CONACYT**

1702902

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

# Title: Diseño de un Banco de Pruebas Estáticas y de Fatiga para Álabes de Micro Turbinas Eólicas

**Author:** Erik, PÉREZ-JUÁREZ, Juan Felipe, SORIANO-PEÑA, Víctor, LÓPEZ-GARZA

**Editorial label ECORFAN:** 607-8534  
**BCIERMMI Control Number:** 2018-03  
**BCIERMMI Classification (2018):** 251018-0301

**Pages:** 22  
**RNA:** 03-2010-032610115700-14

**ECORFAN-México, S.C.**

244 – 2 Itzopan Street  
La Florida, Ecatepec Municipality  
Mexico State, 55120 Zipcode  
Phone: +52 | 55 6159 2296  
Skype: ecorfan-mexico.s.c.  
E-mail: contacto@ecorfan.org  
Facebook: ECORFAN-México S. C.

Twitter: @EcorfanC

[www.ecorfan.org](http://www.ecorfan.org)

**Holdings**

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



# Introducción

- Las micro turbinas eólicas son las encargadas de generar la energía eléctrica, estas están compuestas por álabes siendo estos los componentes más importantes.
- Una vez que se ha completado el diseño de un álabes de turbina eólica y se ha construido la turbina, no hay garantía de que funcionará según lo previsto. Estas estructuras altamente complicadas son susceptibles a los efectos de tamaño, variaciones de fabricación y diseños inadecuados. Las únicas pruebas reales del diseño de un álabes son a través de pruebas rigurosas de la cuchilla en un entorno de laboratorio y en una turbina eólica operativa (J. Sutherland, 1999).





# Introducción

- La falla de las álabes de las micro turbinas eólicas es muy costosa porque puede dañar otros álabes, la propia turbina eólica y otras turbinas eólicas ubicadas en el vecino (Raišutis, Jasiuniene, Sliteris, & Vladišauskas, 2008). Por lo tanto, es importante detectar el daño antes de que el álabes falle catastróficamente, lo que podría destruir toda la turbina eólica.
- Las pruebas estáticas y de fatiga se llevan a cabo rutinariamente como parte del proceso de certificación para álabes de aerogeneradores (Joosse et al., 2002).
- Para probar con precisión los álabes en caso de falla se requieren equipos de prueba de alta fuerza, alta precisión e impacto.



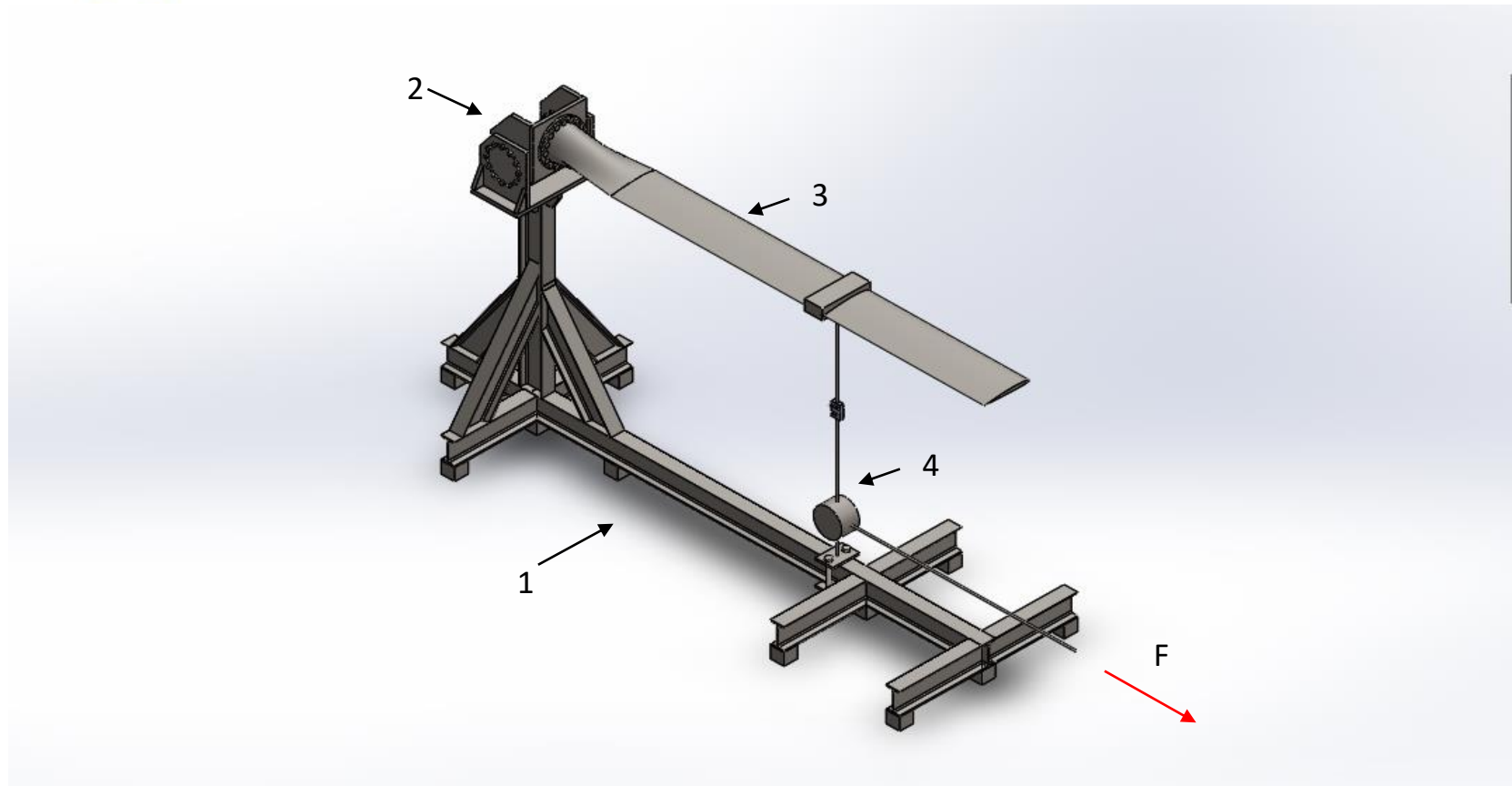


# Objetivo

- En esta investigación se analizan distintos bancos de pruebas propuestos para álabes de hasta 2.5 m de longitud y se realiza el diseño estructural utilizando un software de elementos finitos, para la aplicación de cargas sobre la estructura se utiliza la norma IEC 61400-2, las nuevas estructuras propuestas se dan a conocer, y podrán ser utilizadas por cualquier investigador o empresa para el análisis y certificación de álabes de micro turbinas eólicas.



