

**PRACTICA ACADÉMICA EN EL CENTRO INDUSTRIAL
DE MANTENIMIENTO INTEGRAL CIMI-SENA REGIONAL SANTANDER**

DAVID RICARDO SUÁREZ ALZA

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
BUCARAMANGA, COLOMBIA**

2020

NOTA DE ACEPTACIÓN

El informe final de la práctica
ha sido recibido y aceptado.

ANTONIO FAUSTINO MUNOZ MONER.
Director de prácticas académicas.

Contenido

3. INTRODUCCION	5
4. OBJETIVO	6
5. MARCO CONCEPTUAL.....	7
5.1. Energía eólica.....	7
5.4. La medición de las características del viento.....	8
5.5. Turbinas de viento	8
5.6. Tipos de turbinas eólicas	9
5.7. Aerogenerador con rotor viento arriba (barlovento) y vientoabajo (sotavento).....	10
5.8. Sistema de captación.....	10
5.9. Generación eléctrica.....	11
5.9.1. Generadores de imanes permanentes	11
5.9.2. Generadores síncronos.....	12
5.9.3. Generadores asíncronos.....	12
5.10. Criterios para la selección para el diseño del álabe	13
6. ACTIVIDADES	16
6.1. Modelado 3d (SolidWorks): Se realizaron las diferentes piezas del banco de pruebas para el aerogenerador.....	16
6.2. Documentación del diseño de las turbinas a través de información teórica	16
7. DISEÑO ÁLABE SOFTWARE CÁLCULO DE LAS TURBINAS EÓLICAS (Q-BLADE)	17
7.1. Diseño álabe en Q-blade (software cálculo turbinas eólicas).....	17
7.2. Funcionalidad básica	17
7.3. Simulación del álabe de la microturbina en Q-blade.....	18
7.4. Metodología para la geometría del álabe de la microturbina en Q-blade.....	18
7.5. Diseño de las turbinas en SolidWorks (software CAD)	24
7.6. Planos	28
8. RECOMENDACIONES	29
9. CONCLUSIONES	30
10. BIBLIOGRAFÍA.....	31
Bibliografía	31

Tabla de Ilustraciones

Ilustración 1. Perfiles de velocidad de viento, en función de las características topográficas del terreno. [1].....	7
Ilustración 2. Generador eólico eje horizontal. [2]	8
Ilustración 3. Generador eólico de eje vertical [2]	9
Ilustración 4. Dimensiones de distintas configuraciones de rotores de turbinas de viento para el cálculo del área de barrido. [2]	10
Ilustración 5. Detalle de los componentes que forman las palas. [4].....	11
Ilustración 6. Detalle de los imanes insertados en el rotor y bobinas para obtener energía trifásica. [5]	11
Ilustración 7. Generador de potencia media (SOLENER). [5]	12
Ilustración 8. Generador eléctrico en el interior de la carcasa o góndola de un aerogenerador de potencia. [6].....	13
Ilustración 9. Acciones del viento sobre un perfil estático. [7]	14
Ilustración 10. Coeficientes de sustentación y arrastre de un perfil aerodinámico. [7]	15
Ilustración 11. Coeficiente de sustentación- arrastre vs Angulo de ataque para diferentes perfiles.	20

Tabla de Tablas

Tabla 1. Energía de salida estimada para turbinas de viento de tamaño medio y pequeñas. [2]	9
Tabla 2. Datos optimizados de la longitud de la cuerda y de ángulo de giro. Fuente: Autor.	22

3. INTRODUCCION

- a. Servicio Nacional de Aprendizaje-SENA, formación profesional integral.
- b. De acuerdo con las circunstancias las practicas académicas en el SENA se llevaron a cabo tanto presencial como trabajo en casa, dada la cuarentena obligatoria decretada por el gobierno nacional.

Hoy por hoy, los combustibles fósiles como el petróleo, carbón y gas son los encargados de proporcionar cerca del 82% de la energía que requiere el mundo, se debe considerar que estos combustibles fósiles se tratan de una fuente no renovable, de manera que tanto el petróleo como el gas tienen reservas relativamente limitadas en tiempo y cantidad. La existencia limitada de los recursos petroleros es un factor muy importante para incorporar las energías renovables como también que el uso de combustibles fósiles afecta la presencia de los gases de efecto invernadero.

Afortunadamente existen organizaciones nacionales e internacionales que están trabajando para desarrollar fuentes renovables de energía, para crear conciencia e impactar menos el medio ambiente. De manera que se han considerado unas fuentes de energía:

- Solar
- Eólica
- Hidráulica

En esta investigación se revisará la fuente de energía eólica de manera que se analice su condición actual y perspectivas a futuro.

El viento representa una de las mejores alternativas para generar potencia, a partir de una fuente renovable y adicionalmente esta industria crea empleos y apoya el crecimiento económico, al ser libre con una tecnología moderna puede ser capturado de forma eficiente.

La metodología de trabajo propuesta es mencionar los principales aspectos teóricos y principios físicos que gobiernan el funcionamiento de este tipo de máquinas, así como los principales componentes asociados a un sistema de generación de baja potencia. Posteriormente construir un banco de pruebas para efectos de medición y evaluación de parámetros de diseño.

4. OBJETIVO

- Apoyar del diseño mecánico del proyecto de innovación denominado: diseño de prototipo de acelerador eólico para la generación de energía eléctrica.

Funciones y/o responsabilidades de acuerdo con el cargo que le fue asignado.

- Manejo de software Q-blade
- Diseñar Banco de pruebas para las turbinas Eólicas
- Diseñar perfiles alares para turbinas Eólicas (Q-blade y SolidWorks)
- Diseñar perfiles alabes para turbinas Eólicas (Q-blade y SolidWorks)
- Diseñar Banco de pruebas para las turbinas Eólicas
- Impresión 3D

5. MARCO CONCEPTUAL

Fundamentación e información profesional

5.1. Energía eólica

La energía eólica es la energía obtenida a partir del viento, es decir, que la energía cinética generada por el efecto de las corrientes de aire, y que es transformada en otras formas útiles para actividades humanas.

5.2. La potencia del viento

La cantidad de energía del viento se puede expresar como la relación matemática entre la velocidad y la masa. La velocidad del viento cambia constantemente, algunas veces momento a momento y es afectada por muchos factores, incluyendo la hora del día y la noche.

Se puede usar como una norma aceptable usar la velocidad promedio del viento durante un periodo del año, sin embargo, se debe tener en cuenta que este valor puede cambiar de año a año. A cualquier valor dado de velocidad, hay mayor energía cinética almacenada en el objeto pesado, que uno ligero.

5.3. Variación de viento con la altura sobre el terreno

El perfil del viento donde se toma la velocidad varía como una función de la altura con respecto al terreno. La forma de este perfil dependerá principalmente de la rugosidad del terreno. En la siguiente figura se ilustra el comportamiento del perfil de velocidades del viento en función de las características topográficas del terreno.

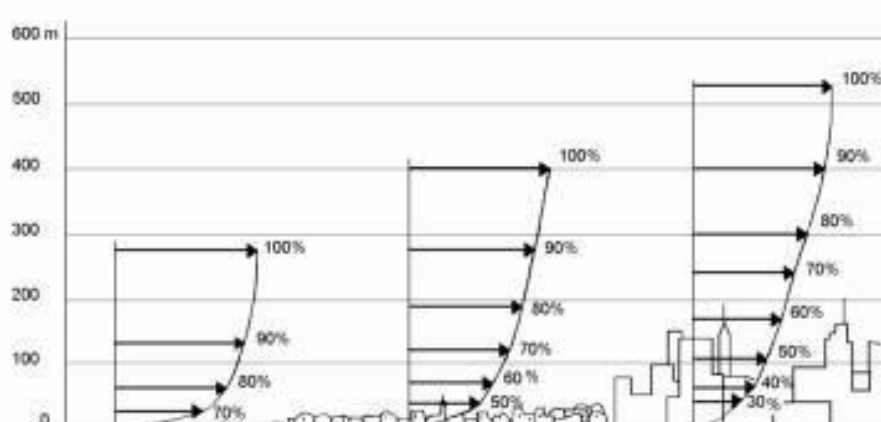


Ilustración 1. Perfiles de velocidad de viento, en función de las características topográficas del terreno. [1]

El viento es una fuente de energía cuya característica fundamental es la irregularidad. No siempre que se desea o que la demanda energética es alta se puede disponer de viento de suficiente velocidad como para emplearlo en la generación eléctrica.

Cuando se trata de evaluar un sitio hay que determinar características del viento, entre las cuales se tienen condiciones meteorológicas, variación temporal de la velocidad, potencial eólico disponible, relaciones entre dirección y turbulencia y relaciones entre velocidad y turbulencia.

5.4. La medición de las características del viento

Los instrumentos de medida necesarios en energía eólica son:

- Anemómetro para medir la velocidad del viento
- Veletas para medir la dirección
- Termómetros para medir la temperatura ambiente del aire
- Barómetros para medir la presión Atmosférica ambiental

5.5. Turbinas de viento

Hay dos tipos de turbinas de viento: de eje horizontal y de eje vertical, estas turbinas se clasifican o diferencian por el eje de rotación del rotor.

Turbinas de viento de eje horizontal: Tienen el rotor y el generador eléctrico en forma horizontal y ambos acoples entre sí y montados en la parte superior.



Ilustración 2. Generador eólico eje horizontal. [2]

Turbinas de viento de eje vertical: Están diseñadas con el eje del rotor en forma vertical, un generador los cuales están colocadas en la parte inferior de la turbina y un rotor con palas en forma que permite aprovechar las potencias del viento, sin importar en qué dirección sopla.

