



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**

**“Impacto del Flujo del Aire con Polución sobre la Resistencia
Mecánica y Superficial en los Alabes de los Aerogeneradores de
la Central Eólica de Cupisnique”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

AUTORES:

Alcalde Montenegro, Nelson Perseo (0000-0002-4784-9066)

Pairasamán Rodríguez, Houlver Keler (0000-0002-1321-3692)

ASESOR:

MG. Luis Alberto Julca Verastegui (0000-0001-5158-2686)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Modelamiento y simulación de sistemas electromecánicos

Trujillo – Perú

2020

Dedicatoria

La presente investigación es dedicada especialmente a Dios, por ser fuente de inspiración y fuerza para culminar este anhelo deseado.

A nuestros padres, por amor su incondicional y sacrífico de estos años, por ustedes conseguimos llegar a este punto y escalar a lo que somos. Fue un privilegio y honor de ser sus hijos, ustedes son los mejores padres.

A nuestros abuelos por su afecto y sustento incondicional, en esta fase de formación por estar con nosotros. A todas nuestras familias por sus asesoramientos, oraciones y fuerzas de aliento, haciéndonos mejores personas y acompañándonos a lograr nuestras metas.

Agradecimiento

En la presente tesis nos gustaría agradecer primeramente a Dios por guiarnos y otorgarnos fortaleza, salud e inspiración; también queremos agradecer a nuestro asesor y director de escuela, quienes nos apoyaron, asesoraron y guiaron en esta investigación, además de formándonos profesionalmente; igualmente reconocer el apoyo de nuestros padres quienes nos dieron la mejor herencia, el estudio además de formándonos con el ejemplo y fortaleza de salir adelante. Asimismo, extender este reconocimiento a nuestras esposas quienes creyeron y confiaron en nosotros, dándonos la fuerza de voluntad para seguir adelante y culminar nuestra carrera.

Índice de contenidos

Dedicatoria	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenidos	vi
Índice de tablas.....	vii
Índice de figuras	vii
Resumen	1
Abstract.....	2
I. INTRODUCCIÓN.....	3
II. MARCO TEÓRICO.....	7
III. METODOLOGÍA.....	15
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	15
3.2. Variables y operacionalización.....	17
3.3. Población, muestra y muestro.....	17
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	17
3.5. Procedimientos.....	18
3.6. Método de análisis de datos	18
3.7. Aspectos éticos	19
IV. RESULTADOS.....	20
V. DISCUSIÓN.....	27
VI. CONCLUSIONES.....	30
VII. RECOMENDACIONES.....	32
REFERENCIAS	34
ANEXOS	40

Índice de tablas

Tabla 01	17
<i>Cuadro de técnicas e instrumentos de recolección de datos</i>	17
Tabla 02	21
<i>Parámetros de operación del aerogenerador vesta V100</i>	21

Índice de figuras

Figura 01	16
Diseño de investigación por comparación NO EXPERIMENTAL	16

Resumen

En esta investigación se logró caracterizar el impacto del flujo de aire con polución sobre la resistencia mecánica y superficial de los álabes de los aerogeneradores de la central eólica de Cupisnique para determinar los efectos y daños en la superficie de los álabes.

Tras entrevistas realizadas y documentación investigada se determinó la problemática existente, siendo el flujo de aire con polución que impacta en los álabes, inmediato a esto se comenzó a indagar antecedentes o investigaciones que nos ayuden a comprender el problema, causado por los agentes ambientales y condiciones del terreno donde operan los aerogeneradores. Entonces procedimos a recolectar información de la velocidad del viento y la cantidad de polución en el aire, luego se dimensionó la estructura y simuló el flujo de aire con polución, obteniendo las presiones sobre la superficie de los álabes, poseyendo las fuerzas que actúan sobre los álabes se simuló en el software los esfuerzos para examinar su comportamiento aplicando teorías de fatiga, esfuerzo por Von Mises, determinando el porcentaje de daño en la superficie de los álabes, por último, se evaluó las categoría de daño en la superficie de los alabes.

Después se cuantifico la criticidad del daño y su porcentaje sobre la superficie de los álabes concluyendo que su valor máximo fue de 0,01609% en el área del BORDE 1.

Palabras claves: álabes, aerogenerador, polución, flujo de aire, criticidad, esfuerzos.

Abstract

In this investigation it was possible to characterize the impact of the air flow with pollution on the mechanical and surface resistance of the blades of the wind turbines of the Cupisnique wind power plant to determine the effects and damages on the surface of the blades.

After interviews and investigated documentation, the existing problem was determined, being the air flow with pollution that impacts the blades, immediately after this, we began to investigate antecedents or investigations that help us understand the problem, caused by environmental agents and conditions from the land where the wind turbines operate. Then we proceeded to collect information on the wind speed and the amount of pollution in the air, then the structure was dimensioned and the air flow simulated with pollution, obtaining the pressures on the surface of the blades, possessing the forces acting on the blades, the software simulated the efforts to examine their behavior applying fatigue theories, effort by Von Mises, determining the percentage of damage on the surface of the blades, finally, the category of damage on the surface of the blades was evaluated. The criticality of the damage and its percentage on the surface of the blades were then quantified, concluding that its maximum value was 0.01609% in the EDGE 1 area.

Keywords: blades, wind turbine, pollution, air flow, criticality, efforts.

I. INTRODUCCIÓN

La energía eólica es la energía adquirida gracias a la potencia del viento, mediante el empleo de la energía cinética producida por los flujos de aire. La energía del viento está vinculada con el desplazamiento de las masas de aire que circulan de zonas de alta presión atmosférica a zonas cercanas de baja presión, con velocidades proporcionales (gradiente de presión). La energía eólica ha sido trabajada desde mucho tiempo antes para trasladar los barcos propulsados por velas o poner en marcha las maquinarias de molinos de aspas. En los últimos años, la utilización de la energía eólica se ha incrementado hasta incluso transformarse en una de las cimientos más fundamentales del abastecimiento de energía renovable (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería [Osinergmin], 2019).

En la actualidad la rentabilidad de los establecimientos eólicos se ha incrementado el triple en correspondencia de la velocidad del viento. Para lograr el máximo aprovechamiento de la energía eólica, estas maquinarias se sitúan sobre las torres más altas posibles. Los más grandes parques eólicos de la actualidad tienen una potencia nominal que se encuentra entre los 4 y 6 megavatios (MW). La altura ideal de las torres debe llegar a medir los 200 metros, 120 metros aproximadamente debe tener la altura del buje. 65 metros deben alcanzar las hélices del rotor. Conforme el Atlas Eólico del Perú, nuestro país tiene un abundante recurso eólico que sobresalen en las costas del departamento de Piura, Lambayeque y algunas zonas de La Libertad. Además, sobresalen los departamentos de Ancash, Lima y Arequipa, pero el departamento que más predomina en el recurso eólico es Ica (Osinergmin, 2019).

La empresa UBE Corporation Europe, la pyme valenciana QMC Tecnología Química y el Cluster de Energía de la Comunitat Valenciana, dirigieron un plan donde buscaban mejorar el estado de funcionamiento de los aerogeneradores aumentando su durabilidad y eficiencia. Así se mencionó UBE Corporation Europe, indicaron que el objetivo es confeccionar un modelo que facilite reproducir las condiciones reales en un álabe de un aerogenerador, lo que proporcionara evaluar las consecuencias de la erosión, en el extremo de ataque del alabe, siendo esta el área que tiene más daño en su operación. La finalidad principal del proyecto es

idear una solución que aumente la resistencia y se acople con los sistemas de fabricación actuales.

La empresa UBE Corporation Europe es considerada líder en la confección de policarbonatodiol (PCD), contribuyendo con su conocimiento de en la fabricación y síntesis de PCD, la pyme valenciana QMC Tecnología Química, desarrollará un material basándose en poliureas y un método de empleo del nuevo material permitiendo mayor eficiencia, reduciendo los tiempos de fabricación (EL MUNDO, 2016).

La importancia de que cualquier daño no se transforme de cosmético a estructural es recomendable una fiscalización anual del aspecto de las palas. Esta fiscalización es aconsejable hasta en los ciclos de garantía debido a las diversas posibilidades de daño. En los últimos tiempos se continuado constantemente con una metodología dedicada inspeccionar el aspecto de los alabes.

La magnitud de la fiscalización debe cubrir el aspecto general de las instalaciones incluyendo los daños potenciales que se presentan entre el álabe y el rotor. Enseguida, se detallan los defectos más comunes que deberían ser detectados en el borde de ataque del alabe.

- Grieta en borde de ataque.
- Borde de ataque roto.
- Picaduras en borde de ataque.
- Erosión en borde de ataque.
- Erosión grave o severa en borde de ataque.
- Desconchamiento desde la picadura.

(Couret y AEMER, 2007)

En las centrales de generación de energía eléctrica del mundo se encuentran produciendo daños en los álabes de los aerogeneradores los cuales son producidas por los cambios de velocidad combinado con la polución del viento. Asimismo, según el (superintendente de operación y mantenimiento) de la central eólica de

Cupisnique los álabes de los aerogeneradores de la central eólica de Cupisnique se encuentran afectadas por la erosión costera y la polución del aire, produciendo así una capa de oxidación y generando así grietas en los álabes, siendo este un peligro latente y constante para estas instalaciones.

En las centrales de generación de energía eléctrica del mundo actualmente se están presentando sobrecargas estáticas sobre los aerogeneradores especialmente sobre las palas las cuales, por estar en constante movimiento, presentan un peligro constante para las instalaciones. También esto es ocasionado por el flujo de viento que no tiene una velocidad constante y que en él se presenta otras partículas, las cuales afectan a la estructura y especialmente a los álabes.

En las centrales eólicas del mundo, en donde el funcionamiento de los aerogeneradores se da por la velocidad del viento, se está produciendo daños en los álabes de los aerogeneradores, por ser un problema en la mayoría de los parques eólicos se necesita conocer el esfuerzo que genera del aire con polución en los alabes de los aerogeneradores. Por lo que manifiesta un gran problema en su funcionamiento y vida útil de los alabes por lo que se plantea. Determinar el impacto del flujo de aire con polución sobre la resistencia mecánica y superficial en los álabes de los aerogeneradores de la central eólica Cupisnique.

Planteado el problema, La presente investigación se justifica en el aspecto de investigación porque mediante una simulación fluido dinámica (DFC) permitirá determinar los daños en la resistencia mecánica y superficial en los álabes de los aerogeneradores de la central eólica de Cupisnique, en función al flujo de aire con polución, en otro aspecto sería la expuesto a la tecnología por demostrar que el flujo de aire con polución afecta en los álabes de los aerogeneradores, en lo estructural que al considerar los efectos de la polución en el mantenimiento se mantendría la calidad y tiempo de vida del aerogenerador lo que mantendría una seguridad en las personas que laboran en la central, además así tendrán una estructura más segura y protegiendo la vida de los trabajadores de la central eólica, por último en el aspectos educativo permite ejercer los conocimientos alcanzados a los largo de la carrera.

Con todo lo presentado relacionado al avance que tendrá el desarrollo del proyecto se decide estudiar cual es el efecto que tiene el flujo de aire con polución sobre la resistencia los álabes de los aerogeneradores de la central de Cupisnique. Para ello, el objetivo principal del proyecto es caracterizar el impacto del flujo del aire con polución sobre la resistencia mecánica y superficial de los alabes de los aerogeneradores de la central eólica de Cupisnique. Como objetivos específicos, Determinar los parámetros de operación torque, potencia y velocidad angular del aerogenerador de la central eólica Cupisnique. Dimensionar y analizar los álabes de los aerogeneradores mediante la herramienta CAD y DFC (dinámica de fluidos computacional) del flujo de aire sin y con polución en los álabes de los aerogeneradores de la central eólica de Cupisnique en el software SolidWorks. Determinar los campos de velocidades y presiones sobre la superficie de los álabes con un flujo de aire sin o con polución y además determinar la distribución de esfuerzos cortantes, deformaciones máximas y esfuerzos de Von Misses sobre la superficie de los álabes de la central eólica de Cupisnique. Determinar los niveles de criticidad por categoría y su porcentaje de daño en la superficie de los álabes. Determinar el número de ciclos de carga y el daño máximo acumulado por fatiga sobre la superficie de los álabes con el flujo de aire con polución, además evaluar el impacto del flujo de aire con polución sobre la superficie de los álabes de los aerogeneradores de la central eólica de Cupisnique.

En las centrales eólicas del mundo, donde operan los aerogeneradores, la velocidad del flujo de aire acompañada del material particulada(polución), es un problema presente en ciertos parques eólicos, donde es necesario conocer los esfuerzos de estos factores en la superficie de los álabes. Produciendo un problema en el funcionamiento por lo que se plantea la siguiente hipótesis; mediante una simulación fluido dinámica se determinará el comportamiento del flujo de aire con polución sobre la resistencia mecánica superficial en los álabes de los aerogeneradores de la central eólica de Cupisnique.

II. MARCO TEÓRICO

En la presente investigación se propone una investigación del impacto que causa el flujo de aire con polución (material particulado) sobre superficie de los álabes de los aerogeneradores de la central eólica de Cupisnique. El montaje de estos aerogeneradores de eje horizontal reside, en los tres alabes ensamblados al rotor y este a la vez acoplado a la parte superior de la torre, constituyendo una estructura dinámica múltiple. Se dimensionará el aerogenerador de forma que los resultados finales de resistencia se puedan coincidir lo más posible a lo expuesto. Para realizar los estudios se utilizará el software SolidWorks, el cual resuelven todo tipo de conflictos, desde un simple análisis lineal hasta soluciones complejas no lineales, mediante el método de elementos finitos.

Dentro de los trabajos previos realizados tenemos que, según Rodríguez (2017), en la presente investigación se llegó a diseñar y simular un aerogenerador tripala con rotor de eje horizontal comprobando su funcionamiento. Lo logró mediante cálculo físico-matemático para el aerogenerador, diseño mecánico y una simulación 3D de dinámica computacional de fluidos, mediante el software CAE. Se logró determinar la simulación fluidodinámica la velocidad de las palas, la velocidad del aire al atravesar el rotor, la presión en las palas, la presión aguas abajo del rotor, la turbulencia, la viscosidad de turbulencia y los esfuerzos tales como fuerzas y momentos sobre el aerogenerador, además también se determinó los esfuerzos que el aerogenerador tiene, las cargas por las fuerzas que produce el viento sobre el rotor, los momentos en la dirección del viento, recomendando palas de material duros y ligeros.

A la vez Valdez (2012) elaboró de una herramienta, usada para hacer ensayos de desgaste en distintos componentes metálicos con el propósito de conseguir modelos de ensayos y una representación de técnicas productivas. Lo consiguió a través del proyecto y elaboración de una herramienta desgastadora para desarrollar pruebas correspondientes mediante ciertos requisitos del taller, fue indispensable la elección de la configuración del polvo para obtener la igualdad de los ensayos, para realizar dichos estudios se usa como molécula áspera al polvo sílico, chocándose a ángulos de 20°, 40°, 75°, 90° en la elaboración de estos ensayos fue obligatorio el registro de la presión de viento, longitudes de choque, el

flujo del polvo. Como conclusión se realizó un aumento en la cantidad de deterioro corrosivo al mejorar la rigidez del componente para los ángulos de choque 40, 75, y 90°. Se noto una disminución de la cantidad de deterioro corrosivo al aumentar la rigidez del componente para los ángulos de choque de 20°.

A la vez Ramírez (2018) en este trabajo se desarrolló una indagación matemática de un flujo impenetrable turbulento repleto con moléculas duras fijadas mediante una canaleta cuadrangular con alteraciones de muro comprobadas. Lo desarrolló a través de avances de los diversos tipos de análisis computacionales, se usaron métodos de Dinámica de Fluidos Computacional y precisamente, se empleó una metodología de simulación de altos niveles (LES) para apresar las catástrofes turbulentas mostradas en el flujo. La determinación del desplazamiento del flujo de las moléculas se hizo a través de una perspectiva Lagrangiana de punto de la molécula. Se determinó que tanto las moléculas como las alteraciones geométricas tienen un cierto dominio en la conducta turbulenta del flujo, siendo el impacto de las moléculas principales.

De igual forma, Covarrubias y Medina (2016) en su presente investigación llegaron a desarrollar un análisis estructural del impulsor de una bomba centrifuga que viene siendo impactada por el fluido. Lo realizo mediante un análisis estructural por medio del método de elemento finito (FEM), primero dimensionando el impulsor digitalmente en el software SolidWorks, para después realizarse un análisis (FEM) en el software ANSYS. Se llego a la conclusión que los esfuerzos generados por el análisis de Von mises son relativamente bajos, estos esfuerzos se concentran en el área donde el impulsor se empotra normalmente con la flecha, deduciendo que el impulsor no se encuentra en ningún riesgo de dañarse.

Finalmente, según Aguirre, Aceñolaza, Brizuela y Sedano (2014) esta investigación desarrollo un método de simulación del desplazamiento de moléculas resistentes esparcidas en la capa final atmosférica desde uno o varios principios precisos o repartidos. Lo consiguió a través de ciertos métodos que examina la determinación de las ecuaciones de continuidad, cantidad de movimiento y energía a través de la simulación de los altos remolinos, uniéndolos a una ecuación estocástica lagrangiana, se integró las ecuaciones para la determinación de los desplazamientos de moléculas resistentes. Se logró como solución la simulación

del comportamiento de moléculas de cobre del acomodo de decenas de micrón esparcidas por dos chimeneas correspondientes a una industria de fundición, además se evaluaron las densidades de cobre a ras del piso y se comprobaron con las producidas empleando métodos de muestreo in-situ.

Como justificación teórica de la investigación se basa en las siguientes teorías como, la teoría de distribución de presiones, teoría de falla por fatiga, teoría de esfuerzos de vida, teoría de resistencia a la fatiga, teoría de esfuerzos por fatiga, flujo externo sobre perfiles aerodinámicos, teoría de esfuerzos y flexión, resistencia de desgaste, deformación por flexión entre otros.

Las partículas de polución, también conocida como material particulado, es una mezcla compleja de partículas extremadamente pequeñas y gotas de líquido que se introducen en el aire. Cuando la velocidad del viento es relativamente alta, el campo de viento local ejerce una influencia substancial sobre el transporte horizontal de la polución del aire, este fenómeno se conoce como efecto del flujo de vientos (Sánchez, Ortiz y Castrejón, 2014).

El pilar alar, perfil aerodinámico o simplemente perfil en aerodinámica se denomina a la apariencia del área transversal de un componente, que al trasladarse por el aire es capaz de crear una distribución de presiones generando sustentación a su alrededor (Joyplanes RC, 2017).

En la teoría de distribución de presiones cuando un flujo pasa por medio de un perfil alar, se producen fuerzas aerodinámicas y momentos. La explicación de estas fuerzas y momentos es clara; es la distribución de presiones del flujo y el esfuerzo de corte en la superficie. El producto de estos dos fenómenos mezclados puede ser simbolizado con una sola fuerza, F , y un momento, M . Frecuentemente, la fuerza F se separa en dos fuerzas aerodinámicas elementales: Arrastre y Sustentación, o conocidas también en inglés, Lift (L) y Drag (D) (SEPÚLVEDA,2014).

La resistencia mecánica superficial a un fluido, es una fuerza mecánica ocasionada cuando un objeto en movimiento choca contra las moléculas del fluido, donde son expulsadas fuera de su camino. Por lo tanto, su magnitud depende de la forma y tamaño del cuerpo (área que está expuesta a choques), así como de su

rapidez. Cuanto más grande sea el objeto y más rápido se mueva, mayor será el número de moléculas contra las que chocará (Miranda, 2015).

Un área de un elemento está sujeto a corte o incisión cuando sobre este se ejerce un esfuerzo cortante, eso quiere decir, una fuerza paralela resultante al plano de la sección. Al ejercer de una fuerza cortante T encima de la sección implica la aparición de una distribución de tensiones tangenciales en el plano de la sección, siendo T_y ; T_z las resultantes del esfuerzo cortante y T_{xy} ; T_{xz} las resultantes de la tensión tangencial (cervera,2015)

La Deformación consiste en que a un objeto está bajo una fuerza aplicada y tiene conexiones específicas para evitar que se mueva como una entidad rígida. Como no hay material infinitamente rígido, la acción de la fuerza significa que el objeto se deforma, es decir, cambia de tamaño y forma. (CARVERA Y BLANCO,2015, p.15-19).

Los procedimientos del análisis de falla por rotura se presentan mediante la unión de la ciencia e ingeniería. Los criterios de fatiga-vida emplean tres apuntes fundamentales del diseño y el análisis, para revelar cuando un elemento de un mecanismo completo puede fallar por fatiga en un aspecto cíclico durante un tiempo establecido. La resistencia a la fatiga y límite de la resistencia a la fatiga facilita a la resistencia a la fatiga S_f contradiciéndose al ciclo de vida N de un elemento de su propia consistencia. Las diferentes formas de carga, se muestran en métodos basados en la teoría de la energía de distorsión para estudiar distintas situaciones en los esfuerzos fluctuantes y daño por fatiga acumulada (Shigley 8va edición, 2008).

Método de esfuerzo-vida para definir la resistencia de materiales bajo las fuerzas de cargas de fatiga, a las pruebas se le aplican esfuerzos reiterados o cambiables de dimensiones determinadas, mientras se contabilizan los ciclos o cambios del esfuerzo hasta su estrago. Para fijar la resistencia a la fatiga de un componente, se requiere una cantidad mayor de pruebas por las condiciones de la estadística de la fatiga, la finalidad de la fatiga es comprender el por qué suceden las fallas, de tal manera que se puedan impedir de manera impecable (Shigley 8va edición, 2008).

Los límites de resistencia mediante pruebas a la fatiga es una práctica, aunque es un método amplio. En general, los límites de resistencia son las pruebas de esfuerzo que se inclinan a las muestras de deformación y a su vez, es la manera para evaluar los límites de resistencia a la fatiga. Ante el problema más grande debido en la superficie, debe elaborarse una reparación mediante el uso de las causas de diseño mayores siendo empleados para el diseño estático (Shigley 8va edición, 2008).