# Diseños propuestos

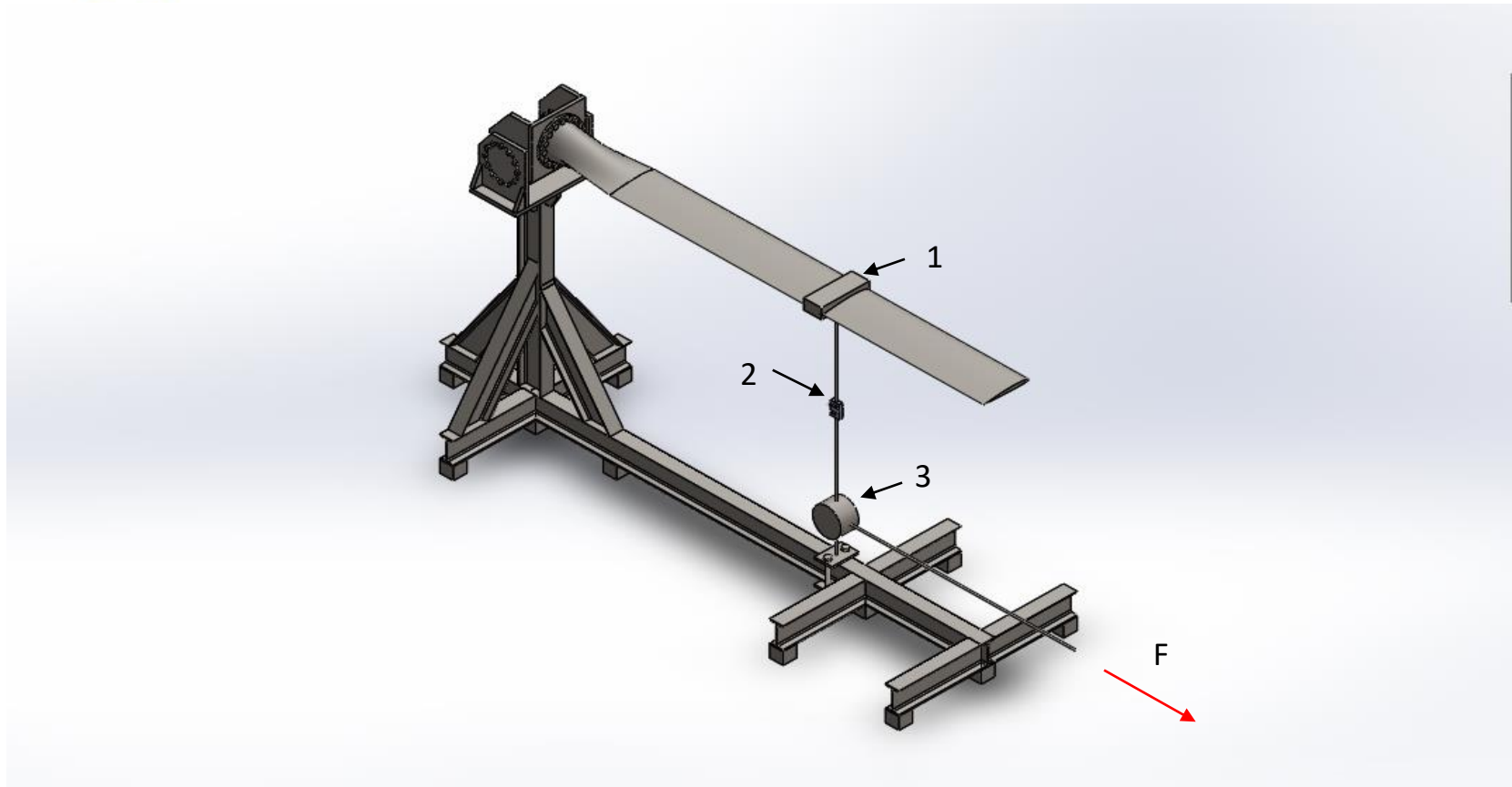


**Figura 1** Partes del primer banco de pruebas propuesto.

1 Banco de pruebas.    2 Cabezal.    3 Ábabe.    4 Sistema de fuerza estática.



# Diseños propuestos



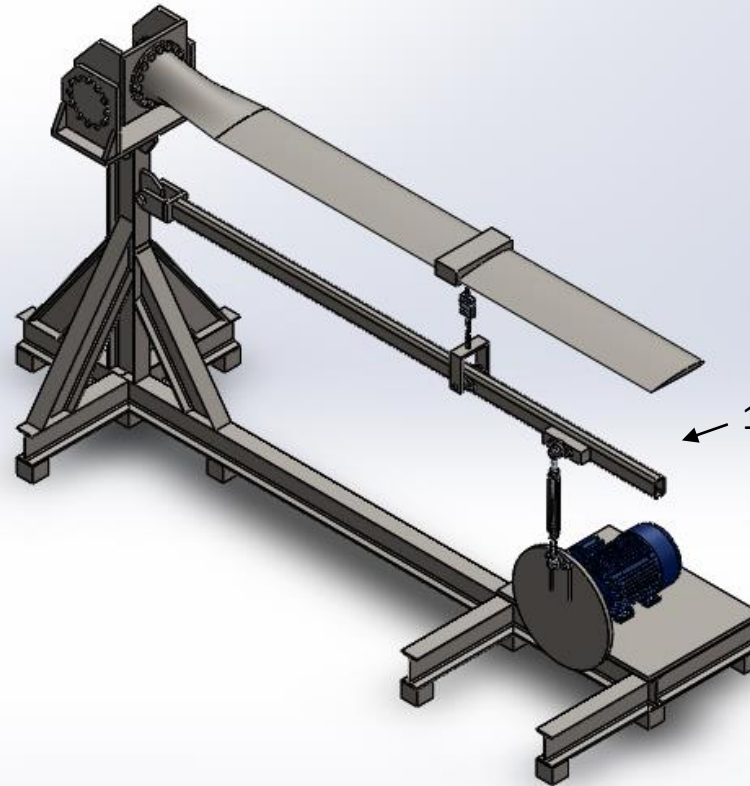
**Figura 2** Partes sistema de fuerza estática.

1 Soporte.      2 Celda de carga.      3 Polipasto.





# Diseños propuestos



**Figura 3** Partes del banco de pruebas.

1 Sistema de fatiga.



# 1.º cabezal propuesto

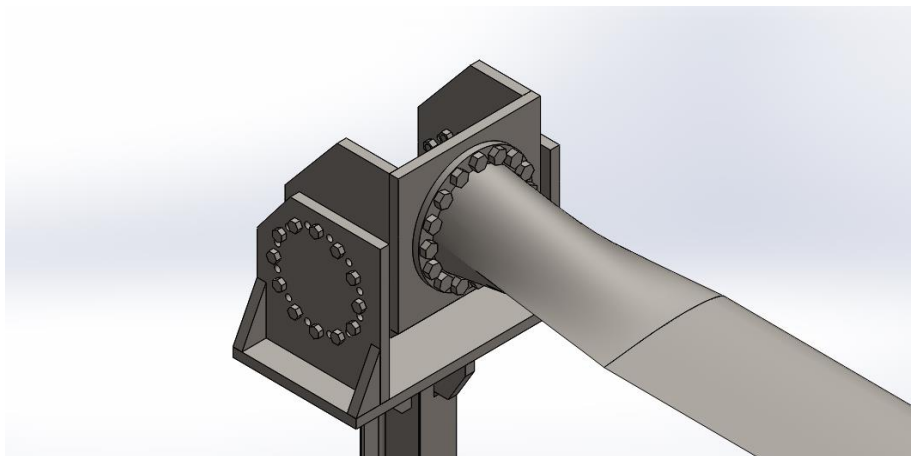
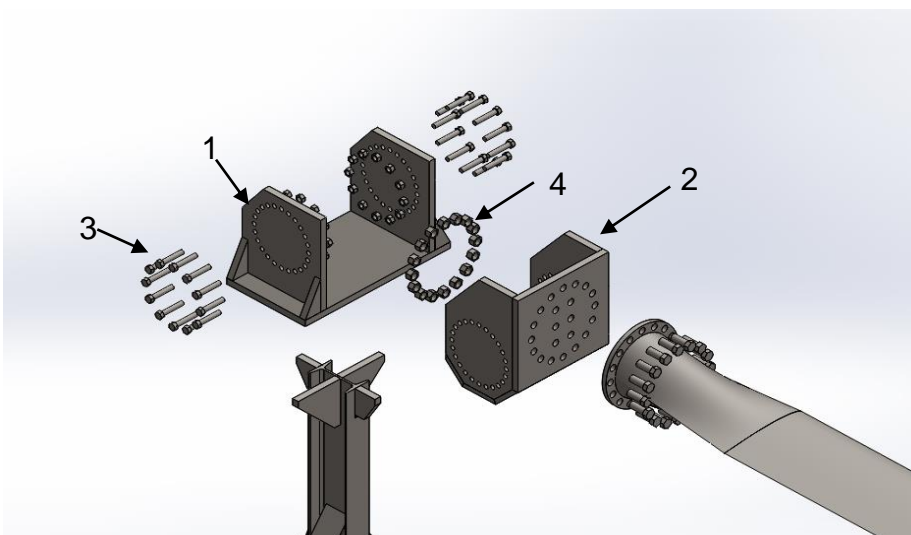