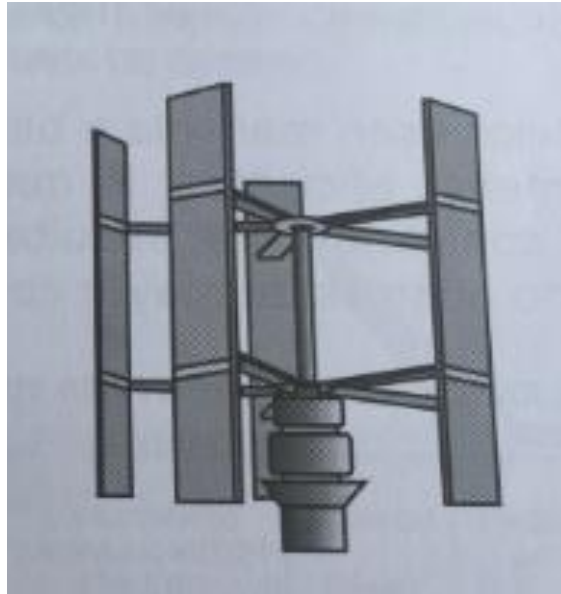


Ilustración 3. Generador eólico de eje vertical [2]

5.6. Tipos de turbinas eólicas

Existen generadores manopala, bipala, tripala o multipala, en la actualidad la mayoría de los aerogeneradores se fabrican con tres palas, que es el numero menos de palas que proporcionan estabilidad y permite ahorrar más material y peso.

Tabla 1. Energía de salida estimada para turbinas de viento de tamaño medio y pequeñas. [2]

VELOCIDAD DEL VIENTO PROMEDIO ANUAL (m / s)	NOMINAL (mph)	DENSIDAD DE POTENCIA ANUAL (W / m ²)	DENSIDAD DE ENERGIA ANUAL (kWh/m ²)	TURBINAS PEQUEÑA	
				EFICIENCIA GLOBAL DE LA CONVERSION (%)	SALIDA ANUAL DE ENERGIA (kWh / m ²)
4	9	75	656	0.20	130
5	11	146	1,281	0.20	260
6	13	253	2,214	0.19	410
7	16	401	3,515	0.16	570
8	18	599	5,247	0.15	770
9	20	853	7,471	0.14	1,020

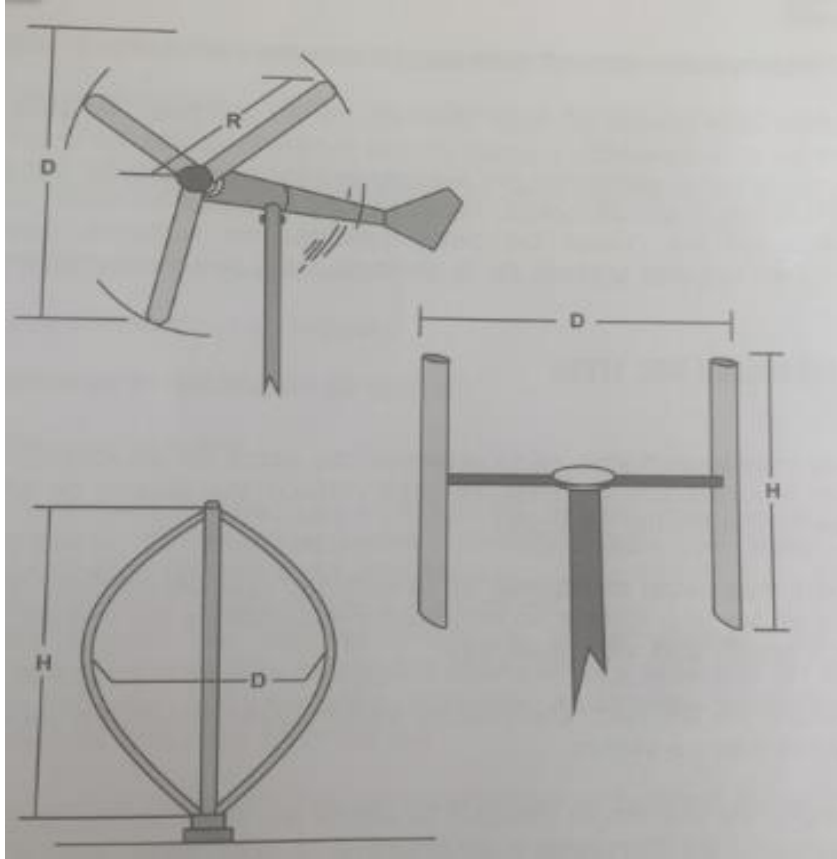


Ilustración 4. Dimensiones de distintas configuraciones de rotores de turbinas de viento para el cálculo del área de barrido. [2]

5.7. Aerogenerador con rotor viento arriba (barlovento) y viento abajo (sotavento)

Las turbinas que tienen el rotor delante de la góndola se conocen como viento arriba o barlovento, y estas son la mayoría de las turbinas, con esto se logra que ningún elemento del aerogenerador sea frenado por el viento o crean turbulencias, sin embargo, también hay turbinas en rotor viento abajo p sotavento en la cuales las palas (paletas en turbinas pequeñas) se encuentran en la parte trasera de la góndola, esto se usa normalmente. [3]

5.8. Sistema de captación

El sistema de captación se puede considerar como el medio de conversión de la energía cinética del viento a energía mecánica, que entrega al generador eléctrico. Se compone de tres componentes fundamentales: las palas, cuyo número generalizado es tres, el buje como elemento de acoplo entre ellas y el eje motriz y el rotor.

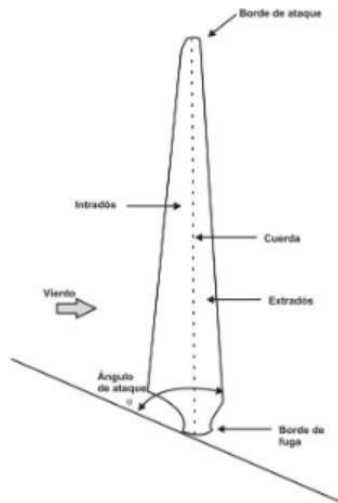


Ilustración 5. Detalle de los componentes que forman las palas. [4]

5.9. Generación eléctrica

En los aerogeneradores se distinguen tres tipos de generadores eléctricos cuyas características y aplicaciones son muy diferentes: los de imanes permanentes, utilizados tradicionalmente en las máquinas de las versiones micro y mini, y ahora con intentos de entrar en las de potencia, y los síncronos y asíncronos en las de potencia.

Tienen en común que la generación es trifásica por razones de rendimiento. Sin embargo, en las pequeñas máquinas es usual rectificarla interiormente y suministrarla en continua y las grandes máquinas la suministran en alterna.

5.9.1. Generadores de imanes permanentes

En este generador la excitación, el campo magnético necesario para que las bobinas inducidas generen tensión, se produce con una sucesión de imanes permanentes insertados en el rotor insertado en el rotor.

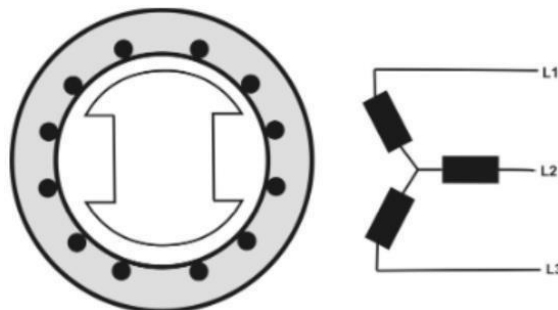


Ilustración 6. Detalle de los imanes insertados en el rotor y bobinas para obtener energía trifásica. [5]

Presenta ventajas de que puede tener muchos polos formados por parejas de imanes enfrentados. Es el generador empleado desde su inicio industrial en todos los pequeños aerogeneradores por su simplicidad, economía, y por la condición de prescindir en multiplicador. Sin embargo, estos imanes le dieron paso a los de neodimio (neodimio + hierro + boro) que ofrecen más intensidad de su campo magnético y menos riesgo de pérdida de las propiedades.

5.9.2. Generadores síncronos

Los generadores síncronos son máquinas rotativas que producen energía eléctrica cuando su rotor gira a la velocidad de sincronismo. El campo de excitación necesario para que sus bobinas inducidas corten las líneas de fuerza y produzca generación de electricidad se consigue mediante la incorporación de bobinas auxiliares recorridas por una corriente continua de procedencia externa.

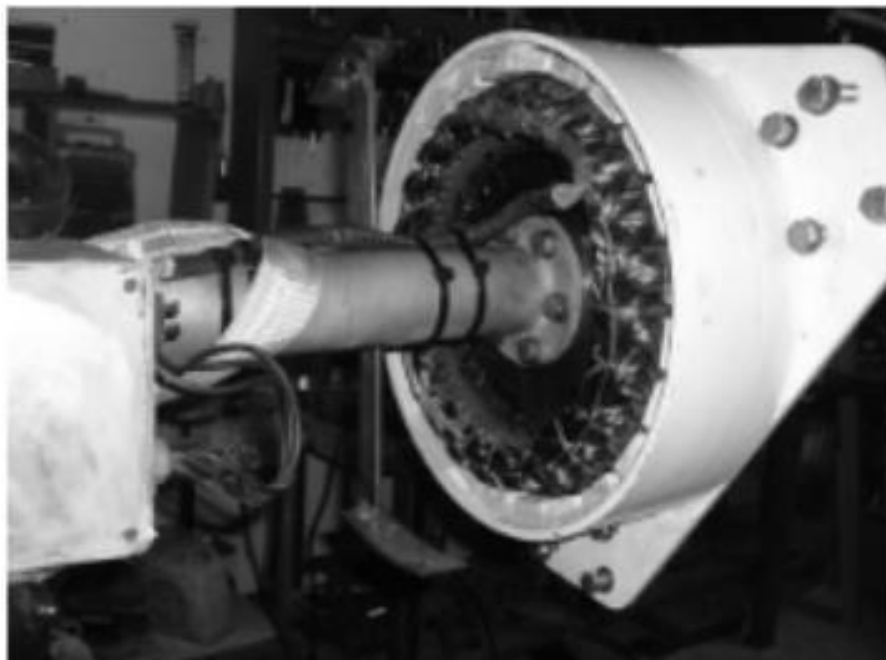


Ilustración 7. Generador de potencia media (SOLENER). [5]

5.9.3. Generadores asíncronos

Las máquinas asíncronas son motores de inducción, generalmente de jaula de ardilla, con el rotor en cortocircuito, que comienzan a generar energía eléctrica a partir de una velocidad de giro ligeramente superior a la de sincronismo.



