



CENTRO DE INGENIERÍA Y DESARROLLO INDUSTRIAL

ESPECIALIDAD DE TECNÓLOGO EN MECATRÓNICA

“Diseño de góndola para turbina eólica de eje horizontal de 1 kW”

Informe de la Práctica de Entrenamiento Industrial

Nombre de la Empresa o Institución:

CIDESI

Presenta:

Estudiante: Marcos Barrera Carranza

Tutor de Planta: Dr. José Alfredo Manzo Preciado



Querétaro, Qro., 13 de septiembre de 2018

Índice general

Índice de figuras	III
Índice de cuadros	IV
1. Introducción	1
2. Planteamiento del Problema	2
2.1. Generación de energía limpia.	2
3. Justificación	3
4. Objetivos	4
4.1. Objetivo General	4
4.2. Objetivos Específicos	4
5. Marco Teórico	5
5.1. Generación de Energía limpia.	5
5.1.1. Aerogenerador.	5
5.1.2. Energía Eólica.	5
5.1.3. ¿Qué es una Aerogenerador?	6
5.2. Clasificación de turbinas eólicas.	6
5.3. Eje horizontal.	6
5.4. Eje vertical.	7
5.5. Partes de un aerogenerador.	7
6. Metodología	10
6.1. Estructura de solución.	10
6.1.1. Reconocimiento de mejora de aerogenerador.	10
6.1.2. Revisión bibliográfica de turbinas eólicas.	11
6.1.3. Diseño 3D del Aerogenerador.	11

	II
6.1.4. Simulación por medio de herramientas computacionales.	13
6.1.5. Comparación de resultados.	13
7. Resultados	15
7.1. Validación de datos.	15
7.1.1. Aplicación de fuerzas	16
8. Conclusiones	19
9. Bibliografía	20

Índice de figuras

5.1. Partes esenciales que componen aun aerogenerador.	8
6.1. Proceso en el cual es basada la solución	10
6.2. Diseño del aerogenerador horizontal de 1kW en el laboratorio de energías, CIDESI.	11
6.3. Modelo 3D de componentes del poste a, b, c y d, vista isométrica completamente ensamblado.	12
6.4. Góndola del aerogenerador de 1 KW, vista lateral y frontal. . . .	13
6.5. Unión torre con góndola para validación del análisis.	14
7.1. Concentración de esfuerzos aplicando carga axial de 100N	17
7.2. Se aplica una fuerza de 500 N, los cuales afectan de la siguiente manera en la unión de la góndola.	17
7.3. Carga de 1000 N, presenta la misma ubicación del incidente. . . .	18
7.4. Se aplicó una carga de 5000 N, el resultado del esfuerzo obtenido se comprueba en la tabla 1.	18

Índice de cuadros

7.1. Carga aplicada y Esfuerzo Von-Mises.	16
---	----

1 Introducción

En la actualidad la generación de energía por medio de fuentes renovables como mareomotriz, hidráulica, eólica, solar, biomasa, etc., presenta un incremento exponencial considerable en los últimos años. A consecuencia del cambio climático la generación de energía eléctrica por fuentes limpias capaces de generar potencias de 1 kW a valores mayores de 1 MW, para la satisfacción de las necesidades. El aprovechamiento de la energía limpia alrededor del mundo, toma parte de la reingeniería, para la mejora de paneles solares, colectores, y por supuesto de aerogeneradores, entre otros, encargados de obtener y generar la energía eléctrica.

El desarrollo de ingeniería enfocado a los aerogeneradores eólicos de eje horizontal, para la de generación de energía, tiende a ser un reto derivado del cambio constante en los modelos y demanda de potencia presentado en los últimos años, buscando la mejora en el diseño y eficiencia en producción energética, CIDESI como ejemplo de cambio, busca la oportunidad de trabajar en el diseño y manufactura de aerogeneradores de baja capacidad, para la producción de energía limpia y de esta manera contribuir a la reducción de emisión de gases.

Dicho proyecto es dirigido al diseño y validación de aerogeneradores eólicos de eje horizontal capaces de generar potencias de 1 kW. Apoyados con herramientas computacionales proporcionadas por CIDESI, se realizó la simulación en Ansys, programa encargado para el diseño, análisis y simulación de elemento finito, que se ocupa para la resolución de problemas sometidos a esfuerzos; especialmente en el diseño de la Góndola, área crítica donde se desea innovar para la mejora continua y su construcción.