La resistencia a la fatiga del elemento de un material se define mediante la categoría en la tensión que, fluctuando a una amplitud cíclica, ocasiona la fatiga del elemento tras un número definido de ciclos (N). La categoría en la tensión es la diferencia entre la posición máxima y mínima del ciclo. El número de ciclos hasta la fractura se llama resistencia o vida a la fatiga (GUEVARA, 2008).

Los factores que modifican el límite a la fatiga se elaboran con mucha precisión y se prueban bajo situaciones muy estrictas. No es probable suponer que el límite a la resistencia a la fatiga de un componente mecánico o estructural sean iguales a los parámetros que se lograron en el laboratorio. Las apreciaciones se aplican en los factores de Marin al límite de la resistencia a la fatiga siendo k_a , k_b , k_c , k_d , k_e y k_f . (Shigley 8va edición, 2008).

La realidad de discontinuidades o irregularidades, como aberturas, rajadura o muescas aumentan de manera importante en los esfuerzos teóricos en la cercanía de roturas. Una causa de concentración del esfuerzo, se utiliza con el esfuerzo nominal para lograr el esfuerzo máximo resultando debido a la discontinuidad o fallo, para que estos elementos no sean sutiles ante la aparición de cortes, por lo tanto, se puede utilizar un valor disminuido (Shigley 8va edición, 2008).

Los esfuerzos fluctuantes sobre un mecanismo aplican un perfil de una guía sinusoidal a causa de la naturaleza de algunos mecanismos rotatorios. Se ha desarrollado que en las pautas frecuentes que presentan un solo máximo y un solo mínimo de fuerza, el aspecto de la onda no resulta elemental, pero los picos en el lado alto (máximo) y en el lado bajo (mínimo) son fundamentales. La fluencia local del primer ciclo realiza una deformación flexible y endurecimiento por deformación,

lo cual se da en la situación cuando la nucleación de la grieta y el incremento por fatiga son más posibles (Shigley 8va edición, 2008).

La teoría de Söderberg se desarrolla para el análisis de la resistencia para partes expuestas a tensiones fluctuante con elementos de tensión media y relevada. la teoría se interpreta mediante una línea recta entre la tensión media frente a la tensión cambiada (línea de Söderberg) que muestra el límite de fallo de la pieza. (Verdú, 2018)

El criterio de Gerber se fundamenta en una parábola que esta inferior a ella un determinado número de señales de fallo, para casi todas estas causas debido a pruebas con bajas extrenticidad de las vibraciones, cargas inesperadas, etc. Este criterio se acomoda a las conclusiones de fatiga con tensión media no invalidas, elaborando a que sea un criterio muy eficaz hoy en día. (JARAMILLO, 2016).

La resistencia a la fatiga superficial es un fenómeno se lleva a cabo, según la mayoría de los observadores, por la visualización de una micro fisura que se muestra con un ángulo acercado a 30° sobre la superficie, la cual en su vista superior tiene perfil de arco. La grieta de la desportilladura necesita de la dimensión de la carga y de los valores geométricos de los elementos a participar. (Shigley 8va edición, 2008).

La simulación es una materia considerable en la ingeniería mecánica, que consiste en examinar por medio de la simulación la seguridad de los elementos diseñados en cuanto a sus condiciones de trabajo. Es por ello que es indispensable desarrollar con anterioridad un adecuado diseño y una correcta elección del material para ser fabricado posteriormente. Para conocer si una pieza puede llegar a romperse o deformarse provocada por las tensiones soportadas en sus condiciones de funcionamiento, es necesario realizar una simulación o análisis de elementos finitos con lo cual obtienen datos que permiten identificar si la pieza soportara la rotura, qué partes son susceptibles a la rotura. Siendo esto de vital importancia porque, en caso de rotura, el diseño o el material del elemento se tendría que modificar antes de fabricarla (Ingeniero3D, 2019).

La criticidad es un método que estratifica los sistemas, instalaciones y equipos en función del impacto global de los sistemas, instalaciones y equipos para

facilitar la toma de decisiones. Para realizar un análisis de criticidad, debe: definir el alcance y el propósito del análisis, establecer criterios de evaluación y seleccionar un método de evaluación para clasificar la elección del sistema analizado. (GONZÁLEZ, AMENDOLA Y DEPOOL, 2020, p.2333-2335).

El ciclo de vida por fatiga se determina mediante el fallo a través cargas que son repetidas y que comprende el comienzo y aumento de una grieta o grupo de grietas hasta el fallo final por rotura. Tras un n° de ciclos especificado, la parte del material está tan debilitada que se fractura por fatiga (DOMINGUEZ, LAGOS Y PRADES, 2010).

$$Nv = \text{Tiempo} * \text{rpm} \dots\dots\text{ecuación 1}$$

la presente ecuación se dedujo del libro, física conceptos y aplicaciones 7 edición (Paul E. Tippns).

Una grieta se define como una separación de material por abertura o deslizamiento, cuya distancia de separación es sustancialmente más pequeña que la separación extendida, para hallar el tamaño de la grieta se determina mediante la siguiente formula (SALAZAR, 2013).

$$\% \text{ Daño grieta} = \frac{\text{AREA DE LA GRIETA}}{\text{AREA DEL ALABE}} \dots\dots\text{ecuación 2}$$

la presente ecuación se originó por medio del software SolidWorks

La velocidad angular de un cuerpo puede expresarse en función del número de vueltas o revoluciones que el cuerpo realice en la unidad de tiempo, por lo que a veces se da en revoluciones por minuto (R.P.M) o por segundo (R.P.S).

La potencia es una medida de transferencia de energía a lo largo del tiempo, es la velocidad a la que se consume energía. La potencia se expresa en julios por segundo (J /seg) y se representa con la letra "P". Joule / segundo es igual a 1 vatio (W), por lo tanto, cuando se consume 1 joule de energía en un segundo, se está consumiendo 1 vatio de electricidad. La unidad de medida de la energía eléctrica "P" es "vatios", representada por la letra "W" (MCI Capacitación,2018).

$$P = T \times w \dots\dots\text{ecuación 3}$$

La presente ecuación se dedujo del libro, FUNDAMENTOS DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS (Rafael Sanjurjo navarro).

El flujo másico es la velocidad de una sustancia la cual atraviesa una superficie, de igual manera es la velocidad a la que el volumen de un flujo pasa por una superficie. Estas mediciones se suelen usar en dinámica de fluidos con mucha frecuencia. Los gases y líquidos son considerados fluidos. Se expresa en unidades de masa que atraviesa una sección transversal por unidad de tiempo.

$$\dot{m} = \rho * V * A \dots\text{ecuación 4}$$

La presente ecuación se dedujo del libro, Çengel Termodinámica (interamericana editores).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

3.1.1. Tipo de investigación: Aplicada

la presente investigación se considera aplicada porque se aplica los conocimientos teóricos de aerodinámica, diseño de máquinas, mecánica de fluidos para poder comprender el problema que se encuentra presente en los álabes de los aerogeneradores, en donde se tiene la intención de evaluar el impacto del flujo del aire con polución sobre la resistencia mecánica y superficial de los álabes de los aerogeneradores de la central eólica de Cupisnique.

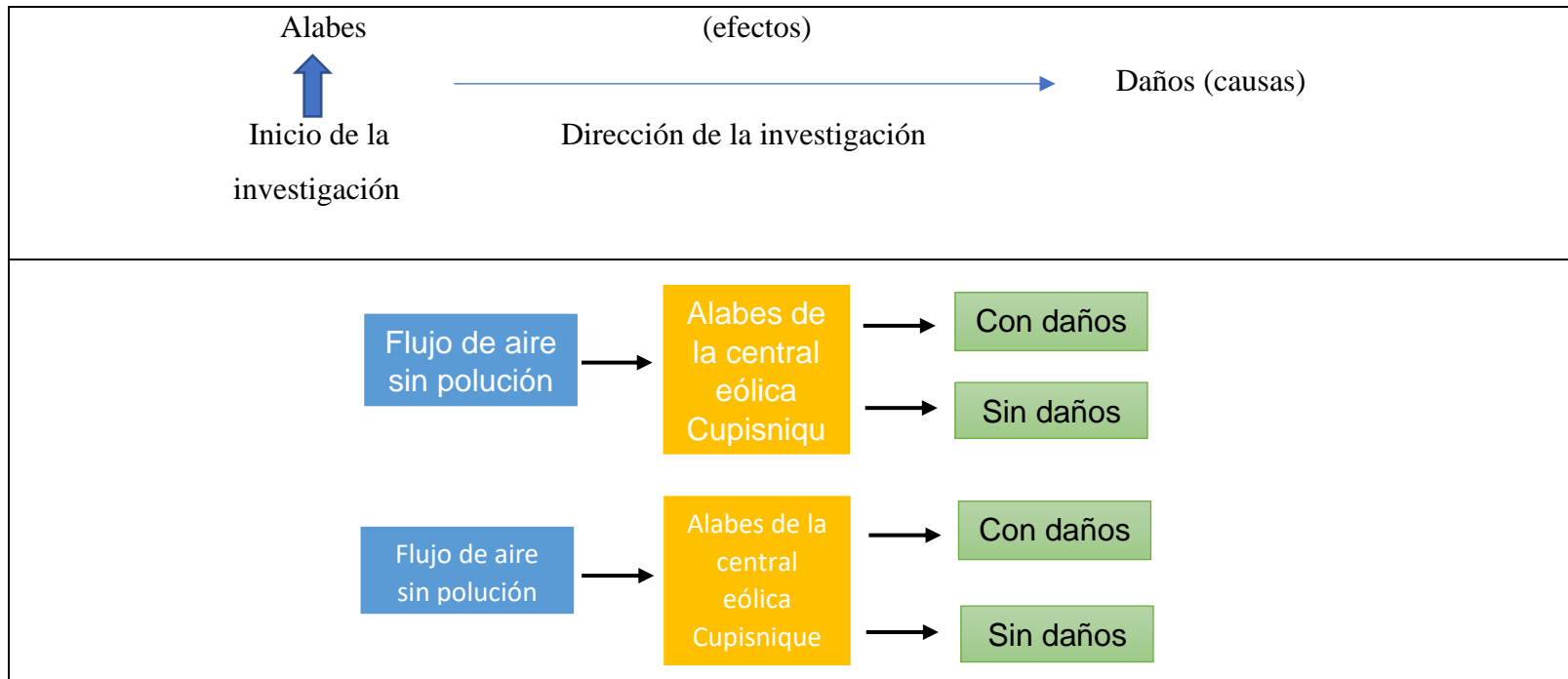
Según Huamani (2016) la investigación aplicada tiene la intención de emplear las competencias teóricas a un hecho específico determinado.

3.1.2. Diseño de investigación: No experimental

La presente investigación es considerada no experimental porque no se puede manipular ninguna variable es decir no se puede ejercer control sobre el flujo del aire con polución y a la vez solo se determinará los efectos que se producen sobre los alabes de los aerogeneradores. Según Hernández, Fernández y Bautista (2010). En un estudio no experimental no se produce situación alguna, sino que se contemplan circunstancias ya pasadas. En la investigación no experimental las variables independientes suceden y no es posible manejarlas.

Figura 01

Diseño de investigación por comparación NO EXPERIMENTAL



En la presente se muestra el diseño de investigación por comparación en cual se representa a los álabes de los aerogeneradores los cuales son sometidos a un flujo de aire sin y con polución (Material particulado), para determinar cuáles son los daños ocasionados por el flujo con polución.

Fuente: elaboración propia

3.2. Variables y operacionalización

3.2.1. Variables

Flujo de aire con polución: Independiente

Resistencia mecánica y superficial: Independiente

3.2.2. operacionalización

Para ver a detalle (ver anexo N°33)

3.3. Población, muestra y muestro

3.3.1. La población está constituida por los aerogeneradores tripala del país que fue descrito y acotado en el estudio del problema de investigación.

3.3.2. La muestra tomada para el desarrollo de esta investigación son los aerogeneradores tripalas de la central eólica de Cupisnique

3.3.3. El muestreo es no probabilístico que radica en que el investigador escoge la muestra que será la más específica, empleando un principio subjetivo y en función a la búsqueda a realizar, la selección fue por conveniencia.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Tabla 01

Cuadro de técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnica de recolección de datos	Instrumento de recolección de datos	validación
Análisis documental	Ficha de registro	Por expertos Ingeniero. Luis Julca Verastegui
Entrevista	Ficha de entrevista	Por expertos Ingeniero. Luis Vargas Álvarez

En la presente tabla se identifica las técnicas de recolección de datos; análisis documental y entrevista con sus respectivos instrumentos de recolección de datos; ficha de registro y ficha de entrevista; validados por sus expertos

Fuente: elaboración propia

3.5. Procedimientos

Primeramente, se comenzó con la recolección de datos de la velocidad del viento que se obtuvo a partir de mapas eólicos y mediciones del viento en la zona donde operan los aerogeneradores, la cantidad de contaminación que se encuentra en el aire a nivel de concentración de arena por unidad de metro cúbico de aire, se obtuvo a partir del documento (estudio de impacto ambiental del proyecto construcción y operación de la central eólica Cupisnique y su interconexión al SEIN). Luego se dimensionaron los álabes de los aerogeneradores, basándose en los planos y su ficha técnica. Posteriormente se realizaron las simulaciones correspondientes obteniendo el campo de presiones, esfuerzos generados y porcentaje de daño de la superficie de los álabes. Luego se determinó el porcentaje de daño por categoría en los aerogeneradores, obtenido de (Vesta, document no: 0014-3811 V09.). finalmente se evaluó el daño superficial y estructural sobre la superficie de los álabes y sus efectos en la resistencia a causa del flujo de aire con contaminación.

3.6. Método de análisis de datos

Inicialmente, se recolectaron datos de la velocidad del viento que se obtuvieron de mapas eólicos y mediciones del lugar donde se encuentran los aerogeneradores. La cantidad de contaminación (material particulado) que está en el aire a nivel de concentración de arena por unidad de metro cúbico, se obtuvo del documento (estudio de impacto ambiental del proyecto construcción y operación de la central eólica Cupisnique y su interconexión al SEIN). Luego se procedió con el dimensionamiento (diseño) de los álabes de los aerogeneradores, estos datos se obtuvieron de la recopilación de planos y de la ficha técnica de los aerogeneradores. Posteriormente se procedió a realizar el análisis de fluidos computacional (DFC) con un flujo de aire con contaminación de donde obtuvo el campo de presiones sobre la superficie de los álabes, estos datos fueron llevados a Excel donde se organizaron en tablas y también fueron tabulados, luego se realizaron los análisis estáticos con las presiones obtenidas, determinando los esfuerzos generados, también se realizó un análisis de fatiga con los

esfuerzos generados y determinando el porcentaje de daño en la superficie de los álabes. Luego mediante el documento (Vesta, document no: 0014-3811 V09) se logró detallar el porcentaje de daño por categorías. Finalmente se determinó cuanto sería el número de ciclos necesarios para cada categoría de daño (porcentaje de daño).

3.7. Aspectos éticos

La teoría presentada en mención a los principios se recupera de forma verídica y legítima como la discreción de la teoría afirmando la identidad de la central eólica, seguido del propósito en el examen de la situación encontrada se sustentara en principios imparciales y técnicos, a la vez se impulsa la particularidad de las fuentes encontradas primeramente citadas con el objetivo de exponer la ausencia de plagio intelectual, de igual manera la sinceridad de la teoría presentada será cierta, creyendo en la confidencialidad de esta, para terminar se orienta en la justicia laboral como respecto al sujeto de estudio.

IV. RESULTADOS

Se comenzó con la resolución de los objetivos mediante la recolección de información de la ficha técnica del aerogenerador, del mapa eólico del Perú y el análisis ambiental de la central eólica de Cupisnique. Luego mediante cálculo matemático se determinó la velocidad angular, para luego ser introducida en el Flow simulación del cual se obtuvo el torque, para luego mediante cálculo determinar la potencia del aerogenerador comprobación el correcto diseño de los alabes. Siguiendo con el Flow simulación se determinó el campo de presiones y velocidades en la superficie de los álabes para las velocidades de viento inicial, intermedia y final. Luego con el campo de presiones sobre la superficie de los álabes se realizó un análisis estático con los campos de presiones de acuerdo a los campos de velocidades de donde se, obtuvo, los esfuerzos cortantes, deformaciones máximas y los esfuerzos de Von Misses. Los niveles de criticidad de carcaza de los álabes se encontraron mediante un documento confidencial en el cual se clasificó en categorías de daños para después determinar el porcentaje de daño. Luego se hizo un análisis de fatiga con los antecedentes de los análisis estáticos, para determinar el daño acumulado por fatiga, además de una escala para poder observar cuando sucede una falla. El análisis de fatiga se hizo con el número de vueltas desde 1 día hasta los 20 años el cual es la vida útil de un álabe. Luego en un análisis de ciclo de vida se determinando el número de ciclos máximos. Finalmente se graficó los daños por porcentaje en la superficie de los álabes, acompañado de una escala para predecir que con esa escala de encuentra la falla.

4.1. Parámetros de torque, velocidad angular y potencia del aerogenerador

4.1.1. Ficha técnica del aerogenerador:

Para ver la ficha técnica del aerogenerador (ver anexo N°01)

4.1.2. Interpolando para la velocidad angular, torque y potencia del aerogenerador

Tabla 02

Parámetros de operación del aerogenerador vesta V100

Ficha de recolección de datos		
Velocidad angular	1,36 rad/seg	(ver anexo N°02)
Torque por simulación	1327.23 N*m	(ver anexo N°03)
DFC		
Potencia del aerogenerador	1.8MW	(ver anexo N°04)

Del cálculo de la interpolación, se obtuvo una velocidad angular de $1,36 \text{ rad/seg}$ para una velocidad del viento es de 12 m/s , la cual es la velocidad nominal del aerogenerador, para ver cálculo de la interpolación.

El torque obtenido fue de 1327.23 N*m , mediante el Flow simulation por la velocidad de 12 m/s del viento y la velocidad angular $1,36 \text{ rad/seg}$.

Mediante el cálculo físico-matemático se determinó la potencia de 1.8 MW , comprobando el óptimo diseño de los álabes, para ver cálculo.

Fuente: elaboración propia

4.2. Campo de velocidades de flujo de aire sin polución y con polución

4.2.1. Campo de velocidades, para un flujo de aire de 8 m/s

En la tabla de campo de velocidades se muestra los resultados de la simulación (Flow simulation) del campo de velocidades en la superficie del alabe, para un flujo de aire de 8 m/s con polución, para las diferentes secciones del álabe, donde la velocidad máxima fue 58.23 m/s en el BORDE 1 y la mínima fue 14.48 m/s en el BORDE 2, para ver tabla (ver anexo N°05).

4.2.2. Campo de velocidades, para un flujo de aire de 12 m/s

En la tabla de campo de velocidades se muestra los resultados de la simulación (Flow simulation) del campo de velocidades en la superficie del álabe, para un flujo de aire de 12 m/s con polución, para las diferentes secciones del álabe, donde la velocidad máxima fue 24.08 m/s en el POSTERIOR y la mínima fue 12.61 m/s en el BORDE 2, para ver tabla (ver anexo N°06).

4.2.3. Campo de velocidades, para un flujo de aire de 15 m/s

En la tabla de campo de velocidades se muestra los resultados de la simulación (Flow simulation) del campo de velocidades en la superficie del álabe, para un flujo de aire de 15 m/s con polución, para las diferentes secciones del álabe, donde la velocidad máxima fue 26.55 m/s en la parte POSTERIOR y la mínima fue 13.90 m/s en el BORDE 1, para ver tabla (ver anexo N°07).

4.3. Determinación de campo de presiones flujo de aire sin polución y con polución.

4.3.1. Campo de presiones, para un flujo de aire de 8 m/s

En la tabla de campo de presiones se muestra los resultados de la simulación (Flow simulation) del campo de presiones en la superficie del álabe, para un flujo de aire de 8 m/s con polución, para las diferentes secciones del álabe, donde la presión máxima fue 101280.97 (Pa) en el BORDE 1 y la mínima fue 101205.30 (Pa) en el BORDE 2, para ver tabla (ver anexo N°08).

4.3.2. Campo de presiones, para un flujo de aire de 12m/s

En la tabla de campo de presiones se muestra los resultados de la simulación (Flow simulation) del campo de presiones en la superficie del álabe, para un flujo de aire de 8 m/s con polución, para las diferentes secciones del álabe, donde la presión máxima fue 101256.37 (Pa) en el BORDE 1 y la mínima fue 100997.30 (Pa) en el BORDE 2, para ver tabla (ver anexo N°09).

4.2.1. Campo de presiones, para un flujo de aire de 15 m/s

En la tabla de campo de presiones se muestra los resultados de la simulación (Flow simulation) del campo de presiones en la superficie del álabe, para un flujo de aire de 8 m/s con polución, para las diferentes secciones del álabe, donde la presión máxima fue 101438.04 (Pa) en el BORDE 1 y la mínima fue 101030.15 (Pa) en el BORDE 2, para ver tabla (ver anexo N°10).

4.3. Distribución de esfuerzos cortantes sobre la superficie de los álaves del flujo de aire con polución.

4.3.1. Esfuerzos cortantes, para el flujo de aire de 8m/s

El esfuerzo cortante máximo en el plano XY fue de $8.288E+06$ N/M² (Mpa) y el mínimo fue de $-1.424E+07$ N/M² (Mpa), sometido a un flujo del aire con polución de 8 m/s, para ver la imagen (ver anexo N°11).

4.3.2. Esfuerzos cortantes, para el flujo de aire de 12 m/s

El esfuerzo cortante máximo en el plano XY fue de $8.288E+06$ N/M² (Mpa) y el mínimo fue de $-1.424E+07$ N/M² (Mpa), sometido a un flujo del aire con polución de 8 m/s, para ver la imagen (ver anexo N°12).