Ilustración 8. Generador eléctrico en el interior de la carcasa o góndola de un aerogenerador de potencia. [6]

5.10. Criterios para la selección para el diseño del álabe

La generación de energía eléctrica a partir de la velocidad del viento básicamente requiere de un rotor conectado a un generador eléctrico. Por su trabajo, el diseño del rotor cumple un papel muy importante para maximizar y aprovechar la energía cinética.

La eficiencia de la turbina eólica depende de DISEÑO de varios elementos del ÁLAVE:

- Forma del perfil aerodinámico
- El tamaño de la cuerda
- El ángulo de ataque o giro del perfil
- la velocidad de giro

Los cuales son elementos que deben ser diseñados teniendo en cuenta las condiciones del viento, la relación entre sustentación y arrastre para cada perfil tiene su propio ángulo de ataque óptimo en donde encuentra su mejor rendimiento.

El flujo sobre la capa límite, dado que la velocidad del fluido respecto al sólido varía desde 0% hasta ale 99% de la velocidad de la corriente no perturbada. Algunos perfiles están diseñados en familia y son recomendados para distintas zonas o secciones en el álabe para su mejor rendimiento.

Es el caso de los perfiles S833-S834-S835 diseñados como una familia de perfiles para aerogeneradores de eje horizontal para bajos valores de Reynolds. También se utiliza la familia de perfiles SG6040-SG6042-SG6043, esta familia diseñada para aerogeneradores de eje horizontal con funcionamiento o baja velocidad. Teniendo como criterio de

comparación, la mayor relación entre el coeficiente de sustentación y el coeficiente de arrastre para determinado número de Reynolds por con la dificultad de una variación en cuanto al ángulo de ataque del viento y el número de Reynolds.

Un perfil con espesor más grande tendrá una menor relación de sustentación, pero presentará una oportunidad de ser usado en la base del álabe, llamada raíz, para mejorar el desempeño estructural.

Para comprender el diseño de las palas de los aerogeneradores analicemos inicialmente la acción del viento sobre una superficie con forma de perfil de pala, cuya cuerda forma un ángulo de inclinación α denominado ángulo de ataque, respecto a la dirección del viento atmosférico.

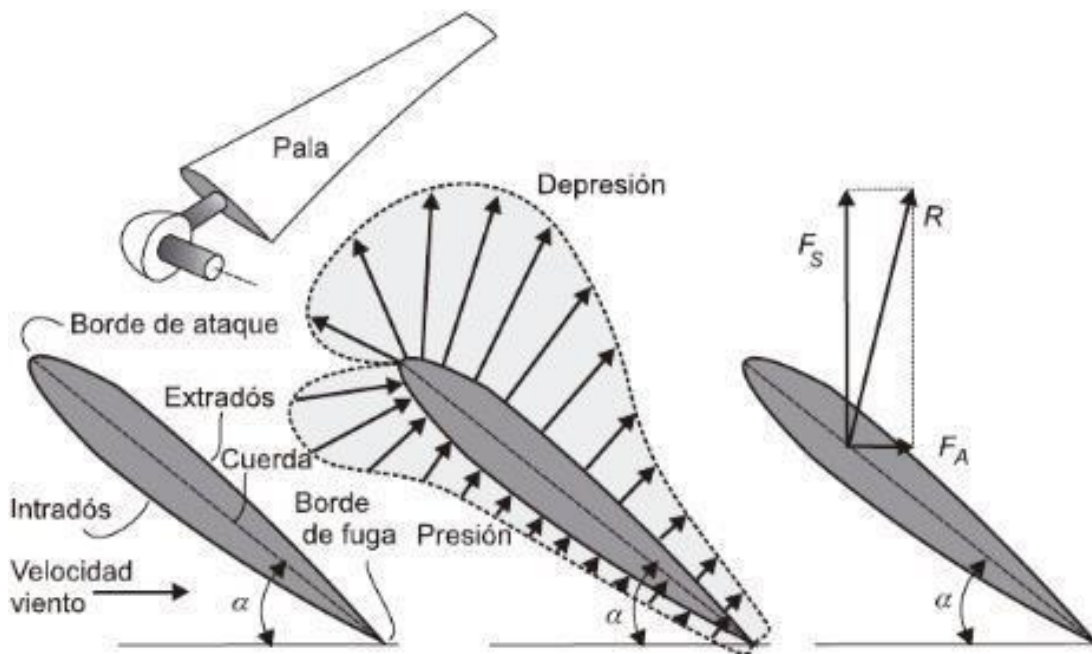


Ilustración 9. Acciones del viento sobre un perfil estático. [7]

Si se analiza el dispositivo en un túnel aerodinámico, se detectaría, mediante la lectura de manómetros. Una sobre presión sobre la cara expuesta al viento (intradós) y una depresión sobre la parte posterior (extradós). Se componen las fuerzas originadas por las sobrepresiones y depresiones se obtendría una fuerza resultante R , generalmente oblicua respecto a la dirección del viento y aplicada en el centro aerodinámico, que depende del ángulo α .

La fuerza resultante R puede descomponerse en dos fuerzas F_s y F_A denominadas **fuerza de sustentación** y **fuerza de arrastre**₁, respectivamente.

$$F_s = \frac{C_s}{2} (\rho A v^2) \quad \text{Ec.1}$$

$$F_A = \frac{1}{2} C_A \rho A v^2$$

Ec. 2

La fuerza F_S es perpendicular a la dirección del viento y la fuerza F_A es paralela a la dirección de este. Los coeficientes C_S y C_A se denominan coeficiente de sustentación y coeficiente de arrastre, estos coeficientes dependen de la forma del perfil aerodinámico y del ángulo de ataque α , y se determinan en túneles de viento.

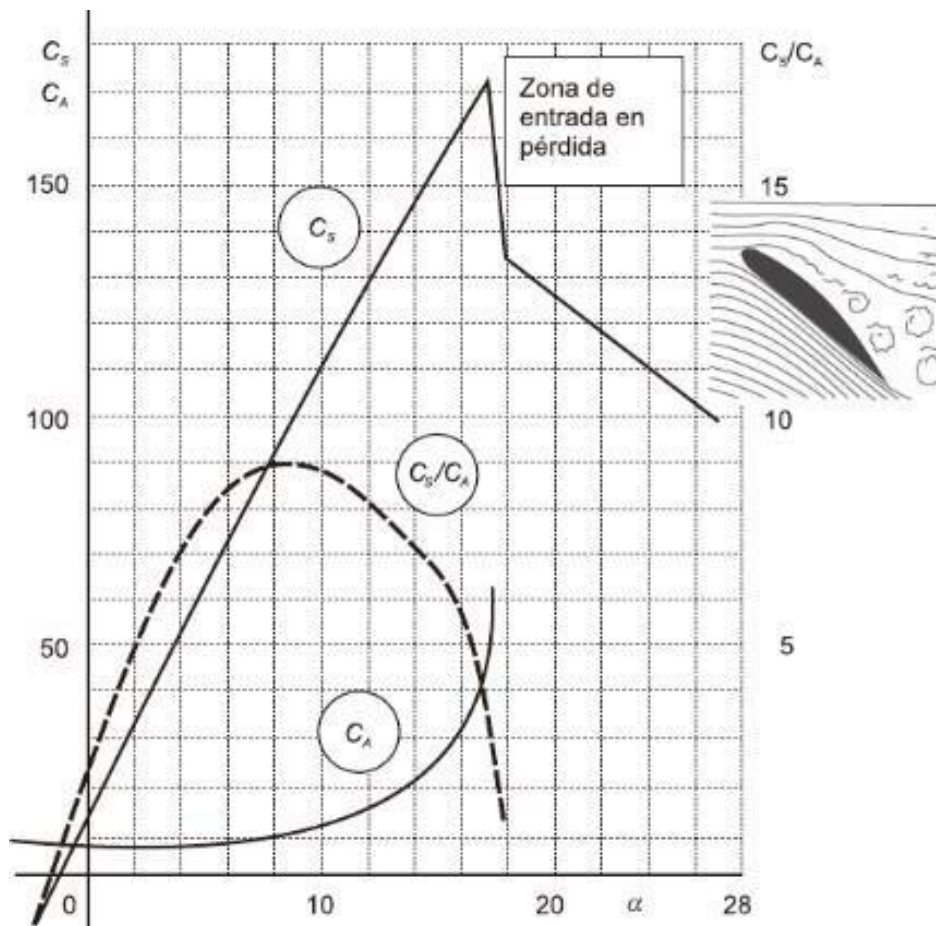


Ilustración 10. Coeficientes de sustentación y arrastre de un perfil aerodinámico. [7]

6. ACTIVIDADES

- 6.1. Modelado 3d (SolidWorks): Se realizaron las diferentes piezas del banco de pruebas para el aerogenerador
- Base para el generador.
 - Acople para la turbina.