2 Planteamiento del Problema

Para continuar con la metodología de solución, se debe definir con claridad que es lo que se desea hacer, es decir, la base del problema, la situación por la cual la re-ingeniería actúa y lo que ya es efectuado hasta el día de hoy.

2.1. Generación de energía limpia.

El Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI), busca la innovación en la ingeniería y ayudar al medio ambiente, por lo cual existe el departamento de **energía renovable**, que toma la iniciativa de producir energía limpia. Donde, la modificación del diseño de las góndolas de los aerogeneradores de pequeña capacidad, corresponden a la demandad de potencia, surgiendo con premura estrategias de diseño y validación de modelo. Principalmente los nuevos diseños desarrollados en SolidWorks, deberán estar construidos bajo las especificaciones de la norma IEC 61400-1 y 61400-2. Debido al comportamiento el aerogenerador tiene ciertos problemas con el costo de manufacturado y validación estructural mecánica. La góndola diseñada y manufacturada por CIDESI, no cuenta con simulación realizada para su validación e instalación, por consiguiente, se desconoce la fiabilidad de la góndola para soportar fuerzas de viento en condiciones de trabajo.

3 Justificación

El análisis de la turbina eólica, se desarrolla en base a las necesidades que se presentan en la innovación de la tecnología respecto a la góndola, para la generación de energía limpia. Actualmente CIDESI ha desarrollado ingeniería enfocada a la tecnología eólica, como la principal prueba del trabajo previo se tiene instalada una turbina eólica de 1 kW en Monterrey, diseñado, manufacturado y sistema de adquisición de datos elaborado por el personal de CIDESI.

Por tal motivo la necesidad de desarrollar la tecnología de la góndola para una turbina de 1 kW, para la producción de energía limpia y suministro, validado por medio de herramientas computacionales, que conlleva el diseño CAD realizado en SolidWorks y validado en ANSYS, para realizar el análisis estructural que da pauta a la instalación del aerogenerador siempre y cuando se respete las condiciones de diseño.

4 Objetivos

4.1. Objetivo General

Diseñar y analizar estructuralmente la góndola para un aerogenerador de eje horizontal con la capacidad de suministrar 1 kW de potencia de energía limpia.

4.2. Objetivos Específicos

Para lograr este objetivo, las siguientes tareas se tendrán que cumplir.

- Revisión de estado de arte de Aerogeneradores eólicos de eje horizontal.
- Diseño CAD del Aerogenerador eólico.
- Realizar análisis estructural ANSYS.
- Comparar los resultados obtenidos de la simulación.

5 Marco Teórico

5.1. Generación de Energía limpia.

5.1.1. Aerogenerador.

Los aerogeneradores eólicos de eje vertical y horizontal, se han utilizado en diferentes partes del mundo por las asombrosas ventajas que poseen en la obtención de energía; siendo que la turbina eólica, extrae la energía cinética del viento y con el mecanismo que se encuentra en el interior (góndola) logra obtener la potencia que permite satisfacer la necesidad por la cual se encuentra trabajando [1]. Las aportaciones que han tenido las turbinas eólicas en la actualidad son utilizadas para alimentar de energía a algunas poblaciones o sectores privados, debido a la eficiencia con la que fue diseñada para el aprovechamiento de las energías renovables.

El modelo dinámico asegura la fiabilidad de los componentes, que constituyen una turbina de viento, altas fiabilidades han sido efectuadas como factores de éxito de futuras turbinas de viento y la escala de la misma ha sido elevada [2]. El enfoque del proyecto es de energías renovables por su gran relevancia en los últimos años, especialmente la energía eólica. A continuación, se presenta información descriptiva de aerogeneradores eólicos y el análisis a que serán sometidos.

5.1.2. Energía Eólica.

Se considera como una fuente de energía renovable que utiliza la fuerza del viento. Los seres humanos han tomado gran ventaja en esta energía utilizada para mover molinos de viento, barcos y palas de aerogeneradores, para transformar la energía cinética del viento en energía eléctrica. Ahora bien, los impactos de corrientes de aire que se presentan no siempre se dan de manera uniforme, debido a la distribución de velocidades del viento, varían de un

lugar a otro en relación al comportamiento en el calentamiento de la Tierra. El interés que se ha presentado en la explotación de esta fuente de energía renovable, es la disminución de la contaminación y reducción de emisiones contaminantes.

