

DISEÑO DE UN MINI AEROGENERADOR DE 9KW

ANDREY NICOLÁS BERNAL ÁLVAREZ

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C
2.019

DISEÑO DE UN MINI AEROGENERADOR DE 9KW

ANDREY NICOLÁS BERNAL ÁLVAREZ

Proyecto integral de grado para optar el título de
INGENIERO MECÁNICO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C
2.019

Nota de aceptación

Ing. Rodrigo sorzano
Jurado 1

Ing. Erick Fabien Navarro
Jurado 2

Bogotá; noviembre de 2019

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-peña

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Jaime Posada García - Peña

Vicerrectoría Académica y de Posgrados

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Decano General Facultad de Ingenierías

Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director de Programa de Ingeniería Mecánica

Ing. Carlos Mauricio Veloza Villamil

Las directivas de la fundación universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento.
Estos corresponden únicamente al autor.

Agradezco a mis padres por las oportunidades que me brindaron a lo largo de mi vida, por sus consejos y apoyo incondicional en todo momento. De manera especial dedico este proyecto a mi hermana Paula Bernal, desearle lo mejor en su carrera y decirle que siempre estaré para ella aconsejándola y brindando todo mi apoyo. Por ultimo quiero agradecer a mis amigos, quienes estuvieron a lo largo de esta carrera apoyándome y viviendo conmigo toda esta experiencia.

Andrey Nicolás Bernal Álvarez

CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	16
INTRODUCCIÓN	17
1. SITUACIÓN ACTUAL.	18
1.1 UNGUIA	18
1.2 AEROGENERADORES	19
1.2.1 Clasificación de aerogeneradores	19
1.2.1.1 Usos	19
1.2.1.2 Potencia	19
1.2.1.3 Por la colocación del eje de rotación	20
1.3 COMPONENTES DEL AEROGENERADOR	23
1.4 POTENCIAL EÓLICO	28
2. PARÁMETROS DE DISEÑO	30
2.2 VELOCIDAD	30
2.2 ALTURA	30
2.3 DENSIDAD DEL AIRE EN UNGUIA	30
2.4 ESPACIO REQUERIDO	31
2.5 POTENCIA	32
2.6 DIRECCIÓN DEL VIENTO	32
2.6.1 Rosa de los vientos	32
2.7 RENDIMIENTO DEL AEROGENERADOR	33
2.8 COEFICIENTE DE POTENCIA	33
2.9 MATERIAL	34
2.10 FACTOR DE SEGURIDAD	36
2.11 TIPO DE GENERADOR	36
3. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	38
3.1 ALTERNATIVAS DEL TIPO DE AEROGENERADOR	38
3.1.1 Rotor Darreius tipo H	38
3.1.2 Rotor Savonius	39
3.1.3 Rotor de eje horizontal	39
3.2.ALTERNATIVAS PARA EL TREN DE POTENCIA	40
3.2.1 Tren de engranajes	40
3.2.2. Sistema de correas	41
3.2.3 Sistema de cadenas	42
3.3. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	43
3.3.1 Selección del tipo de aerogenerador.	43
3.3.2 Selección del tren de potencia.	44
3.4. DISEÑO CONCEPTUAL	45
3.4.1 esquema del aerogenerador	46
4. DISEÑO DETALLADO	49
4.1 SISTEMA DE POTENCIA	49
4.1.1 Cálculo del alabe	49
4.1.2 ÁREA DE BARRIDO	50
4.1.3 Diámetro del rotor	51
4.1.4 Perfil del alabe	51
4.1.5 Longitud de cuerda	52

4.2. SISTEMA DE GENERACIÓN	56
4.2.1 Diseño del eje	56
4.2.2 selección del generador	64
4.2.3 Multiplicador de potencia	64
4.2.4 Rodamiento	67
4.3. SISTEMA DE FRENADO	67
4.3.1 Calculo del freno	67
4.4.SISTEMA ESTRUCTURAL	69
4.4.1 Torre	69
4.5. SISTEMA DE CONTROL	73
5. SIMULACIÓN DE ELEMENTOS FINITOS	75
5.1 DEFORMACIÓN ELEMENTAL	78
5.2 DESPLAZAMIENTO ELEMENTAL	78
5.3 ESFUERZO ELEMENTAL	79
6. MANUALES	80
6.1 MANUAL DE INSTALACIÓN	80
6.1.1 Instalación de la torre.	80
6.1.2 Instalación del generador.	82
6.2 MANUAL DE OPERACIÓN	83
6.3 MANUAL DE MANTENIMIENTO	84
6.3.1 Métodos de inspección	84
6.3.2 Mantenimiento preventivo	86
6.4 MANUAL DE SEGURIDAD Y SALUD	89
7. IMPACTO AMBIENTAL	91
7.1 IMPLEMENTACIÓN DE LA MATRIZ	91
8. EVALUACIÓN FINANCIERA	93
8.1 FLUJO DE CAJA	95
9. CONCLUSIONES	99
10. RECOMENDACIONES	100
BIBLIOGRAFÍA	101
ANEXOS	103

Lista de imágenes

	pág.
Imagen 1. Ubicación geográfica de Unguia.	18
Imagen 2. Aerogenerador eje vertical	21
Imagen 3. Aerogenerador savonius	22
Imagen 4. Aerogenerador Darreius	23
Imagen 5. Componentes del aerogenerador	24
Imagen 6. Rotor de un aerogenerador de eje horizontal	25
Imagen 7. Alabe de aerogenerador	25
Imagen 8. Sistema de transmisión de potencia	27
Imagen 9. Potencial eólico en el mundo	29
Imagen 10. Ubicación geográfica del aerogenerador	31
Imagen 11. Rosa de los vientos	33
Imagen 12. Coeficiente de potencia	34
Imagen 13. Esquema generador	37
Imagen 14. Alternativa rotor darreius-H	38
Imagen 15. Alternativa rotor savonius	39
Imagen 16. Alternativa rotor de eje horizontal	39
Imagen 17. Alternativa tren de engranes	40
Imagen 18. Alternativa trasmisión por poleas	41
Imagen 19. Alternativa trasmisión por cadenas	42
Imagen 20. Esquema aerogenerador darreius H	47
Imagen 21. Coeficiente de potencia	50
Imagen 22. Perfil NACA 0018	53
Imagen 23. Perfil NACA 0012	54
Imagen 24. Perfil NACA 0024	54
Imagen 25. Perfil NACA 0021	55
Imagen 26. Diagrama de cuerpo libre del alabe	60
Imagen 27. Diagrama de fuerza centrada	61
Imagen 28. Diagrama de cuerpo libre	62
Imagen 29. Diagrama esfuerzo cortante	63
Imagen 30: Diagrama momento flector	63
Imagen 31. Relación de velocidad potencia	64
Imagen 32. Dimensiones del material ASTM A572	70
Imagen 33 Coeficiente aerodinámico	72
Imagen 34. Sensor laser de la serie WENGLOR	73
Imagen 35. Ensamble brazo – ángulo de enlace	75
Imagen 36. Diseño del enmallado	76
Imagen 37. Propiedades del aluminio 6061	76
Imagen 38. Condición de restricción	77
Imagen 39. Magnitud y ubicación de la carga	77

Imagen 40. Resultados de la deformación elemental	78
Imagen 41. Resultados del desplazamiento elemental	78
Imagen 42. Resultados del esfuerzo elemental	79
Imagen 43. Cimentación de la torre	80
Imagen 44. Camión cama baja	81
Imagen 45. Grua tipo oruga	81
Imagen 46. Aerogenerador instalado	82
Imagen 47. Tabla de beafort	83
Imagen 48. Inspección con cámara termografía	84
Imagen 49. Inspección por ultrasonido	85
Imagen 50. Inspección de vibraciones	86
Imagen 51. Elementos de protección personal	90

Lista de tablas

	pág.
Tabla 1. Valoración de criterios	43
Tabla 2. Ponderación del rotor	44
Tabla 3. ponderación sistema de potencia	45
Tabla 4. Número máximo de dientes	66
Tabla 5. Características del freno	69
Tabla 6. Fuerza de viento sobre las secciones	72
Tabla 7. Resultados financieros	98

Lista de cuadros

	pág.
Cuadro 1. Familia de perfiles NACA	26
Cuadro 2. Consumo eléctrico de una casa en Unguia	32
Cuadro 3. Propiedades químicas	35
Cuadro 4. Propiedades mecánicas	35
Cuadro 5. Propiedades mecánicas	35
Cuadro 6. Factor de seguridad	36
Cuadro 7: Parámetros de diseño	37
Cuadro 8. Matriz scoring se lección de tipo de aerogenerador	44
Cuadro 9. Matriz scoring selección de tren potencia	45
Cuadro 10. Partes del aerogenerador	48
Cuadro 11. Perfiles seleccionados por Airfoil tolls	55
Cuadro 12. Detalles del sistema de potencia	67
Cuadro 13. Materiales de fricción para embragues	68
Cuadro 16. Análisis a realizar	86
Cuadro 17. Cuadro de mantenimiento	87
Cuadro 18. Continuación (cuadro 17)	88
Cuadro 19. Análisis de posibles fallas	89
Cuadro 20. Matriz de Leopold	92
Cuadro 21. Costos ingenieriles	95
Cuadro 22. Flujo de caja en los periodos 0 a 3	95
Cuadro 23. . Flujo de caja en los periodos 4 a 7	96
Cuadro 24. Flujo de caja en los periodos 8 a 11	96
Cuadro 25. Flujo de caja en los periodos 12 a 15	96
Cuadro 26. Flujo de caja en los periodos 16 a 18	97
Cuadro 27 . Flujo de caja en los periodos 19 a 20	97

Lista de ecuaciones

	pág.
Ecuación 1. Densidad	30
Ecuación 2: Calculo de la densidad	31
Ecuación 3. Eficiencia del rotor	34
Ecuación 4: cálculo de la eficiencia del aerogenerador	50
Ecuación 5. Área de barrido	50
Ecuación 6: calculo área de barrido	51
Ecuación 7: Diámetro del rotor	51
Ecuación 8: cálculo del diámetro del rotor	51
Ecuación 9: número de Reynolds	52
Ecuación 10: longitud de cuerda	52
Ecuación 11: Calculo longitud de cuerda	53
Ecuación 12: cálculo del número de Reynolds.	53
Ecuación 13: diámetro mínimo del eje	56
Ecuación 14: velocidad de rotación del rotor	56
Ecuación 15: Calculo de rotación del rotor	57
Ecuación 16: par torsor	57
Ecuación 17: cálculo del par torsor	57
Ecuación 18: conversión de unidades	58
Ecuación 19: fuerza de arrastre	58
Ecuación 20: Calculo de fuerza de arrastre	58
Ecuación 21: fuerza aerodinámica	59
Ecuación 22: cálculo de la fuerza aerodinámica	59
Ecuación 23. Carga puntual	60
Ecuación 24. Calculo fuerza total	60
Ecuación 25. Sumatorias de fuerzas en el eje X	61
Ecuación 26. Calculo del diámetro mínimo del eje	63
Ecuación 27: relación de transmisión de potencia	65
Ecuación 28. Calculo de transmisión de potencia	65
Ecuación 29: diámetro primitivo	66
Ecuación 30. Diámetro exterior del freno	68
Ecuación 31. Calculo del diámetro exterior	68
Ecuación 32: Fuerza de frenado	69
Ecuación 33. Calculo de fuerza de frenado	69
Ecuación 34: factor de seguridad	79
Ecuación 35. Calculo de factor de seguridad	79
Ecuación 36. Horas de operación	93
Ecuación 37. Calculo de las horas de operación	94
Ecuación 38. Ingresos	94
Ecuación 39. Calculo de ingresos	94

Ecuación 40. Costos de instalación y construcción	94
Ecuación 41. Calculo de instalación y construcción	94
Ecuación 42. (VPN Valor presente neto)	97

Lista de anexos

	pág.
Anexo A Censo unguia 2005	104
Anexo B Regimen de vientos unguia	105
Anexo C Acero AISI 4340	106
Anexo D Generador SHJ-NEG10KW	107
Anexo E Rodamiento SCHAEFFLER del tipo SX011880	109
Anexo F Freno SBD17-G	111
Anexo G Torre BORNAY P-750	114
Anexo H Sistema de trasmisión nacional actual	115
Anexo I Tarifa de energia electrica del choco	116
Anexo J precio del dólar	117

RESUMEN

En el presente proyecto se realizó el diseño de un mini aerogenerador de 9KW, para el municipio de Unguía ubicado en el departamento del Chocó. Para llevar a cabo este proyecto se realizaron una serie de actividades, como el análisis de vientos y situación actual de la región, luego de lo cual se plantearon diferentes alternativas para el diseño del aerogenerador y se tomó la elección más viable con la necesidad del proyecto.

Luego de haber seleccionado la opción más adecuada, el siguiente paso fue la elaboración del diseño detallado del mini aerogenerador, para esto se realizaron diferentes cálculos con el fin de determinar los componentes necesarios para el diseño del mismo. Posteriormente se realizó la verificación de los resultados obtenidos por medio del método de elementos finitos, para ello fue necesario la implementación de un software especializado (NX, siemens). Al haber confirmado los cálculos con el software se continuaron con el desarrollo de planos de piezas y de ensamble del mini aerogenerador.

Así mismo, se desarrollaron los manuales requeridos para la implementación, como son los de instalación, operación, mantenimiento y seguridad. Por último, se realizó un análisis financiero del proyecto con el propósito de determinar la viabilidad del mismo y un análisis ambiental para establecer el impacto del proyecto.

Palabras clave: diseño, mini aerogenerador, energía eólica, elementos finitos.

INTRODUCCIÓN

La finalidad de este proyecto es el diseño de un mini aerogenerador de 9Kw para el uso en viviendas en el municipio de Unguía, éste se hace con el fin de proveer un servicio acorde a las necesidades de la población. Cifras obtenidas en el censo del 2005 muestran que solo un 39% de la población es usuario del servicio eléctrico, para solventar este déficit los habitantes han optado por el uso de combustibles fósiles, los cuales pese a ser una solución para los ciudadanos generan un gran problema ambiental y puede ser perjudicial a largo plazo.

Como una solución a esta problemática se ha planteado el objetivo general del “Diseño de un mini aerogenerador de 9KW”. En donde se evalúa la solución de suplir el déficit energético de la zona, mejorando la vida de los habitantes del sector, logrando un impacto ambiental positivo y de igual forma un desarrollo tecnológico. Con el fin de lograr este objetivo se construyeron los siguientes objetivos específicos:

- Evaluar la situación actual
- Establecer los parámetros básicos y requerimientos de diseño
- Plantear diseño conceptual y alternativas
- Realizar el diseño detallado de del mini aerogenerador
- Analizar la estructura por el método de elementos finitos
- Elaborar planos
- Elaborar manuales de instalación, operación, mantenimiento y seguridad
- Evaluar el impacto ambiental del proyecto
- Realizar el análisis financiero del proyecto

El alcance del proyecto llega hasta el diseño del mini aerogenerador, tomando como base en las condiciones meteorológicas del municipio de Unguía, Chocó, no se realizará la construcción del mismo.

El proyecto se desarrollará bajo la metodología del desarrollo de alternativas, la selección de la mejor alternativa y el desarrollo del diseño detallado, el cual será verificado con softwares especializados en diseño.

1. SITUACIÓN ACTUAL

1.1. UNGUIA

El municipio de Unguía se encuentra ubicado en el Uraba Chocóano, en el noroccidente colombiano, actualmente cuenta con una población de alrededor de 15.000 habitantes, como principal actividad económica este departamento desarrolla la ganadería y la agricultura, con cultivos como: arroz, maíz, yuca y plátano, éste último es su principal producto ya que es exportado por el país.¹

Imagen 1. Ubicación geográfica de Unguía.



Fuente: TODA COLOMBIA. [sitio web]. Municipios del choco división política. [Consulta: 22 octubre 2019]. Disponible en: <https://www.todacolombia.com/departamentos-de-colombia/choco/municipios-division-politica.html>

En este momento el municipio no se encuentra interconectado a la red del sistema nacional de energía²; para suplir esta necesidad el municipio de Acandí provee el servicio de energía, pese a ello el sistema es deficiente y poco efectivo.

¹ DEPARTAMENTO DEL CHOCO MUNICIPIO DE UNGUIA CONSEJO MUNICIPAL: Plan de desarrollo municipio de Unguía 2012-2015. p. 10. En: Alcaldía Municipal de Unguía Choco. [sitio web]. Choco, Unguía. [Consulta: 22 mayo 2019]. Archivo pdf. Disponible en: <http://cdim.esap.edu.co/bancomedios/documentos%20pdf/ungu%C3%ADa.pdf>

² SOTO, Laura. [sitio web]. Colombia: LA SILLA VACÍA, Llevar luz a Unguía, la obra que no entregó Santos en Chocó. párr. 7. [Consulta: 22 mayo 2019]. Disponible en: <https://lasillavacia.com/>

Viendo esto el municipio de Unguía optó por la implementación de una planta eléctrica con combustible fósil, esta planta trabaja con tres generadores de la marca PERKINS-STAMFORD.

Pese a las soluciones propuestas por la Alcaldía, la situación no ha mejorado, pues en el presente año se siguen presentando inconvenientes en el servicio eléctrico. En la siguiente grafica se puede observar que, durante el mes de abril del 2019, el servicio eléctrico fue presado por un tiempo de 15.33 horas promedio lo cual deja al pueblo cerca de 9 horas sin el servicio de electricidad.

La finalidad de este proyecto es proveer de un servicio digno y sustentable a los habitantes del municipio de Unguía.

Con la implementación del mini aerogenerador propuesto, se buscará dar una solución energética y ambiental que pueda ser de fácil acceso y uso en los lugares donde sea requerido, reduciendo el uso de combustibles fósiles y logrando un crecimiento tanto tecnológico como económico y social para los habitantes del municipio.

1.2. AEROGENERADORES

Un aerogenerador es una máquina que tiene como función la conversión de la energía cinética producida por el viento a energía mecánica para la producción de energía eléctrica³.

1.2.1. Clasificación de aerogeneradores. Es posible clasificar las máquinas eólicas revisando los siguientes aspectos:

- Usos
- Potencia
- Disposición del eje del rotor

1.2.1.1 Usos. Según su uso es posible dividirlos en dos tipos: El primero, es aquel que usa la energía producida para el accionamiento de un generador eléctrico; y el segundo son aeromotores los cuales son utilizados para el accionamiento de una máquina.

1.2.1.2 Potencia

³ Structuralia. [sitio web]. España, Madrid. Aerogeneradores de eje vertical y horizontal: tipos, ventajas e inconvenientes [Consulta: 22 mayo 2019]. Disponible en: <https://blog.structuralia.com/aerogeneradores-de-eje-vertical-y-horizontal-tipos-ventajas-e-inconvenientes>

- Micro turbinas ($P < 3\text{Kw}$): Usualmente son utilizadas en sistemas aislados para generar y almacenar electricidad. Pueden ser máquinas de eje horizontal con tres palas y diámetros pequeños entre 1 y 5 metros que trabajan a velocidades de rotación elevadas.
- Pequeños aerogeneradores ($3\text{Kw} < P < 50\text{Kw}$): Al igual que las micro turbinas suelen ser utilizados en sistemas aislados para generar electricidad y ésta se encarga de cargar unas baterías de almacenamiento, es decir, que pueden cubrir una demanda similar a la de las micro turbinas, pero teniendo una mayor potencia. Además, los pequeños aerogeneradores también suelen utilizarse para la formación de sistemas híbridos que combinan la energía eólica con otro tipo de energía como puede ser solar, hidráulica, fósil, mareomotriz.
- Grandes aerogeneradores ($50\text{ Kw} < P < 850\text{Kw}$): Este tipo de generador se diferencia de las anteriores, principalmente porque se encuentra conectada a la red eléctrica. Usualmente son aerogeneradores rápidos de eje horizontal con tres palas. Sus potencias suelen estar comprendidas entre 200 y 850 kW y sus diámetros entre 25 y 55 metros. Poseen cajas de engranajes para aumentar la velocidad y así poder accionar el generador eléctrico y sus palas suelen contar con un sistema de regulación, mediante el que se controla la potencia del rotor en función de la velocidad del viento.
- Aerogeneradores multimegawat (1-3MW): La electricidad que producen también se inyecta a la red. Son similares a los anteriores, en cuanto a cajas de engranajes y sistemas de regulación, sin embargo, sus diámetros son mucho mayores desde 50 a 90 metros y su altura suele estar entre 60 y 100 metros.

1.2.1.3. Por la colocación del eje de rotación

- Aerogeneradores de eje horizontal: Este tipo de aerogeneradores son los más comunes y los más eficientes en temas de generación eléctrica. Esta conversión se realiza mediante dispositivos ubicados en la torre, como es el caso de las turbinas eólicas destinadas a la producción de electricidad, donde el generador eléctrico está localizado en la góndola. Las denominadas máquinas rápidas, con alabes de perfil aerodinámico y casi exclusivamente empleadas para la generación de electricidad, tiene rotores de 1 a 3 palas que pueden estar ubicados a popa (sotavento) o a proa (barlovento) de la góndola. Los rotores con palas a sotavento no requieren de sistemas de orientación pues las fuerzas que actúan sobre ellos tienden a orientarlos naturalmente, aunque en máquinas de gran tamaño se prefiere emplearlos para evitar los "cabeceos" que someterían las palas a vibraciones perjudiciales. En el caso de palas a barlovento los sistemas de orientación son imprescindibles, por ello se utilizan colas de orientación en el caso de pequeños aerogeneradores o servomecanismos de orientación en el caso de los grandes.

Imagen 2. Aerogenerador eje vertical



Fuente: ENATICA. [sitio web]. BREAL ENERGIA, tipos de aerogeneradores. [Consulta: 12 febrero 2019]. Disponible en: <http://www.enatica.es/eolica/tipos-de-aerogeneradores>

- Aerogeneradores de eje vertical: Este tipo de aerogeneradores tiene la ventaja de que no necesitan sistemas de orientación. Esto es una gran ventaja, ya que no habría que diseñar ni fabricar estos mecanismos tan complejos de direccionamiento y se eliminarían los esfuerzos a los que se ven sometidas las palas ante los cambios de orientación del rotor. Así, por su disposición, hacen posible la colocación de los sistemas de conversión en el suelo, eliminando de esta forma pesadas cargas en las torres, algo que no se puede evitar en los de eje horizontal. A diferencia de los de eje horizontal existen varios diseños los cuales derivan de este tipo.
- Aerogenerador tipo savonius: El modelo con rotor savonius es el diseño más simple en la implementación de éstos. El diseño consiste en un cilindro hueco cortado en la mitad, y sus mitades son desplazadas para formar una S, Con esa unión el diseño savonius capta el viento y lo hace girar al sentido que menos resistencia ofrezcan. Este diseño presenta algunos inconvenientes debido a su estructura ya que ésta genera una concentración de esfuerzos en el interior de las palas perjudicando de esta forma su rendimiento; para corregir este defecto se efectúa una separación de las palas dejando un espacio para que exista un flujo entre ellas.

Imagen 3. Aerogenerador savonius



Fuente: ARCHIEXPO. [sitio web].
WINDSIDE, AEROGENERADOR
DOMÉSTICO DE EJE VERTICAL /
ROTOR SAVONIUS HELICOIDAL.
[Consulta: 12 febrero 2019]. Disponible en:
[http://www.archiexpo.es/prod/windside/pr
oduct-88530-959470.html](http://www.archiexpo.es/prod/windside/product-88530-959470.html)

- Tipo darrieus: Este modelo se implementa en de la misma forma que los aerogeneradores de eje vertical, la diferencia radica en la forma de cómo se ubican las aletas, éstas se conectan en los extremos del eje formando una curva la cual para su diseño le permite llegar a su mayor rendimiento. Con este modelo es posible trabajar a mayores velocidades generando por su diseño una fuerza centrífuga en los alerones.

Imagen 4. Aerogenerador Darreius

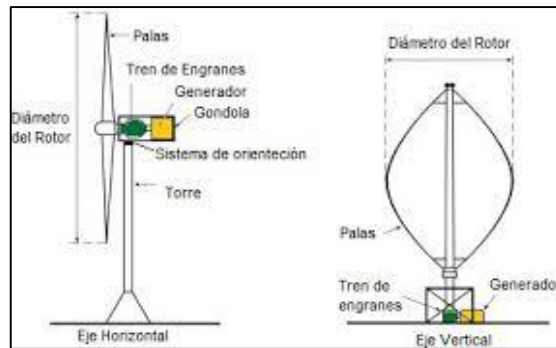


Fuente: RESEARHGATE. [sitio web]. Interacción aerodinámica entre aerogeneradores tipo darreius. [Consulta: 12 febrero 2019]. Disponible en: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Aerogenerador-tipo-Darrieus_fig1_267800378

1.3. COMPONENTES DEL AEROGENERADOR

Dentro de los parámetros necesarios para la construcción, se deben tener en cuenta aspectos muy relevantes como son las partes que componen el generador, se deben reconocer qué elementos y sistemas lo componen para así realizar un estudio a profundidad sobre cada uno.