4.3.3. Esfuerzos cortantes, para el flujo de aire de 15 m/s

El esfuerzo cortante máximo en el plano XY fue de $9.027E+06$ N/M² (Mpa) y el mínimo fue de $-1.384E+07$ N/M² (Mpa), sometido a un flujo del aire con polución de 8 m/s, para ver la imagen (ver anexo N°13).

4.4. Deformaciones máximas o desplazamientos máximos en la superficie del álabe para el flujo de aire con polución.

4.4.1. Deformaciones máximas, para un flujo de aire de 8 m/s

Las deformaciones o desplazamientos máximos fueron de $3.921E+01$ mm la cual se produjo por un flujo de aire con polución de 8 m/s, para ver imagen (ver anexo N°14)

4.4.2. Deformaciones máximas, para un flujo de aire de 12 m/s

Las deformaciones o desplazamientos máximos fueron de $3.410E+01$ mm la cual se produjo por un flujo de aire con polución de 12 m/s, para ver imagen (ver anexo N°15).

4.4.3. Deformaciones máximas, para un flujo de aire de 15 m/s

Las deformaciones o desplazamientos máximos fueron de $3.648E+01$ mm la cual se produjo por un flujo de aire con polución de 15 m/s, para ver imagen (ver anexo N°16).

4.5. Distribución de esfuerzos de Von mises sobre la superficie del alabe para el flujo de aire con polución

4.5.1. Distribución de esfuerzos de Von mises, para un flujo de 8 m/s

El esfuerzo de Von mises máximo y mínimo fueron de $9.756E+7$ N/M² y $1.255E+4$ N/M² respectivamente, lo cual se produjo por un flujo de aire con polución de 8 m/s, para ver imagen (ver anexo N°17).

4.5.2. Distribución de esfuerzos de Von mises, para un flujo de 12 m/s

El esfuerzo de Von mises máximo y mínimo fueron de $9.655E+7$ N/M² y $1.319E+4$ N/M² respectivamente, lo cual se produjo por un flujo de aire con polución de 12 m/s, para ver imagen (ver anexo N°18).

4.5.3. Distribución de esfuerzos de Von mises, para un flujo de 15 m/s

El esfuerzo de Von mises máximo y mínimo fueron de $9.64E+7$ N/M² y $1.34E+4$ N/M² respectivamente, lo cual se produjo por un flujo de aire con polución de 15 m/s, para ver imagen (ver anexo N°19).

4.6. Niveles de criticidad de la superficie de los alabes por efectos del flujo de aire con polución.

Mediante el documento (document no: 0014-3811 V09) se determinaron los niveles de daño por categoría en la superficie del

álabe del aerogenerador Vesta V100, para ver tabla (ver anexo N°20)

4.7. Porcentaje del daño superficial sobre los alabes debido al aire con polución por categoría.

4.7.1. Porcentaje de daño, del BORDE 1

Mediante el cálculo matemático de la ecuación (2) se determinó el porcentaje de daño por fisura miento por cada categoría se en el área del BORDE 1, para ver calculo y tabla detallada (ver anexo N°21).

4.7.2. Porcentaje de daño, del BORDE 2

Mediante el cálculo matemático de la ecuación (2) se determinó el porcentaje de daño por fisura miento por cada categoría se en el área del BORDE 2, para ver cálculo y tabla detallada (ver anexo N°22).

4.7.3. Porcentaje de daño, en la parte FRONTAL

Mediante el cálculo matemático de la ecuación (2) se determinó el porcentaje de daño por fisura miento por cada categoría se en el área FRONTAL, para ver cálculo y tabla detallada (ver anexo N°23).

4.7.4. Porcentaje de daño, de la parte POSTERIOR

Mediante el cálculo matemático de la ecuación (2) se determinó el porcentaje de daño por fisura miento por cada categoría se en el área POSTERIOR, para ver cálculo y tabla detallada (ver anexo N°24).

4.8. Daño acumulado por fatiga, con números de ciclos por categoría sobre la superficie del álabe debido al flujo de aire con polución.

4.8.1. Daño por niveles de ciclo por categoría de daño para un flujo de aire de 8m/s, 12m/s y 15m/s; para el BORDE 1

Establecido el porcentaje de daño, se realizó el Flow simulación determinando el N° de vueltas necesarios para el daño en el BORDE 1 por su correspondiente categoría, para ver cálculos (ver anexo N°28) y tabla (ver anexo N°24)

4.8.2. Daño por niveles de ciclo por categoría de daño para un flujo de aire de 8m/s, 12m/s y 15m/s; para el BORDE 2

Establecido el porcentaje de daño, se realizó el Flow simulación determinando el N° de vueltas necesarios para el daño en el BORDE 1 por su correspondiente categoría, para ver cálculos (ver anexo N°28) y tabla (ver anexo N°25)

4.8.3. Daño por niveles de ciclo por categoría de daño para un flujo de aire de 8m/s, 12m/s y 15m/s; para la parte FRONTAL

Establecido el porcentaje de daño, se realizó el Flow simulación determinando el N° de vueltas necesarios para el daño en el BORDE 1 por su correspondiente categoría, para ver cálculos (ver anexo N°28) y tabla (ver anexo N°26)

4.8.4. Daño por niveles de ciclo por categoría de daño para un flujo de aire de 8m/s, 12m/s y 15m/s; para la parte POSTERIOR

Establecido el porcentaje de daño, se realizó el Flow simulación determinando el N° de vueltas necesarios para el daño en el BORDE 1 por su correspondiente categoría, para ver cálculos (ver anexo N°28) y tabla (ver anexo N°27)

4.9. Ciclos de vida por fatiga sobre la superficie del álabe debido al flujo de aire con polución.

Se determino el N° mínimo de ciclos que fue de 60000000 de ciclos, que se producen en 3217.50 días, sumando un total de 8.82 años, este tiempo quiere decir que el alabe no se reparara y seguirá funcionando de manera continua.

4.10. Evaluación del impacto del flujo de aire con polución sobre la superficie del alabe del aerogenerador

Se determino el porcentaje de daño para el alabe con su número de vueltas, en transcurso de su tiempo de vida y el nivel de carga al cual se produciría un daño importante, superior a la categoría 5, lo cual significa su detención inmediata, para ver tabla y gráficos de daño (ver anexo 30).

V. DISCUSIÓN

En los resultados mediante cálculos matemáticos de interpolación, se logró obtener la velocidad angular siendo de 1.36 rad/s, por medio de la velocidad del viento de 12 m/s y el torque efectivo se logró obtener mediante análisis y simulación fluidodinámica (DFC), el cual fue de 1327.43 N*m, mientras que, la potencia efectiva generada por los álabes que fue de 1.83 MW siendo estos valores muy similares a los establecidos en la ficha técnica (HAF WIND ENERGY PROJECT. 2012) del aerogenerador Vesta V100.

De los resultados del campo de las velocidades obtenidas de los anexos N° 05,06 y 07 se puede observar un aumento de velocidad en el área del BORDE 1 y parte FRONTAL mientras que en el BORDE 2 y parte POSTERIOR disminuye la velocidad, lo cual es coherente debido a la variación de la curvatura de la superficie del álabe lo cual genera cambios en la cantidad de movimiento del flujo de aire para generar así fuerzas tangenciales y consecuentemente, la velocidad máxima en la superficie del álabe en el aerogenerador obtenido mediante análisis y simulación fluidodinámica (DFC) el cual alcanzó un valor máximo de 58.23 m/s.

De los resultados del campo de presiones obtenidas de los anexos N°08,09 y 10 se puede observar un aumento de presiones en el área del BORDE 1 y parte FRONTAL mientras que en el BORDE 2 y parte POSTERIOR disminuye la presión, lo cual es coherente debido a la variación de la curvatura de la superficie del álabe lo cual genera cambios en la cantidad de movimiento del flujo de aire para generar así fuerzas tangenciales y consecuentemente, torque efectivo en el aerogenerador obtenido mediante análisis y simulación fluidodinámica (DFC) las cuales alcanzan un valor máximo de 101526.2472 Pa.

De los resultados de los esfuerzos cortantes máximos de los anexos N°11,12 y 13 que fueron 8.288E+6 N/M2 (Mpa), 8.801E+6 N/M2 (Mpa) y 8.873E+6 N/M2 (Mpa) respectivamente, se puede observar un aumento de los esfuerzos es acorde a la velocidad del flujo de aire con polución de 8 m/s, 12m/s 15 m/s lo cual es coherente con el estudio de Rodríguez (2017) quien diseño y simulo un

aerogenerador tripala con rotor de eje horizontal determinando la velocidad del aire al atravesar el rotor, la presión en las palas, la viscosidad de turbulencia, los esfuerzos tales como fuerzas y momentos sobre el aerogenerador, las cargas por las fuerzas que produce el viento sobre el rotor; lo cual concuerda con la teoría de los esfuerzos cortantes según Cervera (2015), la cual dice que al aplicar una presión de cizallamiento sobre la sección de un elemento se produce esfuerzos cortantes.

De los resultados de los esfuerzos de Von mises de los anexos N° 17,18 y 19 que fueron $9.756E+7$ N/M², $9.655E+7$ N/M² y $9.64E+7$ N/M² respectivamente, se puede observar un descenso de los esfuerzos es acorde a la velocidad del flujo de aire con polución de 8 m/s, 12m/s 15 m/s lo cual es coherente con el estudio de Covarrubias y Medina (2016) quienes diseñaron y realizaron una simulación (FEM) en un impulsor de una bomba centrifuga determinando que los esfuerzos se concentran en el área donde el impulsor se empotra con la flecha a la vez que estos esfuerzos son relativamente bajos y que el impulsor no se encuentra en ningún riesgos de dañarse, lo cual concuerda con la teoría del libro (Shigley 8va edición, 2008), sobre los esfuerzos de Von mises, información teoría presidida en el capítulo 6.

De los resultados del análisis de criticidad obtenidos del daño en la superficie del alabe (document no: 0014-3811 V09), se logró obtener que este se clasifica en 5 categorías las cuales se describen en el anexo N°20 y el porcentaje de daño por fisura miento se relacionó con estas categorías considerando los tamaños de las grietas y fisuras en los BORDES 1 y 2, área frontal y posterior descritos en los anexos N°21,22 y 23, obteniendo el % de área que estas fisuras ocupan en la cada superficie correspondiente del alabe siendo la máxima en el área del borde 1 categoría 5, lo cual se pudo precisar mediante la teoría de criticidad por fisura miento y la fórmula de porcentaje de daño proporcionada por el software.

El número de ciclos mínimos obtenidos de la simulación fue de 60000000 ciclos que se producen en 3217.50 días, sumando un total de 8.82 años, corresponde para los valores de los esfuerzos actuales que se presentan.

De los resultados obtenidos mostrados en los anexos N°25, 26, 27 y 28 se puede observar que a un mayor tiempo de sometimiento de un flujo de aire con polución sobre la superficie de los alabes del aerogenerador, el daño por fatiga superficial se incrementa alcanzado porcentajes de daño por fisura miento que lo ubican dentro de las categorías o niveles de criticidad para estos alabes, esto se puede corroborar con el estudio de Valdez (2010) quien en su estudio simulo un flujo de aire con arena en metales determinando que flujo de arena, la presión del viento y el ángulo de choque producen un deterioro corrosivo en el material, lo cual concuerda con la teoría de daño por fatiga del libro (Shigley 8va edición, 2008), la cual menciona que al aplicar una fuerza y dependiendo el nivel de esta, a un elemento determinara el nivel de daño o fractura en este elemento.

Respecto a nuestra hipótesis podemos afirmar que esta se cumple, de acuerdo a los resultados finales del estudio se puede decir que el flujo de aire con polución afecta proporcionalmente a los álabes produciendo un daño no considerable al momento, pero si con el tiempo. Esto se puede relacionar con el estudio de Valdez (2010) quien en su estudio simulo un flujo de aire con arena en metales determinando que flujo de arena, la presión del viento y el ángulo de choque producen un deterioro corrosivo en el material, lo cual concuerda con la teoría de límite de fatiga del libro (Shigley 8va edición, 2008), la cual menciona todo elemento tiene un límite de resistencia, en donde al aplicarle una fuerza que sobrepasa a este podría ocasionar daños irreparables.

VI. CONCLUSIONES

Se dimensionó los álabes de los aerogeneradores los más aproximado a lo real, comprobando mediante conocimientos físicos-teóricos la velocidad angular de 1.36 rad/seg y la potencia de 1,8MW, además el torque se obtuvo mediante una simulación fluidodinámica (DFC) de 1327.23N*M.

Se dimensiono los alabes de los aerogeneradores mediante el uso de un perfil hibrido RISØ P y FFA –W3, para luego realizar un análisis fluidodinámico (DFC) de donde se obtuvieron los campo de presiones sobre la superficie de los álabes, en donde la presión máxima fue de 101526.25 Para en la parte FROTAL del alabe y el campo de velocidades sobre la superficie de los alabes, en donde la velocidad máxima fue de 58.23 m/s y en la parte FRONTAL del álabes.

Se realizaron los análisis estáticos y de fatiga de los alabes de los aerogeneradores, de donde se obtuvieron los esfuerzos cortantes, las deformaciones máximas y los esfuerzos de Von mises, en donde los valores máximos fueron 3,921cm y 9.756E+7 N/M2 respectivamente, se puede observar que los resultados son coherentes de acuerdo al del flujo de aire con polución.

Se logro cuantificar la criticidad del daño de las tablas N°11, 12 y 13, además de su porcentaje sobre la superficie del alabe de las tablas N°09,10,11 y 12 donde su valor máximo fue de 0,01609% en el área del BORDE 1, los cual es coherente porque el flujo de aire con polución impacta directamente en dicha área originando un mayor daño.

Se logro cuantificar el daño máximo de los alabes que se dio en el BORDE 1 y fue de 1,609E-02 mediante el análisis de fatiga y los niveles de ciclos que puede soportar por categoría.

Se determino el número mínimo de ciclos de vueltas que pueden soportar los alabes de los aerogeneradores basándose en el tiempo de trabajo, en donde el

valor fue de $6E+07$ ciclos que se dan en un tiempo de 3217.5 días, sumando un total de 8.82 años.

Se determino el número máximo de ciclos de carga basándose en el tiempo de vida (20 años) de los alabes de los aerogeneradores, siendo de 136130400 vueltas y proporcionando por la simulación de fatiga un daño máximo de $4.08E-01$.

Se logro obtener un diagrama prospectivo del anexo N°32 (grafica N°01) del tiempo de vida transcurrido y numero de ciclos para alcanzar el porcentaje de daño por criticidad.

VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar una investigación detallada sobre la variación de concentración de arena en el flujo de aire que impacta en la superficie de los alabes de los aerogeneradores la central eólica de Cupisnique.

Analizar en detalle el efecto de la humedad del ambiente del flujo de aire sobre la polución e impacto sobre la superficie de los alabes de los aerogeneradores la central eólica de Cupisnique.

Se recomienda analizar y evaluar en profundidad las deformaciones transitorias no uniformes que se presenta en los alabes de los aerogeneradores la central eólica de Cupisnique y sus efectos vibracionales bajo un análisis de frecuencia.

Debido a las limitaciones de acceso a la central eólica Cupisnique por la actual pandemia Covid19 se recomienda la recopilación de información sobre la aparecimiento y crecimiento de las fisuras con su correspondiente número de ciclos y horas de funcionamiento.

Se recomienda analizar los efectos de variación de potencia del aerogenerador debido al flujo del aire con polución teniendo en cuenta los efectos de corrección de potencia por los sensores.

Se recomienda analizar con mayor profundidad los efectos de la variación del viento en las diferentes direcciones a fin de tener un mapa eólico de la central para posible expansión del parque eólico Cupisnique.

Se recomienda realizar pruebas de ensayos no destructivos como los ensayos de líquidos penetrantes, partículas magnéticas y otros sobre la superficie de los alabes de los aerogeneradores de la central eólica de Cupisnique, con el fin de determinar y constatar la categoría y nivel daño por el flujo de aire con polución.

Se recomienda evaluar cambiar el material actual de los alabes de los aerogeneradores de la central eólica de Cupisnique, el cual es fibra de vidrio

con aleación de fibra de carbono por un nuevo material como por ejemplo la fibra de carbono con aleaciones de aluminio, en donde el esfuerzo máximo de fluencia del nuevo material debe sobrepasar al actual con el fin evitar o reducir los daños por el flujo de aire con polución.

REFERENCIAS

Aguilar, M.; Velarde, S. y Argüelles, K. (2012). El impacto acústico de las turbinas eólicas sobre las personas y colectivos: Métodos de evaluación y control. Universidad de Oviedo. http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/4214/6/TFM_Mar%C3%ADa%20Jos%C3%A9%20Aguilar%20Garc%C3%ADa.pdf

Aguirre, C., Aceñolaza, P., Brizuela, A. y Sedano, C. (2014). Simulación computacional de la dispersión de partículas sólidas en la atmósfera utilizando un modelo acoplado. Mecánica Computacional. Volumen (XXXIII), págs. 3431-3453. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/18952/CONICET_Digital_Nro.22738.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Carvera. M y Blanco E. (2015). Resistencia de Materiales. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería. <http://cervera.rmee.upc.edu/libros/Resistencia%20de%20Materiales.pdf>

Covarrubias, H. y Medina, J. (2016). Predicción del esfuerzo de Von Mises generado en los álabes de un impulsor de una bomba centrífuga típica utilizando Ansys APDL. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Celaya. <http://www.itcelaya.edu.mx/ojs/index.php/pistas/article/viewFile/483/579>

Guevara, E. (2008). Análisis de Fatiga en La Viga Principal del Avión A-37B. Universidad Autónoma De Occidente. (Tesis de pregrado). Colombia.

Hernández, R.; Fernández, C. y Baptista, M. (2010). Metodología de la Investigación. McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V

Huamani, P. (2016). La investigación tecnológica. <http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/urp/678/investigaciontecnologica.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Jaramillo, D. (2016). Análisis de fatiga mediante el método de los elementos finitos. Universidad del Pasco. España

Martínez, A. (2019). Ingeniero 3D. Recuperado de <https://www.ingeniero3d.com/soluciones/simulacion/>.

Mera, H. (2014). Metodología para el análisis de esfuerzos y a fatiga de ejes y obtención del factor de intensidad de tensiones mediante el método XFEM en Abaqus. Universidad Carlos III de Madrid. España

Ministerio de energía y minas (2016, enero) SBCC-05/PROSEMER-MINEM Estudio para aprovechamiento eólico con fines energéticos y actualización atlas eólico del Perú http://www.minem.gob.pe/_publicacion.php?idSector=6&idPublicacion=537

Miranda, J. (20 de noviembre del 2015). Resistencia de un fluido [Mensaje en un blog]. Recuperado de <http://apuntes-ing-mecanica.blogspot.com/2015/11/resistencia-del-fluido.html>

Pacific PIR (12 de mayo del 2010). Estudio de impacto Ambiental (EIA) del proyecto de construcción y operación de la Central Eolica Cupisnique y su interconexión al SEIN. Pacific Protección Integral de Recursos S.A.C http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGGAE/ARCHIVOS/estudios/EIAS%20-%20electricidad/EIA/EIA%20ENERGIA%20EOLICA%20CUPISNIQUE/EIA%20CUPISNIQUE_informe%20final_200510.pdf

Quintanilla, E. (2014, octubre). Vientos del norte: Cupisnique el parque eólico más grande del país. Electricidad Perú. Energía y Minería. <https://es.calameo.com/read/000557383d679e3cf8bac>

Ramírez, A. (2018). Investigación numérica de un flujo incompresible turbulento cargado con partículas sólidas suspendidas a través de un canal con perturbaciones de pared controladas (Tesis de doctorado). Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá). Colombia.

Rodríguez, J. (2017). Análisis y diseño de un aerogenerador mediante simulación 3d de dinámica computacional de fluidos. (Tesis de pregrado). Universidad Carlos III de Madrid. España

Sánchez E., Ortiz L. y Castrejón M. (2014). Contaminación urbana del aire: Aspectos fisicoquímicos, microbiológicos y sociales (Tesis de doctorado). Universidad Autónoma del Estado de Morelos. México.

Sepulveda, D. (2014). Determinación De Cargas Y Momentos Aerodinámicos En El Álabo De Una Turbina Eólica Tipo Darrieus De Pequeña Escala. (Tesis de pregrado) Universidad de Chile. Chile.

Sevillano, E. (27 de febrero del 2015). Vientos de más de 200 Km/h derriban un aerogenerador en el Moncayo. EL PAÍS https://elpais.com/politica/2015/02/27/actualidad/1425067392_682306.html

Valdez, C. (2012). Estudio experimental del fenómeno de erosión seca empleando partículas abrasivas de silica sobre aceros herramientales. (Tesis de maestría). Instituto Politécnico Nacional. México.

Verdú, A. (2018). Diseño del Sistema de Transmisión de un Helicóptero. Universitat Politècnica de Catalunya. (Tesis de pregrado). España.

Baller, L. y Matysik, S. (2020). Vestas V 100 – 1,8 MW. Vestas Wind Systems NS <https://en.wind-turbine-models.com/turbines/1002-vestas-v100-1.8>

Bertagnolio, F.; Sorensen, N. N.; Johansen, J., and Fuglsang, P. (2001). Wind turbine airfoil catalogue. Denmark. Forskningscenter Risoe. Risoe-R, N°1280(EN)

Çengel, and. (2012). Thermodynamics. I. Apraiz and m. Bowls. (pp 337-379). Mcgraw-hill / interamericana editores, s.a. from c.v.