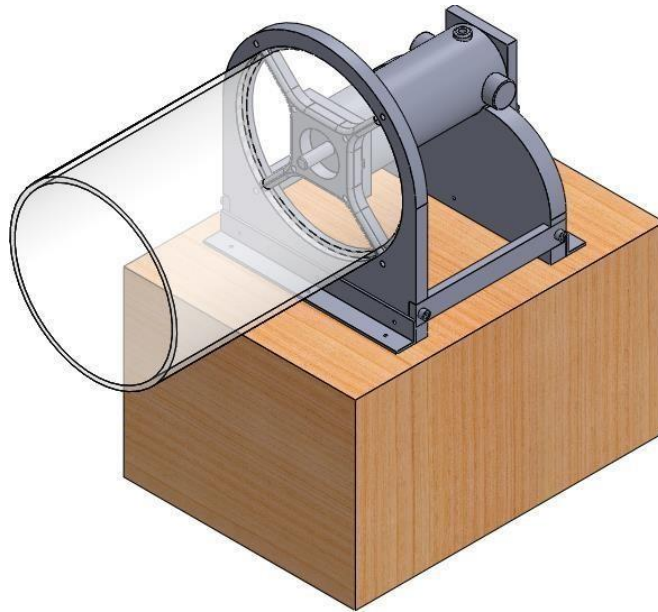


Ilustración 11. Banco de pruebas.
Fuente propia

- 6.2. Documentación del diseño de las turbinas a través de información teórica.
- Introducción a las fuentes Renovables de energía.
 - Energía eólica.
 - Variación del viento con la altura sobre el terreno (medición de las características del viento).
 - Turbinas de viento.
 - Tipos de turbinas eólicas.
 - Tipos de generadores.
 - Criterios de selección para el diseño del alabe de las turbinas.
 - Análisis comparativo de diferentes turbinas.

7. DISEÑO ÁLABE SOFTWARE CÁLCULO DE LAS TURBINAS EÓLICAS (Q-BLADE)

7.1. Diseño álabes en Q-blade (software cálculo turbinas eólicas)

QBlade es un software de cálculo de turbinas eólicas de código abierto, distribuido bajo la GPL.

La integración de la funcionalidad XFOIL / XFLR5 permite al usuario diseñar rápidamente perfiles personalizados y calcular sus polares de rendimiento e integrarlos directamente en un diseño y simulación de rotor de turbina eólica.

El software es especialmente adecuado para la enseñanza, ya que proporciona un diseño práctico y capacidades de simulación para el diseño del rotor y muestra todas las relaciones fundamentales de los conceptos de diseño y el rendimiento de la turbina de una manera fácil e intuitiva.

7.2. Funcionalidad básica

- Extrapolación de datos polares XFOIL generados o importados a 360 °.
- Diseño y optimización de la hoja, incluida la visualización en 3D, utilizando perfiles XFOIL generados o importados.
- Cálculo del rendimiento de la turbina sobre el rango de velocidad del viento.
- Funcionalidad de exportación para todos los datos de simulación creados.

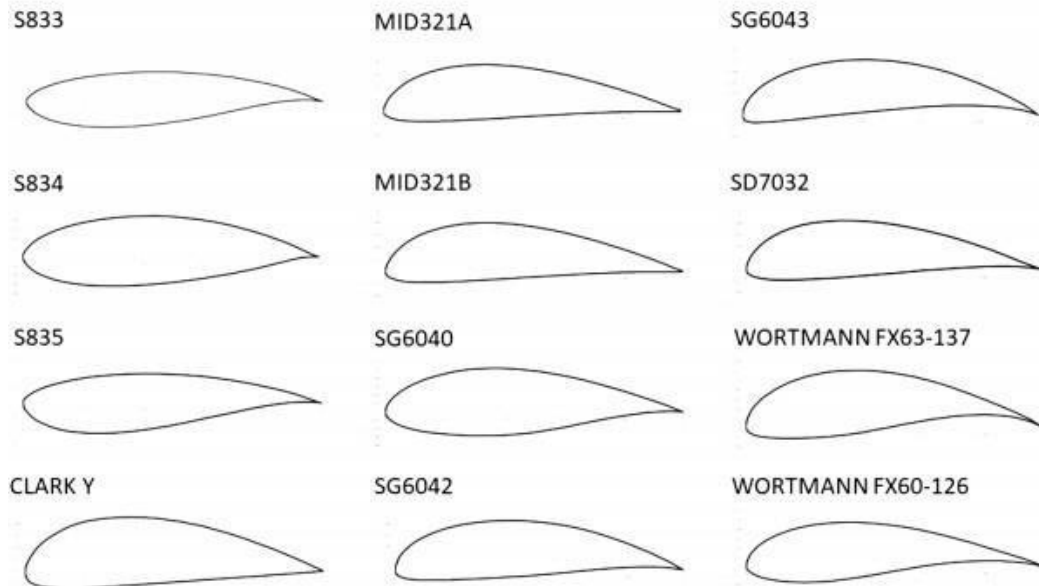


Ilustración 12. Perfiles aerodinámicos de la base de datos. [8]

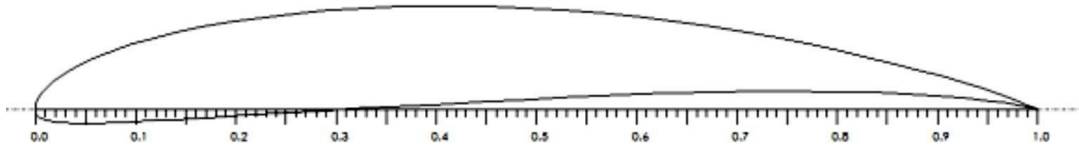


Ilustración 13. Perfil alar SG6043. [8]

7.3. Simulación del álabe de la microturbina en Q-blade

Para el diseño y la optimización de los alabes de los micro aerogeneradores de velocidad nominal del viento de 7 m/s, se selecciona un perfil alar SG6043, ya que proporciona un coeficiente de elevación máximo de 1,83.

Las pequeñas turbinas eólicas se clasifican en micro (1kw), de rango medio (5kw) y mini turbinas eólicas (20 kW), para casa pequeñas y baja velocidad del viento se utilizan microturbinas.

El efecto del número de Reynolds es la relación entre la fuerza inercia y la fuerza viscosa. [9]

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad \text{Ec. 3}$$

Como la densidad y la viscosidad dinámica del aire son constantes en condiciones normales, el número de Reynolds varía según el cambio en la velocidad y diámetro del rotor. SE espera un flujo laminar para perfiles aerodinámicos con un numero bajo de Reynolds. La separación del flujo puede ocurrir debido a la formación de burbujas

7.4. Metodología para la geometría del álabe de la microturbina en Q-blade

Geometría del álabe constante

La longitud de la cuerda constante se toma desde la raíz hasta la punta de la cuchilla para un ángulo de giro para cada sesión varía.

Geometría del álabe variable

La longitud de la cuerda varía desde la raíz hasta la punta de la cuchilla en orden decreciente para cada sección. Además, el ángulo de giro para cada sesión varía.

Al considerar los siguientes resultados de longitud de la cuerda se muestra en Q-blade, el coeficiente de potencia frente a la relación de velocidad para geometría del alabe constante como variable.

La ilustración 13 muestra 5 perfiles alares diferentes cuyas coordenadas se importan y se trazan en Q-blade. La curva punteada de color negro muestra el perfil alar SG6043 que tiene un valor máximo de 10.02% a 32.01% de longitud de la cuerda.

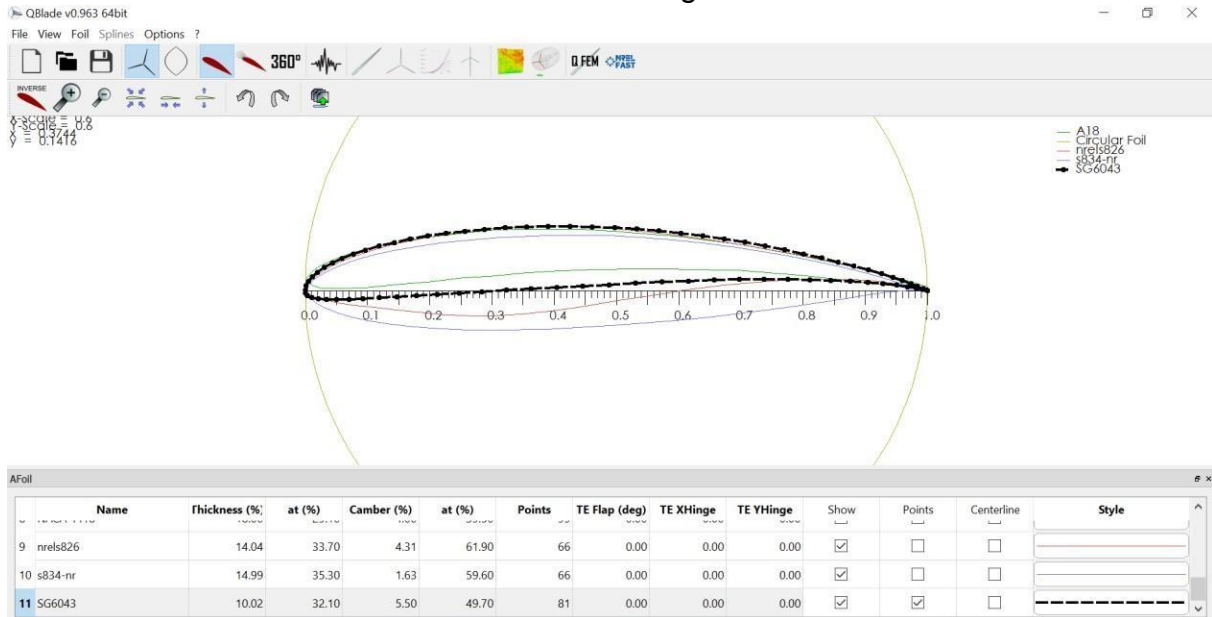


Ilustración 14. Comparación de diferentes perfiles Q-blade.
Fuente propia

Coefficientes de sustentación de arrastre para varios perfiles

$$\frac{\text{coeficiente de sustentación}}{\text{coeficiente de arrastre}} = \frac{C_l}{C_d} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde

$$C_l = \frac{l}{\rho V^2 A_2} \quad \text{Ec. 5}$$

$$C_d = \frac{d}{\rho V^2 A_2} \quad \text{Ec. 6}$$

En la ilustración 14 se traza un gráfico de coeficiente de sustentación vs el ángulo de ataque para 5 perfiles diferentes.