Imagen 5. Componentes del aerogenerador



Fuente. ROMERO SANABRIA, Jeison y SOTOMAYOR SÁNCHEZ, Nicolás. Diseño de un aerogenerador para zona rural del Sumapaz, Cundinamarca. [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico, Fundación Universidad de América, 2016. [Consultado 7 febrero 2019]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.11839/576>

Como se mencionó en el numeral 1.1.2, es posible, separar los aerogeneradores en dos grupos principales, aerogenerador de eje horizontal o de eje vertical, dependiendo el tipo serán 5 o 6 componentes a evaluar. Al no haber definido aún el tipo de aerogenerador a utilizar, se realizará un análisis explicando cada componente sin importar cuál se elija.

- Rotor o turbina: Este elemento es uno de los más importantes para el funcionamiento del aerogenerador, debido a que en éste se ubican las aspas o alabes, el generador y el sistema de orientación, de ser requerido. La función principal de este elemento es transformar el movimiento producido por el viento a un movimiento angular el cual ira al eje encargado de transmitir la energía al sistema multiplicador de potencia.

Imagen 6. Rotor de un aerogenerador de eje horizontal



Fuente. ENAIR. [sitio web]. Aerogenerador ENAIR 200L. [Consulta: 3 marzo 2019]. Disponible en <https://www.enair.es/es/aerogeneradores/e200/>

- Alabes o aspas: Los alabes poseen la función de tomar la energía generada por el viento; este elemento toma la energía que genera por el viento la cual se cataloga como una energía motriz y la trasforma en energía mecánica⁴.

Imagen 7. Alabe de aerogenerador



Fuente. Ingeniería del mantenimiento. [sitio web]. Control de defectos en la fabricación de turbinas eólicas. [Consulta: 3 marzo 2019]. Disponible en <http://www.ingenieriamantenimiento.org/defectos-alabes-turbinas-eolicas/>

- Perfil de los alabes: Se suele realizar estos perfiles de tal forma, que su diseño sea similar al del ala de avión, de igual forma el principio con el que éstas son diseñadas se basan en el mismo principio de aerodinámica, el cual consiste en “formar dos áreas que posean una diferencia de presiones, en este caso no hay desplazamiento, aunque las fuerzas sí se presentan, en su lugar cuando el

⁴ ESCUDERO LÓPEZ, José María. Manual de energía eólica: Investigación, diseño, promoción, construcción y explotación. p.45. [en línea]. 2ª.ed. Madrid, España: Mundi-Prensa, 2008. [Citado el 15 marzo de 2019]. Disponible en: https://books.google.com.co/books/about/Manual_de_energ%C3%ADa_e%C3%B3lica.html?id=IE9oLwEACAAJ&redir_esc=y

viento incide pone sobrepresión en la pala, y en el lado posterior producen un vacío, esto hace posible el movimiento rotacional del rotor⁵. Para catalogar los diferentes perfiles la NACA (National Advisory Committee for Aeronautics), creó la clasificación de perfiles aerodinámicos con la cual se ordenó los diferentes perfiles en familias de dígitos catalogándolas por uso y funcionalidad.

Cuadro 1. Familia de perfiles NACA

Familia	Ventajas	Desventajas	Aplicaciones
Serie 4	<ol style="list-style-type: none"> 1. Buenas características de pérdida 2. Pequeño movimiento del centro de presiones a lo largo del rango de gran velocidad 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bajo coeficiente de levantamiento 2. Relativamente gran arrastre 3. Elevado momento de cabeceo 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aviación general 2. Colas horizontales <p>Simétricos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 3. Jets supersónicos 4. Palas de helicópteros 5. Soportes 6. Aletas de misiles y cohetes
Serie 5	<ol style="list-style-type: none"> 1. Coeficiente de levantamiento más alto 2. Bajo momento de cabeceo 3. La rugosidad tiene un pequeño efecto 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pobre comportamiento de pérdida 2. Relativamente alto arrastre 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aviación general 2. Aviones de bombardeo propulsados por motores de pistón 3. Conmutadores 4. Jets de negocios
Serie 16	<ol style="list-style-type: none"> 1. Evita los picos de baja presión 2. Bajo arrastre a altas velocidades 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Relativamente bajo levantamiento 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Propelas (hélices) de aeronaves 2. Propelas de barcos
Serie 6	<ol style="list-style-type: none"> 1. Coeficiente de levantamiento alto 2. Muy bajo arrastre sobre un pequeño rango de condiciones de operación 3. Optimizado para altas velocidades con regiones amplias de flujo laminar 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Alto arrastre fuera del rango óptimo de las condiciones de operación 2. Momento de cabeceo elevado 3. Comportamiento pobre de pérdida 4. Muy susceptible a la rugosidad 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bombarderos propulsados por motor de pistón 2. Jets de negocios 3. Entrenadores para Jets 4. Jets supersónicos
Serie 7	<ol style="list-style-type: none"> 1. Muy bajo arrastre sobre un pequeño rango de condiciones de operación 2. Bajo momento de cabeceo 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Reducido coeficiente de levantamiento 2. Alto arrastre fuera del rango óptimo de las condiciones de operación 3. Comportamiento pobre de pérdida 4. Muy susceptible a la rugosidad 	Raramente usados
Serie 8	Desconocidas	Desconocidas	Muy raramente usados

Fuente. SANTIBÁÑEZ CASTRO, Víctor Daniel. Efecto de la inclinación de los álabes en una turbina de eje vertical tipo darrieus. [En línea]. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico, Universidad de Chile, 2015. [Consultado 5 marzo 2019]. Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/132929>

Dado que el perfil de los alabes de un aerogenerador son tratados como el perfil del ala de un avión, se utilizará un perfil perteneciente a la familia serie 4. La serie NACA de 4 dígitos es la primera familia de perfiles catalogados. El primer número de esa serie se refiere a la combadura máxima (m) con base en el porcentaje de cuerda (longitud del perfil), el segundo indica la posición de la

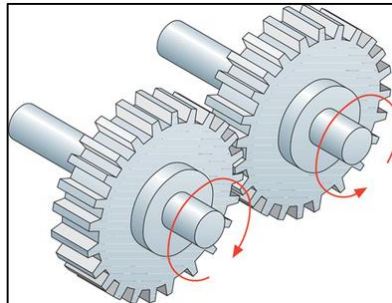
⁵ ROMERO SANABRIA. Op. Cit., p.38

combadura máxima (p) esta unidad está en decimas de cuerda, para finalizar los últimos dos números indican el espesor máximo (t) del perfil todo dado en porcentaje de la cuerda.⁶

Para los aerogeneradores los perfiles que suelen ser utilizados con mayor frecuencia son de la serie NACA 44XX y NACA 23XX para aerogeneradores de eje horizontal y serie NACA 00XX para eje vertical.

- **Multiplicador de Potencia:** Para el desarrollo de los aerogeneradores se suele utilizar un sistema de transmisión de potencia, este sistema tiene como principal objetivo transferir a los elementos de potencia un movimiento usualmente generado por un motor. En este caso, la función a realizar será transmitir el movimiento generado por el viento, desde los alabes del aerogenerador hasta el generador eléctrico.

Imagen 8. Sistema de transmisión de potencia



Fuente. La escuela técnica. [sitio web]. Engranajes o ruedas dentadas. [Consulta: 3 marzo 2019]. Disponible en <https://laescuelatecnica.jimdo.com/ruedas-dentadas/>

Algunos de los elementos que son empleados para para la transmisión de potencia son:

- Ruedas de fricción
- Transmisión por correas
- Transmisión por cadena
- Transmisión por engranajes
- Generador

La energía eléctrica se produce gracias a la implementación de un generador eléctrico conectado al eje de transmisión de potencia, este elemento usualmente trabaja a velocidades de giro entre 100 a 1.500 rpm⁷ de pendiendo el modelo, habitualmente se emplea un sistema de multiplicación para de esta forma aumentar la velocidad de giro.

⁶ Ibíd., p. 23

⁷ ESCUDERO LÓPEZ. Op. Cit., p52.

- Sistema de orientación: El sistema de orientación se emplea para los aerogeneradores de eje horizontal, este elemento cumple la función de girar la turbina de tal forma que éste sea perpendicular al viento y poder lograr el giro necesario.
- Torre: Este elemento será el encargado de soportar el sistema superior (rotor), dadas las condiciones climáticas este elemento deberá ser de un material resistente a la corrosión.

1.4. ENERGÍA EÓLICA

La energía eólica⁸ proviene de la acción que genera la radiación del sol sobre el planeta, esta ejerce una presión la cual afecta directamente la temperatura y atmosfera provocando así el movimiento de las masas de aire alrededor del planeta. Este movimiento es aprovechado para la implementación de los aerogeneradores⁹, los cuales mediante diversos equipos y procesos transforman este movimiento en energía útil, la cual luego será usada para generar una energía final.

Ventajas de la energía eólica

- No emite gases o genera residuos
- No es necesario el uso de agua
- Reduce las emisiones de CO₂

Desventajas de la energía eólica

- Las corrientes de viento no son constantes en su dirección y en su velocidad
- Puede generar un cambio en la fauna y espacio donde se ubique
- Genera vibraciones y ruidos.

La energía producida por los vientos es un recurso que ha sido utilizado desde los comienzos de la civilización, desde el hombre usándolo como herramienta para la navegación de sus barcos, pasando por la edad media donde se empleaban molinos para el movimiento de maquinaria textil y materiales como madera y aceros¹⁰. Sin embargo, no es sino hasta comienzos del siglo XX donde Dinamarca empieza a implementar este recurso para la generación de energía eléctrica.

Para el 2018 se produce con la energía eólica 591 Mw a nivel mundial, siendo China, EEUU, Alemania e India los mayores productores de esta energía¹¹.

⁸ Calefacción solar. [sitio web]. España. ¿Cómo se produce la energía eólica? [Consulta: 22 octubre 2019]. Disponible en: <http://calefaccion-solar.com/como-se-produce-la-energia-eolica.html>

⁹ Factor energía. [sitio web]. España. Energía eólica. Que es, como funciona, ventajas y desventajas [Consulta: 22 mayo 2019]. Disponible en: <https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/energia-eolica/>

¹⁰ LEAL RUBIO, Manuel et al. Diseño de aerogeneradores. p. 7. En: KIMERIUS. [sitio web]. KIMERIUS. [Consulta: 13 febrero 2019]. Archivo pdf. Disponible en: kimerius.com/app/download/5780377015/Diseño+de+Aerogeneradores.pdf

¹¹ Asociación empresarial eólica. [sitio web]. La eólica en el mundo [Consulta: 22 mayo 2019]. Disponible en: <https://www.aeeolica.org/sobre-la-eolica/la-eolica-en-el-mundo>

Imagen 9. Potencial eólico en el mundo

RÁNKING DE PAÍSES POR POTENCIA INSTALADA ACUMULADA (EN MW)	
	2018
China	211.392
Estados Unidos	96.665
Alemania	59.311
India	35.039
España	23.484
Reino Unido	20.970
Francia	15.309
Canadá	12.805
Brasil	14.702
Italia	9.958
Resto del mundo	90.788

Asociación empresarial eólica. [sitio web]. La eólica en el mundo. [Consulta: 12 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.aeeolica.org/sobre-la-eolica/la-eolica-en-el-mundo>

En Colombia se ha desarrollado esta tecnología desde principios del siglo XX, cuando se usaba como fuente de bombeo en sistemas de agua. No fue sino hasta los años 80 que se trajeron los modelos de origen alemán para el suministro de energía eléctrica.

En este momento Colombia ha comenzado con la implementación de aerogeneradores a gran escala en la región de la Guajira. Con este proyecto se provee un potencial de 19.5Mw en un terreno de un kilómetro cuadrado generando un total de 85GWh/km¹². En Colombia el IDEAM¹³ ha determinado los lugares con mayor potencial para el uso de esta tecnología los cuales son: el Mar Caribe; el litoral Caribe de los departamentos de Bolívar, Atlántico, Magdalena y toda La Guajira.

¹² TheWindPower. [sitio web]. Parques eólicos, Jepirachi [Consulta: 22 mayo 2019]. Disponible en: https://www.thewindpower.net/windfarm_es_4086_jepirachi.php

¹³ Ministerio de ambiente y desarrollo [sitio web]. Colombia. IDEAM presenta los nuevos atlas de clima, radiación y viento de Colombia [Consulta: 22 mayo 2019]. Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/3796-ideam-presenta-los-nuevos-atlas-de-clima-radiacion-y-viento-de-colombia>

2. PARÁMETROS DE DISEÑO

Es necesario determinar los parámetros básicos para el diseño de la máquina¹⁴, para determinar esto se deben evaluar diferentes factores tales como: velocidad, condiciones ambientales de la zona, partes, recursos disponibles, etc.

En este capítulo, se presentará el estudio y la definición de los parámetros básicos para el desarrollo del diseño del aerogenerador objeto de este proyecto.

2.1. VELOCIDAD

Como primera medida para realizar el diseño, es evaluar la velocidad del viento de la zona (Unguia, choco). El ministerio de minas y energía indica que la velocidad mínima de trabajo para un aerogenerador debe ser de 4m/s, con el fin de verificar el régimen de vientos se consultaron los atlas interactivos realizados por el IDEAM. Al haber realizado la consulta de los atlas es posible concluir que la velocidad de la zona (4 a 5m/s), la cual es adecuada para la implementación del aerogenerador.

2.2. ALTURA

El IDEAM indica que para que un aerogenerador trabaje de manera óptima debe estar a 10m de altura, desde la superficie donde se vaya a ser ubicado.

2.3. DENSIDAD DEL AIRE EN UNGUIA

Es necesario determinar el valor de la densidad en la zona donde se implementará el aerogenerador (Unguia, choco), para realizar este cálculo se debe tener en cuenta los siguientes parámetros.

- Presión (P): 100714,32Pa
- Constante de los gases para el aire (r): $287,05 \frac{J}{Kg \cdot K}$
- Temperatura de la zona (T): 31C

Luego de obtener los parámetros necesarios, se utilizará la siguiente formula

Ecuación 1. Densidad

$$\rho = \frac{P}{r \cdot (T + 273.15)}$$

Fuente: MOTT, Robert. Mecánica de fluidos, México: Pearson Educacion, 2006, p.14. [en línea] ISBN 970-26-0805-8. Disponible en: <https://deymerg.files.wordpress.com/2013/07/mecanica-de-fluidos-robert-mott-6ta-edicion.pdf>

¹⁴ ROMERO SANABRIA, Jeison y SOTOMAYOR SÁNCHEZ, Nicolás. Diseño de un aerogenerador para zona rural del Sumapaz, Cundinamarca. [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico, Fundación Universidad de América, 2016. [20 marzo 2019]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.11839/576>

Se reemplazan con los valores previamente obtenidos, dando:

Ecuación 2: Calculo de la densidad

$$\rho = \frac{100714,32\text{Pa}}{287,05 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot \text{K}} (31\text{C} + 273.15)}$$

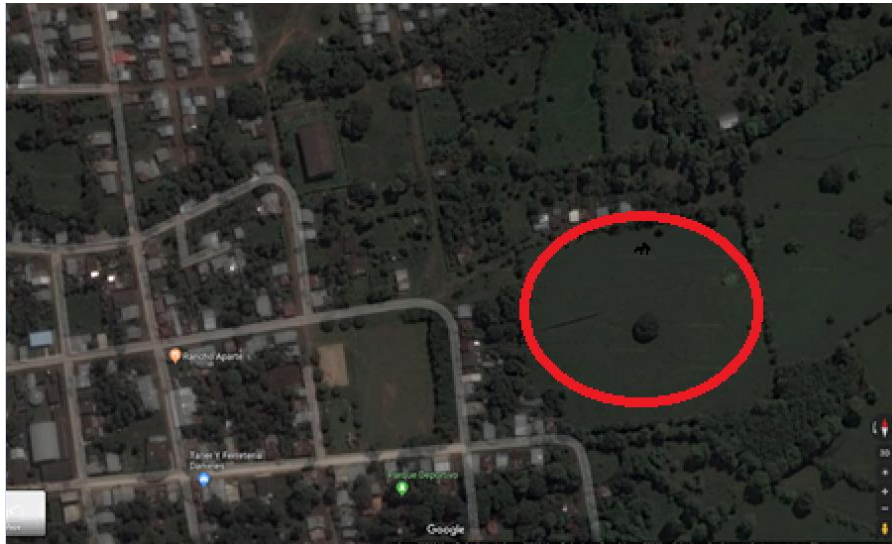
Obteniendo un valor de:

$$\rho = 1,15 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

2.4. ESPACIO REQUERIDO

Para la implementación e instalación del mismo se requiere un espacio en la superficie de por lo menos 24 m². Con ayuda de la herramienta de google maps se buscó una zona la cual cumpliera con la condición mencionada. La zona seleccionada posee un espacio de 116 m² lo cual es idóneo para la fabricación e implantación del mismo.

Imagen 10. Ubicación geográfica del aerogenerador



Fuente. METEOBLUE. [Sitio web]. Rosa de los vientos Unguia. [Consulta: 21 octubre 2019]. Disponible en <https://www.google.com/maps/place/Ungu%C3%ADa,+Choc%C3%B3/@8.0422059,-77.0898324,318m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x8e504e99ac50bc71:0x5f846ba00dc96d6!8m2!3d8.04668!4d-77.093232>

2.5. POTENCIA

Como el título del proyecto lo indica se generará una potencia de 9Kw. Es necesario determinar cuál es el alcance con esa potencia, para ello se realizará el estudio de la energía que consume en un mes una casa promedio en el municipio de Unguia.

Cuadro 2. Consumo eléctrico de una casa en Unguia

Aparato eléctrico	Potencia consumida(Kw)	Horas al día (h/día)	Horas al mes (h/mes)	Consumo total en el mes (Kwh)
Refrigerador	0.89	24	720	320.4
Horno eléctrico	0.79	5	30	9.9
Tv	0.15	8	240	37.44
Alumbrado	0.24	6	180	43.2
Aire acondicionado	1.35	8	240	324
Total				734.94

Fuente. Elaboración propia

Al haber determinado el consumo energético de una casa promedio, será necesario determinar la energía generada en un mes, para ello se multiplicará los 9Kw por las horas en un mes dando un valor de 6480Kwh. Como se puede observar en la siguiente ecuación.

$$9Kw * \left(\frac{30días}{1mes}\right) \left(\frac{24horas}{1día}\right) = \frac{6480Kwh}{mes}$$

Al haber realizado el cálculo del consumo energético durante un mes, se deberá determinar la cantidad de viviendas las cuales pueden ser energizadas a partir de la potencia de 9Kw. Para ello se dividirá los 6480Kwh/mes sobre el consumo energético de una casa promedio (734.94KWh) dando un valor de 8,81 casas.

2.6. DIRECCIÓN DEL VIENTO

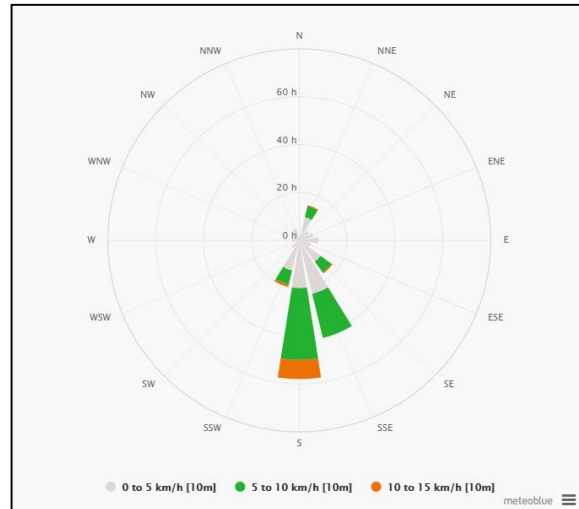
Con el fin de lograr una correcta ubicación del aerogenerador es necesario determinar con qué dirección y magnitud vienen los vientos, para realizar esto será necesario utilizar la rosa de los vientos.

2.6.1. Rosa de los vientos. Una rosa de los vientos es un instrumento con el cual se puede determinar velocidades, dirección y frecuencia del viento¹⁵. Para los fines de

¹⁵ Escola Nautica Genova [sitio web]. [Consulta: 26 febrero 2019]. Disponible en <http://nauticagenova.com/blog/la-rosa-de-los-vientos/>

este proyecto se realizó la consulta de la dirección de los vientos por un periodo de un año (2018).

Imagen 11. Rosa de los vientos



Fuente. METEOBLUE. [Sitio web]. Rosa de los vientos Unguia. [Consulta: 21 octubre 2019]. Disponible en https://www.meteoblue.com/es/tiempo/archive/windrose/unguia_colombia_8734588

2.7. RENDIMIENTO DEL AEROGENERADOR

Para determinar el rendimiento del aerogenerador es necesario hacer uso de la ley de Betz,¹⁶ esta nos indica que solamente se puede convertir un máximo del 59% de la energía cinética del viento en energía mecánica con el aerogenerador.

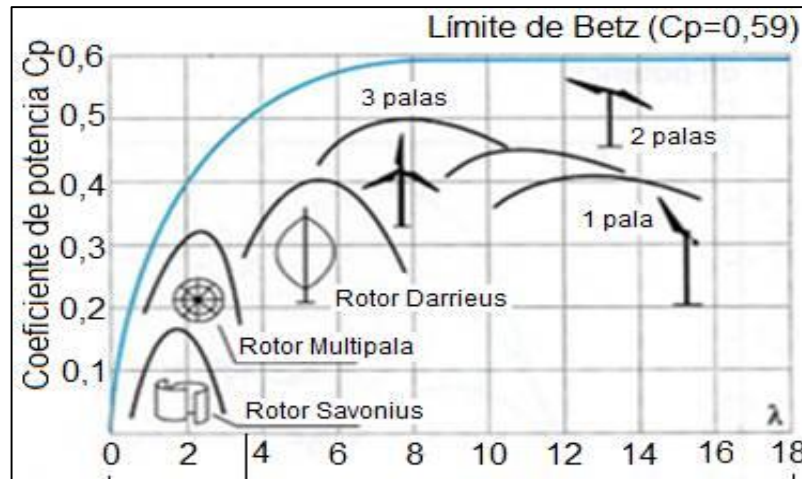
Para determinar el rendimiento total del aerogenerador, es necesario considerar las pérdidas de energía que están presentes en el sistema, se debe estimar el rendimiento mecánico (n_m) en el aerogenerador, de igual forma es necesario considerar las pérdidas de energía que son producidas por descansos, acoples y sistema de transmisión de potencia, en este caso el multiplicador. Lo siguiente es determinar el rendimiento eléctrico (n_e), por último, se determina la potencia nominal del diseño de la turbina eólica, para ello es necesario previamente haber calculado el rendimiento del rotor.

2.8. COEFICIENTE DE POTENCIA

¹⁶ DANISH WIND INDUSTRY ASSOCIATION. [sitio web]. Dinamarca. La ley de Betz. [Consulta: 22 octubre 2019]. Disponible en: <http://xn--drmsttre-64ad.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/es/tour/wres/betz.htm>

Luego de haber determinado las pérdidas en el sistema, se hallará el coeficiente de potencia (C_p) para ello se tomará la siguiente gráfica:

Imagen 12. Coeficiente de potencia



Fuente: ENERGIA EOLICA E HIDRAULICA. Descripción de los sistemas eólicos. p. 11. En: ENERGÍA EÓLICA E HIDRÁULICA. [sitio web]. [Consulta: 22 mayo 2019]. Archivo pdf. Disponible en:

http://umh2228.edu.umh.es/wpcontent/uploads/sites/537/2013/02/EE_T_Leccion5_PartesStma_a_lu.pdf

Luego de haber determinado el coeficiente de potencia se pasará a hallar la eficiencia total del mini aerogenerador la cual se obtiene de la siguiente formula:

Ecuación 3. Eficiencia del rotor

$$\eta_i = (\eta_m) (\eta_e) (c_p)$$

Fuente: VILLARUBIA LOPEZ, Miguel. Ingeniería de energía eólica, México: editorial Alfaomega, 2013, P.127. ISBN 978-958-778-232-5

- η_m : Eficiencia mecánica.
- η_e : Eficiencia sistema eléctrico.
- C_p : Coeficiente de potencia

2.9. MATERIAL

Para el diseño del mini aerogenerador se usará un acero SAE 4340 para el eje de transmisión. Este material es ideal para este elemento, debido a su versatilidad, suele ser utilizado para elementos que estarán sometidos a grandes cargas, como son levas, cigüeñales, ejes, arboles de transmisión entre otros¹⁷.

¹⁷ Ferrocortes, soluciones con el acero [sitio web]. [Consulta: 1 marzo 2019]. Disponible en <http://www.ferrocortes.com.co/aisi-sae-4340/>

Cuadro 3. Propiedades químicas

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%Ni
0.38	0.15	0.80	-	-	0.80	0.20	1.65
0.43	0.35	0.80	0.035	0.040	1.10	0.30	2.00

Fuente. Ferrocortes. [sitio web]. SAE 4340[Consulta: 4 marzo 2019]. Disponible en: <http://www.ferrocortes.com.co/aisi-sae-4340/>

Cuadro 4. Propiedades mecánicas

Tipo de proceso y acabado	Resistencia a la tracción		Límite de Fluencia		Alarga/ en 2" (%)	Reducción de área (%)	Dureza (HB)	Relación de maquinabilidad ¹²¹² EF =100%
	MPa	PSI	MPa	PSI				
Caliente y maquinado	1227	178000	689	100000	10	30	383	50
Templado y revenido	1200	174000	1124	163000	16	48	352	

Fuente. Ferrocortes. [sitio web]. SAE 4340 [Consulta: 4 marzo 2019]. Disponible en: <http://www.ferrocortes.com.co/aisi-sae-4340/>

De igual forma se hará uso del Aluminio 6061 para los elementos como son brazos, discos y ángulos. Este material presenta grandes ventajas sobre otros materiales como son costos, versatilidad y la ventaja de ser inoxidable. En la siguiente tabla se puede observar sus principales propiedades.