Mississauga, O. (2012). Wind Turbine Specification Report. Marrison Hershefield. Suite 600, 235. https://1104037_Wind_Turbine_Spec_Report_combined_20April12.pdf

Mucsi, V.; Syahrir, A.; Mohammad, F.; Zulkipli, M. and other (2020) lightning Protection Methods for wind turbine Blades: An Alternative. Approach. Lightning. Modeliny and Its Effects on tlec tric Infrastructures. Appl, sci. 2020, 10 (6); 2130; <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/6/2130/htm>

Sheibani; M. and Abar, A. (2015). Finite element modeling of a wind tirbine blede. Journal of vibroengibeering, 177), 3774-3791. <https://www.jvejournals.com/article/16033>

Shigley, J. and Mischke, C (2008). Mechanical engineering design. R Budynas, J. Keith and M Ríos (Eds). (pp. 264-265). Mcgraw-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Shigley, J. and Mischke, C (2008). Mechanical engineering design. R Budynas, J. Keith and M Ríos (Eds). (pp. 274-275). Mcgraw-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Shigley, J. and Mischke, C (2008). Mechanical engineering design. R Budynas, J. Keith and M Ríos (Eds). (pp. 278-286). Mcgraw-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Shigley, J. and Mischke, C (2008). Mechanical engineering design. R Budynas, J. Keith and M Ríos (Eds). (pp. 295-308). Mcgraw-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Shigley, J. and Mischke, C (2008). Mechanical engineering design. R Budynas, J. Keith and M Ríos (Eds). (pp. 292-294). Mcgraw-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Shigley, J. and Mischke, C (2008). Mechanical engineering design. R Budynas, J. Keith and M Ríos (Eds). (pp. 313-318). Mcgraw-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Shigley, J. and Mischke, C (2008). Mechanical engineering design. R Budynas, J. Keith and M Ríos (Eds). (pp. 319-322). Mcgraw-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Vestas(27 de septiembre del 2010). Weight, Dimensions and Centre of Gravity of 44m Blades http://www.windparkferrum.nl/files/dec2016/Bijlage_2-2_Specificaties_Turbines_2.pdf

Vestas (19 de noviembre del 2010). General Specification V 90 - 18/2.0 MW 50 HZ VCS http://ventderaison.eu/gembloux/eie_ABO-WIND/Annexes/Annexe_N_1_Courbe_acoustique_V90.pdf

Vestas (2 de junio del 2016). General Specification 2.0/2. 2MW.V100/11 50/60HZ http://www.reunion.gouv.fr/IMG/pdf/annexe1_docstandardv100-110.pdf

Vestas (10 de julio del 2017). Performance Specification V 117-4.0/4.2 MW 50/60 HZ Strong wind. http://www.chubut.gov.ar/portal/wp-organismos/ambiente/wp-content/uploads/sites/8/2018/04/Anexo-4-0067-7063_V01-Performance-Specification-V117-4.0_4.2MW-Strong-Wind.pdf

Shigley, J. and Mischke, C (2008). Mechanical engineering design. R Budynas, J. Keith and M Ríos (Eds). (pp. 313-318). Mcgraw-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Shigley, J. and Mischke, C (2008). Mechanical engineering design. R Budynas, J. Keith and M Ríos (Eds). (pp. 319-322). Mcgraw-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

ANEXOS

ANEXO N°01: ficha técnica del aerogenerador Vesta V100

Tabla 03

Características técnicas del aerogenerador Vesta v100

MODELO	Vestas V100-1.8MW
CAPACIDAD DE GENERACION	1.8 Megawatt
ALTURA DEL CUBO	80 m
DIAMETRO DEL ROTOR	100 m
VELOCIDAD MINIMA DEL VIENTO	4 m/s
VELOCIDAD MAXIMA DEL VIENTO	20 m/s
VELOCIDA MINIMA DE ROTACION	9.3 rpm
VELOCIDA MAXIMA DE ROTACION	16.6 rpm
TEMPERATURA DE OPERACIÓN	/ -20°C a +40°C/

Fuente: HAF WIND ENERGY PROJECT. 2012

ANEXO N°02: cálculo de la interpolación de la velocidad angular

$$4 \text{ m/s} \rightarrow 9,3 \text{ rpm}$$

$$12 \text{ m/s} \rightarrow x$$

$$20 \text{ m/s} \rightarrow 16,6 \text{ rpm}$$

De la interpolación:

$$\text{Velocidad angular} = 12,95 \text{ rpm}$$

Convertimos de rpm a rad/s

$$x = 12,95 \text{ rpm} \times \frac{1 \text{ rev}}{1 \text{ min}} \times \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ seg}}$$

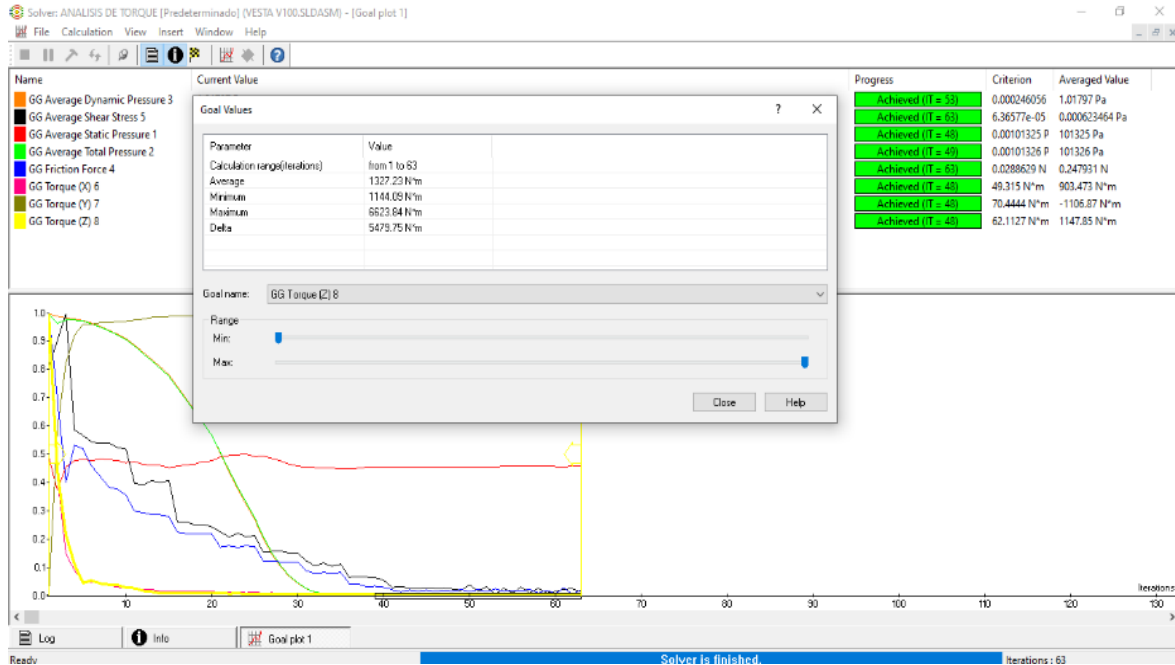
$$x = 1,36 \text{ rad/seg}$$

Interpolando de la velocidad del viento 12 m/s con las RPM del rotor se obtiene una velocidad angular de 1,36 rad/seg a la cual es la que gira el rotor.

ANEXO N°03: torque por simulación fluido dinámica (DFC)

Figura 02

Simulación fluido dinámica (DFC) del torque del aerogenerador



Fuente: elaboración propia

ANEXO N°04: cálculo de la potencia del aerogenerador

De la ecuación 3

$$P = T \times w$$

$$P = (1327,23 \text{ N.m})(1,36 \text{ rad/seg})$$

$$P = 1805,0328 \text{ W}$$

$$P = 1,8 \text{ MW}$$

ANEXO N°05: Tabla de campo de velocidades para un flujo de aire de 8 m/s**Tabla 04***Tabla de campo de velocidades para un flujo de aire de 8 m/s*

VELOCIDAD DEL VIENTO DE 8m/s		
CAMPO DE VELOCIDADES	FLUJO DE AIRE	FLUJO DE AIRE CON POLUCION
	Velocity [m/s]	58.23
BORDE 1	Velocity (X) [m/s]	42.46
	Velocity (Y) [m/s]	-1.08
	Velocity [m/s]	14.48
BORDE 2	Velocity (X) [m/s]	11.91
	Velocity (Y) [m/s]	-8.16
	Velocity [m/s]	20.60
FRONTAL	Velocity (X) [m/s]	15.23
	Velocity (Y) [m/s]	-13.83
	Velocity [m/s]	20.71
POSTERIOR	Velocity (X) [m/s]	15.27
	Velocity (Y) [m/s]	-13.95
	Velocity [m/s]	20.71

En esta tabla se muestra los resultados de la simulación (Flow simulation) del campo de velocidades en la superficie del alabe, para un flujo de aire de 8 m/s sin y con polución, para las diferentes secciones del alabe.

Fuente: elaboración propia

ANEXO N°06: Tabla de campo de velocidades para un flujo de aire de 12 m/s**Tabla 05***Tabla de campo de velocidades para un flujo de aire de 12 m/s*

VELOCIDA DEL VIENTO DE 12m/s			
CAMPO DE VELOCIDADES		FLUJO DE AIRE	FLUJO DE AIRE CON POLUCION
BORDE 1	Velocity [m/s]	12.61	12.61
	Velocity (X) [m/s]	10.25	10.25
	Velocity (Y) [m/s]	-7.26	-7.26
BORDE 2	Velocity [m/s]	16.83	16.83
	Velocity (X) [m/s]	13.85	13.85
	Velocity (Y) [m/s]	-9.48	-9.48
FRONTAL	Velocity [m/s]	23.95	23.95
	Velocity (X) [m/s]	17.71	17.71
	Velocity (Y) [m/s]	-16.07	-16.07
POSTERIOR	Velocity [m/s]	24.08	24.08
	Velocity (X) [m/s]	17.75	17.75
	Velocity (Y) [m/s]	-16.22	-16.22

En esta tabla se muestra los resultados de la simulación (Flow simulation) del campo de velocidades en la superficie del alabe, para un flujo de aire de 12 m/s sin y con polución, para las diferentes secciones del alabe.

Fuente: elaboración propia

ANEXO N°07: Tabla de campo de velocidades para un flujo de aire de 15 m/s**Tabla 06***Tabla de campo de velocidades para un flujo de aire de 15 m/s*

VELOCIDA DEL VIENTO DE 15m/s			
CAMPO DE VELOCIDADES		FLUJO DE AIRE	FLUJO DE AIRE CON POLUCION
BORDE 1	Velocity [m/s]	13.90	13.90
	Velocity (X) [m/s]	11.30	11.30
	Velocity (Y) [m/s]	-8.01	-8.01
BORDE 2	Velocity [m/s]	18.56	18.56
	Velocity (X) [m/s]	15.27	15.27
	Velocity (Y) [m/s]	-10.46	-10.46
FRONTAL	Velocity [m/s]	26.41	26.41
	Velocity (X) [m/s]	19.53	19.53
	Velocity (Y) [m/s]	-17.73	-17.73
POSTERIOR	Velocity [m/s]	26.55	26.55
	Velocity (X) [m/s]	19.58	19.58
	Velocity (Y) [m/s]	-17.89	-17.89

En esta tabla se muestra los resultados de la simulación (Flow simulation) del campo de velocidades en la superficie del alabe, para un flujo de aire de 12 m/s sin y con polución, para las diferentes secciones del alabe.

Fuente: elaboración propia

ANEXO N°08: Tabla de campo de presiones para un flujo de aire de 8 m/s

Tabla 07

Tabla de campo de presiones para un flujo de aire de 8 m/s

VELOCIDA DEL VIENTO DE 8m/s			
CAMPO DE PRESIONES		FLUJO DE AIRE	FLUJO DE AIRE CON POLUCION
BORDE 1	PRESION (Pa)	101280.97	101285.33
BORDE 2	PRESION (Pa)	101205.30	101209.30
FRONTAL	PRESION (Pa)	101436.66	101454.76
POSTERIOR	PRESION (Pa)	101243.00	101254.80

En esta tabla se muestra los resultados de la simulación (Flow simulation) del campo de presiones en la superficie del alabe, para un flujo de aire de 8 m/s sin y con polución, para las diferentes secciones del alabe.

Fuente: elaboración propia

ANEXO N°09: Tabla de campo de presiones para un flujo de aire de 12 m/s

Tabla 08

Tabla de campo de presiones para un flujo de aire de 12 m/s

VELOCIDA DEL VIENTO DE 12m/s			
CAMPO DE PRESIONES		FLUJO DE AIRE	FLUJO DE AIRE CON POLUCION
BORDE 1	PRESION (Pa)	101256.37	101276.55
BORDE 2	PRESION (Pa)	101102.73	101134.33
FRONTAL	PRESION (Pa)	101509.45	101526.25
POSTERIOR	PRESION (Pa)	100997.30	101198.50

En esta tabla se muestra los resultados de la simulación (Flow simulation) del campo de presiones en la superficie del alabe, para un flujo de aire de 12 m/s sin y con polución, para las diferentes secciones del alabe.

Fuente: elaboración propia

ANEXO N°10: Tabla de campo de presiones para un flujo de aire de 12 m/s

Tabla 09

Tabla de campo de presiones para un flujo de aire de 15 m/s

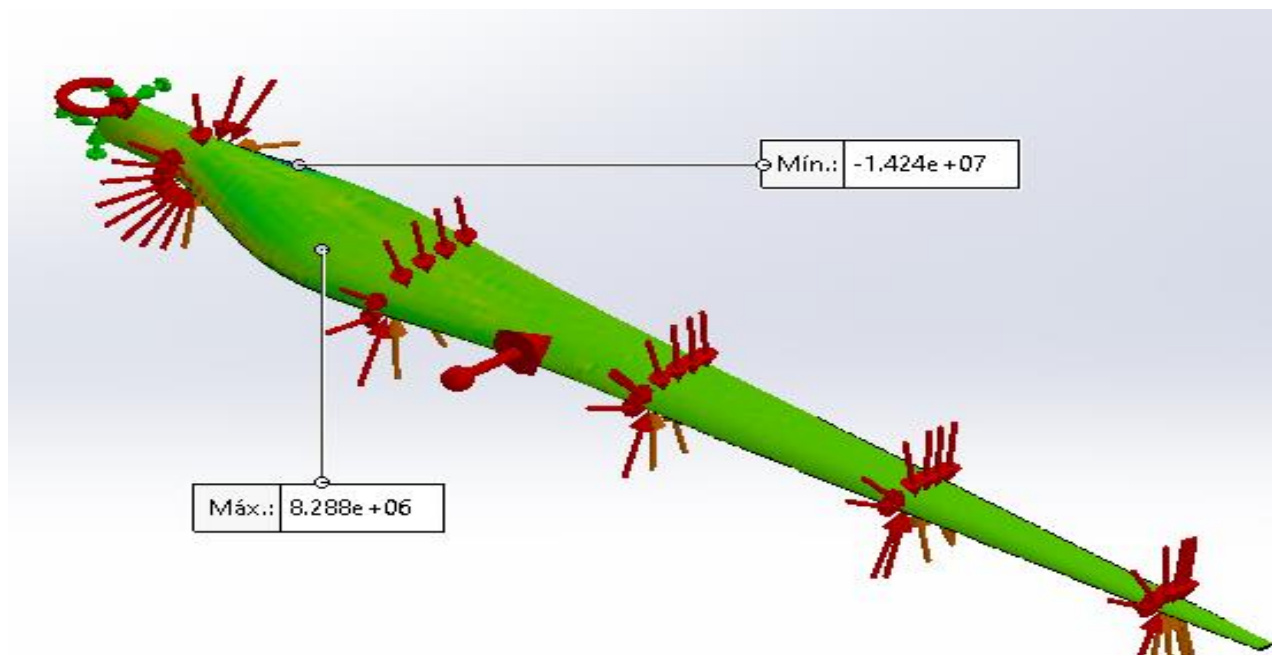
VELOCIDA DEL VIENTO DE 15m/s			
CAMPO DE PRESIONES		FLUJO DE AIRE	FLUJO DE AIRE CON POLUCION
BORDE 1	PRESION (Pa)	101173.50	101234.54
BORDE 2	PRESION (Pa)	101062.14	101091.37
FRONTAL	PRESION (Pa)	101438.04	101577.31
POSTERIOR	PRESION (Pa)	101030.15	101170.17

Fuente: elaboración propia

ANEXO N°11: Esfuerzos cortantes con un flujo de aire con polución de 8 m/s

Figura 03

Esfuerzos cortantes con un flujo de aire con polución de 8 m/s



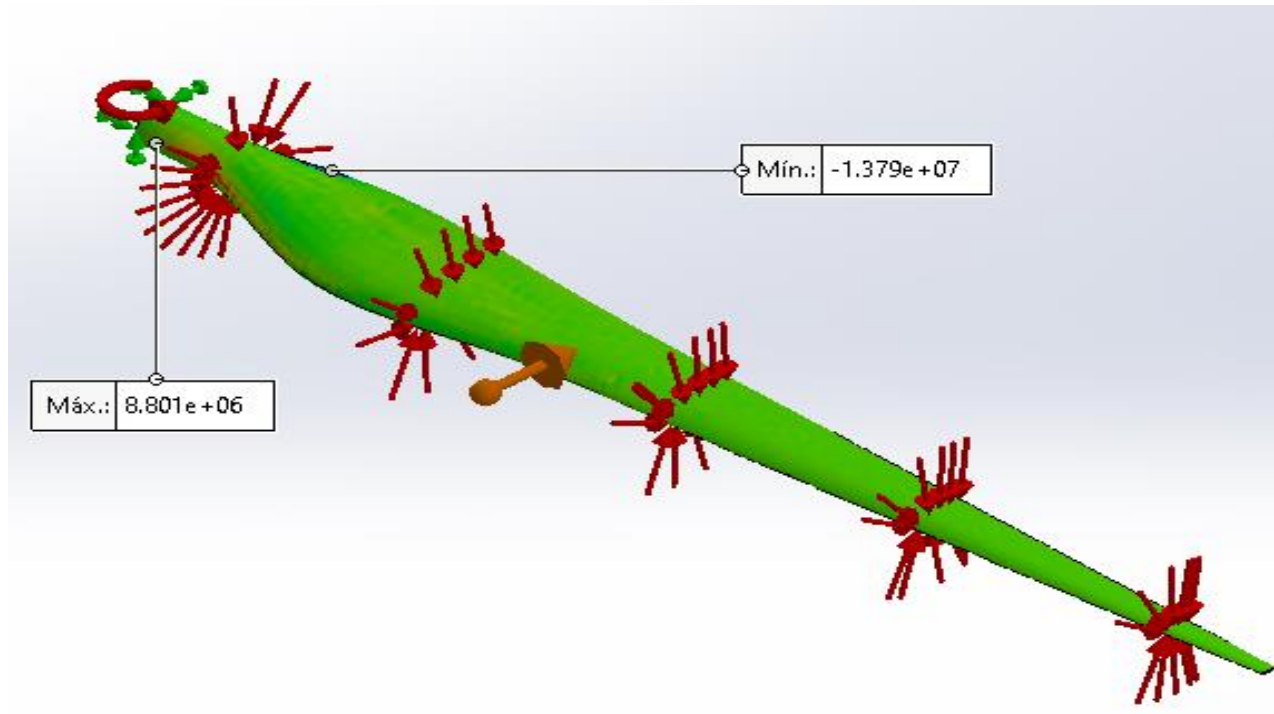
En la figura N° 03 se muestra el esfuerzo cortante máximo en el plano XY es de 8.288E+6 N/M2 (Mpa), sometido al flujo del aire con polución de 8 m/s.

Fuente: elaboración propia

ANEXO N°12: Esfuerzos cortantes con un flujo de aire con polución de 12 m/s

Figura 04

Esfuerzos cortantes con un flujo de aire con polución de 12 m/s



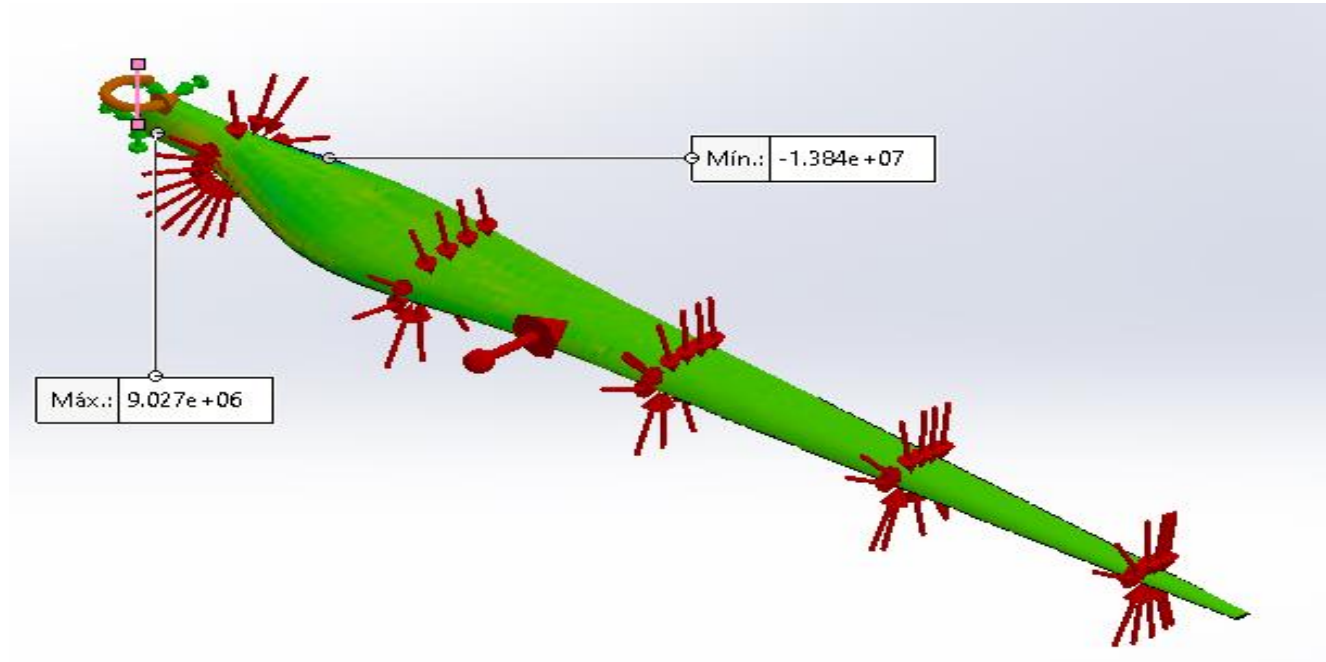
En la figura N° 04 se muestra el esfuerzo cortante máximo en el plano XY es de 8.801E+6 N/M2 (Mpa), sometido al flujo del aire con polución de 12 m/s.