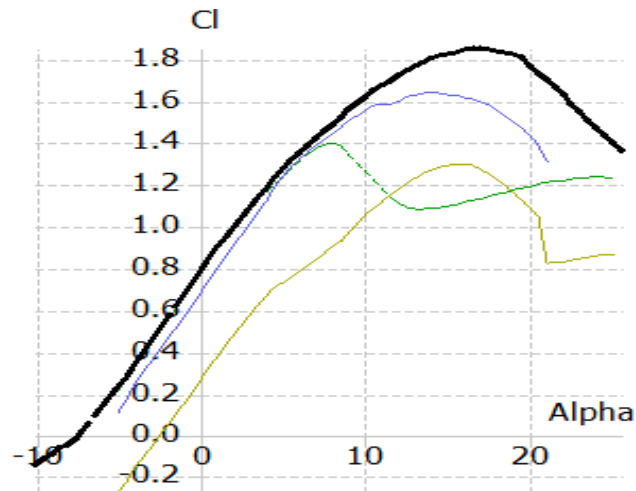


Ilustración 15. Coeficiente de sustentación C_l vs Angulo de ataque α para diferentes perfiles.
Fuente propia

La curva de color negro muestra que el perfil SG6043 proporciona el valor máximo del coeficiente de sustentación 1.83 para un ángulo de ataque entre 10° y 20° grados.

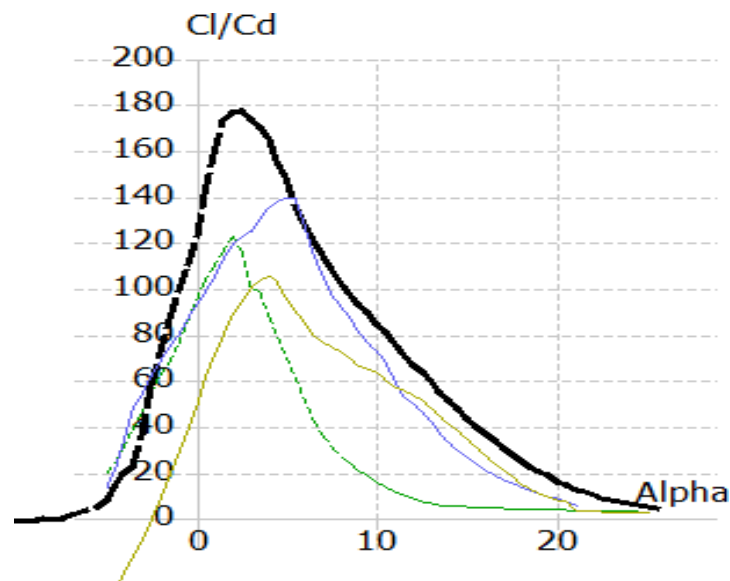


Ilustración 11. Coeficiente de sustentación- arrastre vs Angulo de ataque para diferentes perfiles.
Fuente propia.

La curva de color negro muestra que el perfil SG6043 proporciona el valor máximo de la relación coeficiente sustentación-arrastre para un ángulo de ataque entre 2° - 4° grados.

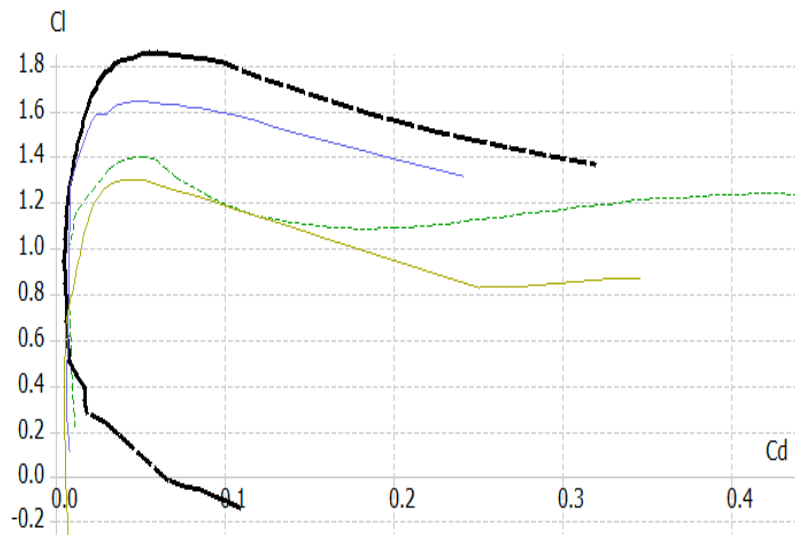


Ilustración 17. Coeficiente de sustentación vs coeficiente de arrastre para diferentes perfiles.
Fuente propia.

En la gráfica de la ilustración 17 muestra diferentes perfiles según el color, a partir de los resultados graficados en Q-blade el perfil SG6043 proporciona el coeficiente de sustentación máximo, coeficiente de sustentación-arrastre en varios ángulos de ataque (α). El coeficiente de sustentación máximo de SG6043 es de 1.83 a $\alpha= 16^\circ$ por lo tanto el perfil SG6043 es el seleccionado. [10]

Cuerda optimizada y ángulo de giro para el perfil SG6043

La siguiente tabla muestra valores optimizados de ángulo de giro y longitud de la cuerda para 10 secciones diferentes de la longitud del álabe

Tabla 2. Datos optimizados de la longitud de la cuerda y de ángulo de giro. Fuente: Autor.

	Pos (m)	Chord (m)	Twist	Foil
1	0	0,007	0	SG6043
2	0,0085	0,0198884	15,97	SG6043
3	0,017	0,0137776	10,9	SG6043
4	0,025	0,0105112	7,72	SG6043
5	0,034	0,0078134	5,55	SG6043
6	0,043	0,00676741	3,98	SG6043
7	0,051	0,00610055	2,8	SG6043
8	0,0595	0,00564356	1,87	SG6043
9	0,068	0,00541506	1,12	SG6043
10	0,075	0,00530081	0,51	SG6043
11	0,081	0,00518656	0	SG6043

En la tabla se muestra valores optimizados de ángulo de giro y longitud de la cuerda para 10 secciones diferentes de 0.085 m de longitud del álabe.

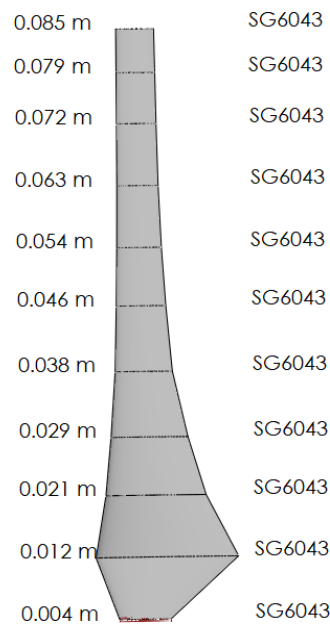


Ilustración 18. Álabe de 10 secciones diferentes de 0.085 m de longitud con perfil SG6043

Fuente propia.

Una vez se tiene el álabe con sus características, se le añaden dos álabes más para así obtener un modelo de tres álabes en el software Q-blade

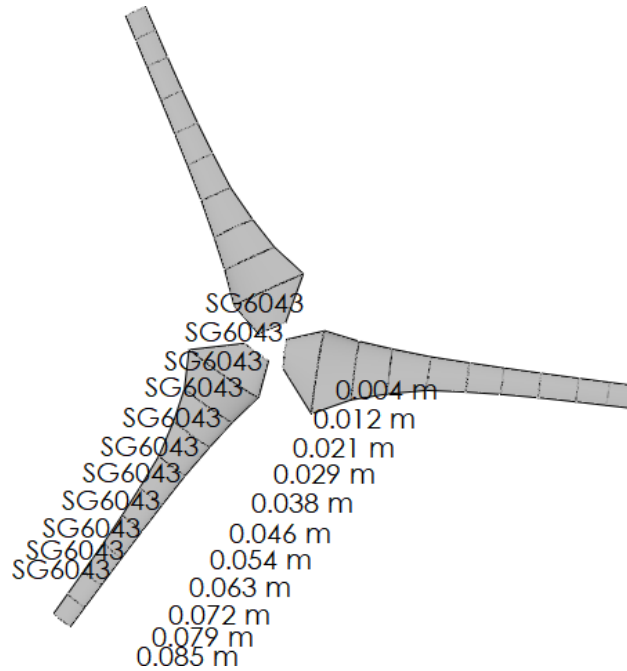


Ilustración 19. Modelo de tres álabes en Q-blade
Fuente propia.