5.1.3. ¿Qué es una Aerogenerador?

Es un dispositivo mecánico, con la finalidad de obtener la energía del viento y transformarla en energía eléctrica [3]. Los aerogeneradores se pueden clasificar en dispositivo de baja potencia, que lleva a una generación de 1 a 10 kW, mediana potencia, alcanza hasta 1000 kW y de grande potencia que supera a los de 1 MW.

5.2. Clasificación de turbinas eólicas.

La principal clasificación que se hace respecto a la posición del rotor al eje de giro, conforme a las condiciones del viento, es decir aerogeneradores de eje horizontal o vertical. En este documento se describe brevemente los dos tipos de rotores, con un enfoque mayor al rotor de eje horizontal.

5.3. Eje horizontal.

Su eje de rotación es paralelo a la dirección del viento. Los principales tipos de máquinas eólicas de eje horizontal, de acuerdo a su velocidad de giro. [4] .

- a) Aerogenerador lento.
- b).Aerogenerador rapido.
- c) Aerogenerador de velocidad inmediata.

a) son aerogeneradores con numerosas palas, multipala, que cubre aproximadamente la superficie del rotor. Puede ponerse en marcha incluso con velocidades de viento muy bajas, su baja velocidad de rotación, hace que la utilidad de producción de electricidad sea mínima.

b) Requieren velocidades entre 4 a 5 m/s para su puesta en marcha. Posee tres palas que son utilizadas para la producción de electricidad, a través del acoplamiento en el aerogenerador.

c) Es comprendida entre los casos anteriores, presentan entre 3 y 6 palas, utilizadas cuando las condiciones del viento son poco favorables y manejo de pequeñas potencias.

5.4. Eje vertical.

Su eje de rotación es perpendicular a la dirección de viento, actualmente existen dos modelos en el mercado, que son: [5]

- Darrieus: Recibe el nombre por su creador G. –Darrieus en 1931. Están contruidos por dos o tres palas y tiene características similares a las de eje horizontal, tienen un par de arranque pequeño.
- Savonius: La característica principal consiste en trabajar con velocidades de viento muy pequeñas. Se encuentra compuesto por dos o más semi-círculos es su eje central. Semicilindros con diámetro similar en paralelo a su eje. La fuerza de viento actúa en las caras de los cilindros, permitiendo el giro del eje. Con una aplicación muy notoria en la producción de electricidad o bombeo de agua.

5.5. Partes de un aerogenerador.

En esta sección se describen las partes que conforman un aerogenerador de eje horizontal, representados por la siguiente figura, y una explicación sobre el funcionamiento de cada componente.

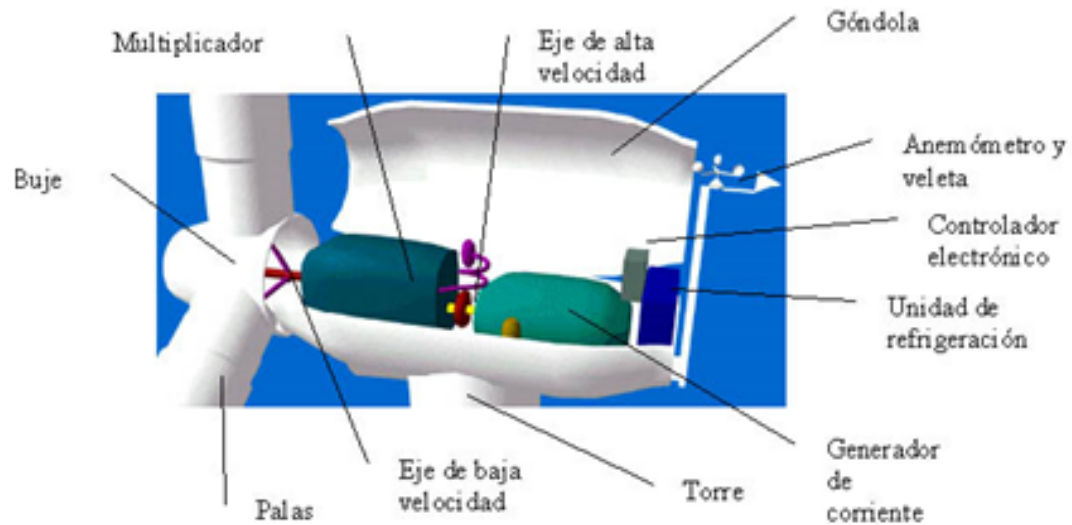


FIGURA 5.1: Partes esenciales que componen aun aerogenerador.