Figura 4 Cabezal del banco de pruebas.



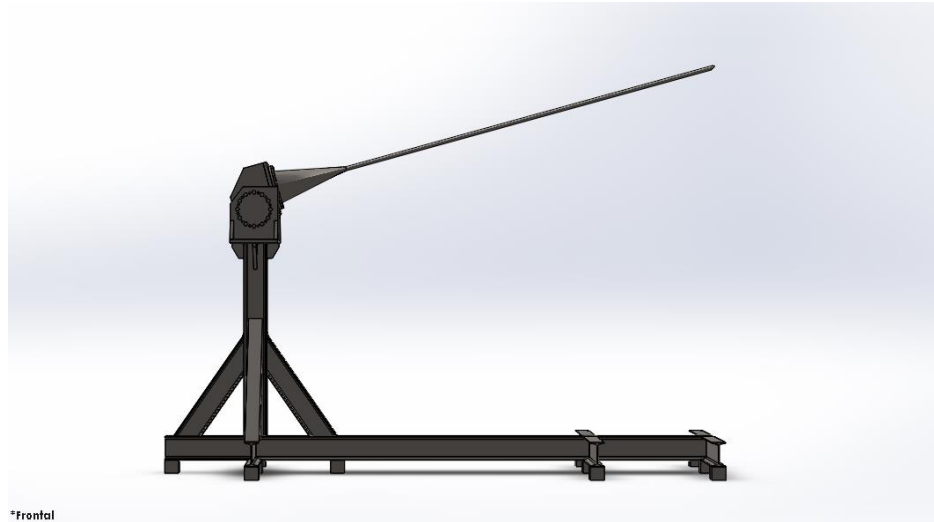
- 1 Cabezal- soporte
- 2 Cabezal- sujetador
- 3 Pernos
- 4 Tuercas

Figura 5 Vista explosionada del cabezal 1.



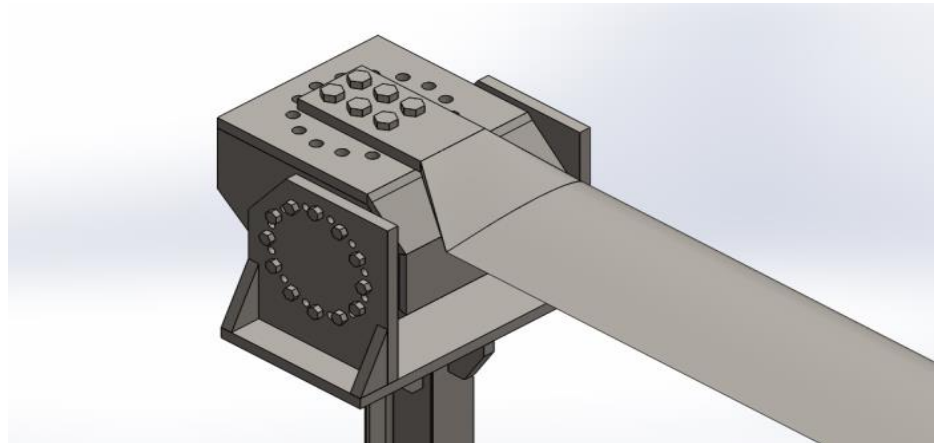


# Sistema de giro



\*Frontal

**Figura 6** Alabe girado 15°.



**Figura 7** Cabezal girado 90°.



## 2.º cabezal propuesto

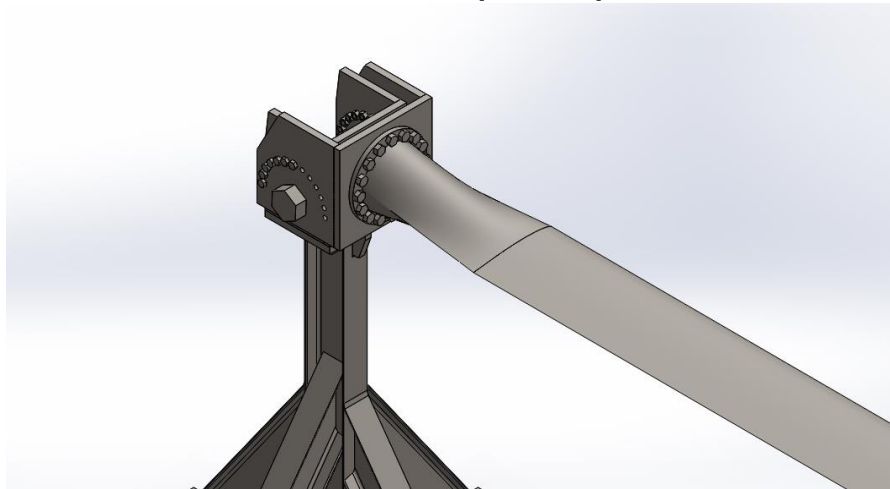
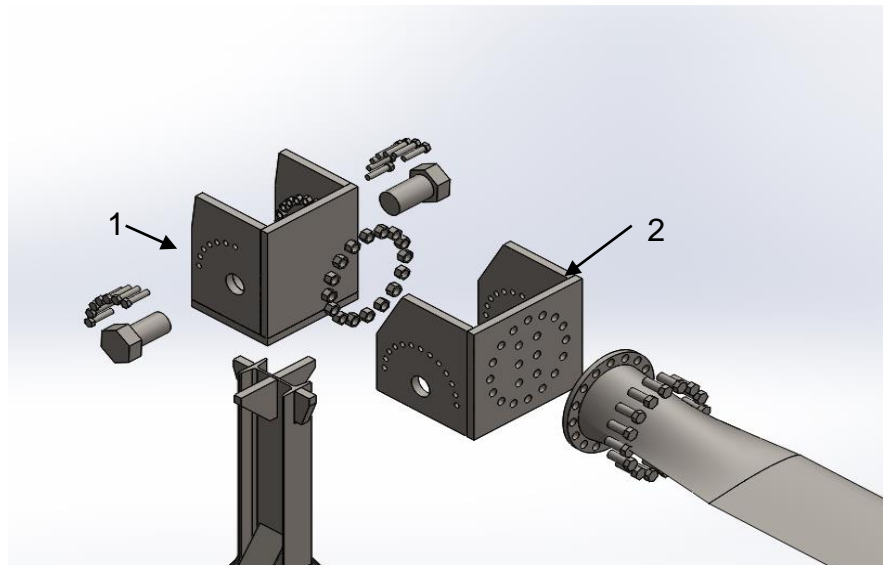


Figura 8 Cabezal del banco de pruebas.