Cuadro 5. Propiedades mecánicas

Densidad [gr/cm ³]	2.7	Coef. De dilatacion (0 a 100oC) [oC-1 x 10 ⁶]	23.6
Rango de fusion [oC]	575-650	Conductividad Termica (0 a 100 oC) [W/m oC]	Temple T6: 167
Modulo de elasticidad [MPa]	69500	Resistividad a 20 oC [μOcm]	Temple T6: 4.0
Coefficiente de Poisson	0.33	Calor especifico (0 a 100 oC)	940

Fuente: ALUMINIO Y METALES UNICORNIO. [sitio web]. Aluminio 6061 [Consulta: 23 abril 2019]. Disponible en: <http://www.aluminiosymetalesunicornio.com.mx/6061.html>

2.10. FACTOR DE SEGURIDAD

El factor de seguridad, es una relación entre la capacidad máxima de un sistema y el valor requerido por el sistema, esta relación debe ser mayor a uno y de esta forma poder indicar cuál es el exceso que el sistema puede soportar.

El valor del factor de seguridad para este proyecto será de 2, este valor se obtuvo del libro diseño de elementos de máquinas de Virgil Faires¹⁸, el cual recomienda para aceros y metales dúctiles un factor de 2.

Cuadro 6. Factor de seguridad

TIPO O CLASE DE CARGA	ACERO, METALES DÚCTILES		HIERRO FUNDIDO, METALES FRÁGILES	MADERA DE CONSTRUCCIÓN
	Basado en la resistencia máxima*	Basado en la resistencia de fluencia**	Basado en la resistencia máxima*	
Carga muerta o Carga variable bajo análisis por fatiga	3 - 4	1.5 - 2	5 - 6	7

Fuente. V.M. FAIRES. Diseño de elementos de máquinas. p.24. [en línea]. 4ª. ed. Barcelona: MONTANER Y SIMON, S.A., 2014. [Citado el 16 marzo de 2019]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/karitorheilbron/70662076-disenodeelementosdemaquinasvmfares4taedicion>

2.11. TIPO DE GENERADOR

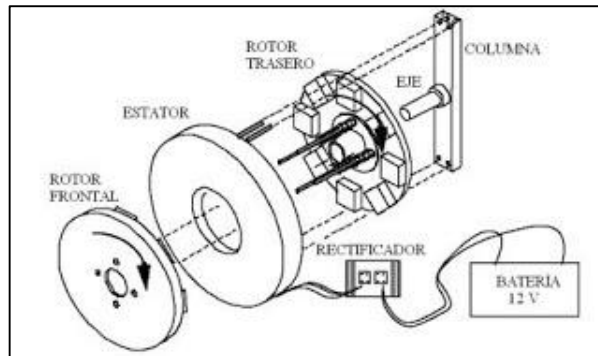
Para el proyecto se utilizará un generador síncrono de imanes permanentes. Este es un generador síncrono en el cual se sustituye el bobinado inductor por un sistema de imanes que son los que se encargan de generar un campo de excitación constante. Este tipo de generador es muy utilizado en la industria eólica debido a su versatilidad y sus ventajas las cuales son¹⁹:

- Mejoran el rendimiento del tren motriz
- El costo es menor a comparación de otros generadores
- El diseño del generador es versátil debido a que puede ser realizado de diferentes materiales y de distintas formas.
- Regula el valor tensional generado mediante el campo eléctrico.

¹⁸V.M. FAIRES. Diseño de elementos de máquinas. p.24. [en línea]. 4ª. ed. Barcelona: MONTANER Y SIMON, S.A., 2014. [Citado el 16 marzo de 2019]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/karitorheilbron/70662076-disenodeelementosdemaquinasvmfares4taedicion>

¹⁹ IMA. [sitio web]. España. Imanes permanentes para la energía eólica mayor eficiencia energética [Consulta: 22 mayo 2019]. Disponible en: <https://www.imamagnets.com/blog/imanes-permanentes-para-energia-eolica-mayor-eficiencia/>

Imagen 13. Esquema generador



Fuente. Enxeñeria Sen Fronteiras. [sitio web]. ESF Galicia y el IT100 [Consulta: 4 marzo 2019]. Disponible en: <https://esfgalicia.blogspot.com/2007/12/introduccion-el-it-100-es-un-modelo-de.html>

Por último, se mostrará una tabla con el resumen de cada parámetro y con su valor respectivo:

Cuadro 7: Parámetros de diseño

Variable	Valor
Altura	10m
Velocidad	4m/s
Densidad	$1,15 \frac{m^3}{kg}$
Espacio requerido	$24m^2$
Potencia	9Kw
Materiales	Aluminio 6061- AISI 4340
Factor de seguridad	2
Generador	Imanes permanentes

Fuente: elaboración propia

3. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

En la selección de alternativas, fueron realizadas dos diferentes selecciones como primera medida se realizó la selección del tipo de aerogenerador y luego se seleccionó el tipo de tren de potencia. Para el método de selección será utilizado el método de multi criterio scoring.

3.1. ALTERNATIVAS DEL TIPO DE AEROGENERADOR

La selección del tipo de aerogenerador se seleccionará en el numeral 3.3.1 tomando los siguientes tipos:

3.1.1. Rotor Darreius tipo H. El rotor Darreius consta con 3 finas palas, cuyo diseño se compara con las formas del ala de un avión, éstas se unen mediante sus extremos al eje, con una curva especialmente diseñada para un máximo rendimiento.

Este modelo al igual que los aerogeneradores de eje vertical, no requieren de un sistema de orientación, esta característica le permite ser instalado en cualquier superficie sin importar el tipo de terreno, de igual forma, no es necesario la creación de altas torres.

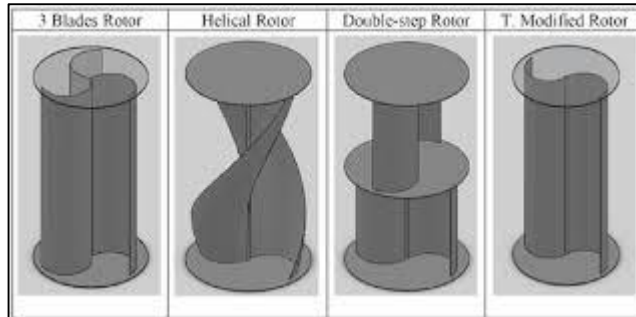
Imagen 14. Alternativa rotor darreius-H



Fuente. energie-eolienne. [sitio web]. Historique [Consulta: 4 marzo 2019]. Disponible en: <https://energie-eolienne.jimdo.com/historique/>

3.1.2. Rotor Savonius. Al hablar de aerogeneradores de eje vertical, este modelo es el más simple. Su diseño se basa en un cilindro hueco partido a la mitad, el cual se une por los extremos formando una S, las partes internas captan el viento, y el lado externo al no presentar mayor resistencia giran en el sentido que menos resistencia ofrezca.

Imagen 15. Alternativa rotor savonius



Fuente. Ingeniare, revista chilena de ingeniería [sitio web]. Modelo de computación de turbina savonius [Consulta: 4 marzo 2019]. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052015000300009

3.1.3. Rotor de eje horizontal. Para este modelo de aerogenerador, las palas rotan en torno al eje el cual está unido a las palas, debido a esto el diseño e implementación es simple y fácil de ejecutar, no posee un sistema de orientación, por último, es fácil de ubicar y no necesita de grandes alturas para poder trabajar.

Imagen 16. Alternativa rotor de eje horizontal



Fuente: ENATICA. [sitio web]. BREAL ENERGIA, tipos de aerogeneradores. [Consulta: 12 marzo 2019]. Disponible en: <http://www.enatica.es/eolica/tipos-de-aerogeneradores>

3.2. ALTERNATIVAS PARA EL TREN DE POTENCIA

La selección del tipo de tren de potencia se seleccionará en el numeral 3.3.2 tomando los siguientes tipos:

3.2.1. Tren de engranajes. El tren de engranajes es un sistema que consiste en 2 o más engranes enlazados por medio de sus dientes, para este proyecto será utilizado un tren de engranes rectos.

Este sistema tiene la particularidad de ser un sistema reversible, lo que se refiere a ser un sistema que puede transmitir potencia en ambos sentidos sin ser necesario un elemento intermedio entre ellos.

Para diferenciar los engranes, se suele llamar rueda al engrane que posea mayor tamaño y piñón al más pequeño. Cuando el piñón es el encargado de transmitir potencia se denomina un sistema reductor, pero, si el que transmite la potencia es la rueda se cataloga como un sistema de multiplicación.

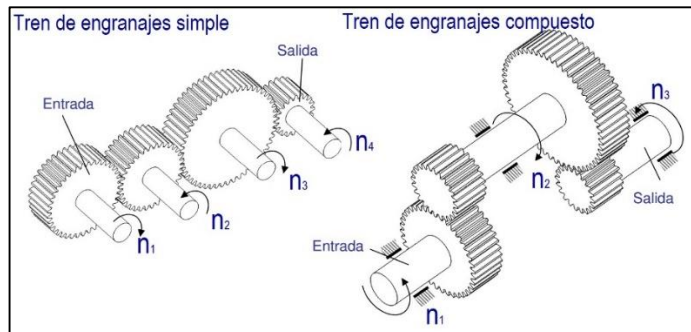
Ventajas:

- Dimensiones pequeñas para la transmisión de potencia
- Buen rendimiento
- Gran duración
- Fácil mantenimiento

Desventajas:

- Alta cantidad de ruido a velocidades elevadas
- Presenta desgaste abrasivo en los dientes

Imagen 17. Alternativa tren de engranes

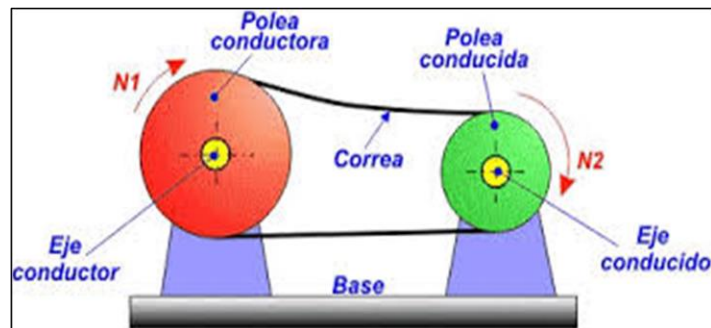


Fuente: edu.xunta. [sitio web]. Engranajes, trenes de engranajes. [Consulta: 17 marzo 2019]. Disponible en: https://www.edu.xunta.es/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947673/contido/43_engranajes.html

3.2.2. Sistema de correas. Las correas son un conjunto de dos poleas, las cuales están separadas por una distancia determinada unidas por una correa. Este elemento trabaja mediante la fuerza de fricción que se genera en el movimiento de la correa junto con la polea.

Debido al tamaño de las poleas pueden ser catalogadas por dos tipos: sistema reductor de velocidad o sistema multiplicador de velocidad.

Imagen 18. Alternativa transmisión por poleas



Fuente: MecanESO. [sitio web]. Multiplicador de velocidades, utilidad. [Consulta: 17 marzo 2019]. Disponible en: http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec_pol_multiplicador.htm#titulo

Ventajas:

- Alta fiabilidad, bajo las condiciones apropiadas
- El sistema no genera grandes ruidos
- El sistema posee la capacidad de soportar grandes choques o vibraciones
- No requiere lubricación
- No requiere la alineación de los ejes, es decir que los ejes pueden estar paralelos o cruzados

Desventajas:

- Requiere de grandes espacios para su instalación
- En ocasiones se genera el efecto de resbalamiento, es decir la correa puede resbalar sobre la polea y no existe una transmisión efectiva.
- En algunos sistemas es requerido un componente extra para generar la tensión necesaria.
- Debido a los efectos generadores por la temperatura y humedad la correa puede variar su longitud.

3.2.3. Sistema de cadenas. El sistema por cadenas²⁰ consiste de dos ruedas dentadas y un miembro deformable formado por una serie de eslabones rígidos que pueden tener un giro relativo entre ellos los cuales constituyen una cadena. Estos sistemas transmiten el movimiento entre los ejes por medio del empuje generado entre los eslabones de la cadena y los dientes de las ruedas, que en la práctica se conocen como sprockets.

Imagen 19. Alternativa transmisión por cadenas



Fuente: Alertaciclisa. [sitio web]. Relación de transmisión, Práctica: relación de transmisión y desarrollos. [Consulta: 17 marzo 2019]. Disponible en: http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec_pol_multiplicador.htm#titulo

Ventajas:

- En algunos sistemas es posible obtener rendimientos del 98%
- Este sistema no genera tensiones en su instalación
- Con una misma cadena es posible transmitir potencia a uno más ejes al mismo tiempo

Desventajas:

- Elevados costos en sus componentes, esto se debe a la existencia de sistemas donde son requeridos

²⁰ ELEMENTOS DE MÁQUINAS. [sitio web]. Transmisión por cadenas [Consulta: 22 mayo 2019]. Disponible en: <http://files.cesarruiz.webnode.com.co/200000094-cec46d0fac/TransmisionPorCadenas.pdf>

- Ser requiere montajes precisos con el objetivo de evitar sobrecargas en alguna cara del sprocket
- El mantenimiento debe ser minucioso y requiere de procesos de lubricación

3.3. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Como se mencionó, se utilizará el método de multi criterio scoring, este método consiste en identificar la necesidad y plantear diferentes criterios con los cuales se suplirá la necesidad.

Luego de haber definido los criterios, se elaborará una ponderación y de este modo determinar la mejor alternativa, para ello se hará una calificación entre 1 a 5.

Tabla 1. Valoración de criterios

Ponderación	Significado
5	Muy bueno
4	Bueno
3	Regular
2	Malo
1	Muy malo

Fuente. Elaboración propia

La alternativa seleccionada será la que mayor puntaje tenga luego de haber realizada la matriz ponderada

3.3.1. Selección del tipo de aerogenerador. Continuando con el método de selección scoring, se seleccionaron diferentes criterios para seleccionar el tipo de aerogenerador.

- Potencia de diseño: Como el título del proyecto indica, se requiere tener un aerogenerador que cumpla con la potencia requerida de 9Kw, debido a esto el modelo a seleccionar deberá cumplir con esta condición de la manera más eficaz.
- Sistema de orientación: al evaluar las tres alternativas, es necesario evaluar los sistemas necesarios para su funcionamiento, como es el sistema de orientación. Este sistema es necesario solo si el tipo de aerogenerador lo requiere, de ser necesario su implementación se deberá realizar, aumentando las condiciones de diseño.
- Rendimiento: conociendo que la velocidad de la zona para su implementación es de 4m/s, se deberá evaluar cuál es el diseño que mejor se adapte a este requerimiento y dé mejores resultados.
- Sistema de arranque: Debido a los parámetros de diseño, se requiere evaluar si los modelos seleccionados pueden empezar su trabajo con esas condiciones

- (velocidad) o si es necesario un sistema secundario que se encargue de poner en marcha el sistema.
- Velocidad de inicio: dados los sistemas seleccionados, es necesario revisar si bajo las condiciones de velocidad de la zona el sistema puede funcionar de manera óptima.
- Mantenimiento: el mantenimiento es clave para cualquier máquina, para este caso se evaluará la facilidad y disponibilidad para realizar este proceso.

Matriz scoring

Cuadro 8. Matriz scoring se lección de tipo de aerogenerador

	Potencia	Sistema de orientación	rendimiento	Sistema de arranque	Velocidad de inicio de giro	Mantenimiento
Savonius	2	5	3	5	3	4
Darreius-H	4	5	4	5	4	4
Eje horizontal	4	1	5	5	4	5

Fuente. elaboración propia

Luego de haber realizado la sumatoria en la matriz este fue el resultado:

Tabla 2. Ponderación del rotor

Ponderación final	
Savonius	22
Darreius-H	26
Eje horizontal	24

Fuente: elaboración propia

Luego de haber realizado el ponderado scoring se determinó que la mejor alternativa para el tipo de aerogenerador será el aerogenerador tipo Darreius.

3.3.2. Selección del tren de potencia. Para la selección del tren de potencia se realizó el mismo procedimiento que se hizo con el tipo de aerogenerador, una matriz de ponderación scoring y bajo los siguientes criterios:

- Espacio: Es necesario optimizar el espacio, por lo que se requiere un sistema que pueda transmitir de manera eficiente la potencia y de igual forma ocupe el menor espacio.
- Costo: Al evaluar la magnitud del proyecto es necesario que los costos sean lo más económico posible, gastos como mantenimiento, instalación, entre otros deberán ser reducidos sin llegar a la negligencia.

- Velocidad: Con este criterio se busca seleccionar la relación que mejor se adecúe para la transmisión de velocidad entre ejes.
- Duración: El sistema de transmisión deberá ser duradero y confiable, para prevenir paradas no programadas o algún percance que afecte el equipo.
- Alineamiento: Como el espacio de montaje del aerogenerador es reducido, se evaluará cómo el sistema de transmisión transmitirá la potencia y por tanto el alineamiento de los ejes será un factor determinante.
- Mantenimiento: en este ítem será evaluado el tiempo y la facilidad para realizar el mantenimiento sobre esta pieza

Matriz scoring

Cuadro 9. Matriz scoring selección de tren potencia

	Espacio	Costo	velocidad	duración	Alineamiento	mantenimiento
Sistema de Correas	3	2	3	2	3	3
Sistema de engranajes	5	4	4	4	3	5
Sistema de cadenas	4	2	4	4	4	2

Fuente. elaboración propia

Luego de haber realizado la sumatoria en la matriz este fue el resultado:

Tabla 3. ponderación sistema de potencia

Ponderación final	
Sistema de Correas	16
Sistema de engranajes rectos	25
Sistema de cadenas	20

Fuente. Elaboración propia

Con base en los resultados obtenidos, se tomó la decisión de elegir el sistema de transmisión de potencia por engranajes.

3.4. DISEÑO CONCEPTUAL

Para realizar el diseño detallado es necesario tener un concepto preliminar de cómo será el aerogenerador. Continuando con la idea anterior se realizará un diseño conceptual donde se indique el número de sistemas que lo componen, con cada una de sus partes y por ultimo un esquema general del aerogenerador.

El aerogenerador contara con 5 sistemas los cuales son:

Sistema de potencia: este sistema es el encargado de convertir la energía producida por el viento a energía mecánica, este sistema está compuesto por las siguientes partes:

- Alabes
- Brazo-enlace

Sistema de generación: su función consiste en convertir la energía mecánica producida por el movimiento del rotor a energía eléctrica, se compone de:

- Ejes de velocidad
- Sistema de engranes
- Generador eléctrico
- Rodamiento

Sistema de frenado: este sistema se encarga de controlar la velocidad con la cual gira el rotor, se compone de un freno de disco.

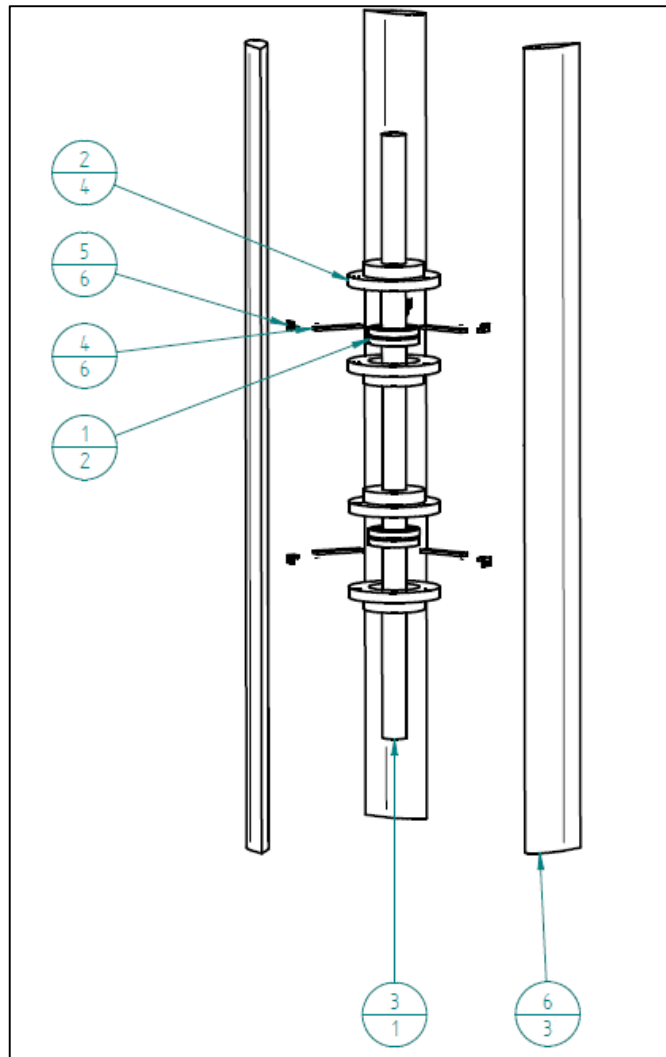
Sistema estructural: este sistema cumple con la función de soportar el aerogenerador, este sistema se compone de:

- Torre

Sistema de control: este sistema es el encargo de verificar y regular que los demás sistemas funcionen correctamente, este se compone de un regulador de velocidad, control del freno y sensor de nivel para el lubricante.

3.4.1. Esquema del aerogenerador. Para culminar, se mostrará un esquema general del aerogenerador con sus partes y cantidad de estas.

Imagen 20. Esquema aerogenerador darreius H



Fuente. Elaboración propia

Cuadro 10. Partes del aerogenerador

Número de elemento	Nombre archivo (sin extensión)	Autor	Cantidad
1	RODAMIENTO	ABERNAL	2
2	DISCO DE AMARRE	ABERNAL	4
3	EJE DE SOPORTE	ABERNAL	1
4	BRAZO	ABERNAL	6
5	ANGULO DE ENLACE	ABERNAL	6
6	ALABE NACA 0025	ABERNAL	3

Fuente. Elaboración propia

4. DISEÑO DETALLADO

A continuación, se realizará la descripción del diseño detallado del aerogenerador, el cual consistirá en una serie de cálculos para diseñar los componentes del aerogenerador, de igual forma se realizará la selección de diferentes componentes que completarán el diseño final.

4.1. SISTEMA DE POTENCIA

4.1.1. Cálculo del alabe. Para el diseño del aerogenerador es necesario conocer cuál es la velocidad del viento en la zona seleccionada (Unguia, Chocó), toda vez que el equipo deberá trabajar sobre estas condiciones. Al consultar los Atlas interactivos provenientes del IDEAM se determinó que la velocidad promedio anual con la cual se trabajará en la zona será de 4m/s^{21} . Anexo A.

- Rendimiento mecánico: En el aerogenerador existen múltiples formas que pueden generar pérdidas, como son: la transmisión de potencia por medio de los ejes, el movimiento de los alabes, el rozamiento en el tren de potencia, entre otras. Para este proyecto se tendrá en cuenta que las pérdidas mecánicas típicas (promedio) de un aerogenerador son del 10%²².
- Rendimiento eléctrico: Cuando se realiza la conversión de energía mecánica a energía eléctrica el proceso conlleva varias etapas, en las cuales se pierde parte de la energía final. Equipos como el generador o el cableado final, encargados de convertir la energía y transportarla, suelen presentar la mayor pérdida de energía. Para este proyecto se tendrá en cuenta que las pérdidas eléctricas típicas (promedio) de un aerogenerador son del 10%²³.
- Coeficiente de potencia: El coeficiente de potencia es un indicador que muestra con qué eficiencia el aerogenerador convierte la energía mecánica, producida por el viento, a energía eléctrica²⁴. Para determinar este coeficiente será necesario hacer uso de la imagen 15 (coeficiente de potencia), que presenta una relación entre la velocidad del viento y la curva entregada por el tipo de aerogenerador.

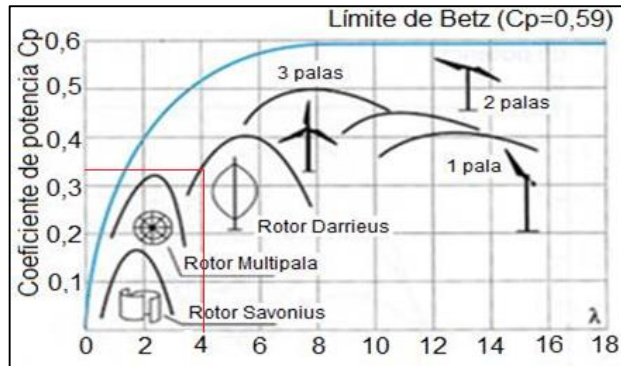
²¹ Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. [sitio web]. Colombia: Atlas de viento [Consulta: 6 abril 2019]. <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasVientos.html>

²²ESPITIA CAITA, CAROLINA. PUERTO MOLINA, LILIAN JOHANNA. Diseño y construcción de un mini aerogenerador de eje VERTICAL. Cajicá, 2014, 58P. Proyecto de grado (Ingeniero en mecatrónica. UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA. Facultad de ingeniería.