- **Góndola o Nacelle.**

Es el chasis del aerogenerador, en su interior se encuentran los elementos mecánicos y eléctricos claves, (multiplicador de velocidad, generador de eléctrico, módulos, etc.), para obtener la energía eléctrica. Situada en la parte superior de la torre.

- **Torre.**

Diseñado para soportar el peso de la góndola y los componentes que se encuentran al interior, al igual que el rotor. Es necesario contar con una velocidad del viento, que a mayor distancia del duelo la velocidad aumenta.

- **Buje.**

El buje del rotor esta acoplado al eje de baja velocidad del aerogenerador. La energía cinética que es transmitida por medio de las parlas es transmitida al eje para producir energía eléctrica. El buje se encuentra sometido a cargas aerodinámicas transmitidas por las palas.

- **Caja de Engranaje o Multiplicadora.**

Compuesto por una caja aumentadora de velocidad, que permite el aumento de giro de la velocidad, debido que el rotor gira a una velocidad demasiado lenta a la que es requerida en el aerogenerador.

- **Eje de baja velocidad.**

Es el eje principal acoplado al rotor del aerogenerador.

- **Eje de alta velocidad.**

Es acoplado con el generador eléctrico en caso de existir multiplicadora. Con una velocidad de giro elevada, utilizadas principalmente para generar diseños de turbinas eólicas de gran potencia.

- **Alabe o Palas.**

Son diseñadas para capturar la energía cinética del viento y convertirla en energía mecánica, la cual es convertida a energía eléctrica.

- **Generador eléctrico.**

Depende del diseño del aerogenerador, asíncrono, jaula de ardilla, etc.

6 Metodología

6.1. Estructura de solución.

Para el desarrollo de la práctica de entrenamiento se diseñó de manera estratégica la metodología para poder llegar al resultado deseado, en el siguiente diagrama se observa paso a paso la solución de la problemática.

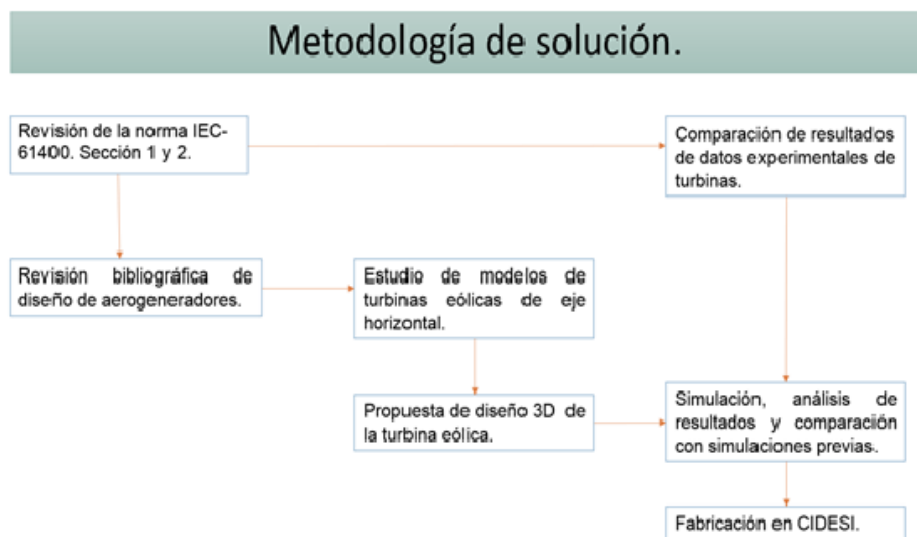


FIGURA 6.1: Proceso en el cual es basada la solución

6.1.1. Reconocimiento de mejora de aerogenerador.

El trabajo inicia con la comparación que existía entre los aerogeneradores de pequeña capacidad, que permanece en CIDESI. Al observarse detalladamente la ubicación de la góndola, se analizan opciones de reubicar la góndola, con base a la norma IEC 61400 tomo I, II y III. La revisión de la norma antes mencionada permite conocer los fundamentos básicos a los cuales se someten las turbinas eólicas. Con base a los apartados que se expresan ante la

norma la cual establece ciertas condiciones de prueba (análisis estructural), que deben realizar para la fabricación y construcción de aerogeneradores de pequeña capacidad de producción.