- 1 Cabezal- soporte
- 2 Cabezal- sujetador

Figura 9 Vista explosionada del cabezal 2.



# 3.<sup>er</sup> cabezal propuesto

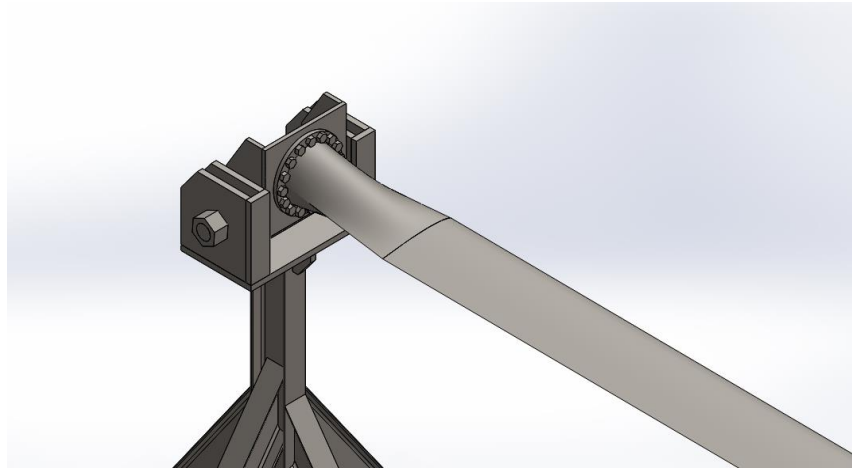


Figura 10 Cabezal del banco de pruebas.

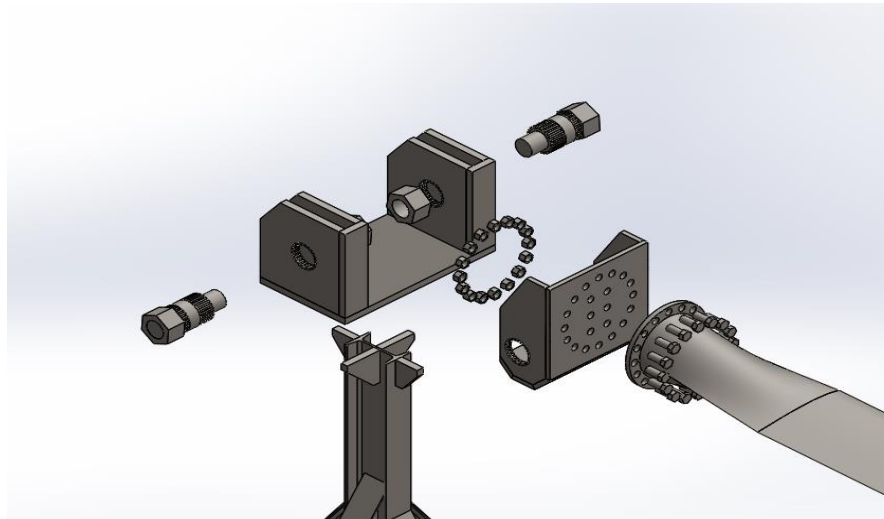
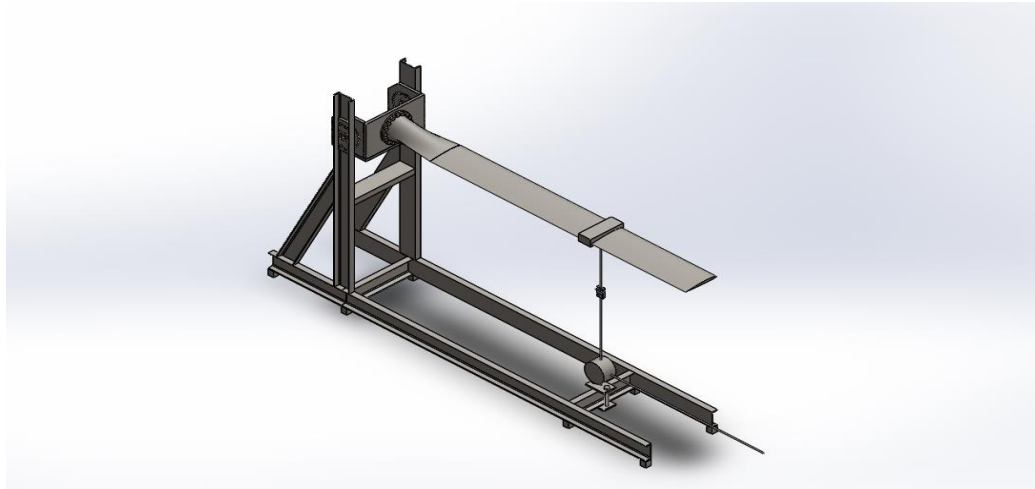


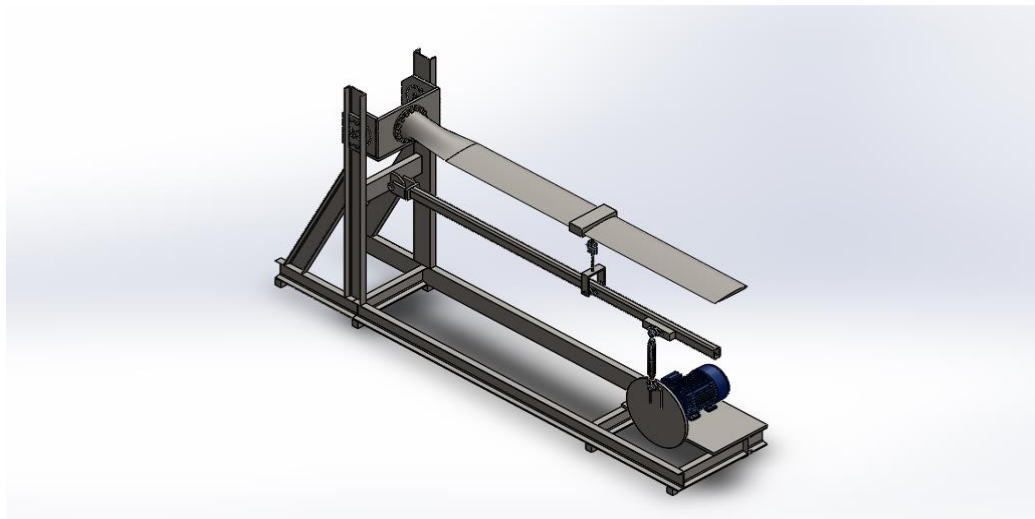
Figura 11 Vista explosionada del cabezal 3.