²³Ibíd. P.58

²⁴ CANDÍA SILVA, RODRIGO ANDRÉS. Metodología para cálculo de curva de potencia de turbina eólica de eje vertical. 2012, P33. Tesis (Magíster en Ciencias de la Ingeniería). PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE ESCUELA DE INGENIERÍA. Facultad de ingeniería.

Imagen 21. Coeficiente de potencia



Fuente. Elaboración propia

Dando un valor para el coeficiente de potencia de 0.32.

- Eficiencia: Como se mencionó en los parámetros, la relación para determinar la eficiencia está dada por la ecuación número 2, reemplazando con los valores de eficiencia mecánica, eficiencia eléctrica y coeficiente de potencia.

Ecuación 4: cálculo de la eficiencia del aerogenerador

$$\eta_i = (0.9)(0.85)(0.32)$$

El valor final de la eficiencia del aerogenerador será.

$$\eta_i = 0.245$$

4.1.2. **ÁREA DE BARRIDO:** El área de barrido se refiere a el área total que recorrerá lo alabes en su giro. Para determinar esta magnitud se requiere usar la siguiente ecuación:

Ecuación 5. Área de barrido

$$A = \frac{2P}{\eta v^3 \rho}$$

Fuente: VILLARUBIA LOPEZ, Miguel. Ingeniería de energía eólica, México: editorial Alfaomega, 2013, P.91. ISBN 978-958-778-232-5

Donde:

- A: Área de barrido (m^2)
- P: Potencia (w)
- η : Eficiencia global del aerogenerador
- v: velocidad del viento (m/s)
- ρ : densidad del viento (Kg/m^3)

Luego de haber obtenido la densidad se pasará a calcular el área de barrido del aerogenerador, reemplazando los valores previamente encontrados la ecuación será de la siguiente forma:

Ecuación 6: calculo área de barrido

$$A = \frac{2(9 * 10^3 w)}{(0.245) \left(4 \frac{m}{s}\right)^3 \left(1.15 \frac{Kg}{m^3}\right)}$$

Fuente. Elaboración propia

El valor final del área de barrido será de:

$$A = 7,98m^2$$

4.1.3. Diámetro del rotor. Con el fin de poder determinar el diámetro del rotor será necesario el uso de la siguiente ecuación:

Ecuación 7: Diámetro del rotor

$$D = \sqrt{\frac{A * 4}{\pi}}$$

Donde:

- D: diámetro del rotor (m)
- A: área de barrido (m²)

Resolviendo la ecuación.

Ecuación 8: cálculo del diámetro

$$\sqrt{\frac{7,98m^2 * 4}{\pi}} = 3.2m$$

4.1.4. Perfil del alabe: Los alabes o hélices son elementos críticos para el diseño del aerogenerador, esto se debe a que este elemento es el encargado de transmitir la energía producida por el viento a energía mecánica la cual finalmente será convertida en energía eléctrica.

Para seleccionar el perfil de manera adecuada se deben realizar simulaciones en túneles de viento, al no poseer este sistema se hará uso del software javafoil.

Con el fin de determinar el perfil adecuado es necesario revisar los siguientes criterios:

- Relación entre los coeficientes de arrastre y sustentación (C_l/C_d), se busca que esta proporción sea lo más cercana a 1.
- El ángulo de ataque debe estar en el rango entre 5 y 15 grados.
- El número de Reynolds (Re), debido a que el régimen de vientos es variable, es necesario conocer a que régimen de vientos estará sometido el alabe, para determinar el Reynolds será utilizada la siguiente ecuación;

Ecuación 9: número de Reynolds

$$Re = \frac{\rho * c * V}{\mu}$$

Fuente. MOTT. Robert. Mecánica de fluidos. p.230. [en línea]. 6ª. ed. México: Pearson educación., 2006. [Citado el 16 marzo de 2019]. Disponible en: <https://deymerg.files.wordpress.com/2013/07/mecanica-de-fluidos-robert-mott-6ta-edicion.pdf>

Donde:

- R = Número de Reynolds
- ρ = Densidad del aire (kg/m^3)
- V = Velocidad del viento (m/s)
- μ = Viscosidad dinámica tomada a los 31°C(PA*s)
- c = Longitud de cuerda del perfil (m)

4.1.5. Longitud de cuerda. Como indica la ecuación de Reynolds es requerido calcular la longitud de cuerda del alabe esta hace referencia a la distancia entre el borde de ataque y el borde de salida.

Para determinar este valor es necesario utilizar la siguiente expresión.

Ecuación 10: longitud de cuerda

$$c = \frac{A * \sigma}{N * BAR}$$

Fuente: VILLARUBIA LOPEZ, Miguel. Ingeniería de energía eólica, México: editorial Alfaomega.2013. P.89. ISBN 978-958-778-232-5

Donde:

- c : longitud de cuerda (m)
- A : Área de barrido (m^2)
- N : número de alabes
- BAR : relación de aspecto de alabe, este valor hace referencia a la proporción entre ancho del alabe con longitud de la cuerda
- σ : solidez

Para este caso se asignarán valores de BAR de 6 y solidez de 0.42.

Ecuación 11: Calculo longitud de cuerda

$$c = \frac{7.98\text{m}^2 * 0.42}{6\text{m} * 3}$$

Resultando:

$$c = 0,186\text{m}$$

Luego de haber calculado la longitud de cuerda se dará continuación con el cálculo de Reynolds con los siguientes valores;

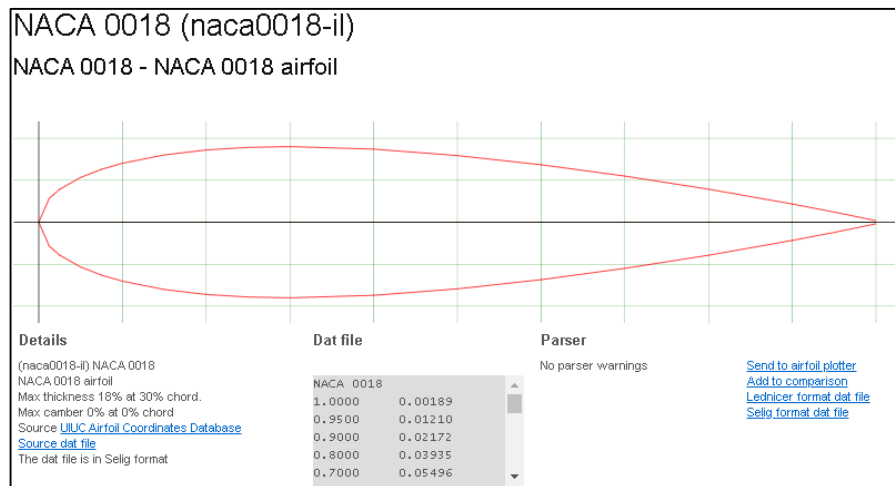
Ecuación 12: cálculo del número de Reynolds.

$$Re = \frac{1,15 * 0,186 * 4}{1,86 * 10^{-6}} = 460,000$$

Fuente. Elaboración propia

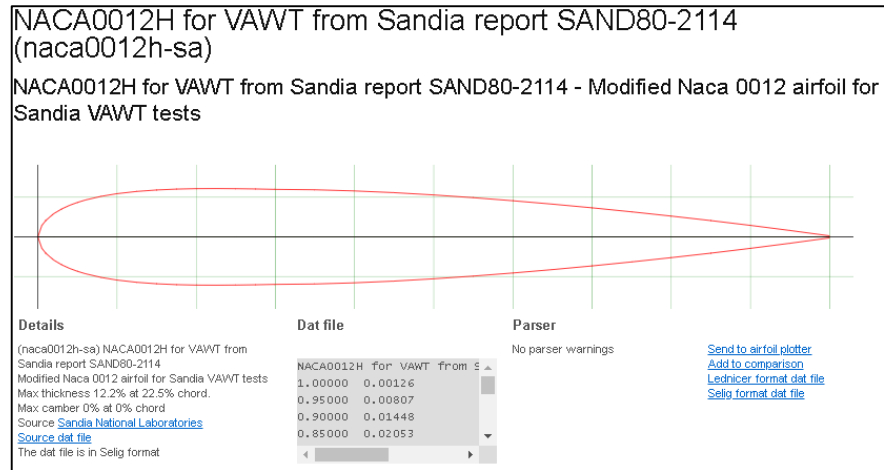
Posteriormente de haber realizado los cálculos anteriores, se continuará con la selección del perfil del alabe, para ello se ingresarán los datos de la longitud de cuerda y el número de Reynolds al software Airfoil Tools. Con estos valores el programa relaciona los perfiles que mejor se adapten a las condiciones dadas, y estos fueron los que mejores resultados dieron:

Imagen 22. Perfil NACA 0018



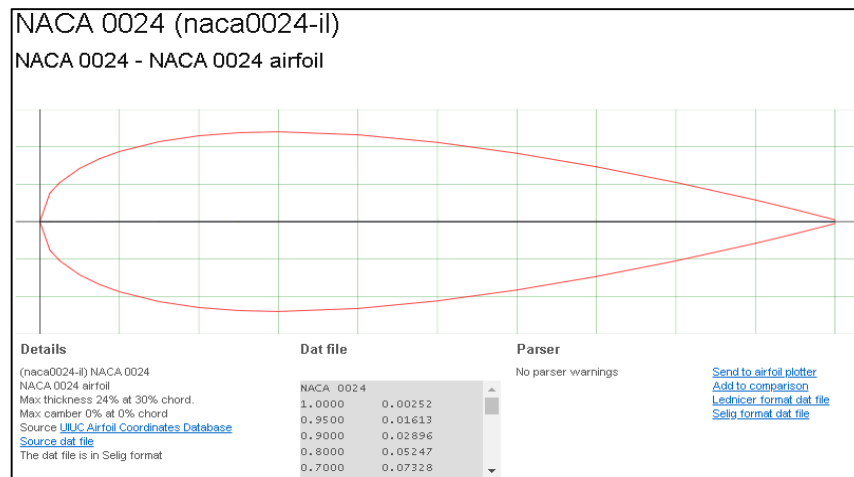
Fuente: AIRFOIL TOOLS. NACA 0018 (naca 0018-il). NACA 0018-NACA0018 airfoil. [en línea]. [Consultado: 22 mayo 2019]. Disponible en: <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=naca0018-il>

Imagen 23. Perfil NACA 0012



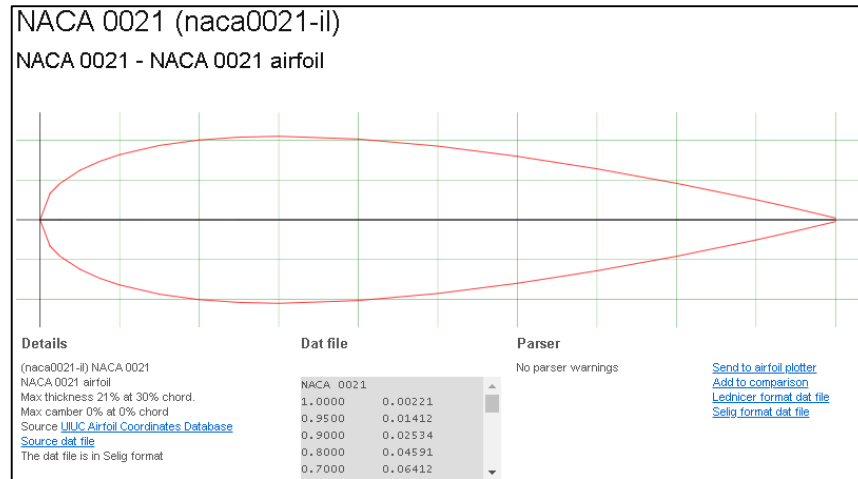
Fuente: AIRFOIL TOOLS. NACA0012H for VAWT from Sandia report SAND80-2114 (naca0012h-sa). NACA0012H for VAWT from sandia report SAND80-2114 – Modified Naca 0012 airfoil for Sandia VAWT tests. [en línea]. [Consultado: 22 mayo 2019]. Disponible en: <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=naca0012h-sa>

Imagen 24. Perfil NACA 0024



Fuente: AIRFOIL TOOLS. NACA0024 (naca0024-il). NACA 0024- NACA 0024 – NACA 0024 airfoil. [en línea]. [Consultado: 22 mayo 2019]. Disponible en: <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=naca0024-il>

Imagen 25. Perfil NACA 0021



Fuente: AIRFOIL TOOLS. NACA 0021 (naca0021-il). NACA 0021- NACA 0021 – NACA 0021 airfoil. [en línea]. [Consultado: 22 mayo 2019]. Disponible en: <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=naca0021-il>

Cuadro 11. Perfiles seleccionados por Airfoil tolls

Tipo de perfil	Cl/Cdmax	Angulo de ataque
NACA 0018	76,9	8
NACA 0024	91,3	8
NACA 0021	33,3	10
NACA 0012	59,20	19

Fuente. Elaboración propia

Teniendo en cuenta los aspectos descritos el perfil seleccionado será el NACA 0024, debido a que su relación Cl/Cd es cercana a 1 y su ángulo de ataque está en el rango seleccionado.

4.1.2. Diseño del brazo- enlace. Debido a la forma en la cual se ubican los alabes en el aerogenerador, es necesario implementar un elemento que cumpla la función de sujetar y permitir el giro de los ejes de manera óptima.

Los brazos- enlace serán los encargados de cumplir esta función, éstos estarán ubicados sobre los discos junto al eje. Con el propósito fin de mantener los costos al mínimo, se utilizarán láminas comerciales de aluminio 6061, las cuales se consiguen de 5mm de espesor y una longitud de 1 pulgada, su longitud estará ligada con el diámetro del rotor calculado en la ecuación número 7.

El material seleccionado presenta una gran resistencia a las cargas a las cuales estará sometida el eje, además de ser ligero y no genera concentraciones de esfuerzos adicionales.

4.2. SISTEMA DE GENERACIÓN

4.2.1. Diseño del eje. Este elemento será el encargado de la unión del rotor del aerogenerador, formado por los alabes y el sistema de transmisión. El componente estará anclado en la parte inferior por un rodamiento de sujeción. El montaje se realiza con la intención de que el eje quede en voladizo para de esta forma facilitar el mantenimiento del mismo²⁵.

De igual forma la parte inferior del eje se encuentra conectado a un engranaje que tiene como función transmitir la potencia a otro engranaje éste a su vez se conectará con el generador.

Para calcular el diámetro mínimo del eje será necesario el uso de la siguiente expresión.

Ecuación 13: diámetro mínimo del eje

$$d = \left[\frac{32 * n}{\pi S_y} \left(M^2 + \frac{3T^2}{4} \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Fuente. SHIGLEY, Edward Joseph. Diseño en ingeniería mecánica, México: editorial McGRAW-HILL, 2008, P.357. ISBN 978-0-07-312193-2

Donde:

- d: diámetro mínimo del eje (m)
- n: factor de seguridad
- T: par torsional (Nm)
- S_y : esfuerzo ultimo del material (Pa)
- M: momento flector (Nm)

- Velocidad angular. Para el diseño del eje de baja velocidad se requiere determinar a qué velocidad angular el eje trabajará, para ello se requiere de la siguiente ecuación:

Ecuación 14: velocidad de rotación del rotor

$$n = \frac{60Hz(\lambda)(v)}{2(\pi)(r)}$$

Fuente: VILLARUBIA LOPEZ, Miguel. Ingeniería de energía eólica, México: editorial Alfaomega, 2013, P.121. ISBN 978-958-778-232-5

²⁵ ORDUZ BERDUGO, OSCA IVÁN. SÚAREZ PEREZ, JULIAN EDGARDO. Diseño y construcción de un prototipo de turbina eólica de eje vertical para generación a baja potencia. 2011, P103. trabajo de grado (Ingeniero mecánico). Universidad industrial de Santander. Facultad de ingeniería.

Donde:

v: velocidad del viento en el rotor (m/s)

r: radio del rotor (m)

n: Velocidad de giro del rotor (rpm)

λ : El valor de lambda es una constante la cual depende del tipo de aerogenerador y la cantidad de palas que este tenga. Para determinar el valor será necesario el uso de la siguiente gráfica.

Al ser un aerogenerador de tres palas el coeficiente lambda será igual a 6.
Remplazando los valores en la ecuación.

Ecuación 15: Calculo de rotación del rotor

$$n = \frac{60Hz(6)(4\frac{m}{s})}{2(\pi)(2.1m)}$$

Resultando:

$$n = 47.74rpm$$

➤ Par torsor

Lo siguiente será determinar el par torsor el cual será sometido el eje, para ello se usa la siguiente formula:

Ecuación 16: par torsor

$$T = \frac{63000P}{n}$$

Fuente. SHIGLEY, Edward Joseph. Diseño en ingeniería mecánica, México: editorial McGRAW-HILL,2008, P.382. ISBN 978-0-07-312193-2

Donde:

T: Torque (Nm)

P: potencia (HP)

n: velocidad de diseño (rpm)

Conociendo estas condiciones se realiza las respectivas conversiones dando los siguientes valores, una potencia de 12,06Hp y una velocidad de diseño de 109.13rpm.

Remplazando en la ecuación:

Ecuación 17: cálculo del par torsor

$$T = \frac{63000 * 12,06 Hp}{47.74rpm}$$

Dando un valor de:

$$T = 1266.3lb * in$$

Este par torsor es necesario convertirlo a unidades internacionales (Nm)

Ecuación 18: conversión de unidades

$$T = (6962.15lb * in) * \left(\frac{0.0254m}{1in}\right) \left(\frac{1N}{0.224lb}\right)$$

resultando:

$$T = 143.58N * m$$

➤ Fuerza aerodinámica

Para calcular el diámetro del eje es necesario determinar la fuerza que ejerce el fluido sobre el alabe y la fuerza que esta transmite al eje. Esta fuerza se conoce como fuerza aerodinámica y se conoce como la resultante entre la fuerza de sustentación y la fuerza de arrastre.

Fuerza de arrastre:

Ecuación 19: fuerza de arrastre

$$F_d = C_D \left(\frac{\rho v^2}{2}\right) A$$

Fuente: VILLARUBIA LOPEZ, Miguel. Ingeniería de energía eólica, México: editorial Alfaomega,2013, P.105. ISBN 978-958-778-232-5

Donde:

- C_D = coeficiente de arrastre (valor suministrado por javafoil 0.02)
- ρ = densidad (Kg/m³)
- V = velocidad relativa (m/s)
- A = área característica del cuerpo (m²)

Debido a que el alabe se encontrará inicialmente en reposo, se asumirá la velocidad relativa como la velocidad absoluta (4m/s), esto con el fin de someter el alabe a la condición de velocidad máxima. Por otro lado, el área del cuerpo será tomada del modelo CAD realizado en el programa de SOLID EDGE, esta área tendrá un valor de 1.05m².

Remplazando los valores y resolviendo la ecuación dará el siguiente resultado

Ecuación 20: Calculo de fuerza de arrastre

$$F_D = 0.02 * \frac{1.15 * 4^2}{2} * 1.2 = 0.19N$$

Para la fuerza de sustentación (F_L) se realizará el mismo procedimiento que en la fuerza de arrastre, la única variable para cambiar será el coeficiente de arrastre (C_D) por el coeficiente de sustentación (C_L) de igual forma este coeficiente será suministrado por el software javafoil (1.80). dando de esta forma un valor de 69.552N la fuerza de sustentación.

Luego de haber obtenido las fuerzas de sustentación y arrastre se dará el cálculo de la fuerza aerodinámica, esta fuerza será calculada mediante el teorema de Pitágoras, debido a que esta es la sumatoria vectorial de las dos fuerzas previamente calculadas.

Ecuación 21: fuerza aerodinámica

$$F_A = \sqrt{(F_D)^2 + (F_L)^2}$$

Donde:

- F_A : fuerza aerodinámica (N)
- F_D : fuerza de arrastre (N)
- F_L : fuerza de sustentación (N)

Remplazando los valores y calculando el valor de la fuerza aerodinámica:

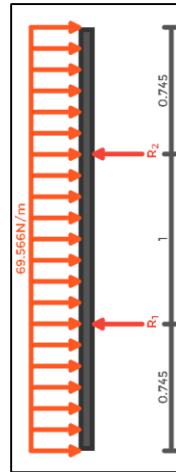
Ecuación 22: cálculo de la fuerza aerodinámica

$$F_A = \sqrt{(0.77\text{N})^2 + (69.552\text{N})^2} = 69.566\text{N}$$

Al haber determinado el valor de la fuerza aerodinámica se continuará con la realización de las gráficas de esfuerzo cortante y momento flector, para llevar a cabo esto se deberá realizar un diagrama de cuerpo libre el cual indique de qué forma estarán situados las fuerzas transmitidas al eje.

Para ello se realizaron un diagrama de cuerpo libre sobre el alabe, y de este modo determinar que reacción genera sobre los brazos. Este análisis se realizó tomando el alabe como una viga horizontal apoyada en dos puntos los cuales hacen referencia a los brazos del aerogenerador.

Imagen 26. Diagrama de cuerpo libre del alabe



Fuente. Elaboración propia

Al haber realizado el diagrama se deberá volver la carga distribuida en una carga puntual y de este modo encontrar las reacciones, para ello se usará la siguiente formula.

Ecuación 23. Carga puntual

$$F_T = F_A h$$

Donde:

- F_T : Carga puntual (Nm)
- F_A : fuerza aerodinámica (N)
- h : altura del alabe (m)

Remplazando los valores y resolviendo la ecuación se determina el valor de la fuerza total.

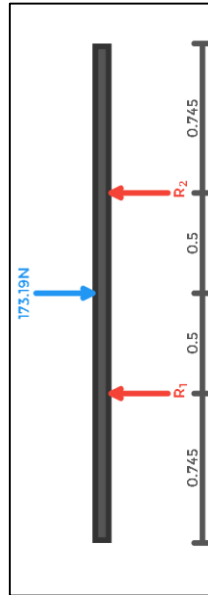
Ecuación 24. Calculo fuerza total

$$F_T = 69.566 \text{ N} * 2.49 \text{ m} = 173.194 \text{ Nm}$$

Fuente. Elaboración propia

Al haber obtenido la carga puntual sobre el alabe se realizó un nuevo diagrama de cuerpo libre.

Imagen 27. Diagrama de fuerza centrada



Fuente. Elaboración propia

Luego de realizar el diagrama se utilizará el método de sumatorias de fuerzas y momentos para encontrar el valor de las reacciones. Al no existir carga en el eje Y se asumirá como 0 esta carga.

Ecuación 25. Sumatorias de fuerzas en el eje X

$$\sum Fy = 0$$
$$Fa - R1 - R2 = 0$$

Donde:

- Fa: fuerza aerodinámica (N)
- R1: reacción numero 1(N)
- R2: reacción número (2)

Como no se conoce el valor de las reacciones R1 y R2 es necesario realizar las sumatorias de momentos, este se realizará sobre la reacción numero 1 (R1).

$$\sum MR1 = 0$$
$$Fa(l1) - R2(l2) = 0$$

Donde:

- L1: longitud desde la fuerza aerodinámica hasta la reacción 1

➤ L2: longitud desde la reacción 2 hasta la reacción 1

Remplazando en la ecuación:

$$173.19N(0.5m) - R2(1m) = 0$$

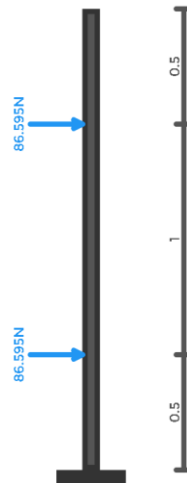
$$\frac{173.19N(0.5m)}{1m} = R2$$

$$R2 = 86.595N$$

Luego de haber obtenido la reacción número 2 se despejará en la ecuación número 25 y se calculará el valor de la reacción número 1 (R1) dando un valor de 86.595N.

Finalmente se realizará el diagrama de cuerpo libre sobre el eje, para este diagrama se tomará las reacciones previamente calculadas como fuerzas que actúan sobre el mismo, estas tendrán una magnitud igual a las reacciones, pero en sentido contrario y en la base se pondrá una restricción de empotramiento como lo indican los proyectos de diseño para aerogeneradores²⁶.

Imagen 28. Diagrama de cuerpo libre

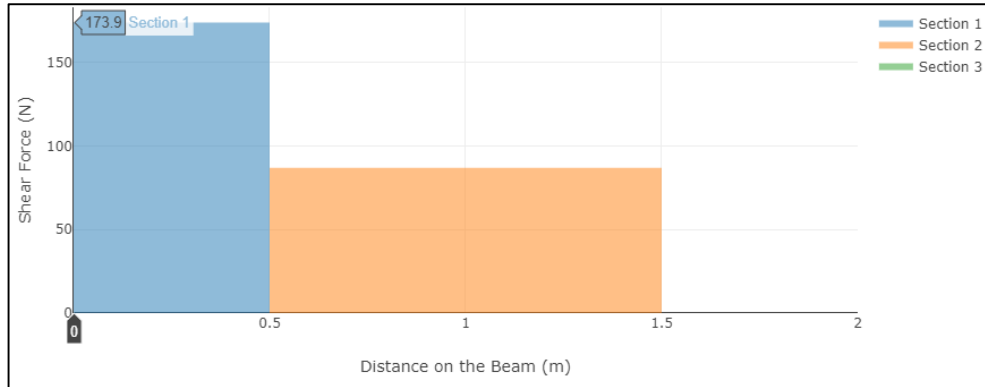


Fuente. Elaboración propia

Finalmente, se realizará los diagramas de esfuerzo cortante y momento flector para el eje.