Fuente: elaboración propia

ANEXO N°13: Esfuerzos cortantes con un flujo de aire con polución de 15 m/s

Figura 05

Esfuerzos cortantes con un flujo de aire con polución de 15 m/s



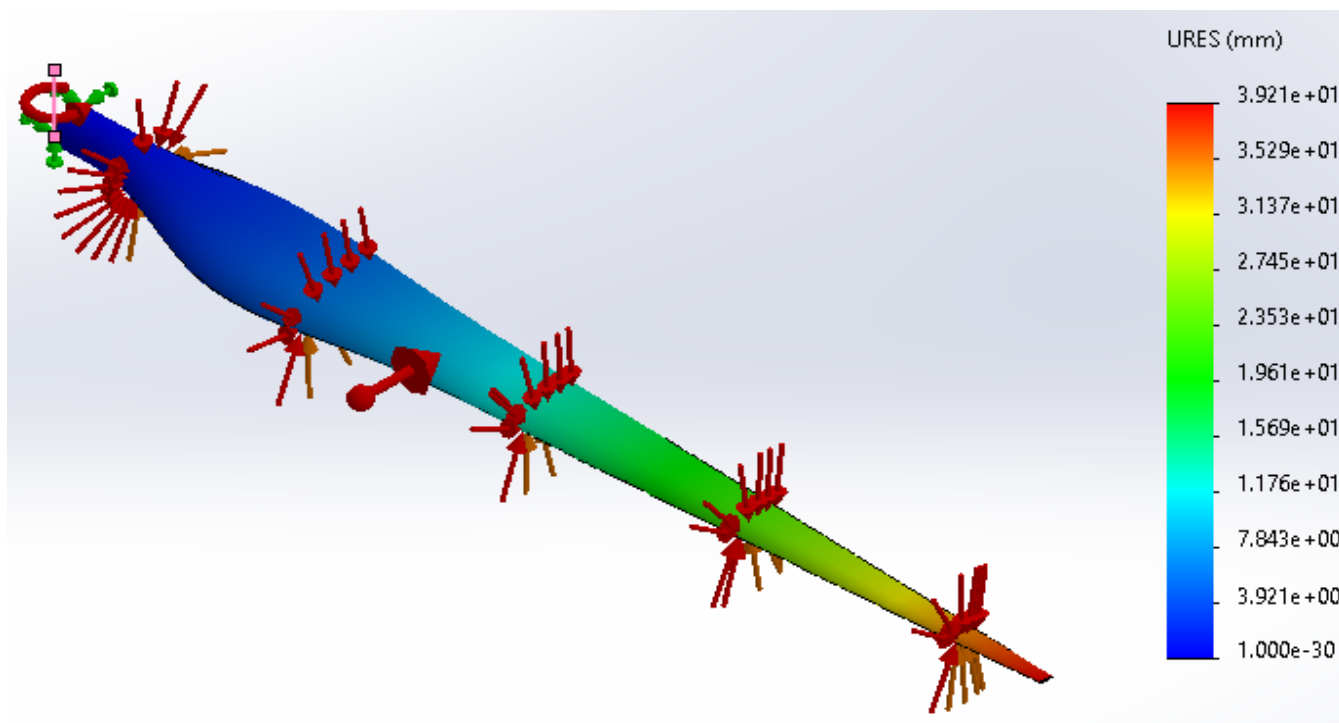
En la figura N° 05 se muestra el esfuerzo cortante máximo en el plano XY siendo de $8.873E+6$ N/M² (Mpa), sometido al flujo del aire con polución de 15 m/s.

Fuente: elaboración propia

ANEXO N°14: deformaciones máximas en la superficie del alabe para un flujo de aire de 8 m/s

Figura 06

Deformaciones o desplazamientos máximos para un flujo de aire con polución de 8 m/s



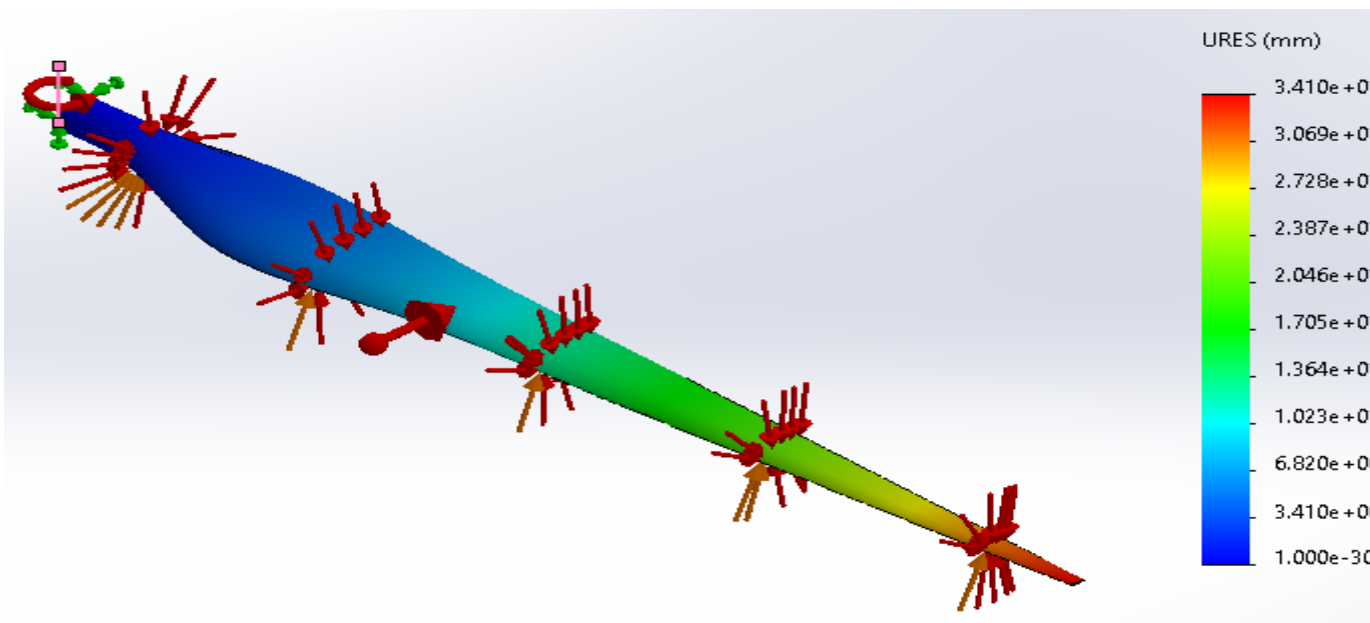
En la figura N°06 se muestra la deformación máxima o desplazamiento máximo de 3.921E+01 mm, con un flujo de aire con polución de 8 m/s.

Fuente: elaboración propia

ANEXO N°15: deformaciones máximas en la superficie del alabe para un flujo de aire de 12 m/s

Figura 07

Deformaciones o desplazamientos máximos para un flujo de aire con polución de 12 m/s



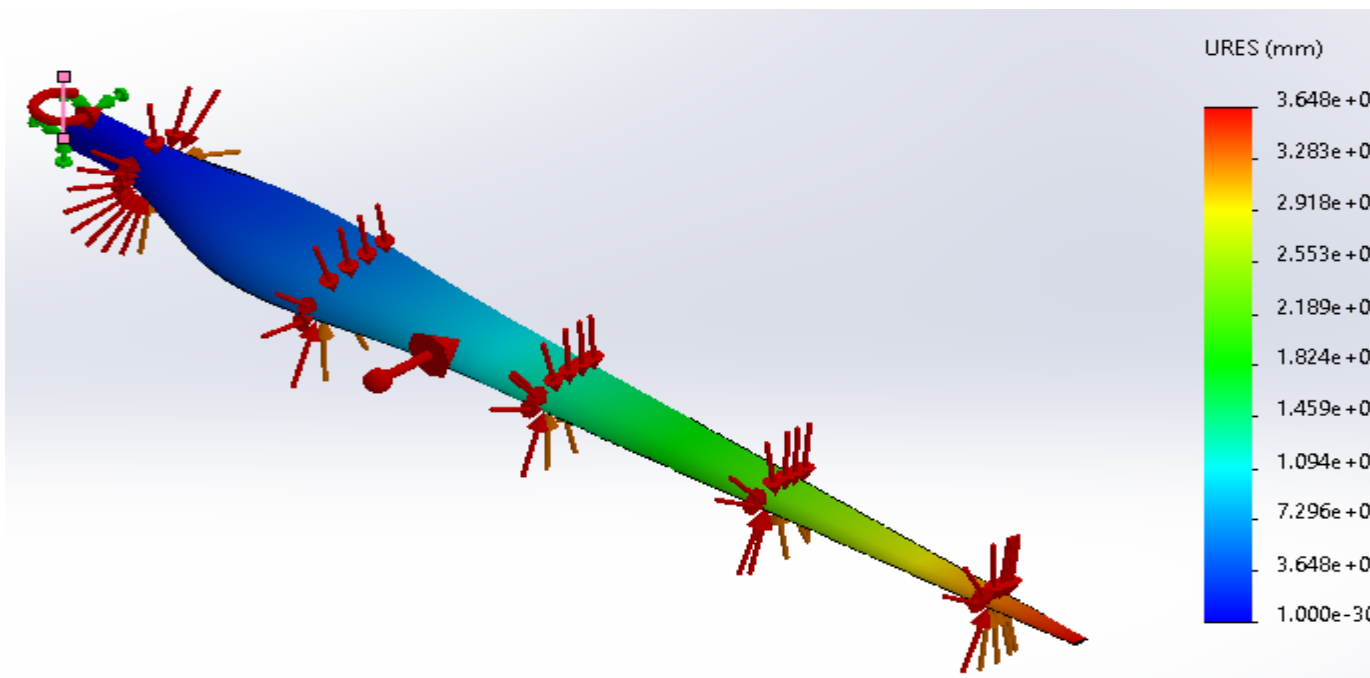
En la figura N° 07 se muestra la deformación máxima o desplazamiento máximo de 3.410E+01 mm, con un flujo de aire con polución de 12 m/s.

Fuente: elaboración propia

ANEXO N°16: deformaciones máximas en la superficie del alabe para un flujo de aire de 15 m/s

Figura 08

Deformaciones o desplazamientos máximos para un flujo de aire con polución de 15 m/s



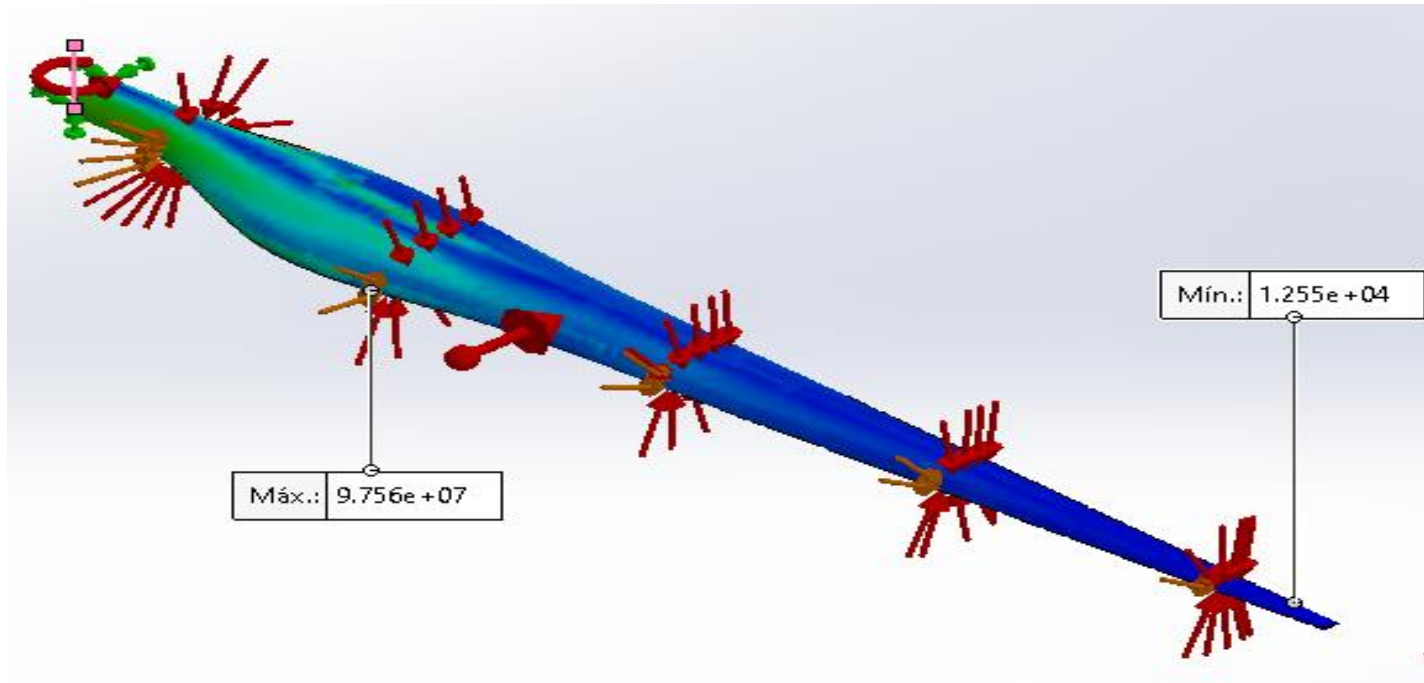
En la figura N° 08 se muestra la deformación máxima o desplazamiento máximo de 3.648E+01 mm, con un flujo de aire con polución de 15 m/s.

Fuente: elaboración propia

ANEXO N°17: esfuerzos de Von mises en la superficie del alabe para un flujo de aire de 8 m/s

Figura 09

Deformaciones de Von mises, para un flujo de aire de 8 m/s



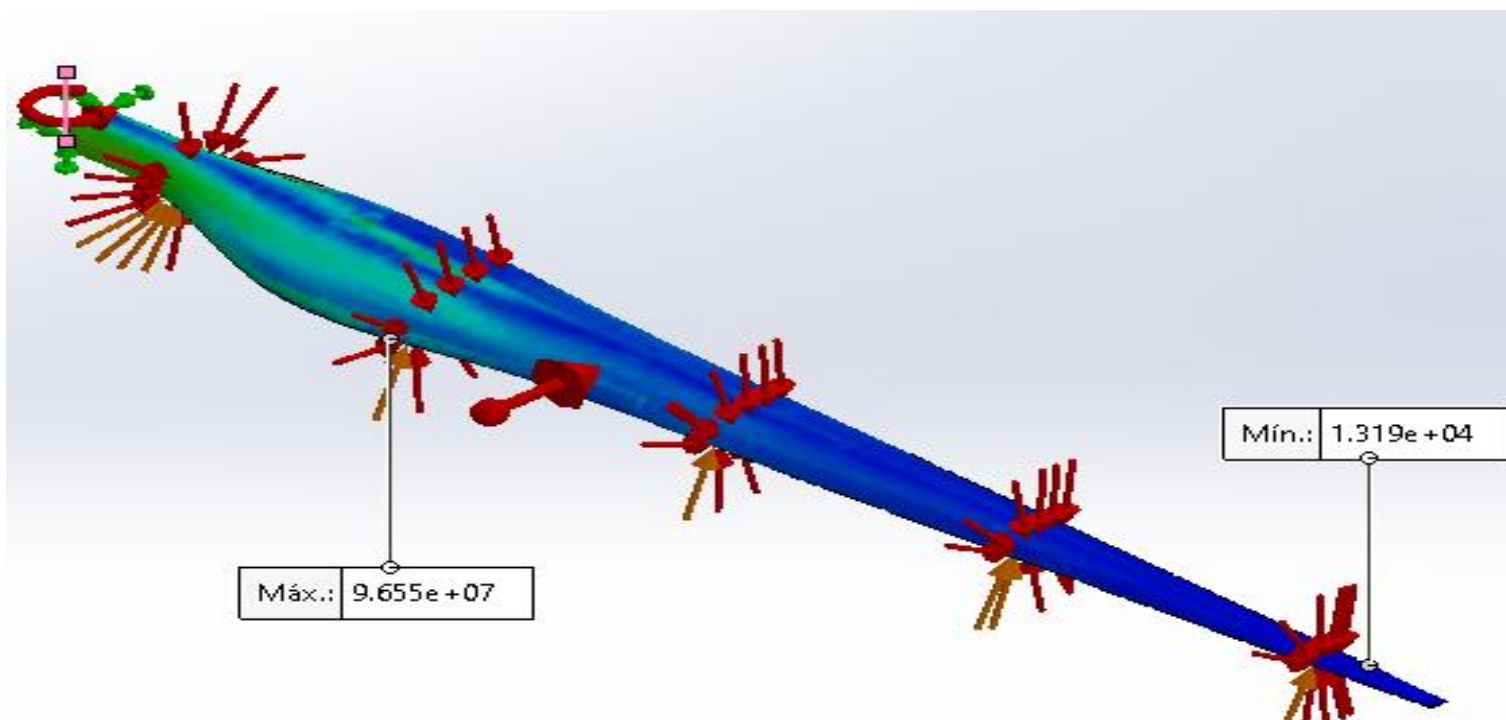
En la figura N° 09 se muestra el esfuerzo máximo y mínimo de Von mises para un flujo de aire con polución de 8 m/s siendo de 9.756E+7 N/M2 y 1.255E+4 N/M2 respectivamente.

Fuente: elaboración propia

ANEXO N°18: esfuerzos de Von mises en la superficie del alabe para un flujo de aire de 12 m/s

Figura 10

Deformaciones de Von mises, para un flujo de aire de 12 m/s



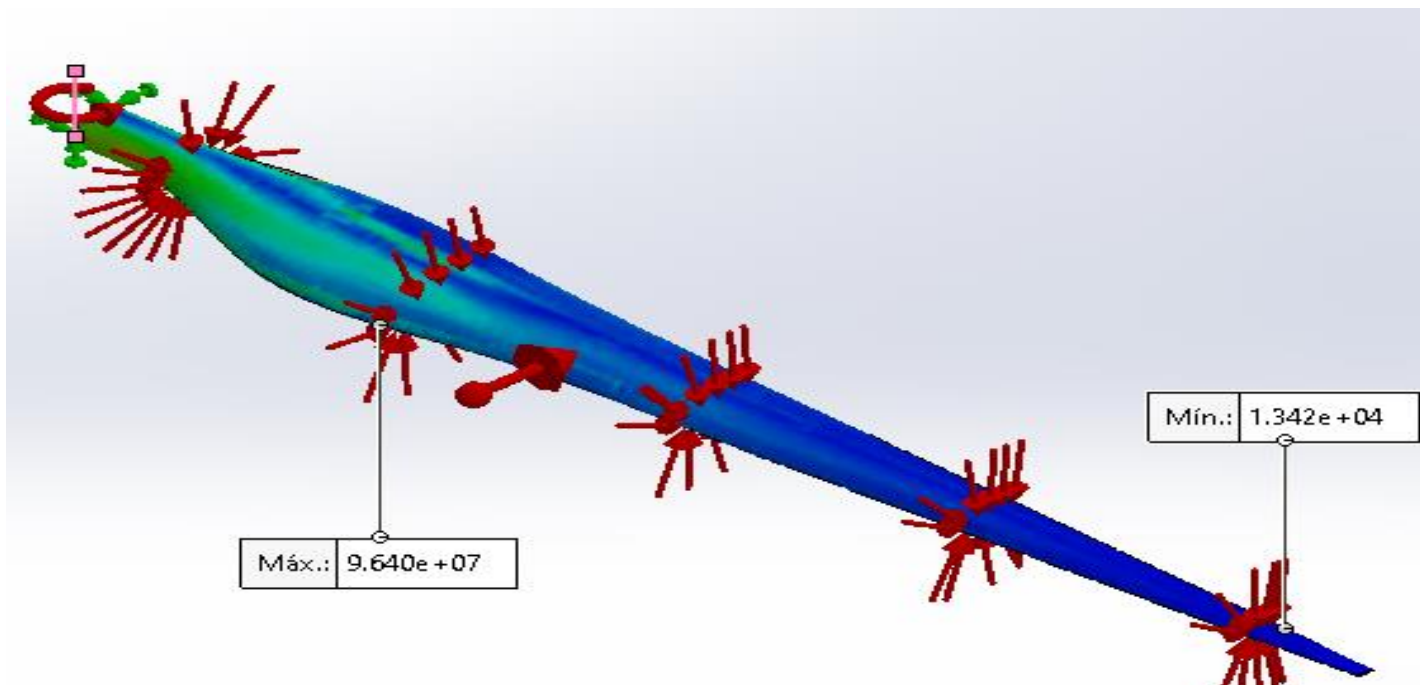
En la figura N° 10 se muestra el esfuerzo máximo y mínimo de Von mises para un flujo de aire con velocidad de 12 m/s siendo de $9.655E+7$ N/M² y $1.319E+4$ N/M² respectivamente

Fuente: elaboración propia

ANEXO N°19: esfuerzos de Von mises en la superficie del alabe para un flujo de aire de 15 m/s

Figura 11

Deformaciones de Von mises, para un flujo de aire de 15 m/s



En la figura N° 11 se muestra el esfuerzo máximo y mínimo de Von mises para un flujo de aire con polución de 12 m/s siendo de 9.64E+7 N/M2 y 1.34E+4 N/M2 respectivamente.

Fuente: elaboración propia

ANEXO N°20: categoría de daño por magnitud de figuras

Tabla 10

Categoría de daño en función al tamaño de las fisuras en la superficie del alabe

DAÑO POR FISURAMIENTO	
CATEGORIA 1	0.25 m ² o 1/3 de sección (sin pintura).
	Grietas en la superficie (casi despreciables).
CATEGORIA 2	Grieta superior de 10 mm ²
	Grieta inferior de 50 mm ²
CATEGORIA 3	Grieta superior de 50 mm ²
	Grieta inferior de 100 mm ²
CATEGORIA 4	Grieta superior de 100 mm ²
	Grieta inferior de 500 mm ²
CATEGORIA 5	Grieta superior de 500 mm ²
	Grieta inferior de 1500 mm ²

En el presente cuadro N°10 se definen las categorías de daño por sus niveles de magnitud, en función al tamaño de las fisuras en la superficie del alabe (carcasa).