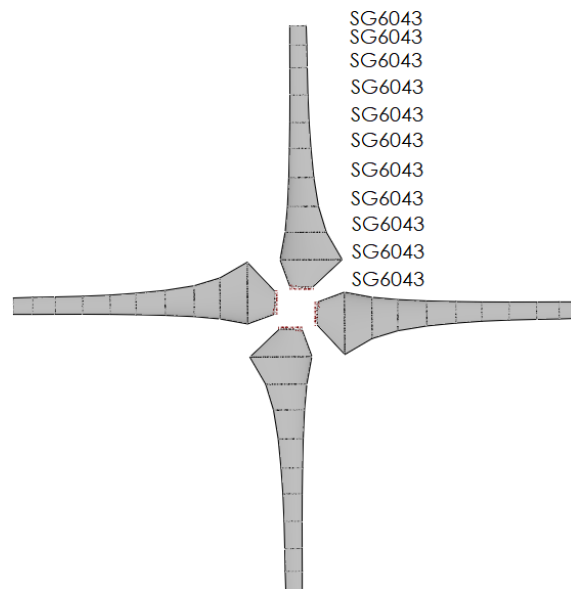


Ilustración 20. Modelo de cuatro álabes en Q-blade.
Fuente propia.

Una vez terminada la simulación de los alabes en el software Q-blade se procede a exportar los datos en extensión .txt en sus tres coordenadas XYZ para así poderlos importar en el software SolidWorks.

X	Y	Z
-1.75000e-03	6.50000e-03	6.59416e-06
5.25000e-03	6.50000e-03	0.00000e+00
5.21165e-03	6.50000e-03	1.41950e-05
5.13538e-03	6.50000e-03	4.46413e-05
5.02202e-03	6.50000e-03	8.91608e-05
4.87280e-03	6.50000e-03	1.42043e-04
4.68938e-03	6.50000e-03	1.97907e-04
4.47374e-03	6.50000e-03	2.57543e-04
4.22827e-03	6.50000e-03	3.20510e-04
3.95564e-03	6.50000e-03	3.85105e-04
3.65885e-03	6.50000e-03	4.50490e-04
3.34115e-03	6.50000e-03	5.13424e-04
3.00601e-03	6.50000e-03	5.71606e-04
2.65711e-03	6.50000e-03	6.21262e-04
2.29827e-03	6.50000e-03	6.61577e-04
1.93343e-03	6.50000e-03	6.91699e-04
1.56657e-03	6.50000e-03	7.10532e-04
1.20173e-03	6.50000e-03	7.18782e-04
8.42890e-04	6.50000e-03	7.14869e-04
4.93991e-04	6.50000e-03	7.00885e-04

Ilustración 21. Datos Exportados de Q-blade
Fuente propia.

Este proceso se debe realizar para cada una de las secciones para obtener los datos de cada uno de los perfiles alares que conforman el álabe.

7.5. Diseño de las turbinas en SolidWorks (software CAD)

Con los archivos en .txt de cada una de las secciones se importan en SolidWorks, en el comando de curva por puntos XYZ.

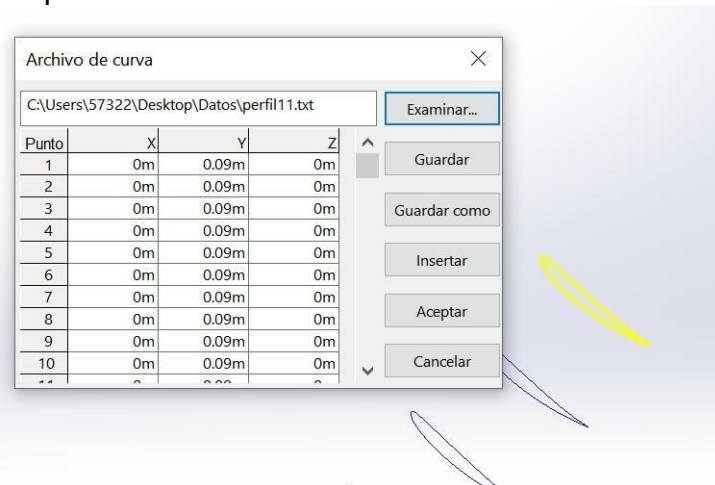


Ilustración 22. Exportación de cada uno de los perfiles.
Fuente propia

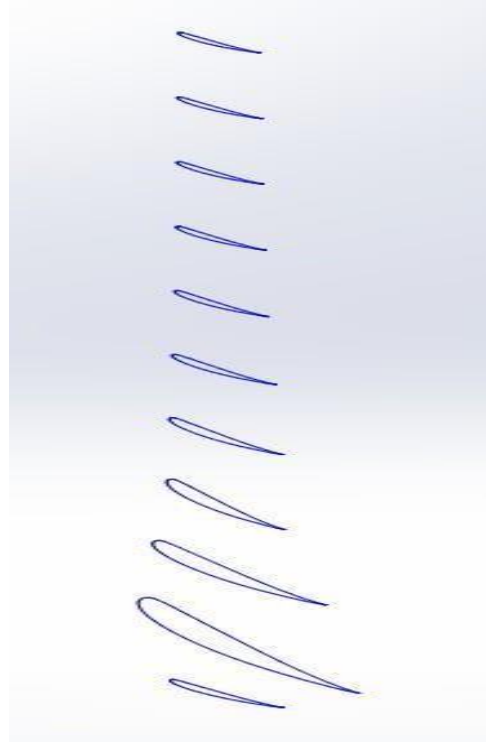


Ilustración 23. Exportación de todas las secciones del álabe
Fuente propia

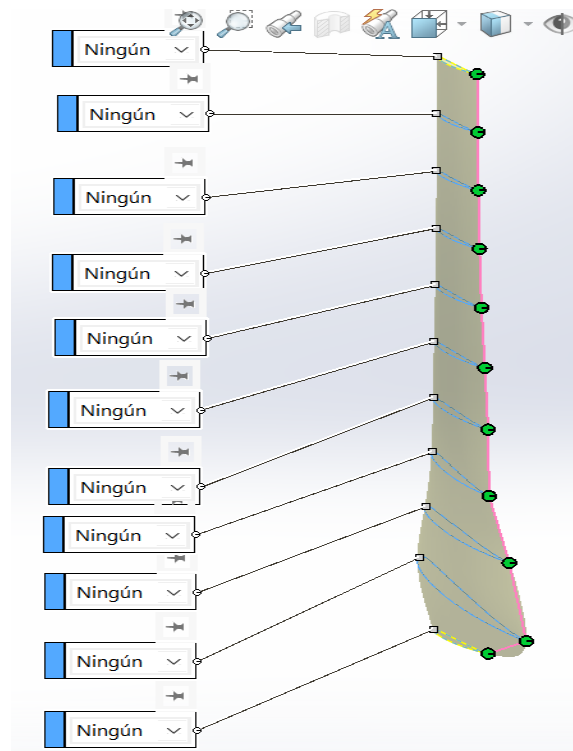


Ilustración 24. Saliente/base por límite 3D
Fuente propia.

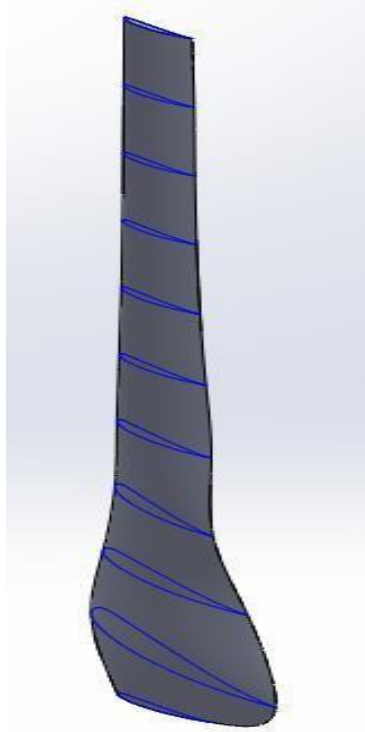


Ilustración 25. Álabes 3D
Fuente propia.