6.1.2. Revisión bibliográfica de turbinas eólicas.

Revisión de los antecedentes de los cuales fueron base para la manufactura de los aerogeneradores, de un proceso en el cual la comparación entre las mejoras y cantidad de abastecimiento fueron críticos. Varios artículos de comparación entre ventajas de generación de energía eléctrica fueron suficientes para conocer las condiciones tanto estructurales como abatimientos.

La turbina de 1 kW, manufacturada por CIDESI se puede apreciar en la figura 6,3, fue una brecha de innovación, dado a la colocación de la góndola. Los aerogeneradores normalmente tienen sus componentes tal como la góndola y sus accesorios internos para la generación de energía eléctrica en la parte superior, en esta ocasión la ubicación es a un costado del poste.

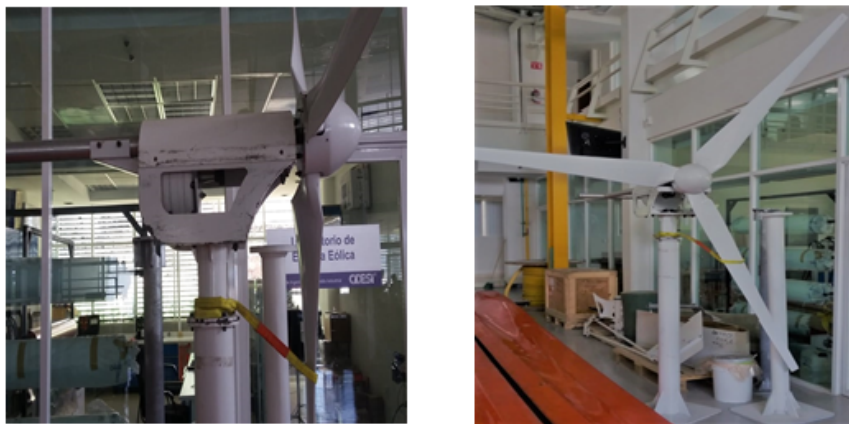


FIGURA 6.2: Diseño del aerogenerador horizontal de 1kW en el laboratorio de energías, CIDESI.

6.1.3. Diseño 3D del Aerogenerador.

El diseño de la turbina eólica es esencial para el análisis mecánico de la góndola, para proponer la solución al problema presente. Con la información técnica de la góndola otorgada por el fabricante. se realizó dicho modelo por

medio de la herramienta computacional Solidworks. Las dimensiones que se dieron al poste del aerogenerador, fueron un estándar de los valores predeterminados que se tiene para la turbina que se manufacturó con anterioridad, la eficiencia del viento como es bien conocida a mayor altura la velocidad (m/s) aumenta para generar la rotación de las palas. Se propone el diseño del poste, las condiciones del diseño de la góndola son tomadas del modelo ya manufacturado que se encuentra en CIDESI, por tal motivo el comportamiento de concentración de esfuerzos dentro de un área permitirá conocer si el aerogenerador cumple con las condiciones de trabajo a las cuales será sometido.

El diseño elaborado con ayuda de SolidWork, es representado por las siguientes figuras 6.4, donde, es visualizado el poste del aerogenerador y la góndola. La figura 6,4 es comprendida por tres secciones de tubo, a) poste inferior, cual percibe la mayor longitud y es unida a la base, b) poste colocado encima del primer tubo, unido con bridas, c) poste de menor longitud y diámetro, que permite ensamblar la góndola a la altura deseada. Se observa la góndola en la figura 6.5, antes de la instalación de la góndola en la parte superior de la torre, posteriormente para después de validar los cambios en las cargas aplicadas axialmente, con ayudas computacionales, se tiene que el comportamiento respecto a la resistencia del material tiende a cambiar con base a las condiciones de trabajo.