Fuente: Vesta, document no: 0014-3811 V09.

ANEXO N°21: porcentaje del daño para el BORDE 1

Tabla 11

Categoría de daño por porcentaje en el BORDE 1

BORDE 1 (Área = 9,3214 m²)	PORCENTAJE DE DAÑO (%)
CATEGORIA 1	No se presentan daños
CATEGORIA 2	grieta mínima (10 mm ²):0,00010728%
	grieta máxima (50 mm ²):0,0005364%
CATEGORIA 3	grieta mínima (50 mm ²):0,0005364%
	grieta máxima (100 mm ²):0,0010728%
CATEGORIA 4	grieta mínima (100 mm ²):0,0010728%
	grieta máxima (500 mm ²):0,00364%
CATEGORIA 5	grieta mínima (500 mm ²):0,005364%
	grieta máxima (1500 mm ²):0,01609%

En la presente tabla N° 11 se define el porcentaje de daño a nivel de categoría que se produce en la superficie del alabe debido al tamaño de la fisura del BORDE 1.

Fuente: elaboración propia

Cálculo de porcentaje de daño para el BORDE 1

De la ecuación 2

Borde 1 (Área = 9,3214 m²)

- ✓ 1era Categoría (no se presentan grietas)
- ✓ 2da Categoría (cálculo)

- Grieta mínima 10 mm^2

$$\% \text{ Daño grieta} = \frac{\text{AREA DE LA GRIETA}}{\text{AREA DEL ALABE}}$$

$$\% \text{ Daño grieta} = \frac{0,00001m^2}{9,3214 m^2} * 100\%$$

$$\% \text{ Daño grieta} = 0,000010728$$

- Grieta mínima 50 mm^2

$$\% \text{ Daño grieta} = \frac{\text{AREA DE LA GRIETA}}{\text{AREA DEL ALABE}}$$

$$\% \text{ Daño grieta} = \frac{0,00005m^2}{9,3214 m^2} * 100\%$$

$$\% \text{ Daño grieta} = 0,0005364$$

✓ 3era Categoría (cálculo)

- Grieta mínima 50 mm^2

- Grieta mínima 100 mm^2

$$\% \text{ Daño grieta} = \frac{\text{AREA DE LA GRIETA}}{\text{AREA DEL ALABE}}$$

$$\% \text{ Daño grieta} = \frac{0,0001m^2}{9,3214 m^2} * 100\%$$

$$\% \text{ Daño grieta} = 0,00010728$$

✓ 4ta Categoría (cálculo)

- Grieta mínima 100 mm^2

- Grieta mínima 500 mm^2

$$\% \text{ Daño grieta} = \frac{\text{AREA DE LA GRIETA}}{\text{AREA DEL ALABE}}$$

$$\% \text{ Daño grieta} = \frac{0,0005m^2}{9,3214 m^2} * 100\%$$

$$\% \text{ Daño grieta} = 0,05364$$

✓ 5ta Categoría (cálculo)

- Grieta mínima 500 mm^2

- Grieta mínima 1500 mm^2

$$\% \text{ Daño grieta} = \frac{\text{AREA DE LA GRIETA}}{\text{AREA DEL ALABE}}$$

$$\% \text{ Daño grieta} = \frac{0,0015m^2}{9,3214 m^2} * 100\%$$

$$\% \text{ Daño grieta} = 0,01609$$

ANEXO N°22: porcentaje del daño para el BORDE 2

Tabla 12

Categoría de daño por porcentaje en el BORDE 2

BORDE 2 (Área = 22,2239 m ²)	PORCENTAJE DE DAÑO (%)
CATEGORIA 1	No se presentan daños
CATEGORIA 2	grieta mínima (10 mm ²):0,00004499% grieta máxima (50 mm ²):0,0002249%
CATEGORIA 3	grieta mínima (50 mm ²):0,0002249% grieta máxima (100 mm ²):0,0004499%
CATEGORIA 4	grieta mínima (100 mm ²):0,0004499% grieta máxima (500 mm ²):0,002249%
CATEGORIA 5	grieta mínima (500 mm ²):0,002249% grieta máxima (1500 mm ²):0,006749%

En la presente tabla N° 12 se define el porcentaje de daño a nivel de categoría que se produce en la superficie del alabe debido al tamaño de la fisura del BORDE 2.

Fuente: elaboración propia

Cálculo de porcentaje de daño para el BORDE 1

Borde 2 (Área = 22,2239 m²)

✓ 1era Categoría (no se presentan grietas)

✓ 2da Categoría (cálculo)

- Grieta mínima 10 mm²

$$\% \text{ Daño grieta} = \frac{\text{AREA DE LA GRIETA}}{\text{AREA DEL ALABE}}$$

$$\% \text{ Daño grieta} = \frac{0,00001m^2}{22,2239 m^2} * 100\%$$

$$\% \text{ Daño grieta} = 0,00004499$$

- Grieta mínima 50 mm²

$$\% \text{ Daño grieta} = \frac{\text{AREA DE LA GRIETA}}{\text{AREA DEL ALABE}}$$

$$\% \text{ Daño grieta} = \frac{0,00005m^2}{22,2239 m^2} * 100\%$$

$$\% \text{ Daño grieta} = 0,0002249$$

✓ 3era Categoría (cálculo)

- Grieta mínima 50 mm^2

- Grieta mínima 100 mm^2

$$\% \text{ Daño grieta} = \frac{\text{AREA DE LA GRIETA}}{\text{AREA DEL ALABE}}$$

$$\% \text{ Daño grieta} = \frac{0,0001m^2}{22,2239 m^2} * 100\%$$

$$\% \text{ Daño grieta} = 0,0004499$$

✓ 4ta Categoría (cálculo)

- Grieta mínima 100 mm^2

- Grieta mínima 500 mm^2

$$\% \text{ Daño grieta} = \frac{\text{AREA DE LA GRIETA}}{\text{AREA DEL ALABE}}$$

$$\% \text{ Daño grieta} = \frac{0,0005m^2}{22,2239 m^2} * 100\%$$

$$\% \text{ Daño grieta} = 0,002249$$

✓ 5ta Categoría (cálculo)

- Grieta mínima 500 mm^2

- Grieta mínima 1500 mm^2

$$\% \text{ Daño grieta} = \frac{\text{AREA DE LA GRIETA}}{\text{AREA DEL ALABE}}$$

$$\% \text{ Daño grieta} = \frac{0,0015m^2}{22,2239m^2} * 100\%$$

$$\% \text{ Daño grieta} = 0,006749$$

ANEXO N°23: porcentaje del daño para el área FRONTAL

Tabla 13

Categoría de daño por porcentaje en la parte FRONTAL

FRONTAL (Área = 81,9518 m ²)	PORCENTAJE DE DAÑO (%)
CATEGORIA 1	No se presentan daños
CATEGORIA 2	grieta mínima (10 mm ²):0,00001220% grieta máxima (50 mm ²):0,00006101%
CATEGORIA 3	grieta mínima (50 mm ²):0,00006101% grieta máxima (100 mm ²):0,0001220%
CATEGORIA 4	grieta mínima (100 mm ²):0,0001220% grieta máxima (500 mm ²):0,0006101%
CATEGORIA 5	grieta mínima (500 mm ²):0,0006101% grieta máxima (1500 mm ²):0,001830%

En la presente tabla N° 13 se define el porcentaje de daño a nivel de categoría que se produce en la superficie del alabe debido al tamaño de la fisura de la parte (FRONTAL).

Fuente: elaboración propia

Cálculo de porcentaje de daño para el área FRONTAL

Frontal (Área = 81,9518 m²)

- ✓ 1era Categoría (no se presentan grietas)
- ✓ 2da Categoría (cálculo)
 - Grieta mínima 10 mm²

$$\% \text{ Daño grieta} = \frac{\text{AREA DE LA GRIETA}}{\text{AREA DEL ALABE}}$$

$$\% \text{ Daño grieta} = \frac{0,00001m^2}{81,9518m^2} * 100\%$$

$$\% \text{ Daño grieta} = 0,00001220$$

- Grieta mínima 50 mm^2

$$\% \text{ Daño grieta} = \frac{\text{AREA DE LA GRIETA}}{\text{AREA DEL ALABE}}$$

$$\% \text{ Daño grieta} = \frac{0,00005m^2}{81,9518 m^2} * 100\%$$

$$\% \text{ Daño grieta} = 0,00006101$$

✓ 3era Categoría (cálculo)

- Grieta mínima 50 mm^2

- Grieta mínima 100 mm^2

$$\% \text{ Daño grieta} = \frac{\text{AREA DE LA GRIETA}}{\text{AREA DEL ALABE}}$$

$$\% \text{ Daño grieta} = \frac{0,0001m^2}{81,9518 m^2} * 100\%$$

$$\% \text{ Daño grieta} = 0,0001220$$

✓ 4ta Categoría (cálculo)

- Grieta mínima 100 mm^2

- Grieta mínima 500 mm^2

$$\% \text{ Daño grieta} = \frac{\text{AREA DE LA GRIETA}}{\text{AREA DEL ALABE}}$$

$$\% \text{ Daño grieta} = \frac{0,0005m^2}{81,9518 m^2} * 100\%$$

$$\% \text{ Daño grieta} = 0,0006101$$

✓ 5ta Categoría (cálculo)

- Grieta mínima 500 mm^2

- Grieta mínima 1500 mm^2

$$\% \text{ Daño grieta} = \frac{\text{AREA DE LA GRIETA}}{\text{AREA DEL ALABE}}$$

$$\% \text{ Daño grieta} = \frac{0,0015m^2}{81,9518m^2} * 100\%$$

$$\% \text{ Daño grieta} = 0,001830$$

ANEXO N°24: porcentaje del daño para el área FRONTAL

Tabla 14

Categoría de daño por porcentaje en la parte POSTERIOR

POSTERIOR (Área = 76,1634 m ²)	PORCENTAJE DE DAÑO (%)
CATEGORIA 1	No se presentan daños
CATEGORIA 2	grieta mínima (10 mm ²):0,00001312% grieta máxima (50 mm ²):0,00006564%
CATEGORIA 3	grieta mínima (50 mm ²):0,00006564% grieta máxima (100 mm ²):0,0001312%
CATEGORIA 4	grieta mínima (100 mm ²):0,0001312% grieta máxima (500 mm ²):0,0006564%
CATEGORIA 5	grieta mínima (500 mm ²):0,0006564% grieta máxima (1500 mm ²):0,001969%

En la presente tabla N° 14 se define el porcentaje de daño a nivel de categoría que se produce en la superficie del alabe debido al tamaño de la fisura de la parte (POSTERIOR).

Fuente: elaboración propia

Cálculo de porcentaje de daño para el área POSTERIOR

Posterior (Área = 76,1634 m²)

✓ 1era Categoría (no se presentan grietas)

✓ 2da Categoría (cálculo)

- Grieta mínima 10 mm²

$$\% \text{ Daño grieta} = \frac{\text{AREA DE LA GRIETA}}{\text{AREA DEL ALABE}}$$

$$\% \text{ Daño grieta} = \frac{0,00001m^2}{76,1634 m^2} * 100\%$$

$$\% \text{ Daño grieta} = 0,00001312$$

- Grieta mínima 50 mm²

$$\% \text{ Daño grieta} = \frac{\text{AREA DE LA GRIETA}}{\text{AREA DEL ALABE}}$$

$$\% \text{ Daño grieta} = \frac{0,00005m^2}{76,1634 m^2} * 100\%$$

$$\% \text{ Daño grieta} = 0,00006564$$

✓ 3era Categoría (cálculo)

- Grieta mínima 50 mm^2

- Grieta mínima 100 mm^2

$$\% \text{ Daño grieta} = \frac{\text{AREA DE LA GRIETA}}{\text{AREA DEL ALABE}}$$

$$\% \text{ Daño grieta} = \frac{0,0001m^2}{76,1634 m^2} * 100\%$$

$$\% \text{ Daño grieta} = 0,0001312$$

✓ 4ta Categoría (cálculo)

- Grieta mínima 100 mm^2

- Grieta mínima 500 mm^2

$$\% \text{ Daño grieta} = \frac{\text{AREA DE LA GRIETA}}{\text{AREA DEL ALABE}}$$

$$\% \text{ Daño grieta} = \frac{0,0005m^2}{76,1634 m^2} * 100\%$$

$$\% \text{ Daño grieta} = 0,0006564$$

✓ 5ta Categoría (cálculo)

- Grieta mínima 500 mm^2

- Grieta mínima 1500 mm^2

$$\% \text{ Daño grieta} = \frac{\text{AREA DE LA GRIETA}}{\text{AREA DEL ALABE}}$$

$$\% \text{ Daño grieta} = \frac{0,0015m^2}{76,1634 m^2} * 100\%$$

$$\% \text{ Daño grieta} = 0,001969$$

ANEXO N°25: daño por niveles de ciclo, por categoría para las velocidades de viento en el BORDE 1

Tabla 15

Porcentaje de daño en función al número de vueltas, por velocidad del flujo del aire, para el BORDE 1

BORDE 1 (Área = 9,3214 m²) CATEGORIA 2				
N° de vueltas	VELOCIDAD DE 8m/s	VELOCIDAD DE 12m/s	VELOCIDAD DE 15m/s	PORCENTAJE DE DAÑO
	HORAS	HORAS	HORAS	
35680	53.43	45.92	41.53	1.07E-04
178680	267.57	229.96	207.96	5.36E-04
BORDE 1 (Área = 9,3214 m²) CATEGORIA 3				
N° de vueltas	HORAS	HORAS	HORAS	PORCENTAJE DE DAÑO
178680	267.57	229.96	207.96	5.36E-04
356800	534.29	459.20	415.27	1.07E-03
BORDE 1 (Área = 9,3214 m²) CATEGORIA 4				
N° de vueltas	HORAS	HORAS	HORAS	PORCENTAJE DE DAÑO
356800	534.29	459.2	415.27	1.07E-03
1786800	2675.65	2299.61	2079.61	5.36E-03
BORDE 1 (Área = 9,3214 m²) CATEGORIA 5				
N° de vueltas	HORAS	HORAS	HORAS	PORCENTAJE DE DAÑO
1786800	2675.65	2299.61	2079.61	5.36E-03
5368000	8038.33	6908.62	6247.67	1.61E-02

En la presente tabla N°15 se observa el número de vueltas que debieron realizar los alabes y en cuanto tiempo lo realizaron, para un flujo de aire con polución de 8 m/s, 12m/s y 15m/s; que produjeron un daño según la categoría, para el área del BORDE 1.

Fuente: elaboración propia

ANEXO N°26: daño por niveles de ciclo, por categoría para las velocidades de viento en el BORDE 2

Tabla 16

Porcentaje de daño en función al número de vueltas, por velocidad del flujo del aire, para el BORDE 2

BORDE 2 (Área = 22,2239 m²) CATEGORIA 2				
N° de vueltas	VELOCIDAD DE 8m/s	VELOCIDAD DE 12m/s	VELOCIDAD DE 15m/s	PORCENTAJE DE DAÑO
	HORAS	HORAS	HORAS	
15000	22.46	19.31	17.46	1.07E-04
75000	112.31	96.53	87.29	5.36E-04
BORDE 2 (Área = 22,2239 m²) CATEGORIA 3				
N° de vueltas	HORAS	HORAS	HORAS	PORCENTAJE DE DAÑO
75000	112.31	96.53	87.29	5.36E-04
150000	224.62	193.05	174.58	1.07E-03
BORDE 2 (Área = 22,2239 m²) CATEGORIA 4				
N° de vueltas	HORAS	HORAS	HORAS	PORCENTAJE DE DAÑO
150000	224.62	193.05	174.58	1.07E-03
750000	1123.09	965.25	872.91	5.36E-03
BORDE 2 (Área = 22,2239 m²) CATEGORIA 5				
N° de vueltas	HORAS	HORAS	HORAS	PORCENTAJE DE DAÑO
750000	1123.09	965.25	872.91	5.36E-03
2250000	3369.27	2895.75	2618.72	1.61E-02

En la presente tabla N°16 se observa el número de vueltas que debieron realizar los alabes y en cuanto tiempo lo realizaron, para un flujo de aire con polución de 8 m/s, 12m/s y 15m/s; que produjeron un daño según la categoría, para el área del BORDE 2

Fuente: elaboración propia

ANEXO N°27: daño por niveles de ciclo, por categoría para las velocidades de viento en el área FRONTAL

Tabla 17

Porcentaje de daño en función al número de vueltas, por velocidad del flujo del aire, para la parte FRONTAL

FRONTAL (Área = 81,9518 m²) CATEGORIA 2				
N° de vueltas	VELOCIDAD DE 8m/s	VELOCIDAD DE 12m/s	VELOCIDAD DE 15m/s	PORCENTAJE DE DAÑO
	HORAS	HORAS	HORAS	
4065	6.09	5.23	4.73	1.07E-04
20333	30.45	26.17	23.67	5.36E-04
FRONTAL (Área = 81,9518 m²) CATEGORIA 3				
N° de vueltas	HORAS	HORAS	HORAS	PORCENTAJE DE DAÑO
20333	30.45	26.17	23.67	5.36E-04
40650	60.87	52.32	47.31	1.07E-03
FRONTAL (Área = 81,9518 m²) CATEGORIA 4				
N° de vueltas	HORAS	HORAS	HORAS	PORCENTAJE DE DAÑO
40650	60.87	52.32	47.31	1.07E-03
203330	304.48	261.67	236.65	5.36E-03
FRONTAL (Área = 81,9518 m²) CATEGORIA 5				
N° de vueltas	HORAS	HORAS	HORAS	PORCENTAJE DE DAÑO
203330	304.48	261.67	236.65	5.36E-03
609900	913.30	784.94	709.85	1.61E-02

En la presente tabla N°17 se observa el número de vueltas que debieron realizar los alabes y en cuanto tiempo lo realizaron, para un flujo de aire con polución de 8 m/s, 12m/s y 15m/s; que produjeron un daño según la categoría, para el área de la parte FRONTAL.

Fuente: elaboración propia

ANEXO N°28: daño por niveles de ciclo, por categoría para las velocidades de viento en el área FRONTAL

Tabla 18

Porcentaje de daño en función al número de vueltas, por velocidad del flujo del aire, para la parte POSTERIOR

POSTERIOR (Área = 76,1634 m²) CATEGORIA 2				
N° de vueltas	VELOCIDAD	VELOCIDAD	VELOCIDAD	PORCENTAJE DE DAÑO
	DE 8m/s	DE 12m/s	DE 15m/s	
	HORAS	HORAS	HORAS	
4365	6.54	5.62	5.08	1.07E-04
21865	32.74	28.14	25.45	5.36E-04
POSTERIOR (Área = 76,1634 m²) CATEGORIA 3				
N° de vueltas	HORAS	HORAS	HORAS	PORCENTAJE DE DAÑO
21865	32.74	28.14	25.45	5.36E-04
43650	65.36	56.18	50.80	1.07E-03
POSTERIOR (Área = 76,1634 m²) CATEGORIA 4				
N° de vueltas	HORAS	HORAS	HORAS	PORCENTAJE DE DAÑO
43650	65.36	56.18	50.80	1.07E-03
218650	327.42	281.4	254.48	5.36E-03
POSTERIOR (Área = 76,1634 m²) CATEGORIA 5				
N° de vueltas	HORAS	HORAS	HORAS	PORCENTAJE DE DAÑO
218650	327.42	281.4	254.48	5.36E-03
656600	983.23	845.05	764.20	1.61E-02

En la presente tabla N°18 se observa el número de vueltas que debieron realizar los alabes y en cuanto tiempo lo realizaron, para un flujo de aire con polución de 8 m/s, 12m/s y 15m/s; que produjeron un daño según la categoría, para el área de la parte POSTERIOR.