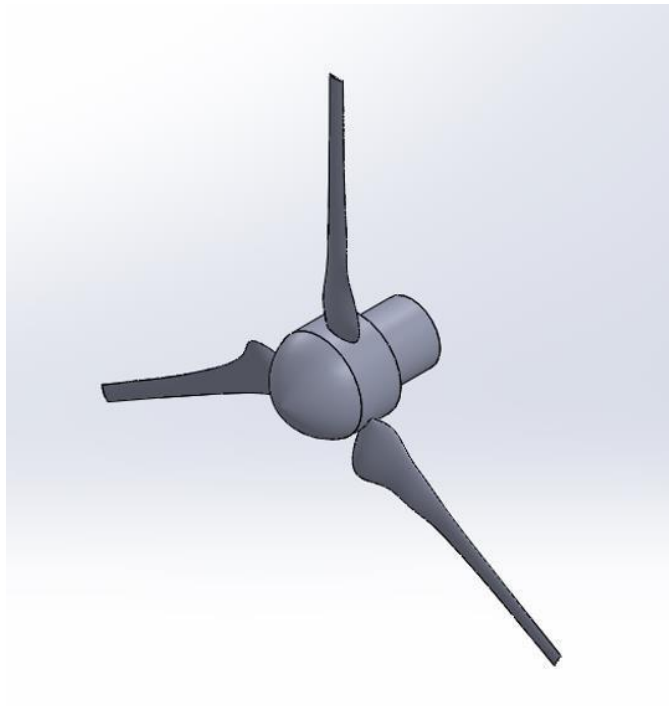


Ilustración 26. Diseño modelo 3D (3 álabes)
Fuente propia

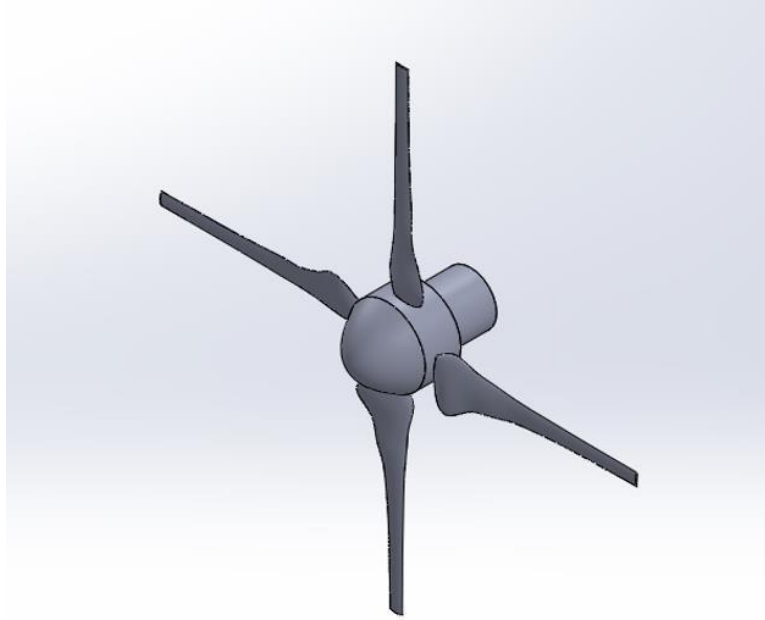


Ilustración 27. Diseño modelo 3D (4 álabes)
Fuente propia

Time: 0.0658755 s
Power: 0.0141299 kW
Cp: 2.96313
V_in @ hub: 7 m/s

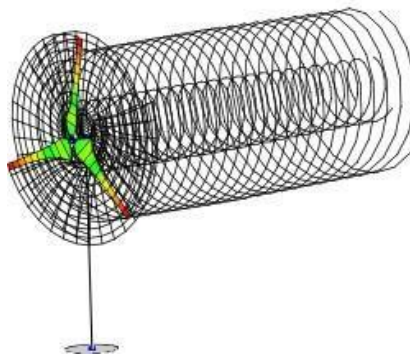


Ilustración 28. Simulación Q-blade de la turbina de 3 álabes
Fuente propia



Ilustración 29. Simulación Q-blade de la turbina de 4 álabes
Fuente propia

7.6. Planos

- Plano vista explosionada del ensamble (anexo imagen)
- Plano generador 443542 Windstream (anexo imagen)
- Plano pieza frontal (anexo imagen)
- Plano Pieza Trasera (anexo imagen)
- Plano Parales y perfil de anclaje (anexo imagen)
- Plano Tubo y base de madera (anexo imagen)

8. RECOMENDACIONES

Mantener la competitividad para poder alcanzar una mejora continua y eficiente, con el fin de obtener mejores resultados, esto es un proceso progresivo lo que requiere esfuerzo, dedicación, constancia, planeación y preparación para los próximos requerimientos, la excelente comunicación con el jefe inmediato es muy importante para compartir ideas y además recibir sugerencias para llevar de una mejor manera la relación de trabajo.

El Centro Industrial de Mantenimiento Integral-CIMI Regional Santander, es una entidad muy organizada con excelentes instructores calificados y con una excelente tecnología en la cual se pueden trabajar campos de interés para realizar las prácticas de los estudiantes de ingeniería mecatrónica de la UNAB.

A pesar de las limitaciones metodológicas y conceptuales de la investigación, el estudio ofrece evidencia sobre cuales aspectos son recomendables para proyectos eólicos (microturbinas). Tomando criterios pertinentes, los resultados pueden extrapolarse a otros contextos y son aplicables a proyectos que busque fomentar el desarrollo sostenible.

La metodología para la selección de perfiles aerodinámicos de acuerdo con los criterios establecidos es aceptable. Con el objetivo de seleccionar el perfil óptimo por medio de una evaluación de alternativas se eligió el perfil SG6043.

Se destaca la importancia de datos necesarios como: la velocidad de viento, coeficientes aerodinámicos del perfil, con distribución de la cuerda y torsión se logra generar el modelo Q-Blade.

9. CONCLUSIONES

Uno de mis principales objetivos académicos al realizar este proyecto era el poder aplicar constantemente los conocimientos que he adquirido a lo largo de la carrera en la UNAB y complementarlos con todas las enseñanzas recibidas durante ese lapso.

Durante mi estancia en el centro industrial de mantenimiento integral pude relacionarme con personas con experiencia y trayectoria, las cuales me aportaron conocimiento y de los cuales pude tomar consejos y enseñanzas para la vida profesional.

Existieron también ciertas limitaciones con las con las cuales tuve que lidiar a lo largo de la práctica académica, una de las situaciones que llegó a representar uno de los mayores retos fue la poca información general que yo tenía personalmente sobre la aeronáutica, y además el manejo del software que en este caso se utilizó Q-blade.

En base a los conocimientos adquiridos en aerodinámica y diseño asistido por computador, los cuales fueron sumamente importantes para el desarrollo de la práctica académica dentro de la institución, con la finalidad de apoyar el proyecto que se ha venido trabajando desde el 2018.

La búsqueda de la información y el manejo del software Q-blade han permitido desarrollar de forma óptima el diseño de las turbinas de 3 y 4 álabes.

Con la ayuda de herramientas como es el diseño asistido por computador, ha sido posible dibujar y diseñar las piezas tratando de alcanzar una geometría final que se ajusta a las necesidades del prototipo.

Finalmente se ha realizado un informe escrito de todo el proceso realizado y de los resultados obtenidos durante el periodo de la práctica.

10. BIBLIOGRAFÍA

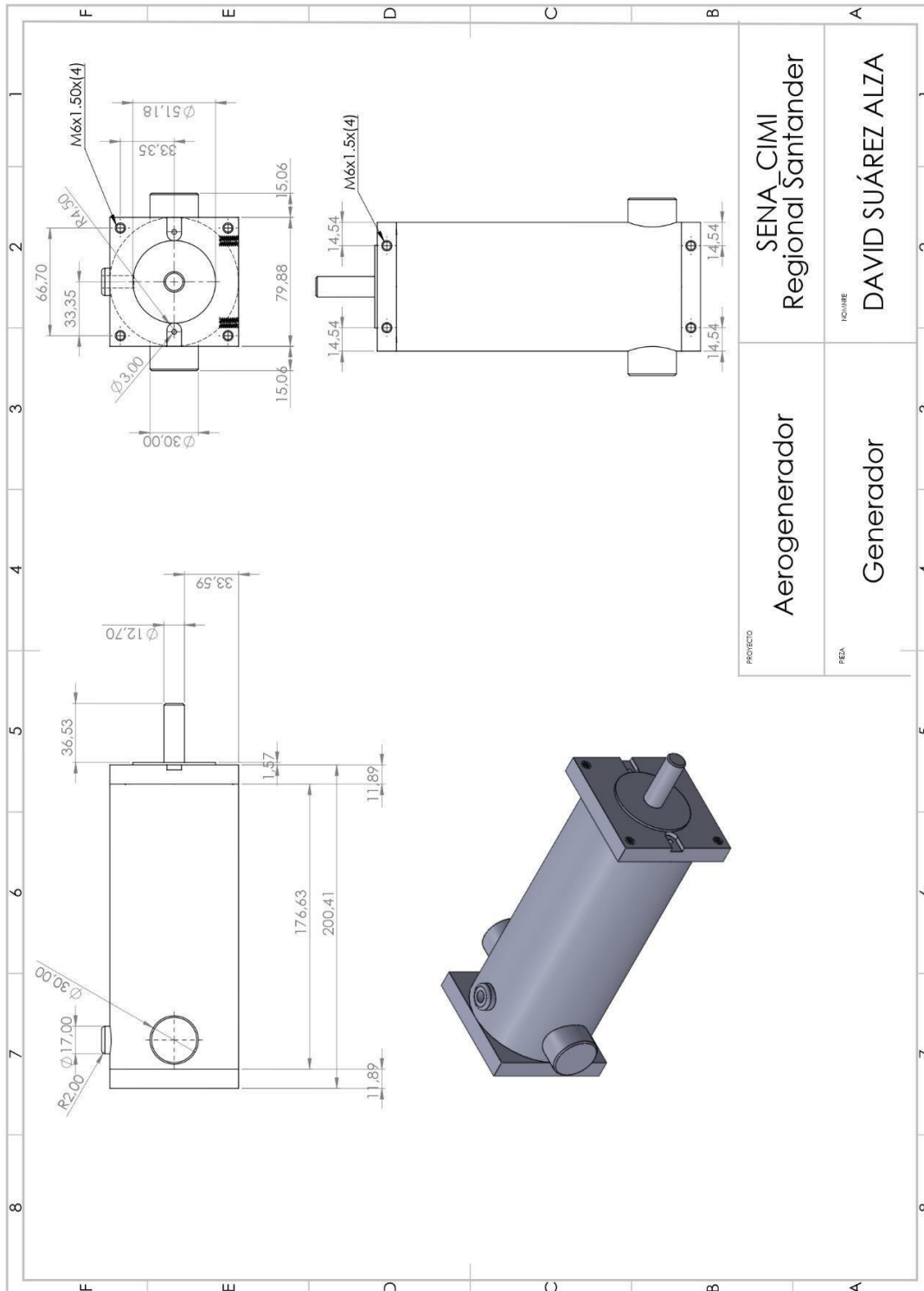
Bibliografía

- [1] A. K. Sandip y N. V. Ravindra, *Diseño aerodinámico de una hoja de microturbina de viento de eje horizontal utilizando el perfil NACA 4412.*
- [2] E. Harper, *El ABC de las energías renovables en los sistemas eléctricos.*
- [3] Paramet pathike, *Un nuevo diseño de blade para pequeño eje horizontal con turbina con operación de baja velocidad del viento.*
- [4] O. Caratoña, *Análisis del comportamiento aerodinámico de perfiles empleados en aerogeneradores de baja potencia. Fuentes Alternas de Energía y Generación Distribuida.*
- [5] K. Ronit y M. Rafiuddin Ahmed, *Diseño de cuchillas y pruebas de rendimiento de un pequeño rotor de turbina eólica para aplicaciones de baja velocidad del viento.*
- [6] *Prueba del rendimiento básico de un aerogenerador muy pequeño diseñado para usos múltiples.*
- [7] I. F. Maxwell, «Wind Energy Explained».
- [8] D. E. Ali H, *Efecto de arrastre en el rendimiento para un diseño eficiente de la hoja del aerogenerador.*
- [9] K. Ronit y M. Radiuddin Ahmed, *Design de una lámina de aire de bajo número Reynolds para pequeñas turbinas eólicas de eje horizontal.*
- [10] M. Mohammadi y A. Mohammadi, *Optimización de palas de turbinas eólicas a pequeña escala para condiciones de baja velocidad.*