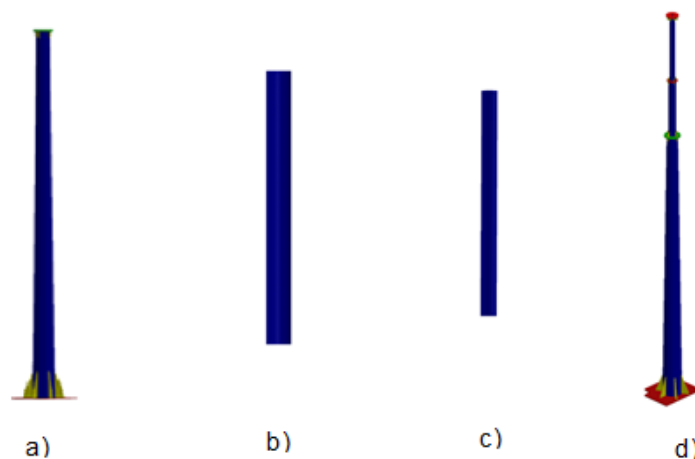


FIGURA 6.3: Modelo 3D de componentes del poste a, b, c y d, vista isométrica completamente ensamblado.

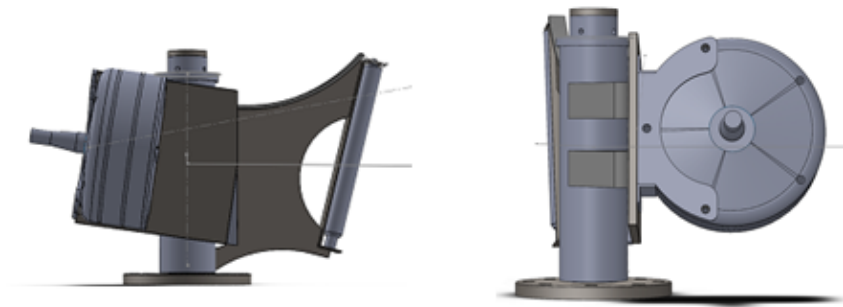


FIGURA 6.4: Góndola del aerogenerador de 1 KW, vista lateral y frontal.

6.1.4. Simulación por medio de herramientas computacionales.

Teniendo en cuenta la propuesta de modelo en CAD, ahora se deben hacer evaluaciones por medio de herramientas computacional que llevan al análisis por medio de elemento finito (FEM), validando el diseño de manera computacional y por consecuente, la disminución de costos de manufactura al momento de realizar el prototipo y la fiabilidad de su instalación. Por lo tanto, es utilizado el software ANSYS, debido a los análisis requeridos para la comprobación de la resistencia estructural de la turbina eólica se utiliza Workbench – Static Structural.

Para llevar a cabo el estudio se tiene que dar a conocer las condiciones de trabajo de la turbina, es decir, cual es el material de su construcción, velocidades de viento en la zona, el comportamiento de cargas que se presentarán en la flecha, etc. El aerogenerador de 1 kW, teóricamente pretende tener una resistencia máxima de una fuerza de 5000 N de manera axial a la flecha, se sujeta fijamente la parte inferior del poste para llevar acabo la simulación.

6.1.5. Comparación de resultados.

Se realiza la simulación con las condiciones anteriormente mencionadas y con el cambio de carga axial gradualmente, otorgando valores de 100 N a 5000 N. los cambios que se pueden apreciar a través de quince simulaciones,

es la concentración de esfuerzos en zonas importantes de la turbina, indicando las posibles fallas de la manufactura.



FIGURA 6.5: Unión torre con góndola para validación del análisis.

7 Resultados

7.1. Validación de datos.

La validación inicia con valores de 100 N y finaliza con 5000 N, son mostrados en la siguiente tabla 1, donde, ejemplifica el comportamiento que tiende el aerogenerador de 1 kW, con base a la deformación que se presenta en ciertos puntos críticos. Si se excede de los 250 MPa de límite máximo de fluencia que es superado a suministrar 1000 N, el aerogenerador a través de la simulación indica las zonas de posibles fallas mecánicas, que presentan una ventaja para la fiabilidad de la manufacturada.

La manufactura de pequeños aerogeneradores en CIDESI, tiene gran ventaja para la suministración de energía limpia, en el estado de Monterrey se instaló un aerogenerador de 1 kW, iniciando como un prototipo, ahora bien, con la validación, se puede llevar a su instalación, para poder comprobar la fiabilidad de la turbina eólica.

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos en la simulación con cargas aplicadas de manera axial. El valor limite para trabajar del aerogenerador es resaltado en la tabla.