Fuente: elaboración propia

ANEXO N°29: cálculo del número para el daño por niveles del ciclo de categoría para los flujos de viento de 8, 12, 15 m/s

De la ecuación 1

Para una velocidad de 8 m/s

➤ Borde 1 (Área = 9,3214 m²)

Categoría 2

- Para un % de daño 1.07E- 04

$$N_v = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{N_v}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{35680}{(11.13 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 53,43 \text{ horas}$$

- Para un % de daño 5.36E-04

$$N_v = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{N_v}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{178680}{(11.13 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 267,57 \text{ horas}$$

Categoría 3

- Para un % de daño 5,36E-04

$$N_v = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{N_v}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{178680}{(11.13 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 267,57 \text{ horas}$$

- Para un % de daño $1,07\text{E}-03$

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{356800}{(11.13 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 534,29 \text{ horas}$$

Categoría 4

- Para un % de daño $1,07\text{E}-03$

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{356800}{(11.13 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 534,29 \text{ horas}$$

- Para un % de daño $5,36\text{E}-03$

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{1786800}{(11.13 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 2675,65 \text{ horas}$$

Categoría 5

- Para un % de daño $5.36\text{E}-03$

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{1786800}{(11.13 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 2675,65 \text{ horas}$$

- Para un % de daño 1,61E-02

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{536800}{(11.13 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 8038,33 \text{ horas}$$

- Borde 2 (Área = 22,2239 m²)
Categoría 2

- Para un % de daño 4,50E-05

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{15000}{(11.13 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 22,46 \text{ horas}$$

- Para un % de daño 2,25E-04

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{75000}{(11.13 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 112,31 \text{ horas}$$

Categoría 3

- Para un % de daño 2,25E-04

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{75000}{(11.13 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 112,31 \text{ horas}$$

- Para un % de daño 4,50E-03

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{150000}{(11.13 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 224,62 \text{ horas}$$

Categoría 4

- Para un % de daño 4,50E-04

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{150000}{(11.13 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 224,62 \text{ horas}$$

- Para un % de daño 2,25E-03

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{750000}{(11.13 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 1123,09 \text{ horas}$$

Categoría 5

- Para un % de daño 2,25E-03

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{750000}{(11.13 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 1123,09 \text{ horas}$$

- Para un % de daño 6,75E-03

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{2250000}{(11.13 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 3369,27 \text{ horas}$$

- Frontal (Área = 81,9518 m²)

Categoría 2

- Para un % de daño 1,22E-05

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{4065}{(11.13 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 6.09 \text{ horas}$$

- Para un % de daño $6,10\text{E-}05$

$$N_v = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{N_v}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{20333}{(11.13 \text{ rpm})(60) \text{ seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 30,45 \text{ horas}$$

Categoría 3

- Para un % de daño $6,10\text{E-}05$

$$N_v = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{N_v}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{20333}{(11.13 \text{ rpm})(60) \text{ seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 30,45 \text{ horas}$$

- Para un % de daño $1,22\text{E-}04$

$$N_v = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{N_v}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{40650}{(11.13 \text{ rpm})(60) \text{ seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 60,87 \text{ horas}$$

Categoría 4

- Para un % de daño $1,22\text{E-}04$

$$N_v = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{N_v}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{40650}{(11.13 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 60,87 \text{ horas}$$

- Para un % de daño $6,10\text{E}-04$

$$N_v = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{N_v}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{203330}{(11.13 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 304,48 \text{ horas}$$

Categoría 5

- Para un % de daño $6,10\text{E}-04$

$$N_v = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{N_v}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{203330}{(11.13 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 304,48 \text{ horas}$$

- Para un % de daño $1,83\text{E}-03$

$$N_v = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{N_v}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{609900}{(11.13 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 913,30 \text{ horas}$$

- Posterior (Área = $76,1634 \text{ m}^2$)

Categoría 2

- Para un % de daño 1,31E-05

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{4365}{(11.13 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 6,54 \text{ horas}$$

- Para un % de daño 6,56E-05

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{21865}{(11.13 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 32,74 \text{ horas}$$

Categoría 3

- Para un % de daño 6,56E-05

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{21865}{(11.13 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 32,74 \text{ horas}$$

- Para un % de daño 1,31E-04

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{43650}{(11.13 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 65,36 \text{ horas}$$

Categoría 4

- Para un % de daño 1,31E-04

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{43650}{(11.13 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 65,36 \text{ horas}$$

- Para un % de daño 6,56E-04

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{218650}{(11.13 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 327,42 \text{ horas}$$

Categoría 5

- Para un % de daño 6,10E-04

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{218650}{(11.13 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 327,42 \text{ horas}$$

- Para un % de daño 1,97E-03

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{656600}{(11.13 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 983,23 \text{ horas}$$

Para una velocidad de 12 m/s

➤ Borde 1 (Área = 9,3214 m²)

Categoría 2

- Para un % de daño 1,07E- 04

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{35680}{(12,95 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 45,92 \text{ horas}$$

- Para un % de daño 5,36E-04

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{178680}{(12,95 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 229,96 \text{ horas}$$

Categoría 3

- Para un % de daño 5,36E-04

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{178680}{(12,95 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 229,96 \text{ horas}$$

- Para un % de daño $1,07E-03$

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{356800}{(12,95 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 459,20 \text{ horas}$$

Categoría 4

- Para un % de daño $1,07E-03$

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{356800}{(12,95 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 459,20 \text{ horas}$$

- Para un % de daño $5,36E-03$

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{1786800}{(12,95 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 2299,61 \text{ horas}$$

Categoría 5

- Para un % de daño $5,36E-03$

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{1786800}{(12,95 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 2299,61 \text{ horas}$$

- Para un % de daño 1,61E-02

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{5368000}{(12,95 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 6908,62 \text{ horas}$$

- Borde 2 (Área = 22,2239 m²)

Categoría 2

- Para un % de daño 4,50E- 05

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{15000}{(12,95 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 19,31 \text{ horas}$$

- Para un % de daño 2,25E-04

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{75000}{(12,95 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 96,53 \text{ horas}$$

Categoría 3

- Para un % de daño 2,25E-04

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{75000}{(12,95 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 96,53 \text{ horas}$$

- Para un % de daño $4,50E-04$

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{150000}{(12,95 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 193,05 \text{ horas}$$

Categoría 4

- Para un % de daño $4,05E-04$

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{150000}{(12,95 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 193,05 \text{ horas}$$

- Para un % de daño $2,25E-03$

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{750000}{(12,95 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 965,25 \text{ horas}$$

Categoría 5

- Para un % de daño $2,25E-03$

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{750000}{(12,95 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 965,25 \text{ horas}$$

- Para un % de daño 6,75E-03

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{2250000}{(12,95 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 2895,75 \text{ horas}$$

- **FRONTAL** (Área = 81,9518 m²)

Categoría 2

- Para un % de daño 1,22E- 05

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{4065}{(12,95 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 5,23 \text{ horas}$$

- Para un % de daño 6,10E-05

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{20333}{(12,95 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 26,17 \text{ horas}$$

Categoría 3

- Para un % de daño 6,10E-05

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{20333}{(12,95 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 26,17 \text{ horas}$$

- Para un % de daño 1,22E-04

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{40650}{(12,95 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 52,32 \text{ horas}$$

Categoría 4

- Para un % de daño 1,22E-04

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{40650}{(12,95 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 52,32 \text{ horas}$$

- Para un % de daño 6,10E-04

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{203330}{(12,95 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 261,67 \text{ horas}$$

Categoría 5

- Para un % de daño $6,10E-04$

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{203330}{(12,95 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 261.67 \text{ horas}$$

- Para un % de daño $1,83E-03$

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{609900}{(12,95 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 784,94 \text{ horas}$$

- POSTERIOR (Área = $76,1634 \text{ m}^2$)

Categoría 2

- Para un % de daño $1,31E-05$

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{4065}{(12,95 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 5,62 \text{ horas}$$

- Para un % de daño $6,56E-05$

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{21865}{(12,95 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 28,14 \text{ horas}$$

Categoría 3

- Para un % de daño 6,56E-05

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{21865}{(12,95 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 28,14 \text{ horas}$$

- Para un % de daño 1.31E-04

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{43650}{(12,95 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 56,18 \text{ horas}$$

Categoría 4

- Para un % de daño 1,31E-04

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{43650}{(12,95 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 56,18 \text{ horas}$$

- Para un % de daño 6,56E-04

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{218650}{(12,95 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 281,4 \text{ horas}$$

Categoría 5

- Para un % de daño 6,56E-04

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{218650}{(12,95 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 281,4 \text{ horas}$$

- Para un % de daño 1,97E-03

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{656600}{(12,95 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 845,05 \text{ horas}$$

Para una velocidad de 15 m/s

- Borde 1 (Área = 9,3214 m²)

Categoría 2

- Para un % de daño 1.07E- 04

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{35680}{(14,32 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 41,53 \text{ horas}$$

- Para un % de daño $5.36E-04$

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{178680}{(14,32 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 207,96 \text{ horas}$$

Categoría 3

- Para un % de daño $5,36E-04$

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{178680}{(14,32 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 207,96 \text{ horas}$$

- Para un % de daño $1,07E-03$

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{356800}{(14,32 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 415,27 \text{ horas}$$

Categoría 4

- Para un % de daño $1,07E-03$

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{356800}{(14,32 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 415,27 \text{ horas}$$

- Para un % de daño 5,36E-03

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{1786800}{(14,32 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 2079,61 \text{ horas}$$

Categoría 5

- Para un % de daño 5.36E-03

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{1786800}{(14,32 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 2079,61 \text{ horas}$$

- Para un % de daño 1,61E-02

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{5368000}{(14,32 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 6247,67 \text{ horas}$$

- Borde 2 (Área = 22,2239 m²)

Categoría 2

- Para un % de daño 4,50E-05

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{15000}{(14,32 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 17,46 \text{ horas}$$

- Para un % de daño 2,25E-04

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{75000}{(14,32 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 87,29 \text{ horas}$$

Categoría 3

- Para un % de daño 2,25E-04

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{75000}{(14,32 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 87,29 \text{ horas}$$

- Para un % de daño 4,50E-03

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{150000}{(14,32 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 174,58 \text{ horas}$$

Categoría 4

- Para un % de daño 4,50E-04

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{150000}{(14,32 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 174,58 \text{ horas}$$

- Para un % de daño 2,25E-03

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{750000}{(14,32 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 872,91 \text{ horas}$$

Categoría 5

- Para un % de daño 2,25E-03

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{750000}{(14,32 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 872,91 \text{ horas}$$

- Para un % de daño 6,75E-03

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{2250000}{(14,32 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 2618,72 \text{ horas}$$

➤ Frontal (Área = 81,9518 m²)

Categoría 2

- Para un % de daño 1,22E-05

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{4065}{(14,32 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 4,73 \text{ horas}$$

- Para un % de daño 6,10E-05

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{20333}{(14,32 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 23,6 \text{ horas}$$

Categoría 3

- Para un % de daño 6,10E-05

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{20333}{(14,32 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 23,67 \text{ horas}$$

- Para un % de daño 1,22E-04

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{40650}{(14,32 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 47,31 \text{ horas}$$

Categoría 4

- Para un % de daño 1,22E-04

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{40650}{(14,32 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 47,31 \text{ horas}$$

- Para un % de daño 6,10E-04

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{203330}{(14,32 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 236,65 \text{ horas}$$

Categoría 5

- Para un % de daño 6,10E-04

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{203330}{(14,32 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 236,65 \text{ horas}$$

- Para un % de daño $1,83\text{E-}03$

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{609900}{(14,32 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 709,85 \text{ horas}$$

- Posterior (Área = $76,1634 \text{ m}^2$)
Categoría 2

- Para un % de daño $1,31\text{E-}05$

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{4365}{(14,32 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 5,08 \text{ horas}$$

- Para un % de daño $6,56\text{E-}05$

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{21865}{(14,32 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 25,45 \text{ horas}$$

Categoría 3

- Para un % de daño 6,56E-05

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{21865}{(14,32 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 25,45 \text{ horas}$$

- Para un % de daño 1,31E-04

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{43650}{(14,32 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 50,80 \text{ horas}$$

Categoría 4

- Para un % de daño 1,31E-04

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{43650}{(14,32 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 50,80 \text{ horas}$$

- Para un % de daño 6,56E-04

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{218650}{(14,32 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 254,48 \text{ horas}$$

Categoría 5

- Para un % de daño 6,10E-04

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{218650}{(14,32 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 254,48 \text{ horas}$$

- Para un % de daño 1,97E-03

$$Nv = \text{tiempo} * \text{rev}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Nv}{\text{Rev}}$$

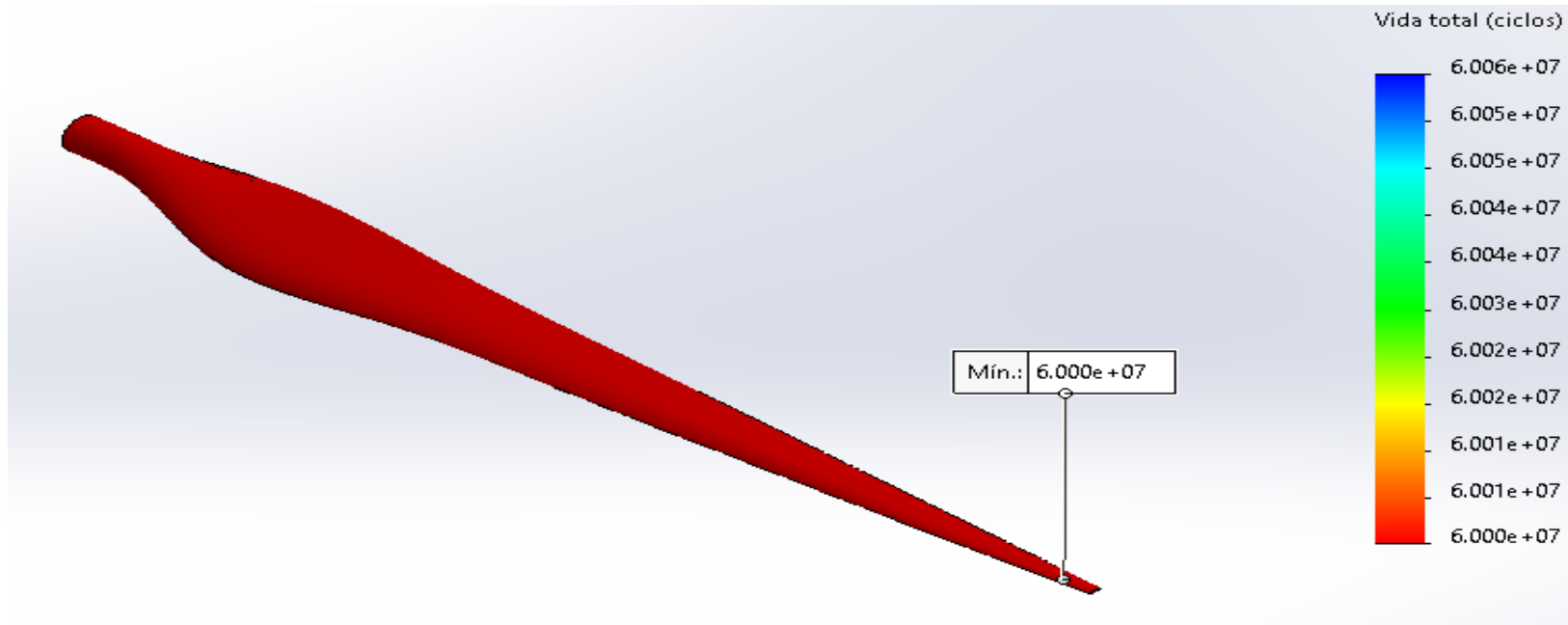
$$\text{Tiempo} = \frac{656600}{(14,32 \text{ rpm})(60)\text{seg}}$$

$$\text{Tiempo} = 764,20 \text{ horas}$$

ANEXO N°30: ciclos de vida por fatiga

Figura 12

Numero de ciclos mínimos que pueden soportar los alabes



En la presente imagen se muestra el número de los ciclos mínimos 60000000 que pueden soportar los alabes, que se producen en 3217.50 días, sumando un total de 8.82 años.

Fuente: elaboración propia

ANEXO N°31: Indicadores de criticidad por detectabilidad

Tabla 19

Criticidad por detectabilidad en función al tiempo de operación y daño generado

Áreas del alabe	Categorías	Tiempo (horas) transcurrido para alcanzar criticidad (100%)	Criticidad por detectabilidad	Acciones a considerar
Borde 1 (área = 9,3214 m ²)	Categoría 1	No hay daños	No se presentan daños	Continua en operación
	Categoría 2	45.92 horas	D= (%daño obtenido de inspección) /0,00010728%	Continua en operación
		229.96 horas	D= (%daño obtenido de inspección) /0,0005364%	
	Categoría 3	229.96 horas	D= (%daño obtenido de inspección) /0,0005364%	Continua en operación, pero con un monitoreo durante 3 meses
		459.2 horas	D= (%daño obtenido de inspección) /0,0010728%	
	Categoría 4	459.2 horas	D= (%daño obtenido de inspección) /0,0010728%	Continua en operación, pero con un monitoreo mensual
		2299.61 horas	D= (%daño obtenido de inspección) /0,005364%	
	Categoría 5	2299.61 horas	D= (%daño obtenido de inspección) /0,005364%	Detención inmediata
		6908.62 horas	D= (%daño obtenido de inspección) /0,01609%	
	Borde 2 (área = 22,2239 m ²)	Categoría 1	No hay daños	No se presentan daños
Categoría 2		19.31 horas	D= (%daño obtenido de inspección) /0,00004499%	Continua en operación
		96.53 horas	D= (%daño obtenido de inspección) /0,0002249%	
Categoría 3		96.53 horas	D= (%daño obtenido de inspección) /0,0002249%	Continua en operación, pero con un monitoreo durante 3 meses
		193.05 horas	D= (%daño obtenido de inspección) /0,0004499%	
Categoría 4		193.05 horas	D= (%daño obtenido de inspección) /0,0004499%	Continua en operación, pero con un monitoreo mensual
		965.25 horas	D= (%daño obtenido de inspección) /0,002249%	

Frontal (área = 81,9518 m²)	Categoría 5	965.25 horas	D= (%daño obtenido de inspección) /0,002249%	Detención inmediata
		2895.75 horas	D= (%daño obtenido de inspección) /0,006749%	
	Categoría 1	No hay daños	No se presentan daños	Continua en operación
	Categoría 2	5.23 horas	D= (%daño obtenido de inspección) /0,00001220%	Continua en operación
		26.17 horas	D= (%daño obtenido de inspección) /0,00006101%	
	Categoría 3	26.17 horas	D= (%daño obtenido de inspección) /0,00006101%	Continua en operación, pero con un monitorea durante 3 meses
		52.32 horas	D= (%daño obtenido de inspección) /0,0001220%	
	Categoría 4	52.32 horas	D= (%daño obtenido de inspección) /0,0001220%	Continua en operación, pero con un monitorea mensual
		261.67 horas	D= (%daño obtenido de inspección) /0,0006101%	
	Categoría 5	261.67 horas	D= (%daño obtenido de inspección) /0,0006101%	Detención inmediata
784.94 horas		D= (%daño obtenido de inspección) /0,001830%		
Posterior (área = 76,1634 m²)	Categoría 1	No hay daños	No se presentan daños	Continua en operación
	Categoría 2	5.62 horas	D= (%daño obtenido de inspección) /0,00001312%	Continua en operación
		28.14 horas	D= (%daño obtenido de inspección) /0,00006564%	
	Categoría 3	28.14 horas	D= (%daño obtenido de inspección) /0,00006564%	Continua en operación, pero con un monitorea durante 3 meses
		56.18 horas	D= (%daño obtenido de inspección) /0,0001312%	
	Categoría 4	56.18 horas	D= (%daño obtenido de inspección) /0,0001312%	Continua en operación, pero con un monitorea mensual
		281.4 horas	D= (%daño obtenido de inspección) /0,0006564%	
Categoría 5	281.4 horas	D= (%daño obtenido de inspección) /0,0006564%	Detención inmediata	
	845.05 horas	D= (%daño obtenido de inspección) /0,001969%		

En la presente tabla N°19 se muestra el índice de criticidad utilizado en función al porcentaje de daño de inspección y al de fracción de categoría y la acción correspondiente para cada categoría de daño

Fuente: elaboración propia

ANEXO N°32: ciclos de vida por fatiga

Tabla 20

Porcentaje de daño por N° de vueltas de los alabes VS el nivel de carga

DIAS	N° de vueltas	PORCENTAJE DE DAÑO	nivel de carga (7 veces)
1 DIA	18648	5.59E-05	1.43E+01
10 DIAS	186480	5.59E-04	1.93E+01
30 DIAS	559440	1.68E-03	5.78E+01
60 DIAS	1118880	3.36E-03	1.16E+02
180 DIAS	3356640	1.01E-02	3.47E+02
240 DIAS	4475520	1.34E-02	4.43E+02
365 DIAS	6806520	2.04E-02	7.03E+02
1095 DIAS	20419560	6.13E-02	2.11E+03
2190 DIAS	40839120	1.23E-02	4.22E+03
2920 DIAS	54452160	1.64E-02	5.62E+03
3650 DIAS	68065200	2.04E-01	7.03E+03
4380 DIAS	81678240	2.45E-01	7.03E+03
5110 DIAS	95291280	2.86E-01	9.84E+03
5840 DIAS	108904320	3.00E-01	1.13E+04
6570 DIAS	122517360	3.68E-01	1.27E+04
7300 DIAS	136130400	4.08E-01	1.41E+04

En la presente tabla N°19 se muestra el porcentaje de daño en los alabes y el nivel de carga al cual se produciría un daño significativo superior a la categoría 5, en el transcurso de su tiempo de vida.

Fuente: elaboración propia

Grafica 1

Porcentaje de daño VS el funcionamiento del aerogenerador en su tiempo de vida

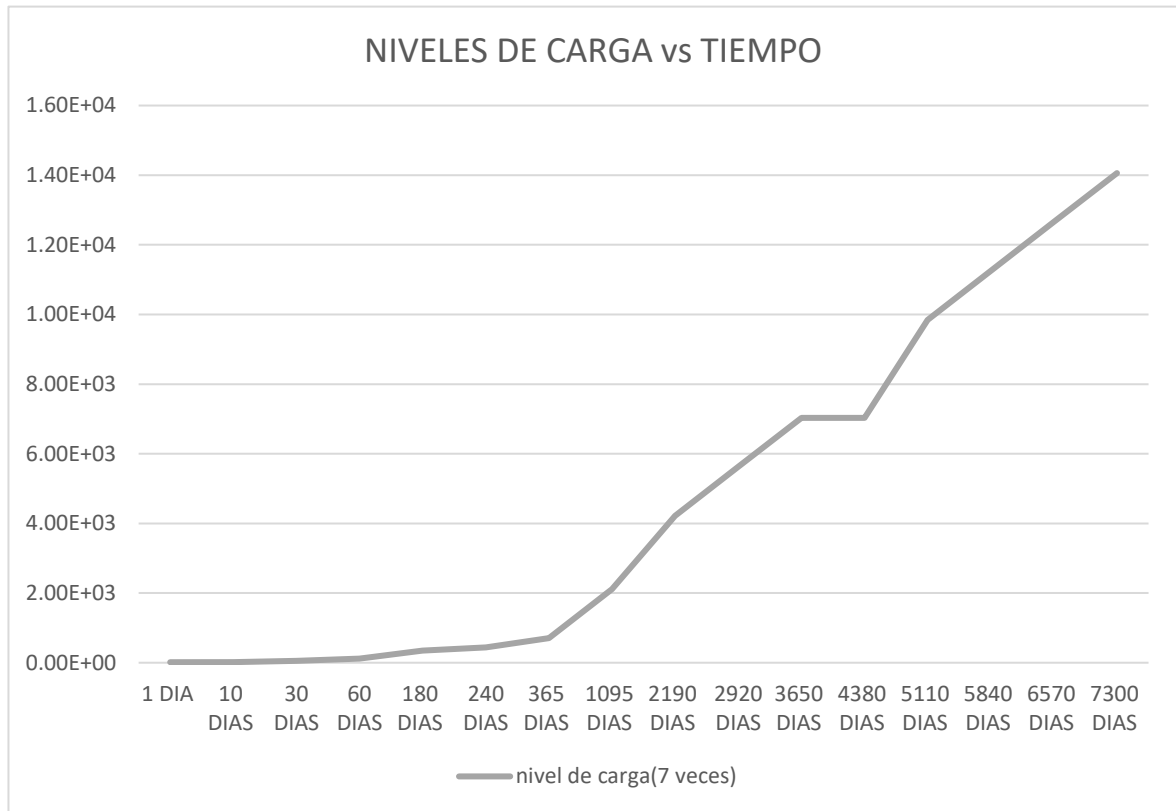


En el presente grafico se muestra el porcentaje de daño de la tabla N°19 en función al número de vueltas del rotor, durante su tiempo de vida (20 años).