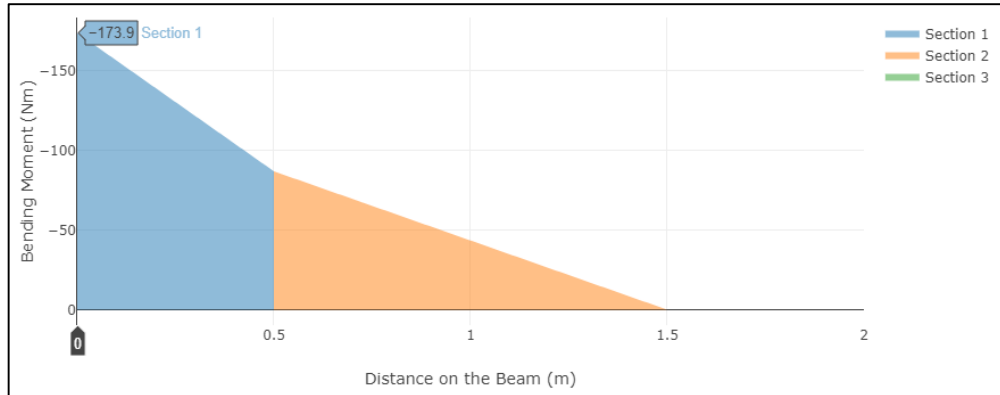
²⁶ *Ibíd.* P.106

Imagen 29. Diagrama esfuerzo cortante



Fuente. Elaboración propia con base en el software Viga-Online

Imagen 30: Diagrama momento flector



Fuente. Elaboración propia con base en el software Viga-Online

Luego de haber obtenido el momento máximo al que está sometido el eje, se dará paso al cálculo del diámetro mínimo.

Remplazando los valores en la ecuación 8:

Ecuación 26. Calculo del diámetro mínimo del eje

$$d = \left[\frac{32 \cdot 2}{\pi \cdot 69000} \left(173.9^2 + \frac{3 \cdot 143.58^2}{4} \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}} = 0.39m$$

Fuente. Elaboración propia

$$d = 0.39m$$

Para fines de diseño se aumentará el diámetro del eje a 0.4m.

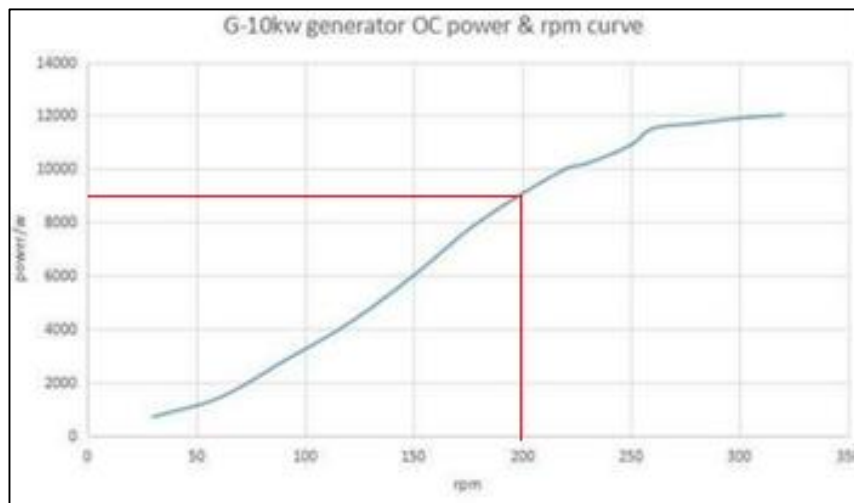
4.2.2. Selección del generador. El generador seleccionado debe cumplir con las condiciones mínimas de potencia nominal de 9Kw, voltaje de 220V y que trabaje a una frecuencia de 60Hz.

Conociendo estos requerimientos se seleccionó el generador de la marca Neture modelo SHJ-NEG10KW. Anexo H

Este modelo posee las siguientes características:

- Carcasa de aluminio
- Bajo par de arranque
- Transmisión directa
- Fácil instalación y mantenimiento

Imagen 31. Relación de velocidad potencia



Fuente: Made in china. [sitio web]. 10kw AC220V 200rpm bajas rpm generador de imanes permanentes. [Consulta: 17 febrero 2019]. Disponible en: https://es.made-in-china.com/co_cctvcamerachina/product_10kw-AC220V-200rpm-Low-Rpm-Rpm-Permanent-Magnet-Generator_eyhornerg.html

4.2.3. Multiplicador de potencia

Como se indica en la imagen 24 se requiere una velocidad de 200 rpm para generar los 9Kw, al no generar la velocidad necesaria con el giro del rotor (47.47 rpm), se

necesita un sistema que aumente esta velocidad, para ello será necesario el uso del sistema de multiplicación por engranes.

Para empezar, es necesario determinar la relación de velocidades necesaria entre los engranes, para ello se usará la siguiente expresión:

Ecuación 27: relación de transmisión de potencia

$$i = \frac{n_2}{n_1}$$

Fuente. SHIGLEY, Edward Joseph. Diseño en ingeniería mecánica, México: editorial McGRAW-HILL,2008, P.659. ISBN 978-0-07-312193-2

Donde:

- i: relación de transmisión
- n_2 : velocidad de salida
- n_1 : velocidad de entrada

Se reemplaza y se resuelve la ecuación.

Ecuación 28. Calculo de transmisión de potencia

$$i = \frac{200\text{rpm}}{47.74\text{rpm}} = 4.19$$

Posteriormente de haber encontrado la relación de velocidades se dará paso al cálculo de dientes de los engranes. Para ello será recurrirá a la literatura de diseño en maquinaria de Robert Norton²⁷. En esta literatura indica que para empezar el cálculo es necesario determinar el número de dientes mínimo que tendrá el piñón,

²⁷ NORTON, Robert. Trenes de engranes. En: Diseño en maquinaria, 4^a, ed. México: editorial McGRAW-HILL,2009. 413-46. ISBN 978-970-10-6884-7

para ello se deberá determinar el ángulo de presión, para este proyecto se tomará un valor de 20°.

Al haber determinado el ángulo Norton nos indica la cantidad de numero de dientes mínima que deberá tener el piñón y la máxima cantidad que tendrá el engrane, en la tabla número 4, se mostrará la relación.

Tabla 4. Número máximo de dientes

numero de dientes del piñón	dientes de engrane máximo
17	1309
16	101
15	45
14	26
13	16

Conociendo que la relación de velocidad es la misma para el numero de dientes (4), la opción a seleccionar será un piñón de 16 dientes, posteriormente se calculó la cantidad de dientes del engrane dando un valor de 64 dientes.

Luego de haber determinado la cantidad de dientes de los engranes se determinará el modulo el cual gobernara sobre los engranes, para cuestiones de diseño y no sobredimensión se determinó un módulo estandarizado de 8.

Continuando, se calculará el diámetro primitivo de cada engranaje con la siguiente relación:

Ecuación 29: diámetro primitivo

$$dp = mZ$$

Fuente. SHIGLEY, Edward Joseph. Diseño en ingeniería mecánica, México: editorial McGRAW-HILL,2008, P.656. ISBN 978-0-07-312193-2

Donde:

- d_p : diámetro primitivo del engrane(mm)
- m : modulo (mm)
- Z : número de dientes

Una vez realizado el cálculo del diámetro primitivo estos fueron los resultados:

- Diámetro primitivo del piñón: 128mm
- Diámetro primitivo del engrane: 512mm

Para finalizar, en el cuadro número 9 se hará un listado resumiendo la información del sistema de potencia.

Cuadro 12. Detalles del sistema de potencia

	velocidad (rpm)	relación de transmisión	ángulo de presión	numero de dientes	modulo (mm)	diámetro primitivo(mm)
engrane	47,74	4	20	64	8	512
piñón	200	4	20	16	8	128

Fuente. Elaboración propia

4.2.4. Rodamiento

Para realizar el diseño del aerogenerador es necesario la selección de un elemento muy importante como es el rodamiento.

Este elemento permite el movimiento entre los discos de amarre, los brazos y el eje del aerogenerador.

El tipo de rodamiento con el cual trabajará el aerogenerador será un rodamiento de rodillos cruzados de la empresa SCHAEFFLER del tipo SX011880.

4.3. SISTEMA DE FRENADO

4.3.1. Cálculo del freno. Para los aerogeneradores es requerido la implementación de un sistema el cual regule la velocidad y detenga el aerogenerador en caso de ser necesario, este suele ser un freno de disco mecánico. Para seleccionar el freno será necesario recurrir a catálogos de fabricantes y de este modo determinar los parámetros para su selección.

Como base para la selección se consultó el catálogo de la empresa francesa "Stromag", la cual indica que es requerido determinar el torque con cual trabajara el freno, para ello será necesario multiplicar el torque del rotor (143.58Nm), por el factor de seguridad en este caso 2, dando un valor de 287.16Nm.

Lo siguiente será determinar el diámetro exterior del freno, para ello será necesario recurrir a la literatura “diseño en ingeniería mecánica de Shigley”, ²⁸la cual nos indica que para calcular el diámetro exterior ser necesario hacer uso de la siguiente expresión:

Ecuación 30. Diámetro exterior del freno

$$D = \sqrt[3]{\left(\frac{12 * T}{\pi * f * Pa}\right) + d^3}$$

Fuente. SHIGLEY, Edward Joseph. Diseño en ingeniería mecánica, México: editorial McGRAW-HILL,1978, P.621. ISBN 968-6045-09-7

Donde:

- D: diámetro exterior (m)
- T: torque del freno (Nm)
- Pa: presión máxima del freno (N/m²)
- d: diámetro interior del disco (m)
- f: coeficiente de fricción

Para el diámetro mínimo será utilizado el diámetro calculado en el eje (40mm), y para los valores de presión máxima y coeficiente de fricción se recurrirá de igual forma a la literatura “diseño en ingeniería mecánica de Shigley” esta nos provee del siguiente cuadro:

Cuadro 13. Materiales de fricción para embragues

Superficies de contacto	Coeficiente de fricción	Temperatura máxima (F°)	Presión máxima (lb/plg ²)	Costo relativo	Comentarios
Asbesto moldeado	0.2- 0.5	500	50 - 150	Muy bajo	Amplio campo de aplicaciones

Fuente. Elaboración propia con base en: SHIGLEY, Edward Joseph. Diseño en ingeniería mecánica, México: editorial McGRAW-HILL,1978, P.627. ISBN 968-6045-09-7

Se remplazan los valores y se resuelve la ecuación.

Ecuación 31. Calculo del diámetro exterior

$$D = \sqrt[3]{\left(\frac{12 * 287.16Nm}{\pi * 0.4 * 344738Pa}\right) + 0.4m^3} = 0.41m$$

²⁸ SHIGLEY, Edward Joseph. Embragues, frenos y acoples. En: Diseño en ingeniería mecánica, 2ª, ed. México.: McGRAW-HILL,1978. 602-634. ISBN 968-6045-09-7

Luego de haber obtenido el diámetro exterior se deberá calcular la fuerza de frenado con la siguiente expresión:

Ecuación 32: Fuerza de frenado

$$F = \frac{\pi * Pa}{4} * (D^2 - d^2)$$

Fuente. SHIGLEY, Edward Joseph. Diseño en ingeniería mecánica, México: editorial McGRAW-HILL, 1978, P.621. ISBN 968-6045-09-7

Ahora se remplazará los valores y se calculará la fuerza de frenado.

Ecuación 33. Calculo de fuerza de frenado

$$F = \frac{\pi * 344738Pa}{4} * (0.41m^2 - 0.4m^2) = 2193.12N$$

Fuente. Elaboración propia

Por último, se buscará en catálogos un freno que cumpla con estas condiciones:

Tabla 5. Características del freno

Sistema del freno	Freno de disco
Torque del freno	287.16 Nm
Fuerza de frenado	2193.12 N
Presión máxima	75 psi

Fuente. Elaboración propia

El freno seleccionado, es un freno de disco hidráulico de la serie SBD17-G, de la empresa HUAWU, para mayor información revisar el anexo F.

4.4. SISTEMA ESTRUCTURAL

4.4.1. Torre. Es necesario para el correcto funcionamiento del aerogenerador cumplir con los requerimientos dados por el IDEAM29, los cuales indican que para un correcto funcionamiento del aerogenerador, el mismo debe estar situado a una altura de 10m.

Para el proyecto del aerogenerador se implementará una torre tubular cónica con láminas de acero ASTM A572, este acero es utilizado para la fabricación de estructuras y elementos que deban resistir grandes esfuerzos. Teniendo en cuenta lo anterior se recurrió a la empresa Metaza la cual provee el material con las siguientes dimensiones:

²⁹Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. [sitio web]. Colombia: Atlas de viento [Consulta: 22 mayo 2019]. Disponible en :<http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasVientos.html>

Imagen 32. Dimensiones del material ASTM A572

Presentación	Dimensiones		Espesores (mm)
	Ancho (mm)	Largo (mm)	
Rollo	1,000 - 1,200 - 1,220	-	Desde 1.50 hasta 6.00
Lámina	1,000 - 1,200 - 1,220	2,000 - 2,400 - 2,440	Desde 1.50 hasta 9.00
Aceitada y Decapada	1,220	2,440	Desde 2.00 hasta 6.00
Planchas	1,830 - 2,440	6,100	Desde 4.50 hasta 50.00

Fuente: METAZA. [sitio web]. Acero hot rolled. [Consulta: 1 noviembre 2019]. Disponible en: <https://metaza.com.co/productos-industria/acero-hot-rolled/>

Para el proyecto se implementarán 5 planchas de 2440 mm para de este modo tener una altura de 11200 mm la cual supera los 10m mínimos requeridos.

Posteriormente, se determinarán las dimensiones para su cimentación y diámetros de la misma para ello se tomaron diferentes proyectos de aerogeneradores construidos³⁰ y se determinó que para el diámetro de la parte superior será de 500mm y el de la parte inferior será de 1000mm.

Luego de haber determinado las dimensiones de las secciones se dará paso a realizar el cálculo de las fuerzas que el viento ejerce sobre ellas, para este proceso se realizará el cálculo de cada sección por separado con ayuda de la siguiente ecuación.

Ecuación 34: Fuerza ejercida por el viento sobre la estructura

$$Fvt = Aat * Pv$$

Donde:

- Fvt: mayor fuerza que ejerce el viento sobre la sección
- Aat: proyección del área del frente de ataque
- Pv: presión ejercida por el viento

Para la proyección del área se determinará partir de la siguiente expresión.

Ecuación 35: Área proyectada sobre la torre

$$Aat = \pi * (r + R) * g$$

Donde:

- r: radio menor de la sección (m)
- R: radio mayor de la sección (m)
- g: hipotenusa del triángulo formado (m), el cual está dado por la altura total de la torre y la diferencia de radios.

³⁰ DISEÑO Y CÁLCULO DE LA TORRE Y LA CIMENTACIÓN DE UN AEROGENERADOR, IÑAKI NÚÑEZ AYALA escuela universitaria de ingeniería técnica industrial de Bilbao pg. 73

Ecuación 36: Calculo de la hipotenusa

$$g = \sqrt{(11.2m)^2 + (1m + 0.9m)^2} = 11.36m$$

Luego de haber obtenido el valor de la hipotenusa se dará paso al cálculo de la proyección del área.

Ecuación 37. Calculo del área proyectada

$$Aat = \pi (1m + 0.9m) * 11.2m = 66.85 m^2$$

Para determinar la presión que ejerce el viento sobre la torre será dada por la siguiente expresión:

Ecuación 38. Presión que ejerce el viento sobre la torre










$$Pv = \frac{Cd * \rho * v^2}{2}$$

Donde:

- ρ : Densidad de viento (Kg/m³)
- v : velocidad del viento (m/s)
- Cd: coeficiente aerodinámico de resistencia al avance³¹, este coeficiente depende de la sección a la cual estará expuesta al viento. Para determinar este coeficiente se tomará la sección como un semi círculo, dando un valor de 0.42 como lo indica la siguiente imagen

³¹ZONAGRAVEDAD. [sitio web]. Aerodinámica: Resistencia [Consulta:1 noviembre 2019].
Disponible: <http://www.zonagravedad.com/modules.php/modules.php?name=News&file=print&sid=776>

Imagen 33 Coeficiente aerodinámico

Shape	Drag Coefficient
Sphere → 	0.47
Half-sphere → 	0.42
Cone → 	0.50
Cube → 	1.05
Angled Cube → 	0.80
Long Cylinder → 	0.82
Short Cylinder → 	1.15
Streamlined Body → 	0.04
Streamlined Half-body → 	0.09

Measured Drag Coefficients

Fuente Aerodinámica: Resistencia. [sitio web]. España: [Consulta: 1 noviembre 2019]. Disponible en: <https://www.zonagravedad.com/modules.php?name=News&file=print&sid=776>

Ecuación 39. Calculo de la presión de viento

$$P_v = \frac{0.42 * 1.15 \frac{Kg}{m^3} * \left(4 \frac{m}{s}\right)^2}{2} = 3.864 \frac{N}{m^2}$$

Final mente se realizará el cálculo de le fuerza ejercida por el viento.

Ecuación 40. Calculo de la fuerza sobre la sección

$$F_{vt} = 67.8m^2 * 3.864 \frac{N}{m^2} = 258.32 N$$

Este proceso será realizado para cada una de las secciones que componen la torre. Cada uno de estos valores resultantes se mostrará en la siguiente tabla:

Tabla 6. Fuerza de viento sobre las secciones

h(m)	v(m/s)	R(m)	r(m)	g(m)	A(m2)	P(N/m2))	F(N)	
2.24	4	4	1	0.9	11.36	66.85	3.864	258.32
4.48	4	4	0.9	0.8	11.33	59.82	3.864	231.13
6.72	4	4	0.8	0.7	11.30	52.78	3.864	203.94
8.96	4	4	0.7	0.6	11.28	45.74	3.864	176.75
11.2	4	4	0.6	0.5	11.25	38.70	3.864	149.55

Fuente. Elaboración propia

4.5. SISTEMA DE CONTROL

Como se mencionó en el numeral 3.4, este sistema se encarga de regular y controlar que los diferentes componentes del aerogenerador funcionen de forma correcta. Para llevar a cabo esta tarea será necesario el uso de diferentes sensores los cuales serán:

Sensor de desplazamiento de turbina eólica: También conocido como sensores de corriente Eddy o sensores de corriente Foucault, cumplen con la función de garantizar el monitoreo sobre el movimiento axial y radial del eje.

Este será un sensor laser de la serie WENGLOR PNBC001, este modelo posee un rango de hasta 4mm, en caso de presentar alguna irregularidad este sensor enviará una señal analógica el cual mediante un testigo informará al operario y este tomará la medida correctiva.

Imagen 34. Sensor laser de la serie WENGLOR



Fuente. SENSING. Sensores de medida. En: SENSING. [sitio web]. España: [Consulta: 3 septiembre 2019]. Disponible en: <https://sensores-de-medida.es/catalogo/laser-para-aplicaciones-muy-dinamicas/>

Acelerómetro de turbina: este sensor mide los cambios en la velocidad del viento, se suele utilizar para monitorear las vibraciones que genera el cuerpo al girar, este también permite determinar la velocidad con la cual gira el rotor.

Se utilizará un acelerómetro de la serie CMSS797 de la serie SFK, este sensor es utilizado en la industria de la energía eólica debido a su gran versatilidad y rango de uso.

Esta ira sensor ira conectado al freno monitoreando las vibraciones que esté presente al igual que la velocidad con la que el eje deberá girar.

Sensor de temperatura: el sensor de temperatura se suele utilizar en partes donde el aumento de temperatura sea una alerta de posible falla, elementos como engranes o generador serán donde este elemento sea utilizado.

Este sensor será un termo par tipo k, este sensor permite medir temperaturas entre los 0 a 400 grados centígrados, con este sensor se contralará la temperatura del generador y la caja de potencia en caso de aumento de temperatura se informará mediante testigos al operario y con cámara termografía se evaluará el problema.

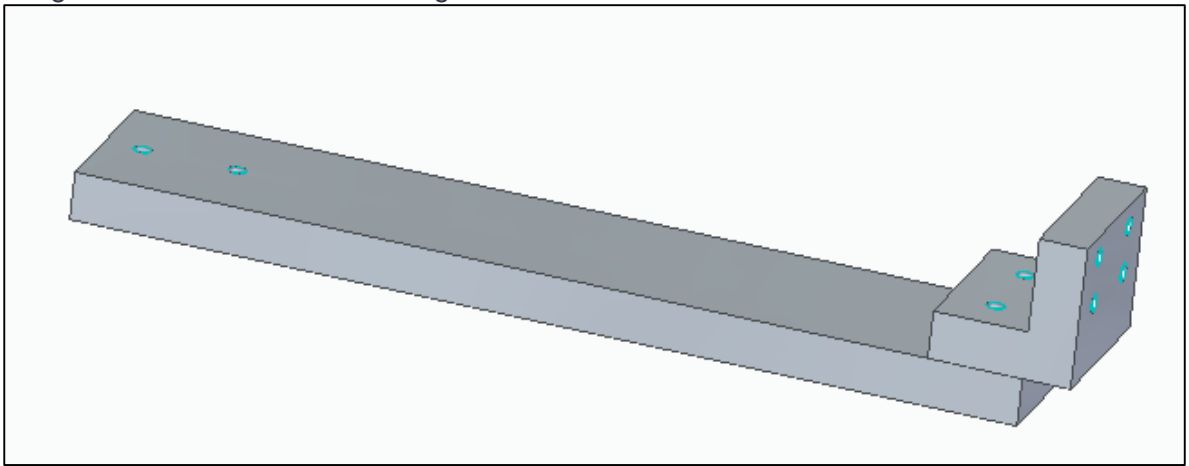
Como medida de seguridad será necesario el uso del sistema de frenado junto con el acelerómetro, este último servirá como indicador de velocidad para el accionamiento del freno, en caso de sobre pasar la velocidad máxima permitida el freno deberá parar la marcha del rotor para de este modo evitar posibles fallos. De igual forma este sistema contará con el uso de un freno de emergencia, este solo será accionado en casos especiales los cuales serán explicados en el manual de operación.

5. SIMULACIÓN DE ELEMENTOS FINITOS

Con el análisis de elementos finitos, se realizará una validación de la resistencia mecánica de los elementos cuyo diseño sea crítico para el aerogenerador. Para llevar a cabo esta tarea se implantará el software NX, SIEMENS, este programa permite simular los esfuerzos mecánicos a los que estarán sometidas las piezas Diseñadas en el software SOLID EDGE.

Continuando con lo anterior, se determinó que la pieza a simular será el ensamble compuesto del brazo y el ángulo de enlace, esta pieza es considerada crítica puesto a que su función de unir el disco de amarre con el alabe y es crucial para el diseño.

Imagen 35. Ensamble brazo – ángulo de enlace



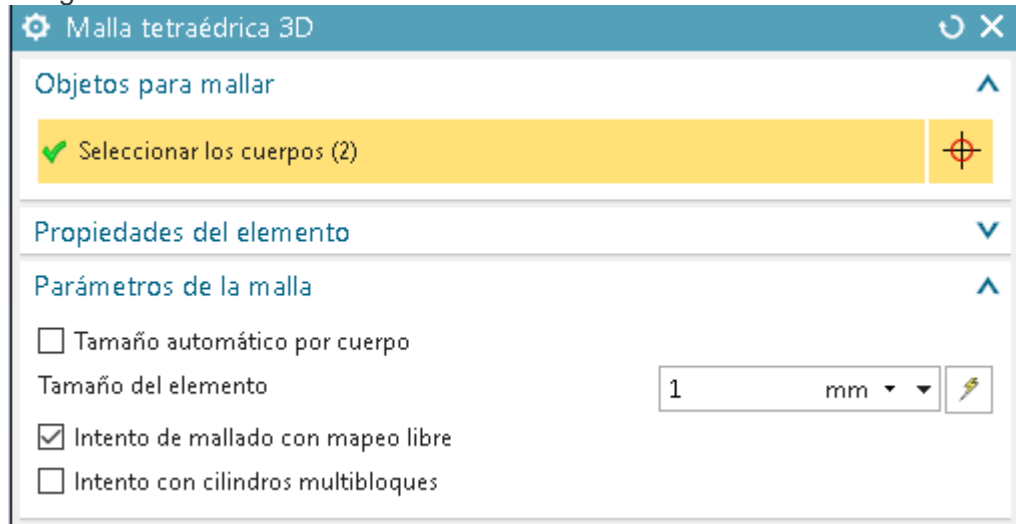
Fuente. Elaboración propia

Para llevar a cabo la simulación fue necesario importar la pieza al software Nx con el cual se realizará dicha tarea.

Lo siguiente fue realizar un enmallado para esta pieza, esta fue realizada con las siguientes condiciones;

- Se utilizaron elementos tetraédricos, esto debido a que este tipo de elemento presenta mejores resultados y un mejor posicionamiento de la malla.
- Como parámetro de malla se determinó que el mejor tamaño para los elementos sería de 1mm, esto con el fin de no sobre dimensionar la malla y asegurar unos resultados confiables.