CUADRO 7.1: Carga aplicada y Esfuerzo Von-Mises.

Fuerza suministrada N	Esfuerzo Von-Mises Máximo Pa
100 N	1.6194e7
200 N	3.8436e7
300 N	5.9631e7
400 N	8.0827e7
500 N	1.0202e8
600 N	1.2322e8
700 N	1.4442e8
800 N	1.6562e8
900 N	1.8681e8
1000 N	2.0801e8
2000 N	4.1998e8
3000 N	6.3196e8
4000 N	8.4393e8
5000 N	1.0559e9

7.1.1. Aplicación de fuerzas

La fuerza aplicada de la primera, segunda, tercera y cuarta fuerza de manera axial. Las condiciones de trabajo que se otorgaron para efectuar la simulación de la góndola, y los esfuerzos máximos permisibles son mostrados en la Tabla 1, dichos datos, fueron obtenidos de las siguientes imágenes que hacen referencia a la simulación. La figura 7,1, figura 7,2, figura 7,3 y figura 7,4, hacen referente a la fuerza aplicada de forma axial, de 100N, 500N, 1000N y 5000N. Se aprecia que la concentración de esfuerzos en la zona de unión de la góndola.

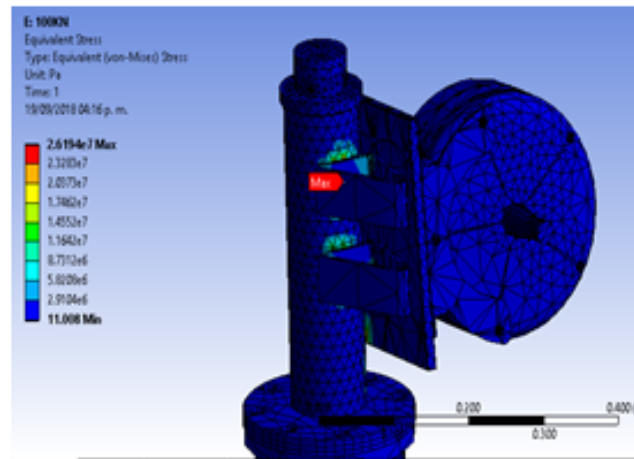


FIGURA 7.1: Concentración de esfuerzos aplicando carga axial de 100N

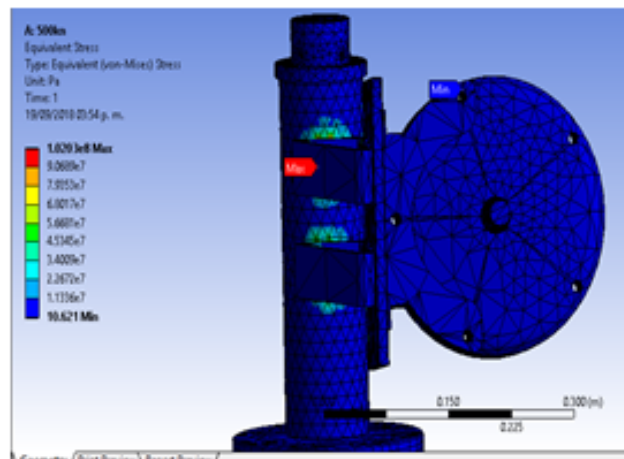


FIGURA 7.2: Se aplica una fuerza de 500 N, los cuales afectan de la siguiente manera en la unión de la góndola.

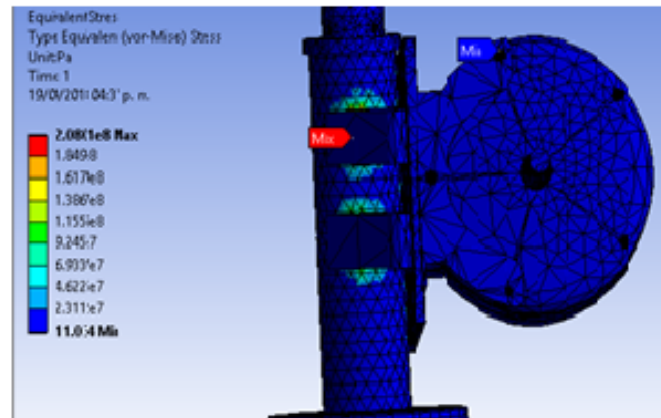


FIGURA 7.3: Carga de 1000 N, presenta la misma ubicación del incidente.