## 2.º banco de prueba propuesto



**Figura 12** Sistema de fuerza estática.



**Figura 13** Sistema de fatiga.

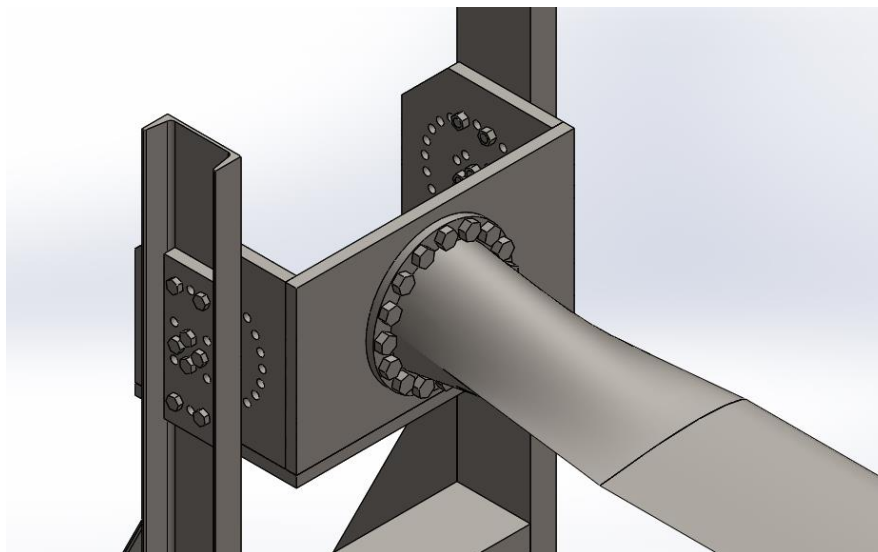


Figura 14 Cabezal del segundo banco de pruebas.

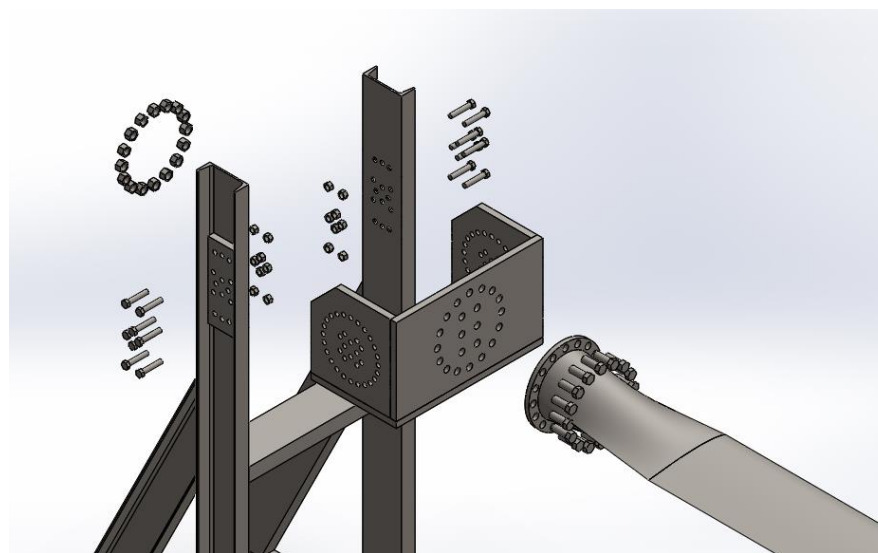


Figura 15 Vista explosionada del cabezal 4.



# Selección de las cargas de prueba y determinación de las fuerzas aplicadas.

Para el cálculo de las fuerzas que actúan sobre el álabe se utilizó la norma IEC 61400-2 (Parte 2: Requisitos de diseño para pequeños aerogeneradores) estas fuerzas nos permiten conocer las cargas que hay que aplicar a el banco de pruebas.

La norma IEC 61400-2 propone diferentes métodos para determinar las cargas que actúan sobre el álabe uno de ellos es el modelo de carga simplificado este método permite encontrar la carga máxima a la que el álabe estaría expuesto.

Para determinar la carga máxima se emplea la Hipótesis de carga I (Inmovilización con carga de viento, exposición máxima.) del modelo de carga simplificado (Ec. 1).

$$F = C_f \frac{1}{2} \rho V_{ref}^2 A_{proj} \quad (1)$$





# Análisis de esfuerzos

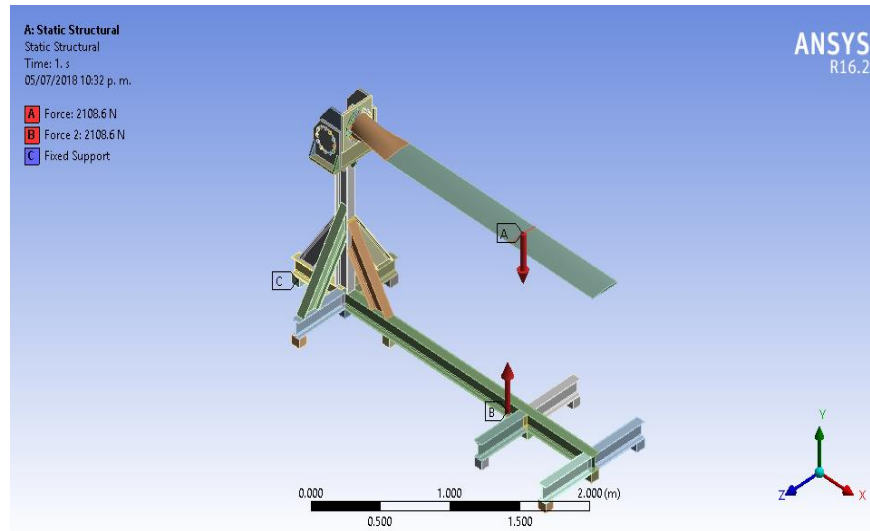


Figura 16 Aplicación de las cargas en el banco de pruebas.

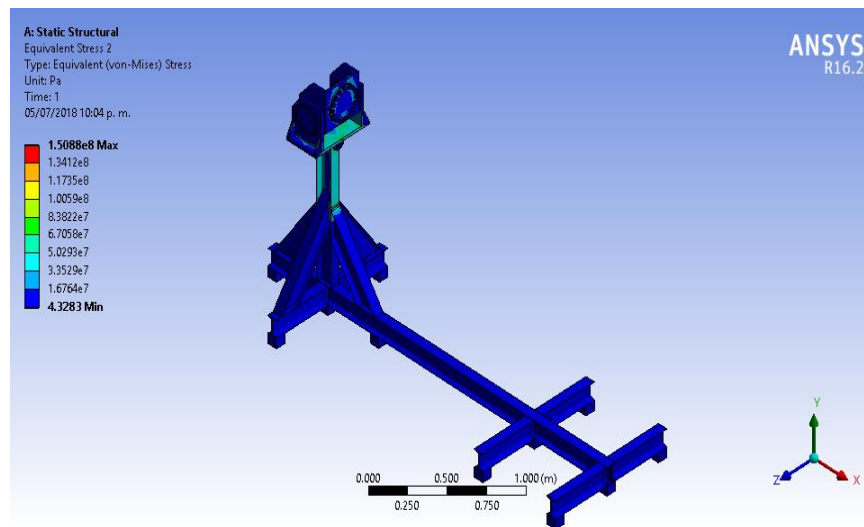


Figura 17 Esfuerzos en el primer banco de pruebas.