Imagen 36. Diseño del enmallado



Fuente. Elaboración propia

Luego de haber generado la malla en la pieza se continuará con la selección del material, estas piezas serán diseñadas en aluminio 6061³², el cual posee las siguientes propiedades físicas

Imagen 37. Propiedades del aluminio 6061

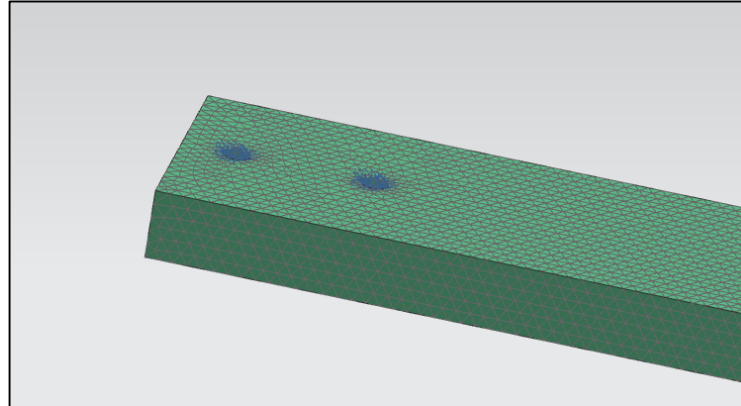
Densidad [gr/cm ³] ^o	2.7	Coef. De dilatacion (0 a 100oC) [oC-1 x 10 ⁶]	23.6
Rango de fusion [oC]	575-650	Conductividad Termica (0 a 100 oC) [W/m oC]	Temple T6: 167
Modulo de elasticidad [MPa]	69500	Resistividad a 20 oC [μOcm]	Temple T6: 4.0
Coefficiente de Poisson	0.33	Calor especifico (0 a 100 oC)	940

Fuente: ALUMINIO Y METALES UNICORNIO. [sitio web]. Aluminio 6061 [Consulta: 23 abril 2019]. Disponible en: <http://www.aluminiosymetalesunicornio.com.mx/6061.html>

³²Metales unicornio. [sitio web]. Aluminio 6061 [Consulta:14 abril 2019]. Disponible <http://www.aluminiosymetalesunicornio.com.mx/6061.html>

A continuación, se darán las condiciones de contorno con las cuales se realizará la simulación. Como primera medida se dará una restricción de empotramiento en los agujeros los cuales conectaran con el disco de amarre.

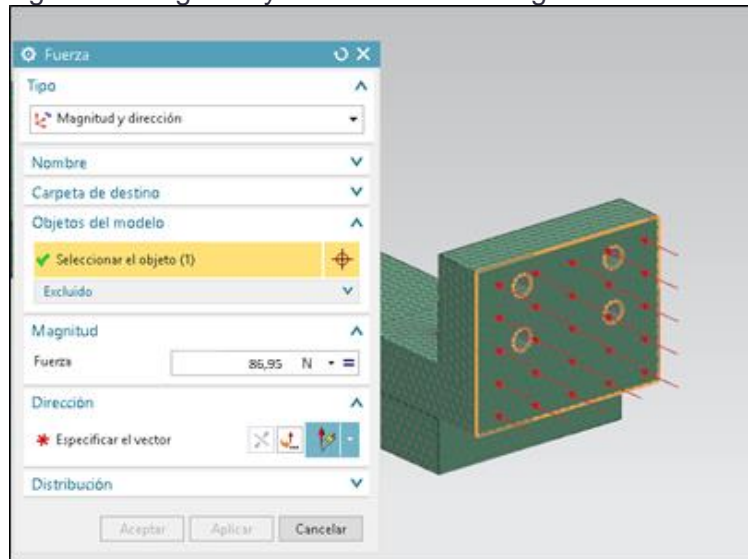
Imagen 38. Condición de restricción



Fuente. Elaboración propia

Finalmente, se aplicó la carga sobre el brazo, esta carga será ubicada a lo largo del área transversal de ángulo de enlace. Esta carga tendrá una magnitud de 86.95N la cual corresponde a la magnitud que ejerce el viento sobre los alabes.

Imagen 39. Magnitud y ubicación de la carga

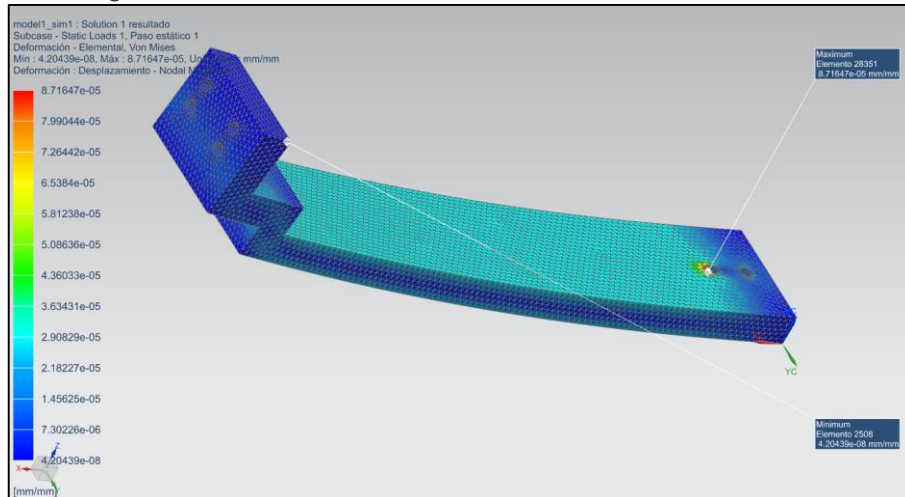


Fuente. Elaboración propia

Luego de realizar el procedimiento anterior, se procederá con la simulación de este elemento, la cual dio los siguientes resultados:

5.1. DEFORMACIÓN ELEMENTAL

Imagen 40. Resultados de la deformación elemental

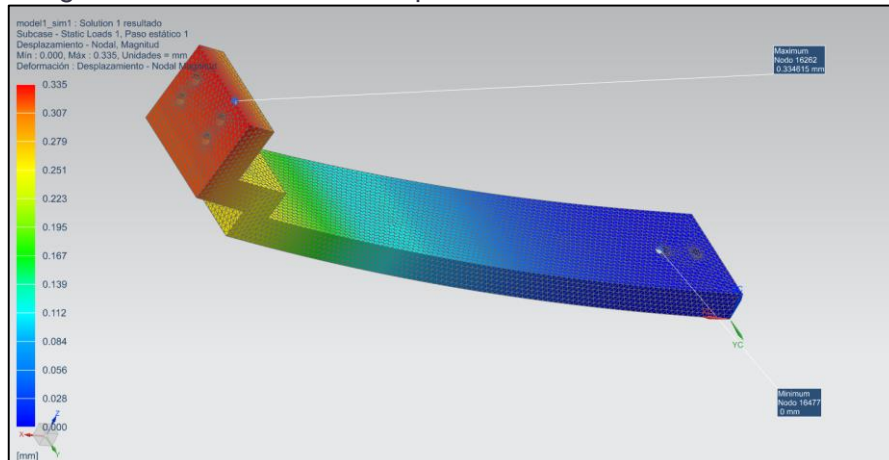


Fuente. Elaboración propia

En esta simulación es posible apreciar los resultados obtenidos en el software, donde la deformación máxima se representa con el color rojo dando un resultado de $8.71647e-5$, con lo cual se puede concluir que esta deformación es casi nula, comparándola con las dimensiones del ensamble.

5.2. DESPLAZAMIENTO ELEMENTAL

Imagen 41. Resultados del desplazamiento elemental



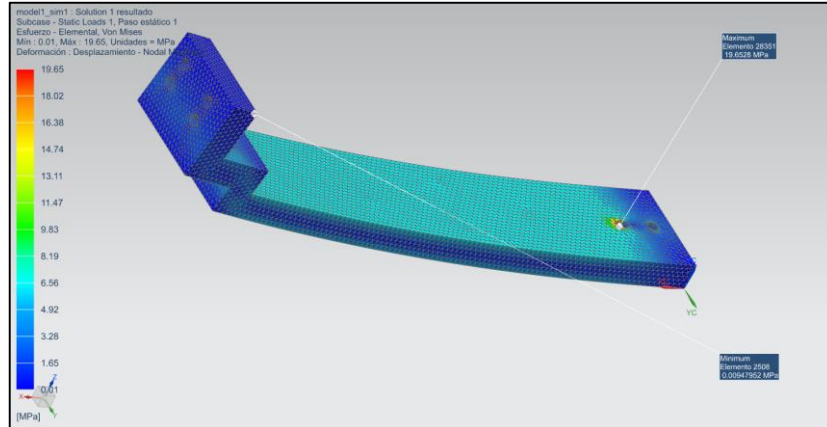
Fuente. Elaboración propia

Con base en la imagen anterior es posible evidenciar el desplazamiento máximo que presentará este elemento, el cual es de 0.335mm, comparado con la longitud

de 984mm que posee el brazo, es un valor muy bajo y no representa un problema con el funcionamiento del aerogenerador.

5.3. ESFUERZO ELEMENTAL

Imagen 42. Resultados del esfuerzo elemental



Fuente. Elaboración propia

De igual forma es posible analizar el esfuerzo máximo al que estará sometido el elemento, dando un valor de 19.65 MPa, este valor es mucho menor al valor máximo que soporta el aluminio 6061, el cual es 69MPa, lo cual asegura que el material está muy lejos de ser deformado plásticamente.

Por último, se calculará el factor de seguridad el cual será determinado por la siguiente ecuación.

Ecuación 41: factor de seguridad

$$f_c = \frac{\sigma_u}{\sigma_r}$$

Fuente. SHIGLEY, Edward Joseph. Diseño en ingeniería mecánica, México: editorial McGRAW-HILL, 2008, P.18. ISBN 978-0-07-312193-2

Donde:

σ_u = Límite elástico

σ_r = Esfuerzo máximo del resultado

Resolviendo la ecuación:

Ecuación 42. Calculo de factor de seguridad

$$f_c = \frac{225\text{Mpa}}{19,65\text{Mpa}} = 11,45$$

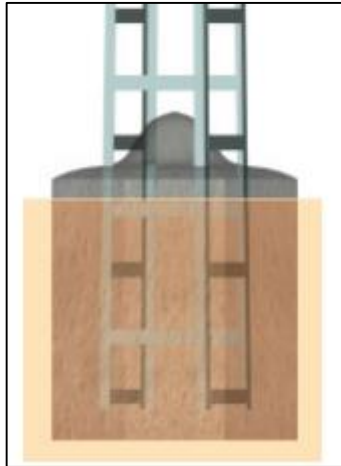
El factor de seguridad de 11,45, lo cual nos indica que la pieza resistirá de forma apropiada la carga aplicada.

6. MANUALES

6.1. MANUAL DE INSTALACIÓN

6.1.1. Instalación de la torre. Para empezar la instalación del aerogenerador es necesario empezar por los cimientos donde éste será ubicado, teniendo en cuenta las dimensiones de la torre se deberá preparar un cimiento que cumpla con la condición de soportar cargas mayores a $8 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$.

Imagen 43. Cimentación de la torre



Fuente: BORNAY. Aerogeneradores, manual de instrucciones y mantenimiento. p. 13. En: BORNAY. [sitio web]. España: BORNAY. [Consulta: 22 mayo 2019]. Archivo pdf. Disponible en: https://www.merkasol.com/WebRoot/StoreLES/Shops/62387086/4CE0/45D6/DCAC/B60C/F59D/C0A8/29B9/2090/Manual_completo_Bornay_Aerogeneradores.pdf

Como se observa en la imagen, se requiere una compactación del terreno para que de este modo la torre no presente inclinación o deslizamiento, de igual forma una parte de la torre deberá estar ubicada dentro de la cimentación, para de este modo hacer tierra y protegerla de la estática y posibles impactos de rayos.

Una vez se haya terminado con la cimentación, se dará inicio con el armado de la torre, debido a que no es posible llevar la torre armada, se deberán llevar tramos de la misma y unirlos en el terreno. Para lograr esta tarea se deberán implementar camiones tipo cama baja.

Imagen 44. Camión cama baja



Fuente: Transporting. [sitio web]. Tipo de camiones [Consulta: 2 mayo 2019]. Disponible en: <https://timepx.blogspot.com/2016/01/tipos-de-camiones.html>

Luego de tener todos los componentes en la zona, se pasará a la fase de ensamblaje, para este trabajo se empleará el uso de grúas de oruga y grúas tipo celosía. Estas máquinas tienen como función levantar cada tramo de la torre y llévalos al punto donde será ensamblada por los operarios de construcción.

Imagen 45. Grua tipo oruga



Fuente: Transporting. [sitio web]. Tipo de camiones [Consulta: 22 mayo 2019]. Disponible en: <https://timepx.blogspot.com/2016/01/tipos-de-camiones.html>

Se inicia con la sección donde fue ubicado los cimientos de la torre y posteriormente con las secciones siguientes. Una vez posicionada la sección de la torre, el personal

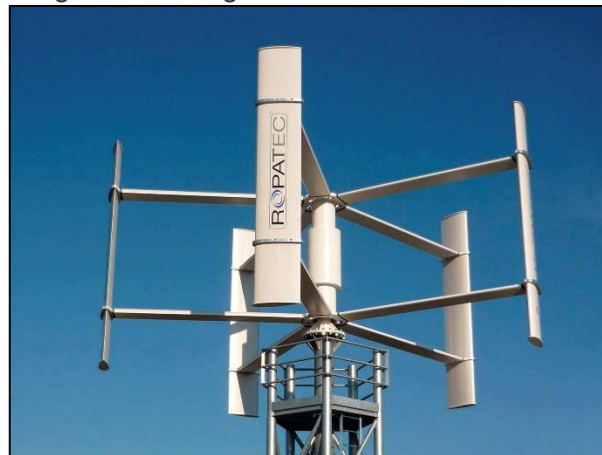
técnico se encargará de realizar los empalmes de las secciones de la torre. El proceso de empalme será realizado por medio de pernos y soldaduras de refuerzo.

6.1.2. Instalación del generador. Debido a la fragilidad de sus alabes, deberá ser instalado en el en campo, cada una de las piezas deberá ser transportada por separado mediante camiones especializados de transporte.

Luego de ser armada la estructura principal, se dará paso a la instalación del generador, con ayuda de las grúas celosía se elevará el cuerpo del aerogenerador a la cima de la torre auto sustentada, ubicada en la posición requerida. El personal técnico será quien se encargue de ubicar y asegurar la estructura a la torre. Se debe aclarar que, al ensamblar la estructura los alabes se instalarán posteriormente al eje junto con el sistema de transmisión.

Los alabes se deberán instalar de uno a la vez, sabiendo la fragilidad de estos elementos, se deberá tener un cuidado extremo para no dañarlos. Una vez los alabes hallan llegado al terreno se deberá realizar una inspección detallada de estos elementos. Luego de realizar la inspección, con ayuda de la grúa celosía se elevará a la cima de la torre, esta elevación deberá estar monitoreada por el equipo técnico y evitar posibles inconvenientes en la subida. Una vez en la parte superior de la torre, se deberá bajar el alabe con suma precaución para evitar golpes que puedan dañar el perfil; desmantelado el alabe se realizara su instalación con ayuda del equipo técnico.

Imagen 46. Aerogenerador instalado



Fuente: Energía eólica 1101. [sitio web].
Tipos de aerogeneradores [Consulta: 22 mayo 2019].
Disponble en:
<http://energiaeolica1101.blogspot.com/2015/03/tipos-de-aerogeneradores.html>

6.2. MANUAL DE OPERACIÓN

Este manual evidenciará los factores a tener en cuenta para el correcto funcionamiento del aerogenerador. A continuación, se describirán cada uno de estos factores:

- Antes de cualquier trabajo el operario debe hacer una inspección preliminar de los sistemas que conforman el aerogenerador.
- Solo personal calificado podrá hacer uso del panel de control del aerogenerador.
- Con el sistema de control se evaluará que el aerogenerador esté funcionando bajo las condiciones óptimas, esto abarca velocidad, temperatura, vibraciones.
- Antes de la puesta en marcha deberá evaluar las condiciones del viento para asegurar el funcionamiento del equipo.
- El aerogenerador no deberá estar en funcionamiento sin la presencia de personal capacitado, el cual será el encargado del correcto funcionamiento del aerogenerador.
- Luego de entrar en funcionamiento el aerogenerador, el operario únicamente se deberá hacer cargo de monitorear el funcionamiento del equipo por medio del panel de control.
- En caso de presentarse alguna irregularidad el operario deberá detener el equipo e informar la irregularidad para tomar las medidas necesarias para corregirla.
- En la noche el operario deberá encender las luces de la torre para prevenir incidentes con la fauna y vehículos.
- En caso que se deba subir a inspeccionar el aerogenerador, el técnico deberá cumplir con todas las normas de seguridad y salud.

6.2.1. Uso del freno. Basado en la tabla de Beafort³³, se cataloga la fuerza del viento dependiendo su velocidad.

Imagen 47. Tabla de beafort

FUERZA	Velocidad (m/s)	Velocidad (km/h)	Denominación
0	0 - 0.5	0 - 1	Calma
1	0.6 - 1.7	2 - 6	Ventolina
2	1.8 - 3.3	7 - 12	Suave
3	3.4 - 5.2	13 - 18	Leve
4	5.3 - 7.4	19 - 26	Moderado
5	5.7 - 9.8	27 - 35	Regular

Fuente: BORNAY. Aerogeneradores, manual de instrucciones y mantenimiento. p. 12. En: BORNAY. [sitio web]. España: BORNAY. [Consulta: 22 mayo 2019]. Archivo pdf. Disponible en: https://www.merkasol.com/WebRoot/StoreLES/Shops/62387086/4CE0/45D6/DCAC/B60C/F59D/C0A8/29B9/2090/Manual_completo_Bornay_Aerogeneradores.pdf

³³EcuRED. [sitio web]. Escala de Beaufort [Consulta: 24 abril 2019]. Disponible en: https://www.ecured.cu/Escala_de_Beaufort

- El freno será accionado para regular la velocidad del rotor si los vientos salen del rango leve, en caso de superar la categoría el freno debe regular la velocidad para estar en el rango anteriormente mencionado, de igual forma cuando el viento sea menor a este rango se detendrá el aerogenerador.
- En caso de que el sensor de temperatura sea activado se detendrá el aerogenerador y se revisará el equipo.
- Se debe accionar el freno diariamente para de este modo revisar que su funcionamiento sea el correcto.
- En caso de presentar irregularidades en el freno este deberá ser cambiado lo antes posible.

6.3. MANUAL DE MANTENIMIENTO

En el siguiente manual se evidenciarán los métodos de inspección y mantenimiento a los cuales será sometido el aerogenerador.

6.3.1. Métodos de inspección. El uso de equipos de inspección es necesario para determinar las posibles fallas que con la inspección visual no se puede evaluar. En este numeral se presentarán los equipos recomendados a usar y en cuáles elementos se usarán.

- Inspección térmica: Esta inspección se realiza en elementos que generen un calor en su funcionamiento como lo son rodamientos, generador eléctrico, sistema de multiplicación.

Se recomienda hacer esta inspección una o dos veces por mes, para garantizar el correcto funcionamiento de los elementos.

La siguiente imagen muestra un ejemplo de cómo debe usarse la cámara termográfica.

Imagen 48. Inspección con cámara termografía



Fuente: Elind. [sitio web]. Tipos de Cámaras termografías FLUKE [Consulta: 17 febrero 2019]. Disponible en: <https://elind.com.ar/es/productos/cmaras-termograficas-fluke-7.htm>

- Método de ultrasonido: Este método se realiza con el fin de encontrar fisuras o grietas dentro de los elementos como ejes, sistema de transmisión y la torre. Esta inspección se debe realizar con el aerogenerador detenido y sus componentes deben estar en reposo.

La inspección se debe realizar en un periodo entre 2 a 6 meses, dependiendo del uso y criterio.

En la siguiente imagen se muestra cómo es el proceso de este método.

Imagen 49. Inspección por ultrasonido



Fuente: Cpservices. [sitio web]. Ensayo de ultrasonido [Consulta: 17 febrero 2019]. Disponible en: <http://www.cpservices.co/ensayo-de-ultrasonido.html>

- Método de corrientes Eddy o corrientes parasitas: Este método se utiliza en los ejes, con el fin de encontrar discontinuidades sobre el elemento.
- Análisis de vibraciones: Este ensayo se aplica sobre las piezas móviles del aerogenerador, como son ejes, alabes, carcasas, sistema de multiplicación y brazos.

Se recomienda hacer este análisis trimestralmente y realizar un estudio detallado de los elementos para evaluar deterioro y desgaste de los mismos.

A continuación, se mostrará un ejemplo de análisis de vibraciones.

Imagen 50. Inspección de vibraciones



Fuente: Ademinsa. [sitio web]. Analisis de vibraciones nivel 1 [Consulta: 17 febrero 2019]. Disponible en: <https://ademinsa.com/portfolio/analisis-de-vibraciones-nivel-i/>

Luego de haber realizado la descripción de los equipos se mostrará en el siguiente cuadro la periodicidad, personal necesario y equipo requerido para cada análisis.

Cuadro 14. Análisis a realizar

tipo de inspeccion	frecuencia	personal necesario	equipo requerido
inspeccion visual	diaria	1	N/A
inspeccion termica	quincenal	1	Cámara termo grafica
ultrasonido	semestral	2	Equipo especializado portátil en corrientes
corrientes Eddy	trimestral	1	Equipo especializado en ondas ultrasonicas
analisis de vibraciones	trimestral	2	Analizador de vibraciones

Fuente. Elaboración propia

6.3.2. Mantenimiento preventivo. En el mantenimiento preventivo se realizará una tabla por cada sistema que posea el aerogenerador, con cada parte, sus posibles fallos y recomendaciones.

Cuadro 15. Cuadro de mantenimiento

Sistema	Parte	Posibles fallos a encontrar	Recomendaciones
Generación	Alabes	Fractura	Mediante inspección visual revisar el estado de los alabes, en caso de tener algún golpe o imperfección detener el aerogenerador y cambia la pieza
		Desajuste	Revisar que los pernos que unen el alabe con el ángulo-brazo estén con el ajuste necesario, en caso de no estarlo realizar el ajuste debido.
	Rodamiento	Exceso de grasa	En el momento de instalar el rodamiento se debe revisar que la cantidad de grasa usada no sea mayor a la indicada por el fabricante, en caso de ser mayor se debe retirar el rodamiento, quitar el exceso y volver a instalar
		Fallas por lubricante	El lubricante utilizado no debe ser diferente al señalado por el fabricante, en caso de haber fugas se debe revisar los sellos para determinar si es necesario cambiarlo
	Brazos-enlace	Fractura	Se debe revisar el estado de la pieza, en busca de alguna fractura o grietas que puedan afectar la integridad de la pieza, en caso de ser critica cambiar la pieza.
Potencia	Ejes de alta y baja revolución	Deformación plástica	Mediante la inspección de corrientes Eddy revisar la condición del eje, en caso de presentar esta falla cambiar el eje.
		Desgaste	El eje no debe estar fuera de los rangos de velocidades y cargas de diseño, en caso en de estar fuera de los rangos, revisar y ajustar estas.
		Fractura	Por medio de inspección visual revisar el estado de la superficie del eje y con el análisis de vibraciones revisar la condición interna del eje, en caso de presentarse alguna grieta cambiar el eje.

Fuente. Elaboración propia

Cuadro 17 (Continuación)

Sistema	Parte	Posibles fallos a encontrar	Recomendaciones
Potencia	Engranajes	Desgaste	A medida que pase el tiempo el engrane el desgaste será mayor, para largar la vida del engrane se recomienda mantenerlos lubricados constantemente.
		Corrosión	Cambiar el lubricante según lo recomiende el fabricante, para evitar la corrosión.
		Fractura	Se deben controlar las cargas y velocidades de trabajo, de no ser así se puede presentar una rotura temprana del engrane
	Generador eléctrico	sobrecalentamiento	En caso de que el sensor maque un aumento de temperatura se deberá detener el aerogenerador y con ayuda de la termografía revisar cual es el componente que genere este aumento
Estructural	Torre	corrosión	Mediante una inspección de rutina buscar inicios de corrosión o picadura, en caso de existir tomar medidas correctivas.
		Desajuste	Revisar que los pernos en las uniones estén en óptimas condiciones, en caso de faltar o presentar algún daño remplazar según fabricante
Frenado	Freno	Desgaste	El disco debe estar en las condiciones óptimas, se debe cambiar periódicamente según indique el fabricante
Control	Panel	Sensores	Es necesario revisar que los sensores estén funcionando correctamente, en caso de falla cambiar el sensor.
		Indicadores	Revisar que cada indicador marque el valor correcto o en sui defecto que informe los problemas.

Fuente. Elaboración propia

Cuadro 16. Análisis de posibles fallas

Falla	Componente	Solución
Fractura	Alabe	Cambiar componente
	Brazos-enlace	Soldar pieza
	Eje	Soldar pieza
	Engranés	Cambiar engranes
Desgaste	Eje	Recubrir componente
	Engranés	Cambiar engranes
	Freno	Cambiar disco de freno
Corrosión	Engrane	Cambiar engranes
	Torre	Aplicar recubrimiento sobre la parte afectada
Desajuste	Alabe	Ajustar unión del alabe
	Torre	Ajustar los pernos de la torre
Exceso de grasa	Rodamiento	Limpiar exceso y volver a instalar
Falla del lubricante	Rodamiento	Cambiar el lubricante, revisar condición del rodamiento y en caso de ser necesario cambiar el rodamiento
Deformación plástica	Eje	Remplazar el eje
Sobrecalentamiento	Generador	Realizar inspección de termografía, determinar cuál es el causante y cambiar el componente
	Engranés	Verificar el funcionamiento del lubricante y cambiar el engrane
sensores	sensores	Cambia el sensor
indicadores	panel	Revisar el sensor y cambiar el indicador

Fuente. Elaboración propia

6.4. MANUAL DE SEGURIDAD Y SALUD

En este manual se describe el procedimiento y medidas que se deben tener en cuenta antes, durante y después de poner en marcha el equipo.