Fuente: elaboración propia

Grafica 2

Niveles de carga de daño VS el funcionamiento del aerogenerador en su tiempo de vida



En el presente grafico se muestra los niveles de carga (7 veces la carga inicial) de daño de la tabla N°19 en función al número de vueltas del rotor, durante su tiempo de vida (20 años).

Fuente: elaboración propia

ANEXO N°33: cuadro de variables y operacionalización

Tabla 21. Cuadro de operación de variables

VARIABLE	TIPO	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	ESCALA DE MEDICIÓN
Flujo del aire con polución	Independiente	Las partículas de polución, también conocida como material particulado, es una mezcla compleja de partículas extremadamente pequeñas y gotas de líquido que se introducen en el aire (Sánchez, Ortiz y Castrejón, 2014).	Es la velocidad del viento combinada con la polución que se da en los alabes de los aerogeneradores y se extrae de los mapas eólicos y de las mediciones que tiene la central eólica Cupisnique.	Velocidad del viento	Metros/segundos	Intervalo
Resistencia mecánica y superficial	Independiente	La resistencia mecánica es la característica de los sólidos para poder soportar las fuerzas aplicadas sin fracturarse. La resistencia mecánica de un sólido se basa en su material y de su geometría (Mecapedía ,2014)	Es la propiedad que tienen los elementos para poder soportar los esfuerzos mecánicos.	Factor de seguridad	adimensional	Intervalo

ANEXO N°34: Ficha de registro de los elementos y sus cantidades encontradas en la central eólica de Cupisnique.

FICHA DE REGISTRO

(Estudio de impacto ambiental (EIA) del proyecto construcción y operación de la central eólica Cupisnique y su interconexión al SEIN)

El presente registro se otorga a favor de:

Pacific Protección Integral de Recursos (PIR) S.A.C.

PROPIETARIO y/o
REPRESENTANTE LEGAL: Pacific (PIR)

RUC: 20508720921

DISTRITO: Jesús María

PROVINCIA: Lima

DEPARTAMENTO: Lima

ACTIVIDAD: Asesoramiento Empresarial

DATOS TECNICOS

INFORMACION TECNICA FAVORABLE:

FECHA: 2010

DESCRIPCION:

Elementos en el flujo de aire encontrados en la central eólica de Cupisnique, evaluados en diferentes días y por su respectivo método de muestreo.

Parámetros	Método de muestreo	Método de análisis	Periodo de
Partículas suspendidas con diámetro menor a 10 micrómetros PM ₁₀	Captación en filtro PM10	Separación inercial filtración / gravimétrico	24 horas
Dióxido de azufre SO ₂	Por absorción / tren de muestreo	Gaeke & West	24 horas

Óxidos de nitrógeno NO _X	Por absorción / tren de muestreo	Método Modificado de Greiss Saltzman	24 horas
Monóxido de carbono CO	Por absorción / tren de muestreo	Método de Azul de Metileno Jacob	24 horas

Fuente: Pacific Protección Integral de Recursos (PIR)

Parámetro	(CE Cupisnique) (µg/m ³)	ECA Aire (promedio24h) *
PM ₁₀	58.99	150 µg/m ³
NO _X	0.3	200 µg/m ³
SO ₂	<0.2	80 µg/m ³
CO	3510	30 000 µg/m ³

Fuente: Pacific Protección Integral de Recursos (PIR)

Según los parámetros obtenidos en dicho monitoreo, el material particulado encontrado en la estación de (PE. Cupisnique) es de 58.99 µg/m³, originándose por el efecto del viento sobre el suelo con una limitada protección vegetal (características principales del suelo de la zona del proyecto). Los vientos de la zona, hacen que el polvo se desplace desde la zona sur-oeste.

ANEXO N°35: Ficha de registro de las velocidades de viento encontradas en la central eólica de Cupisnique, a la altura de 75m y en diferentes meses del año.

FICHA DE REGISTRO

(SBCC-05/PROSEMER-MINEM)

El presente registro se otorga a favor de:

Comité técnico de MINEM

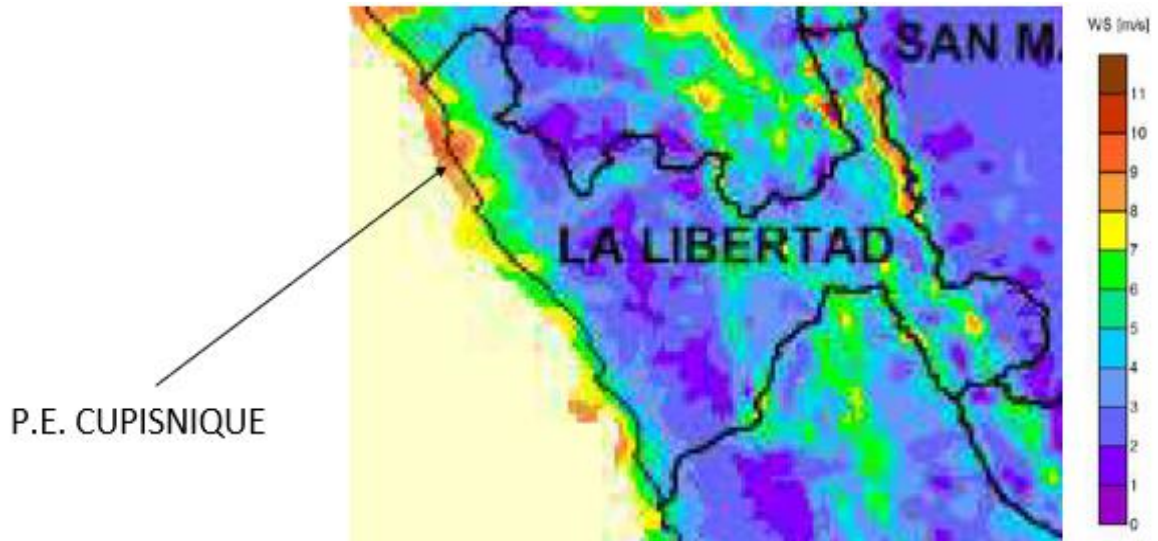
PROPIETARIO y/o REPRESENTANTE LEGAL: Ministerio de energía y minas del Perú RUC: 20131368829 DISTRITO: San Borja PROVINCIA: Lima DEPARTAMENTO: Lima ACTIVIDAD: Instituciones públicas y estado
--

DATOS TECNICOS INFORMACION TECNICA FAVORABLE: - FECHA: 2016 DESCRIPCION:
--

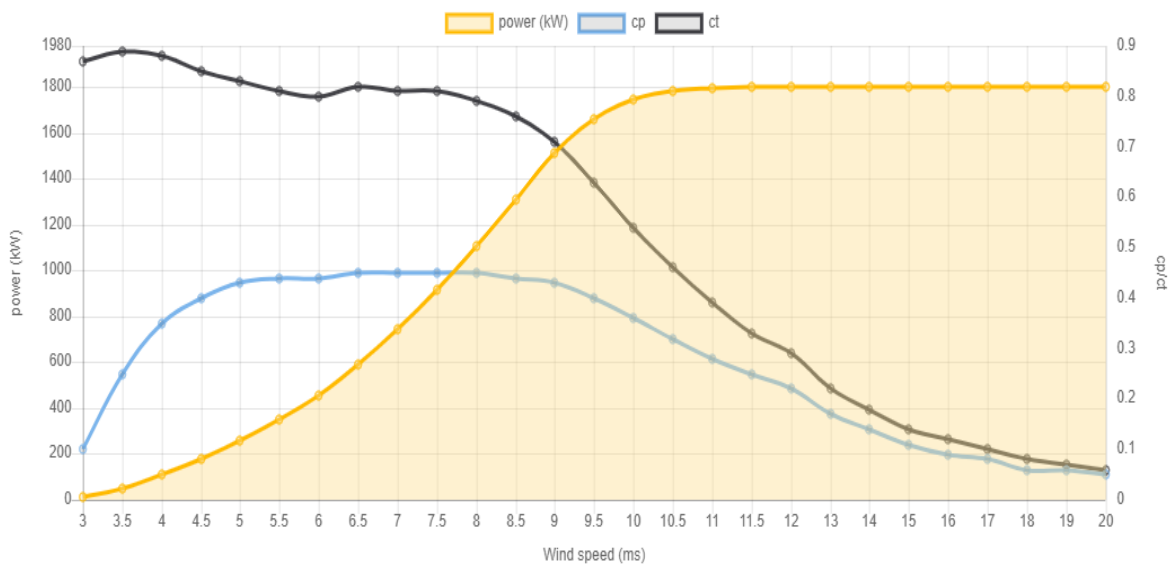
REGION	ALTURA	MES	VELOCIDAD
La libertad	75 metros	Enero	12m/s
		Febrero	12m/s
		Marzo	10m/s
		Abril	10m/s
		Mayo	10m/s
		Junio	10m/s
		Julio	11m/s
		Agosto	10m/s
		Septiembre	10m/s
		Octubre	11m/s
		Noviembre	11m/s
		Diciembre	11m/s

Fuente: elaboración propia

Según los parámetros obtenidos en el mapa eólico del Perú, la velocidad del viento varía entre 8 m/s y 15m/s, en la estación de (PE. Cupisnique) la velocidad del viento promedio a 80 metros de altitud es de 12 m/s.



Fuente: Ministerio de energía y minas del Perú



Fuente: wind turbine models

ANEXO N°36: Ficha de entrevista ingeniero Luis Fernando Vargas quien ocupó el puesto de jefe de mantenimiento en la central eólica de Cupisnique.

Datos del entrevistado

Nombre: Luis Fernando Vargas

Ocupación: Ex Jefe de Vestas de la central eólica de Cupisnique

Fecha de entrevista: 03/06/2020

1) Según los datos de los mapas eólicos, ¿qué tanto varía la velocidad del viento en la central Cupisnique?

Dependiendo de las condiciones estacionales del año, para ello se basa la instalación de estudios de viento durante 18 a 24 meses, se requiere contar con dichos estudios para luego compararlo con las proyecciones de viento que se dan de forma online.

2) De acuerdo a videos, fotos y otros proyectos realizados en otras centrales eólicas, ¿cuánto afecta la polución del aire sobre los alabes de los aerogeneradores?

Se debería conocer cuál es el comportamiento de los parques eólicos en el sur del País, adicionando el de PE Talara (PE: Parque Eólico) para poder verificar el comportamiento de dichos PE.

3) De acuerdo al impacto de la polución, ¿cada que tiempo es el mantenimiento de los alabes?

No se fija mantenimiento de palas en ningún PE a nivel mundial, solo se realiza una Inspección Anual a costo cero. Luego el resto de Inspecciones Anuales son a pago.

4) ¿Cuáles son los factores de riesgo o daños que comúnmente se dan en los aerogeneradores?

Es variado. ¿Pero no se entiende la pregunta, a que factores de riesgo de refiere? Especifique.

5) ¿Cuál es la velocidad promedio del viento?

La velocidad promedio es de 12 m/s, pero el viento varía de 8 m/s a 15 m/s

6) ¿Cuánto duran los aerogeneradores?

Los Vestas por certificado son hechas para 20 años

7) ¿Por qué escogieron este tipo de aerogenerador que es el VESTA 100/1.8MW y porque no otro aerogenerador?

Cuestiones comerciales, costos de mantenimiento, atención remota, fiabilidad de equipos y negociaciones a nivel gerencial.

8) ¿Qué tipos de inspección se realizan a los alabes?

La inspección es por dron con cámara de 400X y tiene que ser con turbina detenida.

9) ¿Cuál es el problema que mayormente hacen en el mantenimiento de los aerogeneradores?

No se tiene problemas en aerogeneradores, teniendo buenos mantenimientos programados, planificados y ejecutados.

10) ¿A qué se debe el desgaste en los alabes?

Se le vincula directamente a la polución, en zonas agrestes (cercanos a litorales) como algunos se ven afectados por rayos según condición climática de la zona, en Cupisnique, mayormente es por polución y humedad.

11) ¿Cuáles son los niveles de criticidad?

Son 5 niveles de acuerdo al tamaño o rajadura de la grieta que puede ser de 1m a 6m, pero si esa rajadura coincide con la estructura o con una de las almas soportes interna de la estructura de la pala.

12) ¿Cuál es el nivel de categoría de daño?

Según la fuente Vesta, document no: 0014-3811 v09, podemos ver el nivel de daño que tiene el alabe por medio de las grietas hechas por el material particulado.

13) ¿Cuál es la potencia generada por los generadores?

Según en el parque Eólico de Cupisnique hay 3 turbinas que generan a 1,85 MW Y 42 que generan 1,8 MW aproximadamente.

14) ¿El aire con polución afecta alguna parte de las palas?

No, afecta mayormente al sensor llamado “wind sensor” que censa la velocidad del viento que gira sobre la pala.



Fuente: elaboración propia

ANEXO N°37: Cálculo de la cantidad de flujo masico

En este cálculo de halla el fujo masico que impacta en el área del diámetro del rodete del alabe para las diferentes velocidades de viento.

- Cálculo del flujo masico para la velocidad del viento de 8m/s

De la ecuación 4

$$\dot{m} = \rho(\text{arena}) * Vel(\text{viento}) * A(\text{area del rotor})$$

$$\dot{m} = (5,899e^{-8})kg/m^3 * (8)m/s * (\pi * 50^2)m^2$$

$$\dot{m} = 124,34 \text{ kg/seg}$$

- Cálculo del flujo masico para la velocidad del viento de 12m/s

$$\dot{m} = \rho(\text{arena}) * Vel(\text{viento}) * A(\text{area del rotor})$$

$$\dot{m} = (5,899e^{-8})kg/m^3 * (12)m/s * (\pi * 50^2)m^2$$

$$\dot{m} = 168,51 \text{ kg/seg}$$

- Cálculo del flujo masico para la velocidad del viento de 15m/s

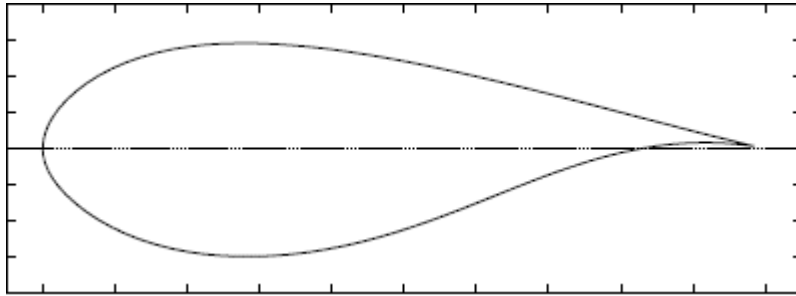
$$\dot{m} = \rho(\text{arena}) * Vel(\text{viento}) * A(\text{area del rotor})$$

$$\dot{m} = (5,899e^{-8})kg/m^3 * (15)m/s * (\pi * 50^2)m^2$$

$$\dot{m} = 233,13 \text{ kg/seg}$$

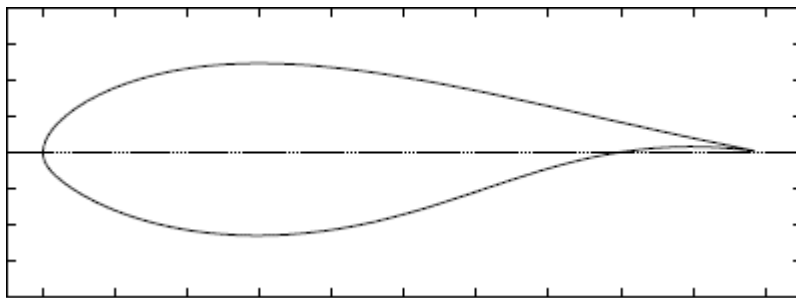
ANEXO N°38: Perfiles aerodinámicos del alabe

FFA -W3-301



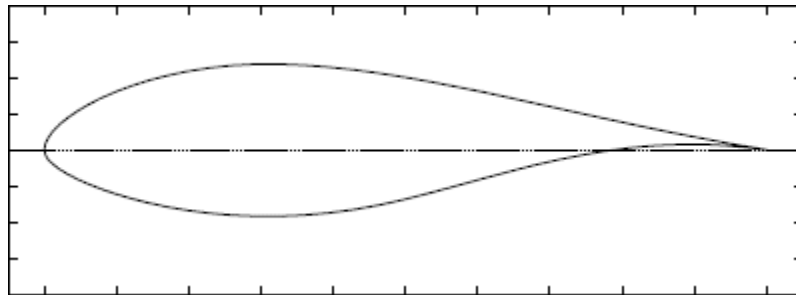
Fuente: Wind turbine airfoil catalogue (2001).

FFA -W3-241



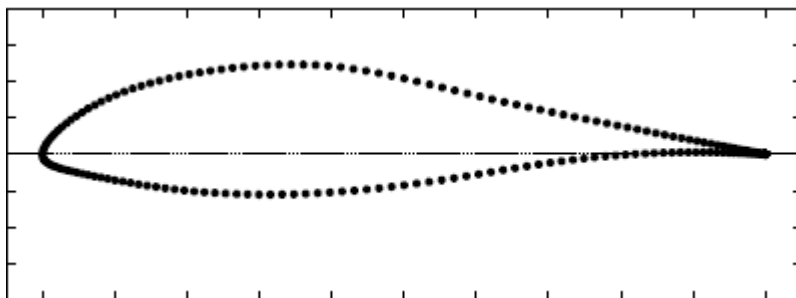
Fuente: Wind turbine airfoil catalogue (2001).

FFA -W3-211



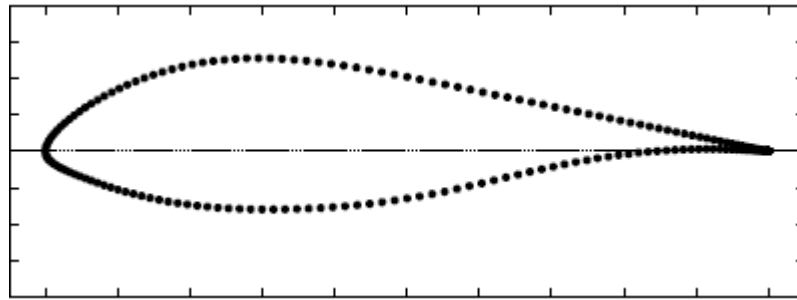
Fuente: Wind turbine airfoil catalogue (2001).

RISØ P-A1-18



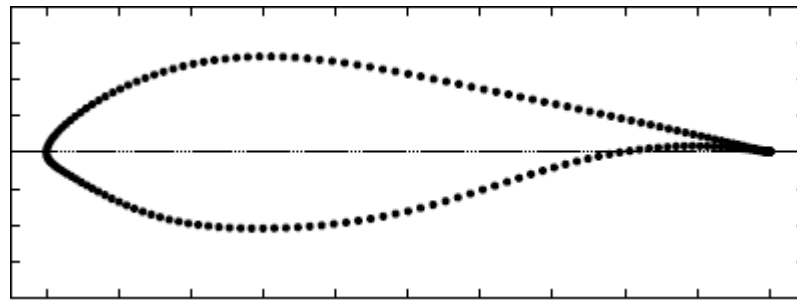
Fuente: Wind turbine airfoil catalogue (2001).

RISØ P-A1-21



Fuente: Wind turbine airfoil catalogue (2001).

RISØ P-A1-24



Fuente: Wind turbine airfoil catalogue (2001).

ANEXO N°39: certificado de veracidad



J E G A L

INGENIERIA Y CONSTRUCCION S.A.C.

Ejecución y Elaboración de Proyectos / Obras Eléctricas y Civiles.
Fabricación, Montaje y Mantenimiento de Plantas Industriales,
Estructuras Metálicas, Tanques y Tolvas.



Trujillo, 15 de Julio de 2020

ING. JOHNNY GALARRETA VAECLA

Gerente General - Jegal Ingeniería y Construcción S.A.C

ASUNTO: Carta de certificación por la información confidencial brindada de la Central Eólica Cupisnique hacia los estudiantes (tesistas) de la Universidad Cesar Vallejo.

Estimados Tesistas,

El motivo de esta carta es para saludarlos cordialmente y, a la vez, apoyarlos en la información confidencial brindada a los estudiantes: Nelson Alcalde Montenegro con DNI 70307301 y Keler Pairasamán Rodríguez con DNI 7724029, que les sirvió para la elaboración del desarrollo de su tesis que lleva como título: Impacto del Flujo del Aire con Polución sobre la Resistencia Mecánica y Superficial en los Alabes de los Aerogeneradores de la Central Eólica de Cupisnique, Distrito de San Pedro Lloc, Provincia de Pacasmayo, Departamento de La Libertad.

Certifico esta carta a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica de haberles otorgado dicha información confidencial, dentro de los cuales nos encontramos realizando trabajos en instalaciones de equipos para las Turbinas Eólicas.

Atentamente

JEGAL S.A.C.
INGENIERIA Y CONSTRUCCION S.A.C

Ing. Johnny Galarreta Vaella
GERENTE GENERAL

Ing. Johnny Galarreta Vaella

GERENTE GENERAL