# Análisis de esfuerzos

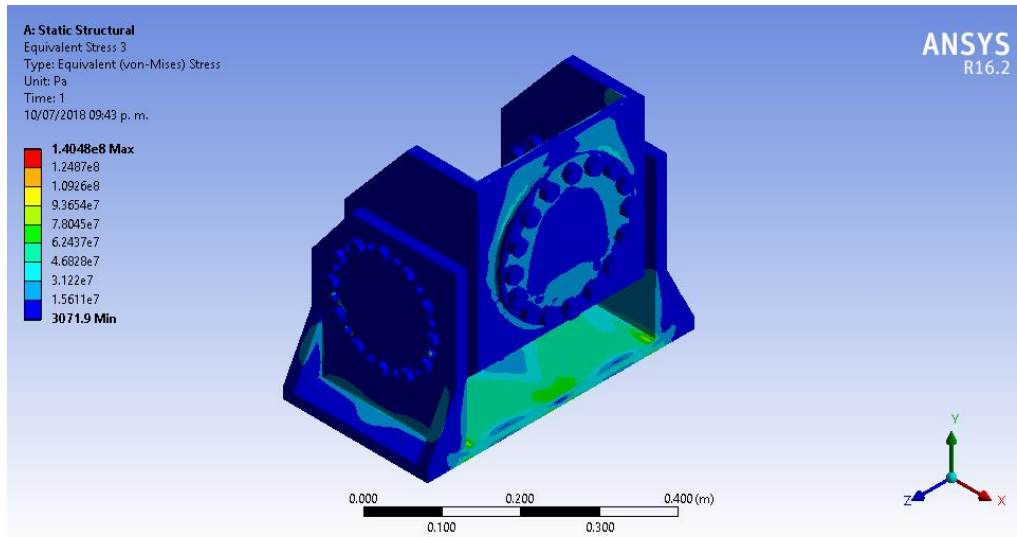


Figura 18 Análisis de esfuerzos en el cabezal 1.

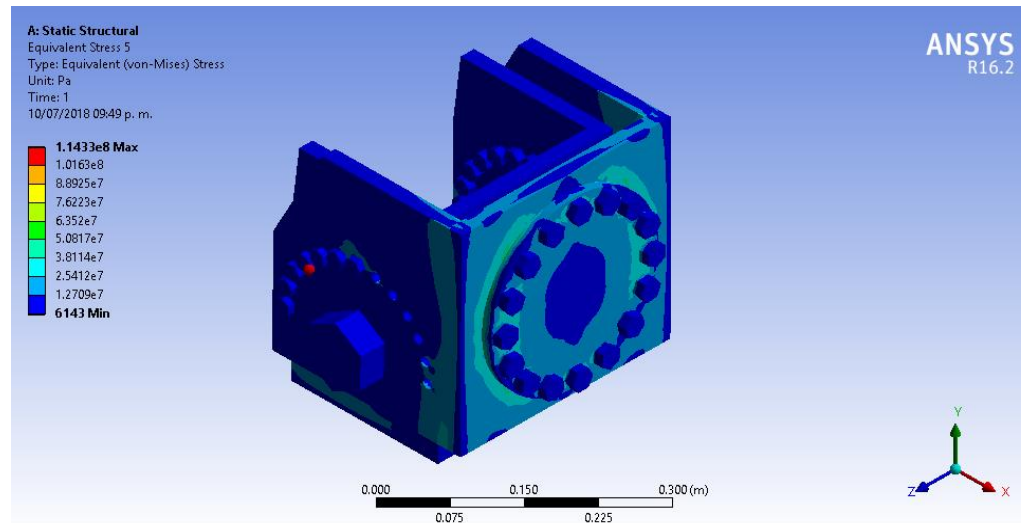
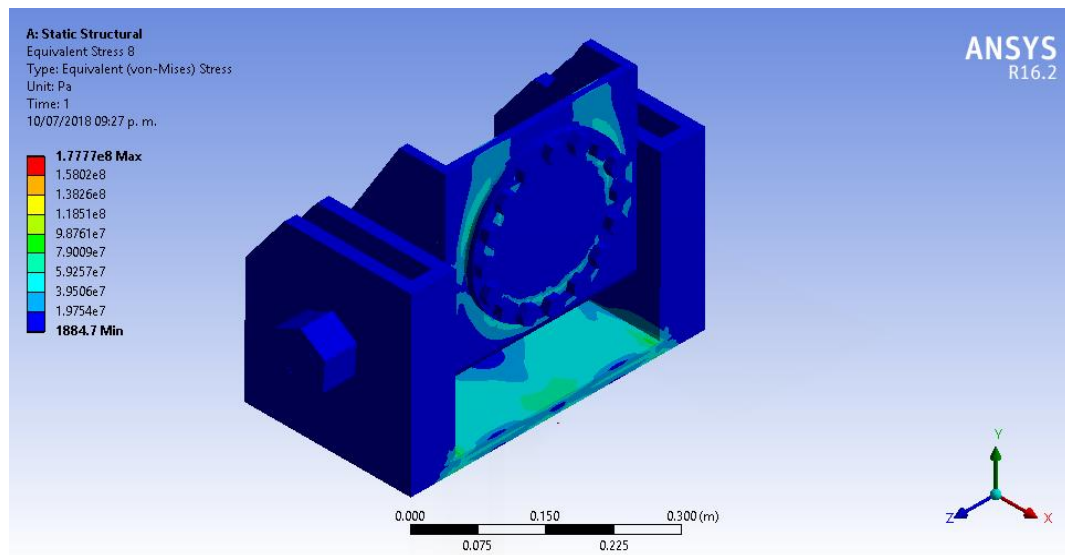


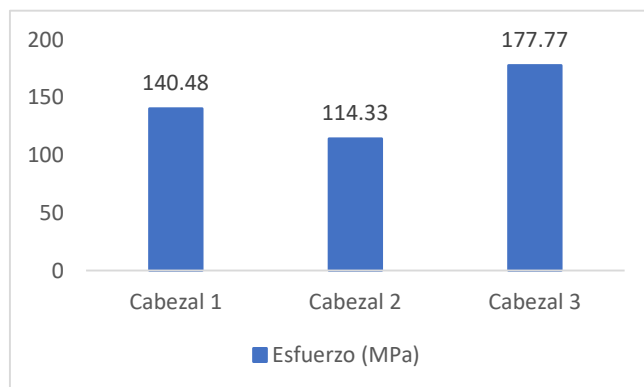
Figura 20 Análisis de esfuerzos en el cabezal 2.