Imagen 51. Elementos de protección personal



Fuente: EPP trabajo seguro. [sitio web]. Ventaja y limitaciones de los EPP [Consulta: 17 septiembre 2019]. Disponible en: <https://sites.google.com/site/epptrabajoseguro/epp-en-la-industria-de-la-mineria/requisitos-y-epp-de-la-mineria/ventajas-y-limitaciones-de-los-epp>

A continuación, se hará un listado de recomendaciones para ingresar en el área de trabajo.

- Se deberán tener el equipo de protección personal necesario para el trabajo (protección auditiva, protección visual, protección para cabeza, guantes, ropa de protección, protección para pies)
- Se recomienda ir acompañado por otra persona
- Como indica la resolución 1409³⁴, se deberá tener curso de altura legal vigente a un año.
- En caso de presentarse cualquier anomalía se debe informar inmediatamente
- Debe haber una ruta de evacuación en caso ser necesaria
- Solo el personal capacitado puede manipular el equipo

Por último, se realizará un listado con las actividades prohibidas a la hora de trabajar en el aerogenerador.

- Está prohibido fumar en las cercanías del aerogenerador
- Todo arreglo y modificación se debe realizar con el equipo apagado y fuera de funcionamiento

³⁴ Colombia. Ministerio de trabajo. Resolución 1409 (23, julio,2012). Por el cual se establece el reglamento de seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas. En: Diario oficial, agosto 2012, Nro 48571. p.20.

7. IMPACTO AMBIENTAL

Con el fin de realizar un correcto análisis del impacto ambiental del proyecto será necesario la implantación de la matriz de Leopold.

Esta matriz se realiza mediante un proceso de causa- efecto, este consiste en evaluar las acciones que puedan alterar el medio ambiente (columnas) y las características del medio (filas).

Como primera medida se requiere en identificar los aspectos que son relevantes para el proyecto, tanto las acciones como los efectos que pueden ser causados, una vez realizada esta selección se continuara con la evaluación de la matriz, este se hará de la siguiente forma; cada cuadrícula será partida de forma diagonal en la parte superior se ubicara el valor de la magnitud y en la parte inferior se pondrá el impacto que este puede generar en el medio.

Cada uno de los criterios tanto magnitud como el impacto será evaluado en un rango de 1 a 10, donde 1 es el menor valor y 10 el mayor valor posible, para el caso de la magnitud este llevara un signo negativo (-) en caso de que su efecto sea negativo para el medio ambiente.

Una vez completada la matriz se realizará la interpretación de los valores ubicados en ella, esta se realizará multiplicando el valor de la magnitud incluyendo su signo por el impacto que este genera. Posterior de haber realizado esta operación se deberá registrar cada valor y se sumará cada uno de ellos dando un resultado global de la matriz. En caso de que el valor sea negativo se interpretara que el proyecto tendrá resultados negativos sobre el medio ambiente y en caso de ser positivo este generara un impacto positivo sobre el medio ambiente.

7.1. IMPLEMENTACIÓN DE LA MATRIZ

Una vez explicada la matriz se dará inicio con su implementación sobre este proyecto. Para un mayor detalle revisar anexo G.

Cuadro 17. Matriz de Leopold

CARACTERÍSTICAS O CONDICIONES DEL MEDIO SUSCEPTIBLES DE ALTERARSE		ACCIONES QUE PUEDEN CAUSAR EFECTOS AMBIENTALES											EVALUACIONES				
		MODIFICACIÓN DEL RÉGIMEN			CONSTRUCCIÓN		EXTRACCIÓN DE RECURSOS		PROCESOS		OTROS						
		Modificación del hábitat	Alteración de la cubierta terrestre	Ruidos y vibraciones	Barreras, incluyendo vallados	Desmontes y rellenos	Excavaciones superficiales	Excavaciones subterráneas	Generación energía eléctrica	Almacenamiento de productos	Actuaciones sobre el paisaje	Reposición forestal	promedios positivos	promedios negativos	impactos de subcomponentes	impacto de componente	impacto del proyecto
TIERRA	Materiales de construcción	-4	-1	-2	-3	-2	-3	-1	-2	4	2	-2	1	-3	2	9	-20
	Suelos	-4	-2	-4	-3	-3	-2	-4	-3	-2	1	4	-2	-3	1	10	-93
PROCESOS	Deposición (Sedimentación y precipitación)	-2	-4	-4	1	-2	-2	-1	-2	4	4	4	-2	-4	4	9	-67
	Compactación y asentamientos	-5	-3	-2	2	-2	1	-3	-4	1	-3	2	4	-2	-3	10	-73
	Sismología (Terremotos)			-2	5											1	-10
FLORA	Árboles	-4	2		-4			-2	4	-3			-8	5	7	1	-22
	Arbustos	-3	2		-4	2		-2	4	-3	3		-3	5	7	1	-5
FAUNA	Pájaros (Aves)	-2	3	-3	2								-4	3		3	-18
	Fauna	-4	2	-3	4	2							-5	2		4	-40
	Barreras	-4	3	-3	2	-2	1						-2	3		4	-26
USOS DEL TERRITORIO	Espacios abiertos o salvajes		-2	3		-2	6						-3	-2	4	4	-33
	Comercial			3	8					10	5	7			3	3	149
	Industrial			4	6					7	8	5	6		3	3	110
ESTÉTICOS Y DE INTERÉS HUMANO	Vistas panorámicas y paisajes	-6	-4		-5	2		-4	3	-3	3		-3	5		6	-68
	Naturaleza	-3	4		5								-3	2		2	-18
	Espacios abiertos	-2	4	3	5	2							-2	3		2	11
	Paisajes	-3	2	3	-2	3		-2	1			-3	-2	1		1	-16
MIPEL CULTURAL	Estados de vida	10	8	-1	1	2	1			9	7	6	-2	1	6	3	231
	Empleo	10	2	4	2	1				9	10	6	6	1	4	4	428
SERVICIOS	Estructuras	-4	7	-4	3	5	6	-3	-4	-2	3	1	-3	7	4	7	-56
	Red de servicios	2	-1	3	-1	4	2	-2	4	2	3	7	1	2	4	4	93

Fuente. Elaboración propia

Por último, se analizará el resultado que la matriz arroja, este es un valor positivo de 614, lo cual nos indica que este proyecto tendrá un impacto positivo sobre el medio ambiente donde será realizado.

8. EVALUACIÓN FINANCIERA

Con el fin de realizar una evaluación financiera del equipo que se acerque lo más posible a la realidad se debieron tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Los datos del consumo energético serán tomados a septiembre de 2019.
- El flujo de caja se realiza a 20 años, lo cual hace referencia a la vida útil de un aerogenerador³⁵.
- La evaluación financiera se realiza asumiendo el 100% de confiabilidad, esto hace referencia a que el aerogenerador trabajará durante los 20 años sin paradas.

Según la UPME³⁶ (unidad de planeación minero energética), proyectos cuya energía se encuentre en el rango de 0.8 a 5 MW, tendrán un costo de instalación de 1.500 a 2.500 US\$/Kw. El costo de instalación incluye materiales, terreno, instalación, transporte y mano de obra. Esta entidad fue la encargada de realizar el estudio del proyecto del parque Jepirachi, el cual tiene una capacidad de 20MW. Según datos obtenidos por la empresa encargada de este proyecto (Acuaire Ltda.), el valor total de instalación fue de aproximadamente, 1.500 US\$/KW, con un costo anual del 2% de la inversión total.

Con la realización de este proyecto se busca dar una ayuda a la situación energética que se vive en el municipio de Unguia, de igual forma se busca que el proyecto sea sostenible por mérito propio. Para lograr este proceso, se implementará un costo basado en el precio existente de la bolsa energética, para ello se consultó la información proporcionada de Dispac³⁷(anexo I), empresa encargada de la venta de energía eléctrica en el Chocó, la empresa proporcionó el dato de 572.18 \$/KW. Según la UPME el valor de la energía eléctrica se elevará un 3% promedio durante los siguientes años.

El flujo de caja será realizado en periodos anuales, para ello se requiere determinar el tiempo de operación del aerogenerador y se dará por la siguiente fórmula:

Ecuación 43. Horas de operación

$$\text{HOP} = \text{Haño} * \text{FU}$$

Fuente. Elaboración propia

³⁵ El economista. [sitio web]. las eléctricas alargan de 20 a 25 años la vida útil de sus parques eólicos [Consulta: 2 mayo 2019]. Disponible: <http://www.economista.es/empresas-finanzas/noticias/3797990/03/12/Las-electricas-alargan-de20-a-25-anos-la-vida-util-de-sus-parques-eolicos-.html>

³⁶ UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. [sitio web]. Energía eléctrica [Consulta: 2 mayo 2019]. Disponible: <http://www1.upme.gov.co/Paginas/Energia-Electrica.aspx>

³⁷ DISPAC. [sitio web]. Tarifas reguladas [Consulta: 5 mayo 2019]. Disponible <https://dispac.com.co/servicio-al-cliente/manejo-de-tarifas/>

Donde:

HOP: horas de operación

H año: horas en el año

FU: factor de utilización

El factor de utilización o factor de carga, es la relación entre la carga media y la carga máxima durante un mes, para Unguia el factor de utilización será de 0.20.

Se remplazan los valores:

Ecuación 44. Calculo de las horas de operación

$$\text{HOP} = 8760 \text{ horas} * 0.20 = 1752 \text{ horas}$$

Fuente. Elaboración propia

Posteriormente, se calculará el total de la energía vendida durante el año la cual también serán los ingresos del proyecto. El valor obtenido deberá ser calculado cada año, debido al porcentaje de inflación que se mencionó anteriormente.

Ecuación 45. Ingresos

$$\text{Ingresos} = \text{HOP} \left(\$\text{KWh} * \frac{\text{energia}}{\text{h}} \right)$$

Fuente. Elaboración propia

Remplazando valores:

Ecuación 46. Calculo de ingresos

$$\text{Ingresos} = 1752 \frac{\text{horas}}{\text{año}} \left(\frac{572.18\$}{\text{KWh}} * \frac{9\text{Kwh}}{\text{h}} \right) = \$9'022.134$$

Fuente. Elaboración propia

A continuación, se realizará el caculo de instalación de la máquina, el cual hará referencia a la inversión total de la máquina, esto se debe a que en proyectos energéticos se asume el costo de instalación en el lugar donde se realizará el equipo.

Ecuación 47. Costos de instalación y construcción

$$\text{costo de instalacion y construcccion} = \text{potencia generada} * \text{precio del Kw instalado}$$

Fuente. Elaboración propia

Ecuación 48. Calculo de instalación y construcción

$$\text{costo de instalacion y constrccion} = 9\text{KW} \left(1500 \frac{\text{US\$}}{\text{KW}} * \frac{3439\$}{\text{US\$}} \right) = \$46'426,500$$

Fuente. Elaboración propia

Para los costos ingenieriles se tomaron aspectos como salario del ingeniero, costos computacionales (Solid EDGE³⁸ y NX) y otros gastos.

Cuadro 18. Costos ingenieriles

ASPECTO	VALOR UNITARIO	HORAS DE TRABAJO	CANTIDAD	TOTAL
SALARIO	\$ 5868.48	1752	1	\$ 10.281.584
SOLID EDGE	\$ 785.897	8760	1	\$ 6.884.460
NX	\$ 521.550	8670	1	\$ 4.568.778
OTROS GASTOS	\$ 1.500.000	1	1	\$ 1.500.000
total				\$ 23.234.822

Fuente. Elaboración propia

Para gastos de mantenimiento, ensayos necesarios, implementos de seguridad y desarrollo tecnológico de la planta, se tendrá un valor de \$5'000.000. Según datos obtenidos por el Banco de la República se proyecta una inflación del 3% en los próximos años³⁹.

8.1. FLUJO DE CAJA

Cuadro 19. Flujo de caja en los periodos 0 a 3

flujo de caja				
año	2019	2020	2021	2022
periodo		1	2	3
ingresos		\$ 9,022,134	\$ 9,292,798	\$ 9,571,582
costos ingneieriles	\$ 23,234,822			
inversion	\$ 46,426,500			
costos de mantenimiento		\$ 928,530	\$ 956,386	\$ 985,077
egresos	\$ 69,661,322	\$ 928,530	\$ 956,386	\$ 985,077
flujo neto de caja	-\$ 69,661,322	\$ 8,093,604	\$ 8,336,412	\$ 8,586,505

Fuente. Elaboración propia

³⁸ SIEMENS. [sitio web]. Solid Edge [Consulta: 11septiembre 2019]. Disponible:

<https://www.plm.automation.siemens.com/store/es-mx/solid-edge/index.html>

³⁹ BANCO DE LA REPÚBLICA. [sitio web]. Inflación total y meta [Consulta: 11septiembre 2019]. Disponible:

<http://www.banrep.gov.co/es/estadisticas/inflacion-total-y-meta>

Cuadro 20. . Flujo de caja en los periodos 4 a 7

flujo de caja				
año	2023	2024	2025	2026
periodo	4	5	6	7
ingresos	\$ 9,858,730	\$ 10,154,492	\$ 10,459,126	\$ 10,772,900
costos ingneieriles				
inversion				
costos de mantenimiento	\$ 1,014,630	\$ 1,045,069	\$ 1,076,421	\$ 1,108,713
egresos	\$ 1,014,630	\$ 1,045,069	\$ 1,076,421	\$ 1,108,713
flujo neto de caja	\$ 8,844,100	\$ 9,109,423	\$ 9,382,706	\$ 9,664,187

Fuente. Elaboración propia

Cuadro 21. Flujo de caja en los periodos 8 a 11

flujo de caja				
año	2027	2028	2029	2030
periodo	8	9	10	11
ingresos	\$ 11,096,087	\$ 11,428,970	\$ 11,771,839	\$ 12,124,994
costos ingneieriles				
inversion				
costos de mantenimiento	\$ 1,141,975	\$ 1,176,234	\$ 1,211,521	\$ 1,247,867
egresos	\$ 1,141,975	\$ 1,176,234	\$ 1,211,521	\$ 1,247,867
flujo neto de caja	\$ 9,954,112	\$ 10,252,736	\$ 10,560,318	\$ 10,877,127

Fuente. Elaboración propia

Cuadro 22. Flujo de caja en los periodos 12 a 15

flujo de caja				
año	2031	2032	2033	2034
periodo	12	13	14	15
ingresos	\$ 12,488,744	\$ 12,863,406	\$ 13,249,308	\$ 13,646,788
costos ingneieriles				
inversion				
costos de mantenimiento	\$ 1,285,303	\$ 1,323,862	\$ 1,363,578	\$ 1,404,485
egresos	\$ 1,285,303	\$ 1,323,862	\$ 1,363,578	\$ 1,404,485
flujo neto de caja	\$ 11,203,441	\$ 11,539,544	\$ 11,885,731	\$ 12,242,303

Fuente. Elaboración propia

Cuadro 23. Flujo de caja en los periodos 16 a 18

flujo de caja			
año	2035	2036	2037
periodo	16	17	18
ingresos	\$ 14,056,191	\$ 14,477,877	\$ 14,912,213
costos ingneieriles			
inversion			
costos de mantenimiento	\$ 1,446,619	\$ 1,490,018	\$ 1,534,719
egresos	\$ 1,446,619	\$ 1,490,018	\$ 1,534,719
flujo neto de caja	\$ 12,609,572	\$ 12,987,859	\$ 13,377,495

Fuente. Elaboración propia

Cuadro 24 . Flujo de caja en los periodos 19 a 20

flujo de caja		
año	2038	2039
periodo	19	20
ingresos	\$ 15,359,580	\$ 15,820,367
costos ingneieriles		
inversion		
costos de mantenimiento	\$ 1,580,760	\$ 1,628,183
egresos	\$ 1,580,760	\$ 1,628,183
flujo neto de caja	\$ 13,778,819	\$ 14,192,184

Fuente. Elaboración propia

Luego de haber realizado el flujo de caja, se realizará el cálculo de VPN y la relación de costo beneficio, con el fin de determinar la viabilidad del proyecto.

Para el cálculo del VPN se usará la siguiente ecuación:

Ecuación 49. (VPN Valor presente)

$$VPN = \sum_{i=1}^n \frac{FCn}{(1+i)^n} - I_0$$

Fuente. ACUÑA, Gustavo Adolfo. Néstor, Orlando Rojas. Evaluación Financiera de Proyectos, Colombia: Universidad nacional de Colombia, P.65.

Donde:

- VPN: valor presente neto
- I₀: Flujo de caja periodo 0
- FCn: flujo de caja en el periodo n

- i: interés (TIO del 12%)
- n: parte de uno hasta el último período que se tenga proyectado la vida útil de la inversión

A continuación, se mostrará una tabla con los resultados financieros.

Tabla 7. Resultados financieros

resultados financieros	
VPN	3429885,76
costo total	\$ 94.611.270,82
ingresos totales	\$ 217.478.176,89

Fuente. Elaboración propia

Con base en los resultados obtenidos, se puede concluir que el proyecto es viable. Esto se evidencia en el VPN el cual arroja un valor positivo, lo cual indica que al final del proyecto se tendrá una ganancia económica.

9. CONCLUSIONES

- Luego de haber realizado el estudio de vientos sobre el municipio de Unguia se puede concluir que con el aerogenerador de eje vertical Darreius es posible generar una potencia de 9Kw cuando la velocidad del viento es de 4m/s.
- Se determinaron los parámetros básicos y requerimientos de diseño necesarios para el aerogenerador como lo son: Velocidad, altura, densidad del viento, etc...
- Se realizó el diseño de detallado del aerogenerador y los sistemas que lo componen, como son lo son el sistema de generación, potencia, frenado, estructural y control.
- Con la potencia de 9Kw que generara el aerogenerador es posible abastecer del servicio eléctrico un total de 8 casas en el municipio de Unguia.
- Al haber realizado el impacto ambiental se puede concluir que el aerogenerador no presentará daño ambiental sobre la zona de Unguia, sin embargo, se deberá tener cuidado con el manejo de desechos generado por su instalación.
- Con el análisis financiero del proyecto del mini aerogenerador se puede concluir que este económicamente es viable, debido a que al realizar el cálculo del VPN este valor es mayor a 1 indicando que con la inversión inicial se tendrán ganancias económicas.

10. RECOMENDACIONES

- Se recomienda seguir continuar con la investigación e implantación d la energía eólica en este departamento.
- Para minimizar el costo total se recomienda hacer un sistema off-shore, el cual reduce la magnitud de la máquina y aumenta el rendimiento del mismo.
- El proyecto del mini aerogenerador puede ser el inicio de la implementación de esta tecnología en el departamento del choco, es necesario un estudio adicional de turbulencias, terreno y ambiental, para determinar la viabilidad de una conexión Off-shore.
- Se recomienda hacer uso del anemómetro y la veleta para realizar mediciones más precisas de velocidad y dirección del viento sobre la zona de Unguia.

BIBLIOGRAFÍA

Atlas De Viento y Energía Eólica De Colombia. Colombia: Ministerio de Minas y Energía, 2019.

ESCUADERO LÓPEZ, José María. Manual De Energía Eólica: Investigación, Diseño, Promoción, Construcción y Explotación De Distinto Tipo De Instalaciones. Madrid: Mundi-Prensa, 2003.

GARCÍA FERNÁNDEZ, Luis Eduardo; MEJÍA, de Alba y GUTIÉRREZ ALMONACID, Mónica Andrea. Procedimiento De Cálculo De Turbinas Eólicas De Eje Vertical De Álabes Rectos.

PINILLA S. Álvaro. Manual De Aplicación De La Energía Eólica. Bogotá: Ministerio de Minar y Energía, 1997.

DISEÑO DE UN ALABE PARA UN ROTOR EÓLICO, DIANA García Martínez; Edgar Ernesto González; Esaú Vélez.

FERNÁNDEZ SALGADO, José María. Guía Completa De La Energía Eólica. Madrid (España): A. Madrid Vicente Ediciones, 2011.

MOTT, Robert L.; CHACÓN PAZ, Miguel y CORDOVA JUST, Arturo. Diseño De Elementos De Máquinas. México: Prentice-Hall, 1995.

NORTON, Robert L.; CAGIGAS CASTELLO-TÁRREGA, Carlota de, las Mercedes y SÁNCHEZ GARCÍA, Gabriel. Diseño De Máquinas. México: Prentice Hall, 1999.

VILLARRUBIA LÓPEZ, Miguel. Ingeniería De La Energía Eólica. México Barcelona: Alfa omega: Marcombo, México Barcelona: Alfa omega: Marcombo, 2013.

SHIGLEY, Joseph Edward y PANIAGUA BOCANEGRA, Francisco. Diseño En Ingeniería Mecánica. México: McGraw-Hill, 1978.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio de normas para trabajos escritos. NTC -1486-6166. Bogota D.C.: El instituto, 2018. ISBN 9789599595673 153 p.

PINILLA S., Alvaro. Manual De Aplicación De La Energía Eólica. Bogotá: Ministerio de Minar y Energía, 1997.

ROMERO SANABRIA, Jeison y SOTOMAYOR SÁNCHEZ, Nicolás. Diseño de un aerogenerador para zona rural del Sumapaz, Cundinamarca. 2016.

GONZÁLEZ DÍAZ, Alan Javier; GEOVO CORONADO, Leonardo José y GONZÁLEZ DORIA, Yahir Enrique. Selección del perfil alar simétrico óptimo para un aerogenerador de eje vertical utilizando la dinámica de flujos computacional. 2017.

ANEXOS

ANEXO A.
CENSO UNGUIA 2005



Perfil Municipal
UNGUIA

Director Departamento
Héctor Maldonado
Gómez

Subdirector
Carlos Eduardo
Sepúlveda Rico

Director de Censos y
Demografía
Bernardo Guerrero
Lozano



Para mayor información
visite
nuestra página web
www.dane.gov.co

Viviendas, Hogares y Personas

Área	Viviendas Censo	Hogares General	Personas 2005	Proyección Población 2010
Cabecera	909	796	3.172	4.500
Resto	2.053	1.758	7.274	10.362
Total	2.962	2.554	10.446	14.862

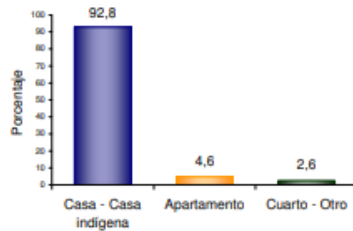
Personas en NBI (30 Junio 2010)

Área	Prop (%)	Cve (%) *
Cabecera	42,18	-
Resto	68,67	-
Total	60,63	-

(*)El guión (--) significa que al 100% de las personas se les aplicó esta pregunta por tanto no tiene Cve.

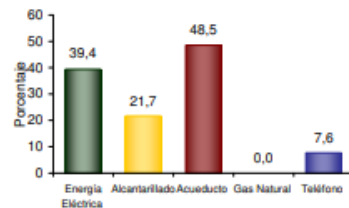
1. Módulo de Viviendas

Tipo de vivienda



El 92,8% de las viviendas de UNGUIA son casas.

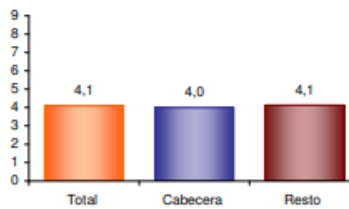
Servicios con que cuenta la vivienda



En UNGUIA el 39,4% de las viviendas tiene conexión a Energía Eléctrica .
El 0,0% tiene conexión a Gas Natural .

2. Módulo de Hogares

Promedio de personas por hogar



El Promedio de personas por hogar en UNGUIA es de 4,1.