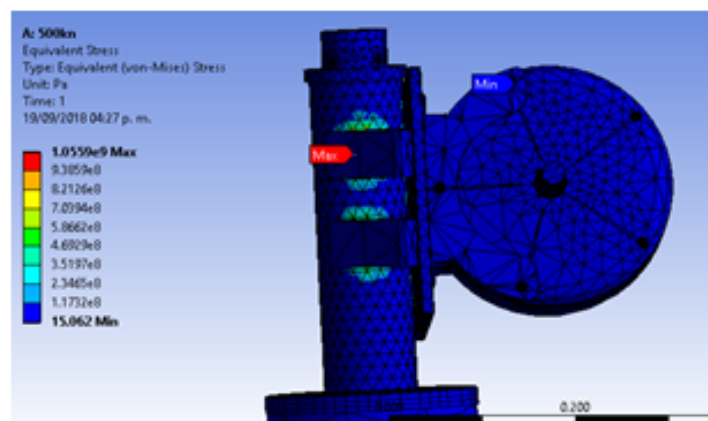


FIGURA 7.4: Se aplicó una carga de 5000 N, el resultado del esfuerzo obtenido se comprueba en la tabla 1.

8 Conclusiones

Con ayuda del modelado computacional se hacen las predicciones lo más cercano a las posibles fallas que se presentan al incrementar la fuerza aplicada, para CIDESI, es una manera de tomar ventaja al realizar la manufactura de los aerogeneradores de pequeña capacidad, conociendo el comportamiento de la góndola, el poste o en su defecto todo el aerogenerador.

La colocación de la góndola a un costado del poste genera concentración de esfuerzos diferentes los que se presentan cuando es ubicada en la parte superior, teniendo por consecuente un inconveniente en la góndola, el cual es influenciado por el comportamiento de los esfuerzos, es decir, la unión de las dos partes (góndola y poste); donde existe un límite de fuerzas aplicadas, donde una determinada zona es el originario de las posibles fallas estructurales. El material estructural del aerogenerador cuenta con un límite máximo de fluencia de 250 MPa, el cual es rebasado al suministrar la carga axial de 1000 N. Si, se trabaja con magnitudes mayores a las que se estipula la turbina eólica tendera a colisionar.

La inversión del desarrollo tecnológico por parte de la dirección de Energías, demuestra que la generación de energía eléctrica es rentable, no solamente de manera ecológica sino también de manera económica, para poder suministrar cierta área con energía limpia. Basados en el diseño de la góndola de 1 kW, se prevé que CIDESI, seguirá manufacturando e innovando los aerogeneradores de eje horizontal.

9 Bibliografia

- [1] Aerodinamics of horizontal axis wind turbine.
- [2] Morren, J., de Haan, S. W. H., Kling, W. L., and Ferreira, J. A., "Wind Turbines Emulating Inertia and Supporting Primary Frequency Control," *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol 21, No. 1, pp. 433-434, 2006.
- [3] Design and Manufacture of small-scale wind turbine.
- [4] P. Leconte, M. Rapin et E. Szechenyi, *Techniques de l'Ingenieur, Traitie Mnique*, BM 4 640 1.
- [5] M. J. Cuesta Santianes, M. Pz Martz, and J. A. Cabrera Jimz, *Aerogeneradores de potencia inferior a 100 kW*, *Cent. Investig. Ciemat*, pp. 1-37, 2008.
- [6] M. Huart, *Cours ENER002, Energies non Conventiionnelles*, Bruxelles, Oct. 2005 *Facults Sciences Appliqu de l'ULB*.
- [7] Tang, C., Soong, W. L., Freere, P., Pathmanathan, M., and Ertugrul, N., *Dynamic Wind Turbine Output Power Reduction under Varying Wind Speed Conditions due to Inertia*, *Wind Energy*, Vol. 16, No. 4, pp. 561-573, 2013.
- [8] Performance analysis of a cross-axis turbine from wind tunnel experiments.
- [9] M.J. Cuesta Santines, M. Pz Martz and J.A. Cabrera Jimz, *Aerogeneradores de potencia inferior a 100 kW*, *cent investing cinemal*, pp. 1-37, 2008.