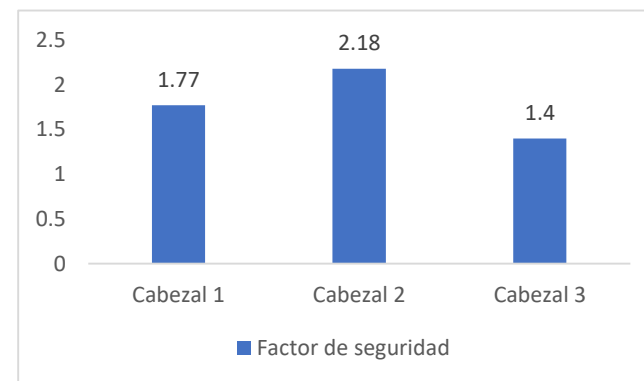
# Análisis de esfuerzos



**Figura 19** Análisis de esfuerzos en el cabezal 3.



**Gráfico 1** Comparativa de esfuerzos máximos en los cabezales.



**Gráfico 2** Comparativa de factor de seguridad de los cabezales.



# Análisis de esfuerzos

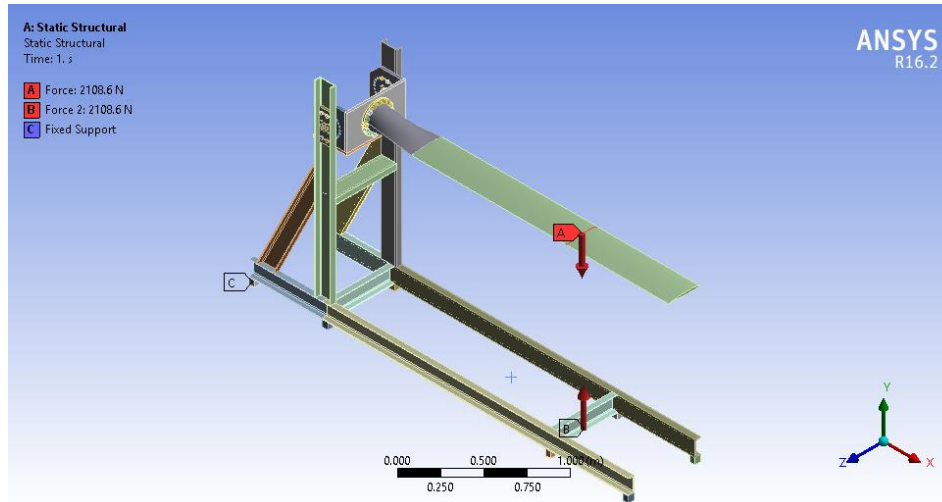


Figura 21 Aplicación de cargas en el segundo banco de pruebas.

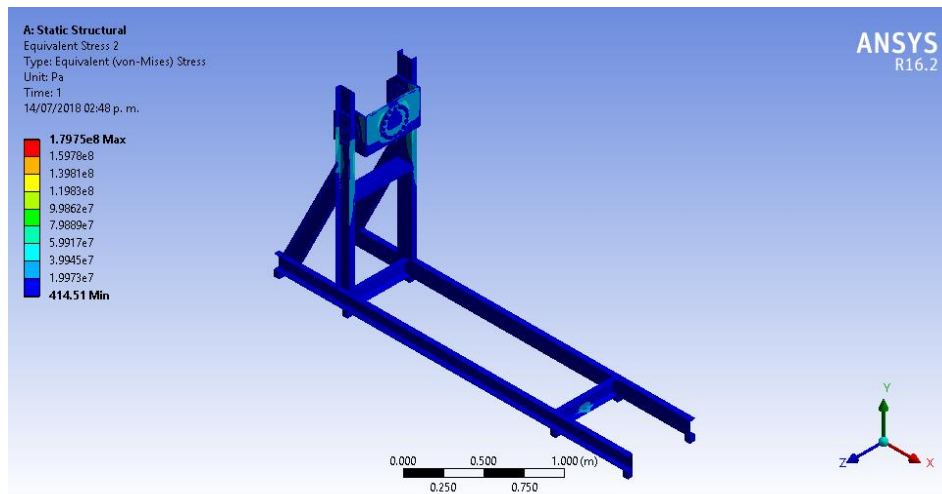
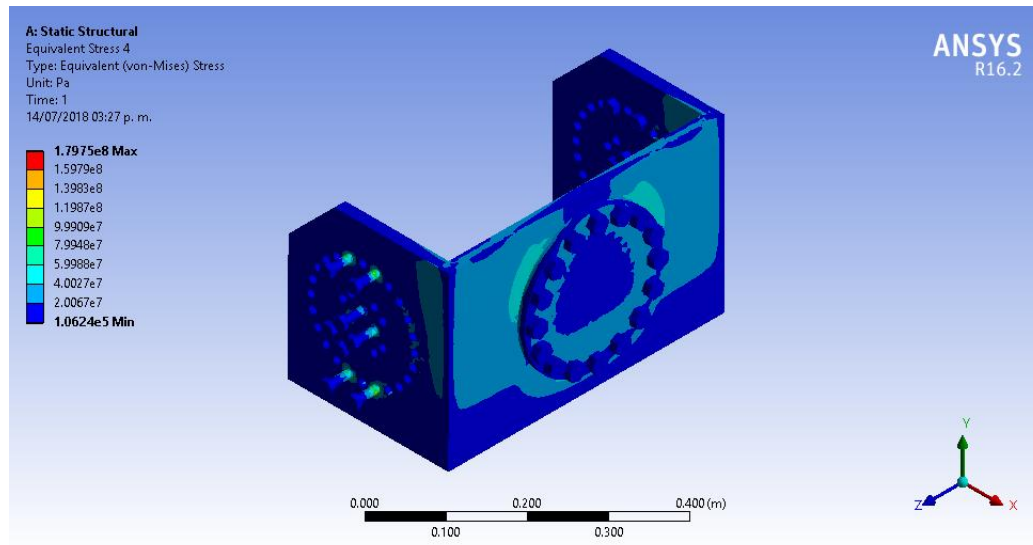


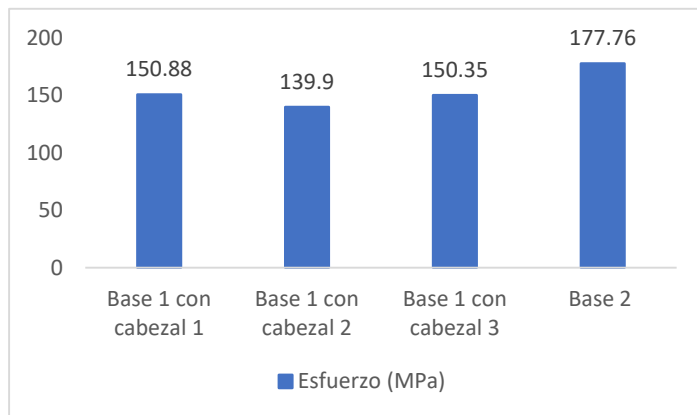
Figura 22 Análisis de esfuerzos en el segundo banco de pruebas.



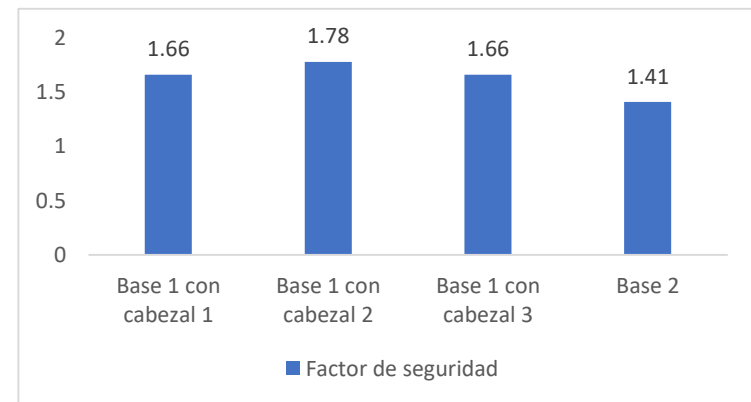
# Análisis de esfuerzos



**Figura 23** Análisis de esfuerzos en el cabezal 4.



**Gráfico 3** Comparativa de esfuerzos de las diferentes bases.



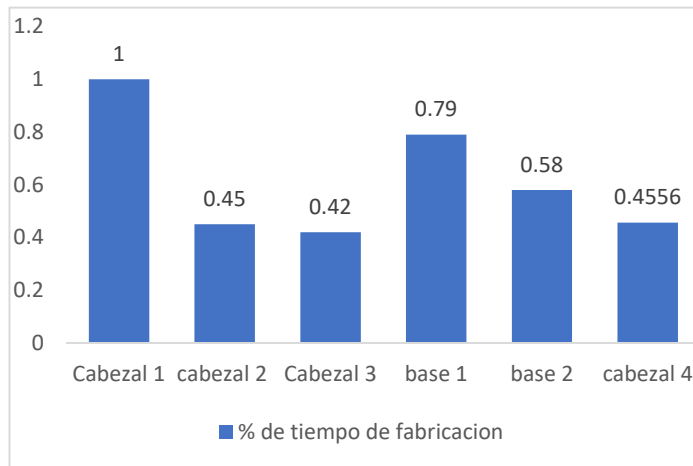
**Gráfico 4** Comparativa de factores de seguridad de las diferentes bases.