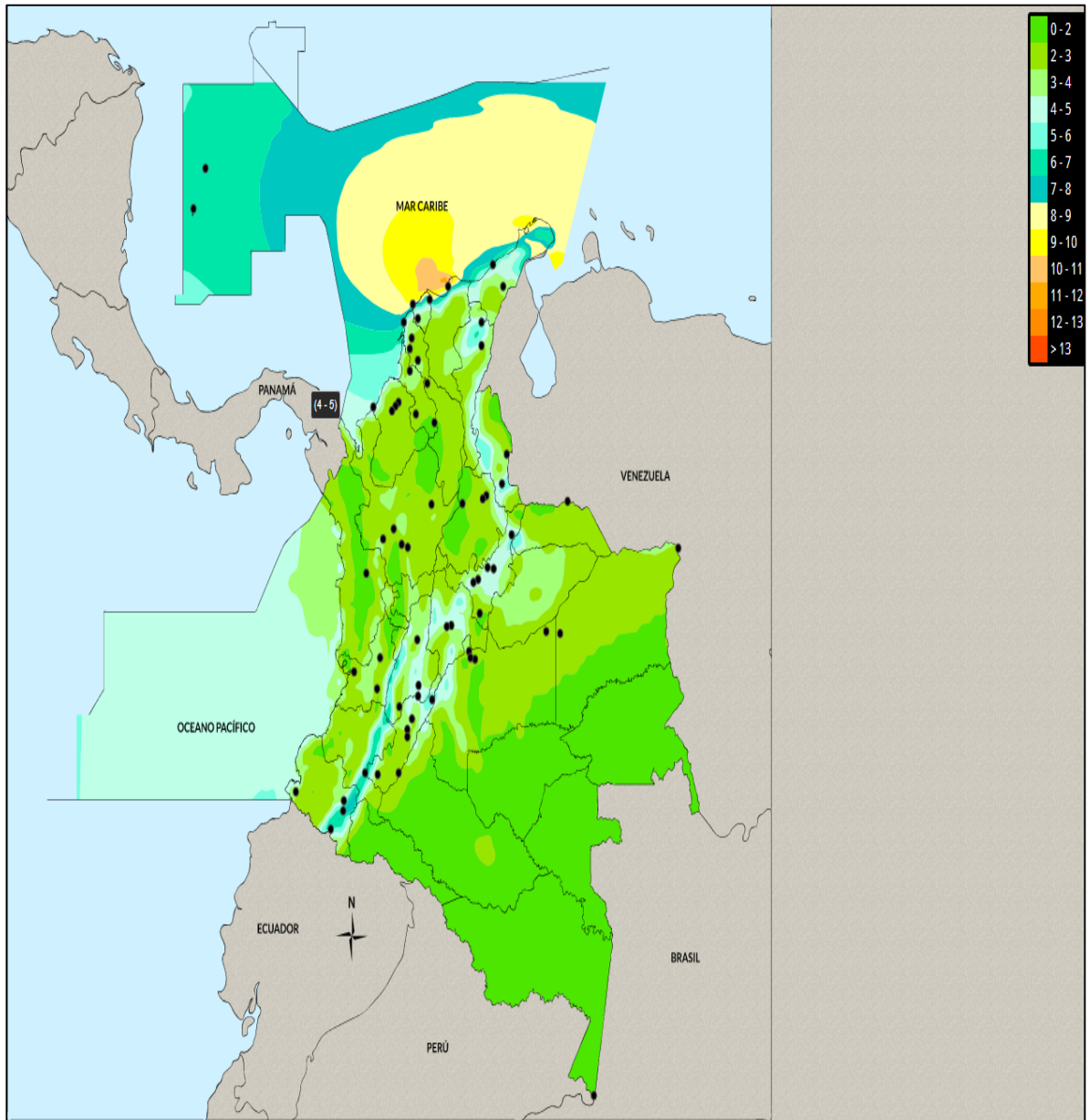
Hogares Con actividad Económica




El 0,0% de los hogares tiene actividad económica en sus viviendas.

ANEXO B

Régimen de vientos Uguia



ANEXO C
Acero AISI 4340



Ferrocortes
Soluciones con el acero SAS

**BARRAS DE BAJA Y MEDIA ALEACIÓN
AISI / SAE 4340**

FT 02_002

Estado de suministro

Laminado con tratamiento térmico de bonificado, tolerancia DIN 1013 (Negro)
Laminado sin tratamiento térmico de bonificado, tolerancia DIN 1013 (Torneado - Calibrado)
Forjado con tratamiento térmico de bonificado

Formas y color:

Composición química (% en peso)

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%Ni
0.38	0.15	0.60	-	-	0.80	0.20	1.65
0.43	0.35	0.80	0.035	0.040	1.10	0.30	2.00

Densidad: 7.87 g/cm³ (0.284 lb/in³)

Propiedades mecánicas mínimas estimadas SAE J1397

Tipo de proceso y acabado	Resistencia a la tracción		Límite de Fluencia		Alarga/ en 2" (%)	Reducción de área (%)	Dureza (HB)	Relación de maquinabilidad 1212 EF -100%
	MPa	PSI	MPa	PSI				
Caliente y maquinado	1227	178000	689	100000	10	30	363	50
Templado y revenido	1200	174000	1124	163000	16	48	352	

Tratamientos térmicos recomendados (Valores en °C)

Forjado	Normalizado	Recocido		Templado	Revenido	T Crítica aproximada	
		Ablanda/.	Regeneración			Ac1	Ac3
1050-1200	870 - 900	650 - 700	815 - 850 Enfriar en horno	820-850 Aceite	540 - 650	720	770

Características
Acero de baja aleación al Cromo, Níquel, Molibdeno. Posee gran templabilidad, tenacidad y resistencia a la fatiga. Se suministra con tratamiento térmico de bonificado (temple y revenido). Se utiliza en piezas que están sometidas a grandes exigencias de dureza, resistencia mecánica y tenacidad. Su maquinabilidad es regular y posee baja soldabilidad.

Aplicaciones
Se utiliza para la fabricación y reparación de partes y repuestos que están sometidos a muy altos esfuerzos dinámicos tales como cigüeñales, ejes de levas, árboles de transmisión, barras de torsión, ejes, vástagos, componentes oleohidráulicos, poleas, componentes de barras de perforación, discos de frenos, piñones, pernos y tuercas sometidos a grandes esfuerzos. En general es recomendado en aplicaciones de piezas de gran sección con elevadas exigencias mecánicas.

NOTAS: Los valores expresados en las propiedades mecánicas y físicas corresponden a los valores promedio que se espera cumple el material. Tales valores son para orientar a aquella persona que debe diseñar o construir algún componente o estructura pero en ningún momento se deben considerar como valores estrictamente exactos para su uso en el diseño.

ANEXO D
Generador SHJ-NEG10KW

Detalles de Producto

Información Básica

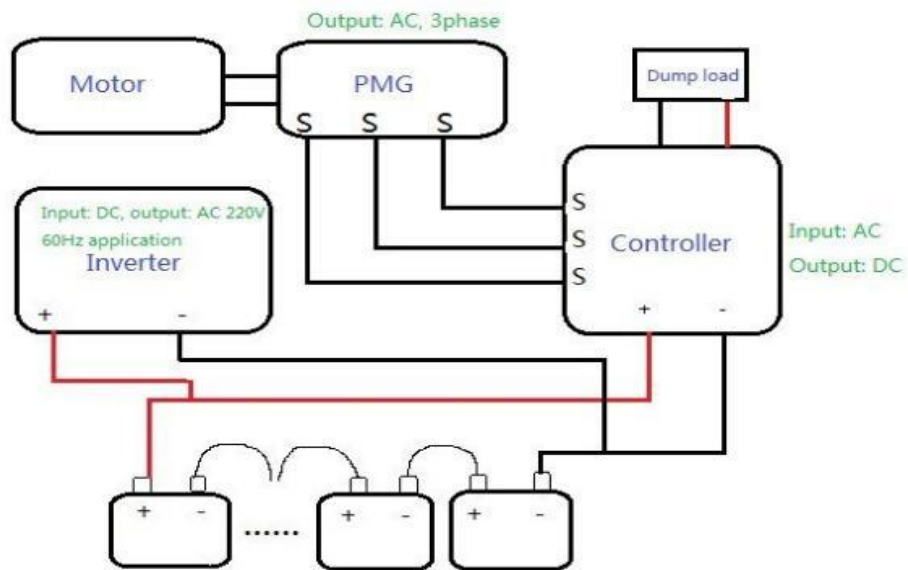
No. de Modelo: SHJ-NEG10KW
Tipo de salida: CA trifásica
Número de Blade: Múltiple Lámina
Eje de rotación: Vertical
Camino estrés de Blade: Fuerza de Levantamiento
Certificación: CE, ISO

Información Adicional

Marca: Neture
Embalaje: Strong Pater Carton/Wooden Carton or Your Need
Estándar: CE
Origen: China
Código del HS: 8501610000
Capacidad de Producción: 1000PCS/Month

Descripción de Producto

10kw AC-220V/380V Trifásico de 200 rpm rpm baja salida de generador de imanes permanentes

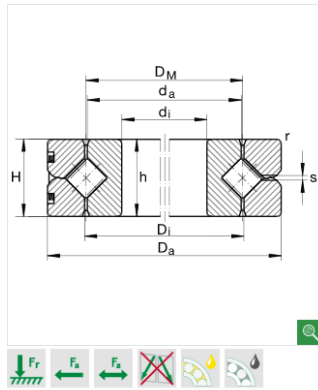


Características:

1. NdFeB, generador de imanes permanentes de la tierra rara
- 2 bajo par de arranque
3. El tamaño pequeño, hermoso aspecto de baja vibración
4. De fácil instalación, mantenimiento y reparación.
5. Generador de imán permanente de la tecnología patentada del rotor del alternador, junto con el especial diseño del estator, eficazmente a reducir la generación de resistencia par

ANEXO E

Rodamiento SCHAEFFLER del tipo SX011880



d_i	400 mm	Tolerancia: K6 +0,007/-0,029
D_a	500 mm	Tolerancia: h6 0/-0,040
H	46 mm	Altura constructiva del rodamiento Tolerancia: +/-0,15

D_i	451 mm	
D_M	450 mm	
d_a	449 mm	
h	46 mm	Alturas de los anillos individuales Tolerancia: E8 0/-0,05
r_{min}	2,1 mm	
s	2,5 mm	Agujero de lubricación: 3 agujeros equidistantes en la periferia

m	24 kg	Peso
	0,030 mm	Precisión de rodadura radial
	0,010 mm	Precisión de rodadura axial
s_{r min}	0,010 mm	Juego radial mín.
s_{r max}	0,050 mm	Juego radial máximo
s_{k min}	0,020 mm	Juego axial de vuelco mín.
s_{k max}	0,10 mm	Juego axial máximo
RLO_{max}	0,005 mm	Juego reducido: Juego radial
RLO_{max}	0,010 mm	Juego reducido: Precarga
VSP_{min}	0,005 mm	Precarga mín. del rodamiento
VSP_{max}	0,025 mm	Precarga máxima del rodamiento
C_a	385000 N	Capacidad de carga dinámica, axial
C_{0a}	1660000 N	Capacidad de carga estática, axial
C_r	275000 N	Capacidad de carga dinámica, radial (sólo para carga radial pura)
C_{0r}	810000 N	Capacidad de carga estática, radial (sólo para carga radial pura)
n_{G Öl}	340 1/min	Velocidad límite para lubricación con aceite, con juego normal
n_{G Fett}	170 1/min	Velocidad límite para lubricación con grasa, con juego normal
n_{G Öl}	170 1/min	Velocidad límite para lubricación con aceite, con precarga
n_{G Fett}	85 1/min	Velocidad límite para lubricación con grasa, con precarga
	61880	mismas medidas con ISO-serie de dimensiones 18

ANEXO F

Freno SBD17-G

HUAWU 华伍

液压盘式制动器 | Hydraulic Disc Brakes

SBD17-G、SBD85-G系列

□ □ □ □ □ □ □

SBD17-G,SBD85-G Series Hydraulic Disc Brake

应用：多安装于双馈型风机高速轴，作维持制动和应急制动。

Application:
Which are mostly installed on the high-speed shaft of double-fed wind turbines, and used for holding braking and emergency braking.

主要特点

- 常闭式设计，弹簧施力制动，液压力释放。
- 单缸浮动式结构，对制动盘一定范围内的轴向串动有良好的适应性。设有定位机构，在非水平安装场合，可避免摩擦片偏磨。
- 结构紧凑，外露部件少，整机防腐性好。
- 退距小，响应速度快，运动部件少，可靠性高，维护简单。
- 滑动部位设有自润滑轴承，传动效率高，动作灵敏。
- 高性能的摩擦片，摩擦系数稳定、制动平稳、无连续火花束、无噪音。
- 更换摩擦片不需拆卸制动器，快捷方便。
- 设有泄油口，避免油液泄漏时污染制动盘，安全环保。
- 设置有手动释放装置，方便制动器安装。
- 可设置限位开关，以实现制动器状态显示和连锁保护。

Main feature:

- *Normal-open design, hydraulic applied and spring released, braking force will change as the change of hydraulic pressure.*
- *Single cylinder floating structure, which can properly adapt to the axial shift in certain range of brake disc.*
- *Positioning mechanism is set on, so eccentric wear can be avoided on friction linings when in the non-horizontally mounted situation.*
- *Compact structure, few exposed parts and good anti-corrosive property.*
- *Small clearance, rapid response speed, few moving parts, high reliability and easy maintenance.*
- *Sliding parts are set with self-lubricating bearings, which are characterized by high transmission efficiency and sensitive motion.*
- *Friction linings are characterized by high performance and stable friction coefficient.*
- *When replace linings, it's unnecessary to dismantle brake, quick and easy.*
- *Oil catcher is set to prevent leaked oil polluting the brake disc, which is not only safe, but environmental protection.*
- *Hand release device is equipped on, which is easy for installing brake.*
- *Limit switch can be set to provide interlocking protection and indicate brakes' status.*



SBD17-G

可选项

- 开闭限位开关。
- 摩擦片磨损极限限位开关。
- 摩擦片磨损自动补偿装置。
- 不同摩擦系数摩擦片。
- 集油瓶。
- 制动器颜色。

Options

- Release limit switch.
- Pad wear extreme limit switch.
- Pad wear self-compensating device.
- Friction linings with different friction coefficient.
- Oil collecting bottle.
- Brake color.

订货标记 Order Mark



订货示例 Order Example

示例1: SBD17-G-01-900-RL—表示额定夹紧力为17KN、规格代号为01、带开闭限位开关的G型液压盘式制动器；对偶制动盘直径为900mm，盘厚为30mm。

示例2: SBD85-G-900-RL WL-RAL 2004 (深橙色)—表示额定夹紧力为85KN、带开闭限位开关和摩擦片磨损极限限位开关、面漆色标为2004 (深橙色)的G型液压盘式制动器；对偶制动盘直径为900mm，盘厚为35mm。

Example 1: SBD17-G-01-900-RL—means that rated clamping force is 17KN, specification code is 01, G type hydraulic disc brake with release limit switch; diameter of dual brake disc is 900mm, disc thickness is 30mm.

Example 2: SBD85-G-900-RL WL-RAL 2004 (dark orange)—means that rated clamping force is 85KN, G type hydraulic disc brake with release limit switch and pad wear extreme limit switch, color of finish paint is 2004 (dark orange). Diameter of dual brake disc is 900mm, disc thickness is 35mm.



SBD17-G系列 Series
 液压盘式制动器
 Hydraulic disc brakes

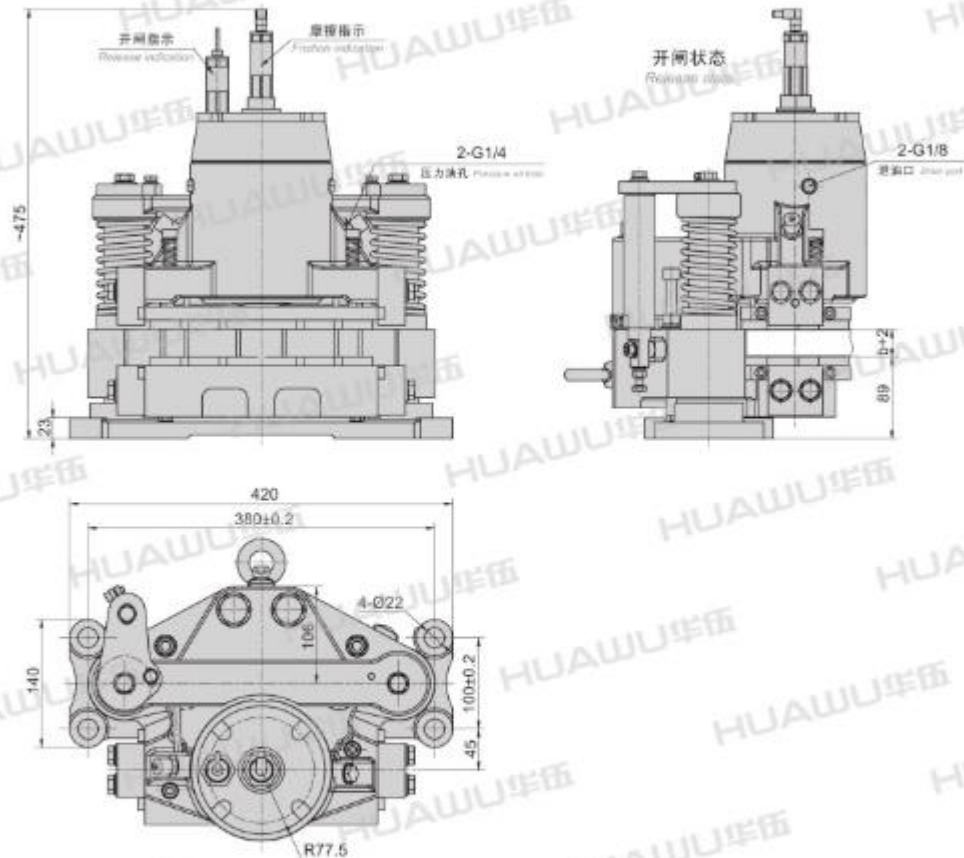
11/2013

使用条件:

- 环境温度: -40~+70℃
- 相对湿度: ≤95%
- 有特殊要求时, 请在订货时协调确定

Operating conditions:

- Ambient temperature: -40~+70℃
- Relative humidity: <95%
- Special requirements can be discussed in order.



技术参数表 Technical data sheet

额定夹紧力 Rated clamping force	最大夹紧力 Max clamping force	额定开闭压力 Rated release pressure	最大工作压力 Max working pressure	单边开闭间隙 Release gap of single axle	开闭油量 Release oil volume	重量 WT	名义摩擦系数μ Nominal friction coefficient μ	摩擦片最大允许磨损厚度 Max allowable wear thickness of friction lining
17000N	19000N	42bar	160bar	0.7~1.2mm	11ml	98Kg	0.35, 0.4	5mm
标准 制动盘厚b Standard disc thickness b	制动盘直径D Disc diameter D	最大 联轴器直径 Max coupling diameter	轴向浮动范围 Axial floating scope		安装螺栓 螺纹规格 Thread specification of mounting bolt			
			朝向安装面 Towards mounting face	背向安装面 Against mounting face				
30mm	≥500mm	D-260cm	5mm	10mm	M20-10.9级 Grade			

有特殊要求时, 请联系我们。 If have any special requirements, please keep touch with us.

ANEXO G
Matriz de Leopold

CARACTERÍSTICAS O CONDICIONES DEL MEDIO SUSCEPTIBLES DE ALTERARSE		ACCIONES QUE PUEDEN CAUSAR EFECTOS AMBIENTALES											EVALUACIONES			
		MODIFICACIÓN DEL RÉGIMEN			CONSTRUCCIÓN		EXTRACCIÓN DE RECURSOS		PROCESOS		OTROS					
		Modificación del hábitat	Alteración de la cubierta terrestre	Ruidos y vibraciones	Barreras, incluyendo vallados	Desmontes y rellenos	Excavaciones superficiales	Excavaciones subterráneas	Generación energía eléctrica	Almacenamiento de productos	Actuaciones sobre el paisaje	Reposición forestal				
		promedios positivos	promedios negativos	impactos de subcomponentes	impacto del proyecto											
TIERRA	Materiales de construcción	-4	-1	-2	-3	-3	-1	-2	4	2	-2	-3	2	9	-20	
	Suelos	-4	-2	-4	-3	-2	4	-3	-2	1	-2	-4	1	10	93	
PROCESOS	Deposición (Sedimentación y precipitación)	-2	4	-4	-2	-2	-1	-2	4	4	-2	-4	4	9	67	
	Compactación y asentamientos	-5	-3	-2	-2	-3	4	-3	2	4	-2	-3	4	10	-73	
	Sismología (Terremotos)	-2	-2	5										1	-10	
FLORA	Árboles	-4		-4	2		-2	-3	3		-8	5	1	5	-22	
	Arbustos	-3		-4	2		-2	-3	3		-3	5	1	5	-5	
FAUNA	Pájaros (Aves)	-2	3	-3	2						-4	3	3	3	-18	
	Fauna	-4		-3	4	2					-5	2	4	4	-40	
	Barreras	-4		-3	2	1					-2	3	4	4	-26	
USOS DEL TERRITORIO	Espacios abiertos o salvajes		-2	3	-2	6			10	5	-3	-2	4	4	-33	
	Comercial			3	8				7	9	7		3	3	149	
	Industrial			4	6				8	5	6		3	3	110	
	Vistas panorámicas y paisajes	-6	4	3	5	6	4	-3	3		-3	5		6	88	
ESTÉTICOS Y DE INTERÉS HUMANO	Naturaleza	-3	4		5						-3	2		2	-18	
	Espacios abiertos	-2	4	3	5	2					-2	3		2	11	
	Paisajes	-3	2	3	-2	3	-2	1		-3	2	1		1	-16	
NIVEL CULTURAL	Estados de vida	10	8	-1	2	1			9	7	-2	6	3	4	231	
	Empleo	10	7	3	5	6			9	10	6	1	4	7	428	
SERVICIOS	Estructuras	-4	2	3	-4	-3	4	-2	-2	-3	1	2		8	-56	
	Red de servicios	-2	2	-1	4	2	4	2	3	7	4	7		4	93	


ANEXO H SISTEMA DE TRANSMISIÓN NACIONAL ACTUAL

SISTEMA DE TRANSMISIÓN NACIONAL ACTUAL 2016



ANEXO I

Tarifa de energía eléctrica del choco

		CALCULO DE TARIFAS CLIENTES REGULADOS					
		MES: mayo-19					
Tarifas correspondientes a la facturación del mes de Mayo 2019 para los usuarios regulados de DISPAC S.A. E.S.P calculadas de acuerdo a las resoluciones CREG, 031-97, 112-01, 082-02, 058-03, 114-03, 113-05, 036-06, 001-07, 097-08, 119-07, 133-08, 133-14 168-08, 108-09, 051-10, 186-10, 172/173 de 2011, la Ley 1428/10, Circular MME 18059/06, Resoluciones CREG 180 - 191 de 2014, Resolución 017 de 2016.							
$CU_{n,m,i,j} = G_{n,m,i,j} + T_m + D_{n,m} + CV_{m,i,j} + PR_{n,m,i,j} + R_{m,i}$							
Componentes de Costo Unitario de Prestación del Servicio calculados según resolución 119/2007							
Nivel de Tensión y Tipo de Propiedad	Cf _{m,j} \$/factura				\$ 14.745,31		
	G _{m,i,j}	T _m	D _{n,m}	R _{m,i}	CV _{m,i,j}	PR _{n,m,i,j}	CUV _{n,m,i,j}
	Compra de Energía	Uso del STN	Distribución	Costo de Restricciones	Comercialización	Pérdidas	Costo Unitario
	(\$/kWh)	(\$/kWh)	(\$/kWh)	(\$/kWh)	(\$/kWh)	(\$/kWh)	(\$/kWh)
I (Propiedad OR)	204,68	32,70	139,86	15,27	126,05	38,22	556,78
I (Propiedad USUARIO)	204,68	32,70	108,96	15,27	126,05	38,22	525,89
II	204,68	32,70	90,52	15,27	126,05	7,59	476,81

TARIFAS RESIDENCIALES NIVEL I	Rango	Propiedad OR	Propiedad USUARIO	CS - CONSUMO DE SUBSISTENCIA	
Estrato 1	0 hasta CS	265,04	250,88	CS Usuarios Normales Para Municipios a una altura inferior a 1000 metros sobre el nivel del mar	173
	Mas de CS	556,78	525,89		
Estrato 2	0 hasta CS	332,61	313,60	CS Usuarios SubNormales Para Municipios a una altura inferior a 1000 metros sobre el nivel del mar	184
	Mas de CS	556,78	525,89		
Estrato 3	0 hasta CS	473,27	447,01	Resol. UPME 0355/2004 y Resol. UPME 0013/2005	
	Mas de CS	556,78	525,89		
Estrato 4	Todo Consumo	556,78	525,89		
TARIFAS NO RESIDENCIALES NIVEL I	Propiedad OR	Propiedad USUARIO	TARIFAS NO RESIDENCIALES NIVEL II		
Comercial	668,14	631,07	Comercial	572,18	
Industrial	668,14	631,07	Industrial	572,18	
Provisional	668,14	631,07	Provisional	572,18	
Industrial Sin Contribución	556,78	525,89	Industrial Sin Contribución	476,81	
Oficial	556,78	525,89	Oficial	476,81	
Acueducto	612,46	578,48	Acueducto	524,50	

Nota 1: Tarifa calculada con el nuevo porcentaje de AOM, asignado a Dispac S.A.E.S.P., según lo establecido en el art. 10,3 de la resolución CREG 051-2010. Este comunicado se realiza en cumplimiento del art. 5 de la resolución CREG 133/2014.

Nota 2: La CREG expidió la resolución 017 de 2016 que determinó el costo base de comercialización (13.440 \$ dic 2013/factura), las primas de riesgo para usuarios tradiciones (1,17%) y especiales (34,49%), que con la metodología de la resolución CREG 180 de 2014 se estableció el cargo variable de comercialización del mes de mayo: 126,05 \$/kWh.

F20-23-16

ANEXO J

Precio del dólar

1 USD = 3,427.29 COP

Tres Mil Cuatrocientos Veintisiete Pesos Con Veintinueve Centavos

< Dólar Ayer

2019-09-03



Ver histórico

ANEXO K.
PLANOS ver CD- ROOM