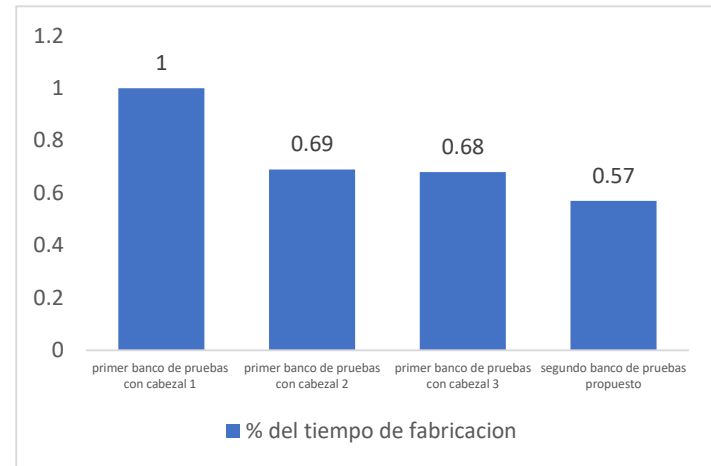
## Análisis de las estructuras por el método BOOTHROYD-DEWHURST

Otra herramienta de diseño que se utilizó para comparar los distintos bancos de prueba propuestos y poder determinar cuál es más fácil de fabricar es el método de BOOTHROYD-DEWHURST (Boothroyd, Dewhurst, & Knight, 2002) este método permite saber cual requiere menor tiempo de fabricación.

Los resultados de este método se muestran en el Gráfico 5 y 6 en el cual se observan los tiempos en porcentajes siendo 1 el que requiere mayor tiempo.



**Gráfico 5** Tiempo de fabricación de las diferentes bases y cabezales.



**Gráfico 6** Tiempo de fabricación de los bancos de prueba.





# Conclusiones

Se propuso una metodología para analizar los esfuerzos en un banco de pruebas de micro turbinas eólicas a través de la norma IEC 61400-2 y se dieron a conocer diferentes bancos de prueba que pueden ser utilizados en las pruebas de álabes de micro turbinas eólicas.

Se propusieron 2 diferentes bancos de pruebas y 3 distintos cabezales para el primer banco de pruebas.

Se analizaron los esfuerzos en los dos bancos de prueba propuestos. Se observaron los mayores esfuerzos en la base 2 en comparación con la base 1 y en consecuencia un factor de seguridad más pequeño. Se analizaron los esfuerzos de la base 1 con los 3 cabezales y se determinó que la base 1 con el cabezal 2 tiene los menores esfuerzos. Con respecto a los cabezales propuestos del primer banco de pruebas se observó que el cabezal 2 seguido por el cabezal 1 son los que menor esfuerzo presentan con factores de seguridad de 2.18 y 1.77 respectivamente.

Se utilizó el método BOOTHROYD-DEWHURST como herramienta de diseño para comparar el tiempo de fabricación de los banco de pruebas y siendo el cabezal 3 y la base 2 los que menor tiempo de fabricación requieren, también se analizó el tiempo de fabricación de los dos bancos de prueba y se determinó que el segundo banco de pruebas es el que requiere el menor tiempo de fabricación. Se observó que en el primer banco de pruebas con el cabezal 2 se encuentran los menores esfuerzos y que el segundo banco de pruebas requiere el menor tiempo de fabricación.



# Referencias

- Boothroyd, G., Dewhurst, P., & Knight, W. (2002). *Product Design for Manufacture and Assembly*. (Marcel Dekker Inc., Ed.) (2nd ed.).
- Epaarachchi, J., & Clausen, P. (2004). Accelerated Full Scale Fatigue Testing Of A Small Composite Wind Turbine Blade Using A Mechanically Operated Test Rig. In *Structural Integrity and Fracture International Conference (SIF'04)* (pp. 111–117). Brisbane, Australia.
- Fried, L., Shukla, S., & Sawyer, S. (2017). Growth Trends and the Future of Wind Energy. *Wind Energy Engineering*, 559–586. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809451-8.00026-6>
- IEC 61400-2. (2006). Wind Turbine Part 2: Design Requirement for Small Wind Turbines.
- IEC TS 61400-23. (2001). Wind Turbine generator systems - Part23: Full-scale structure testing of rotor blades.
- IRENA. (2018). Renewable Energy Statistics 2018. *The International Renewable Energy Agency*.
- J. Sutherland, H. (1999). *On The Fatigue Analysis of Wind Turbines*. United States.  
<https://doi.org/10.2172/9460>
- Joose, P. A., Blanch, M. J., Dutton, A., Kourousis, D., Philippidis, T. P., & S. Vionis, P. (2002). *Acoustic Emission Monitoring of Small Wind Turbine Blades*. *Journal of Solar Energy Engineering* (Vol. 124).  
<https://doi.org/10.1115/1.1509769>



# Referencias

- Lai, F.-M., Yang, S.-H., Wu, J.-H., Hsueh, C.-T., Yang, C.-C., Wang, B.-H., & Lan, C.-H. (2011). Development of Fatigue Test System for Small Composite Wind Turbine Blades. *Procedia Engineering*, 14, 2003–2013. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2011.07.252>
- Nosti, C. J. (2009). *Performance Analysis and Life Prediction for Small Wind Turbine Blades: a Wood Laminate Case Study*. California Polytechnic State University: San Luis Obispo. <https://doi.org/https://doi.org/10.15368/theses.2009.126>
- Pan, Z., & Wu, J. (2017). *A Novel Multi-Point Excitation Fatigue Testing Method for Wind Turbine Rotor Blades*. *Energies* (Vol. 10). <https://doi.org/10.3390/en10071058>
- Raišutis, R., Jasiuniene, E., Sliteris, R., & Vladišauskas, A. (2008). *The review of non-destructive testing techniques suitable for inspection of the wind turbine blades*. *Ultrasound* (Vol. 63).
- Valyou, D. N., Arsenault, T. J., Janoyan, K., Marzocca, P., Post, N., Grappasonni, C., ... Probst, O. (2015). Development and Commissioning of a Small / Mid-Size Wind Turbine Test Facility. In *33rd Wind Energy Symposium*. American Institute of Aeronautics and Astronautics. <https://doi.org/doi:10.2514/6.2015-1000>
- Villar, J. A., da Silva, G., & Astrada, J. G. C. (2010). Procedures Laboratory For Small Wind Turbines Testing. In *European Wind Energy Conference & Exhibition*. Warsaw, Poland.
- W.Enevoldsen, S. (2015). *Small Wind Turbine Engineering: From Idea to Certification*. (Createspace Independent Pub, Ed.) (1st ed.). Randers, Denmark.



**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/](http://www.ecorfan.org/) booklets)