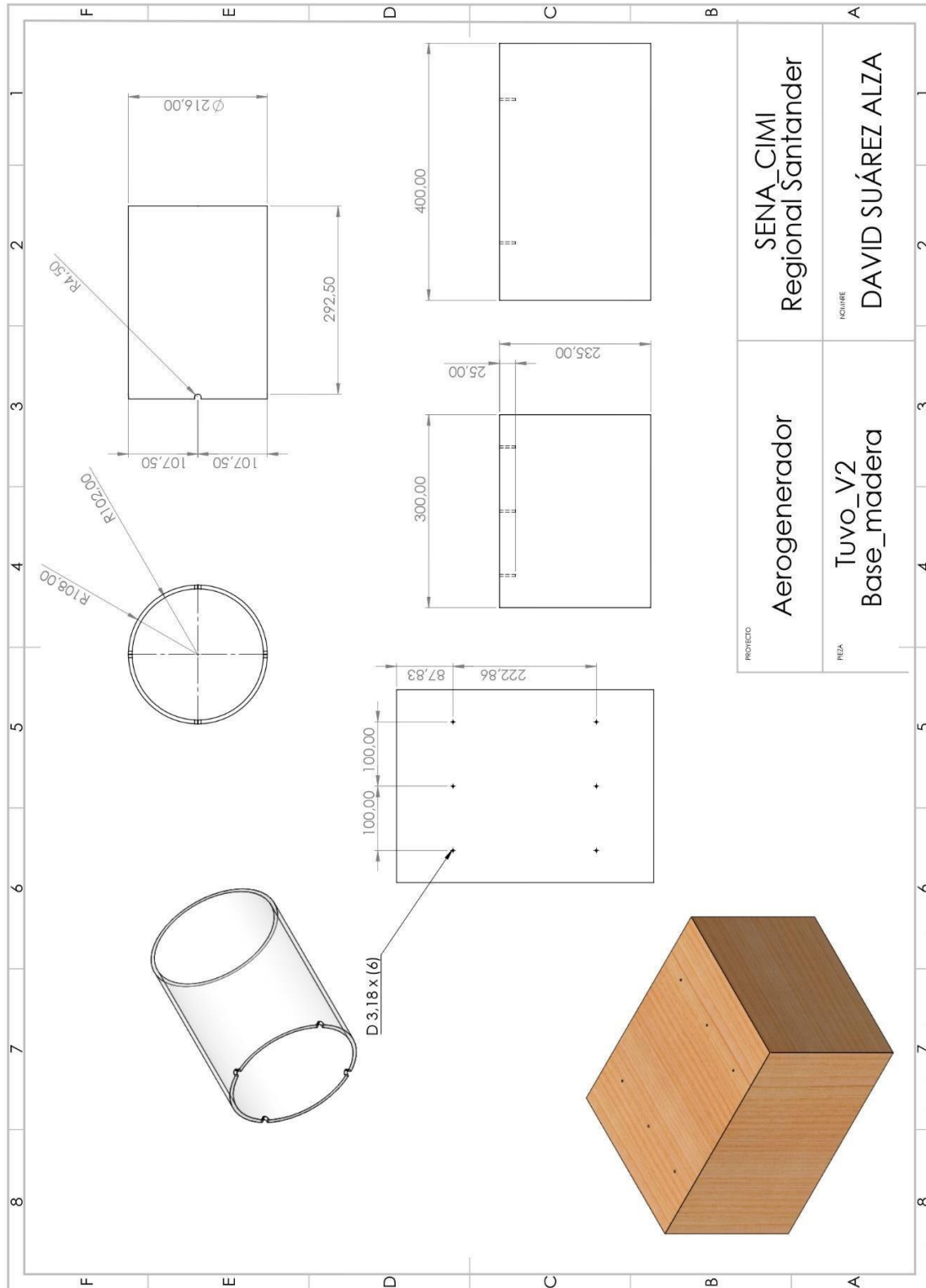
10.1. Páginas Web

- National Renewable Energy Laboratory: <https://www.nrel.gov/>
- Airfoil Tools: <http://www.airfoiltools.com/>
- Ayuda de Qblade: <http://www.q-blade.org/>
- Apoyo teoría: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2011/137798.pdf>

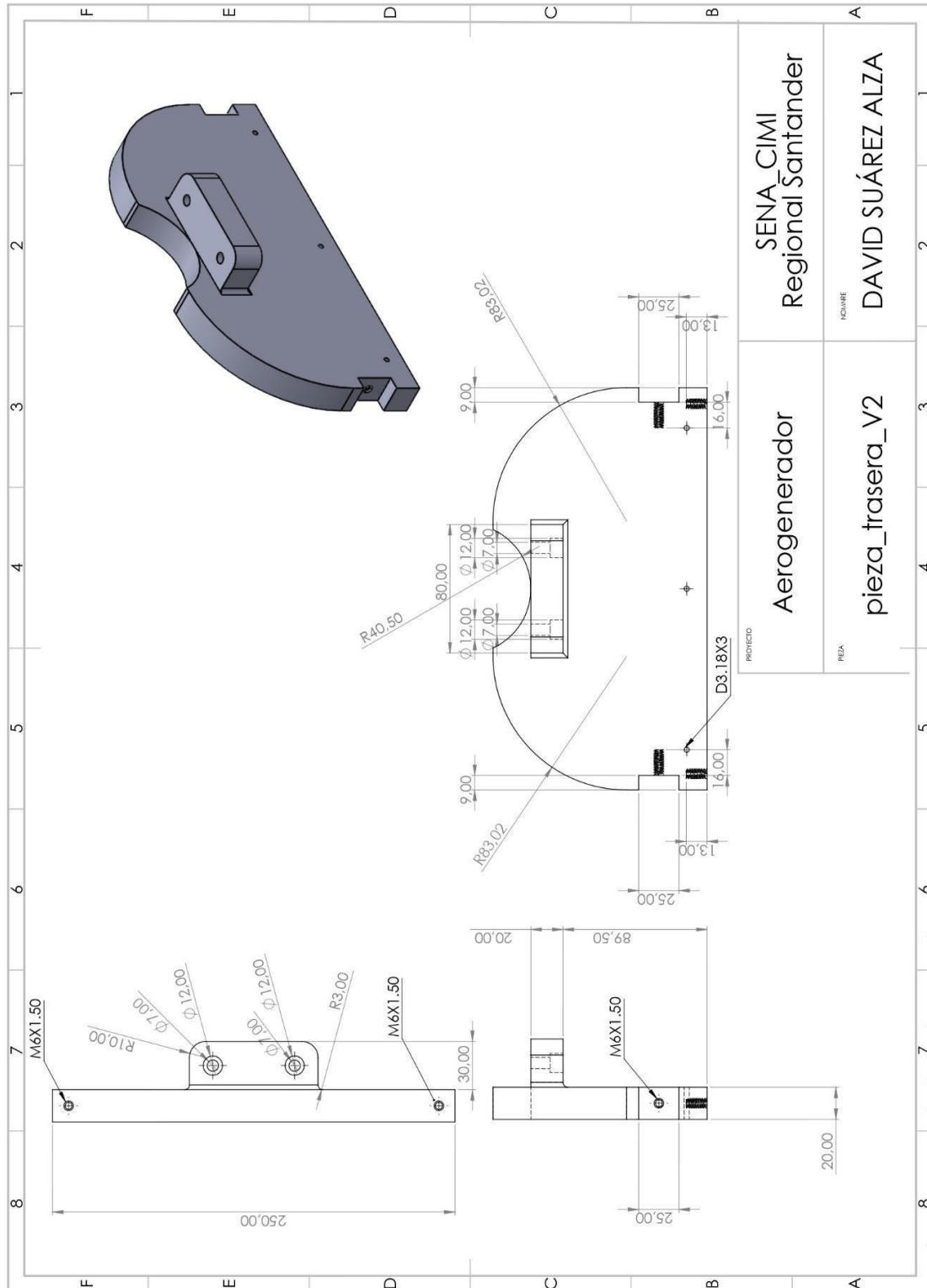
11. ANEXOS



Producto SÓLIDWORKS Educativo. Solo para uso en la enseñanza.



Producto 8. SOLIDWORKS Educativa. 7. Solo para uso en la enseñanza. 6.

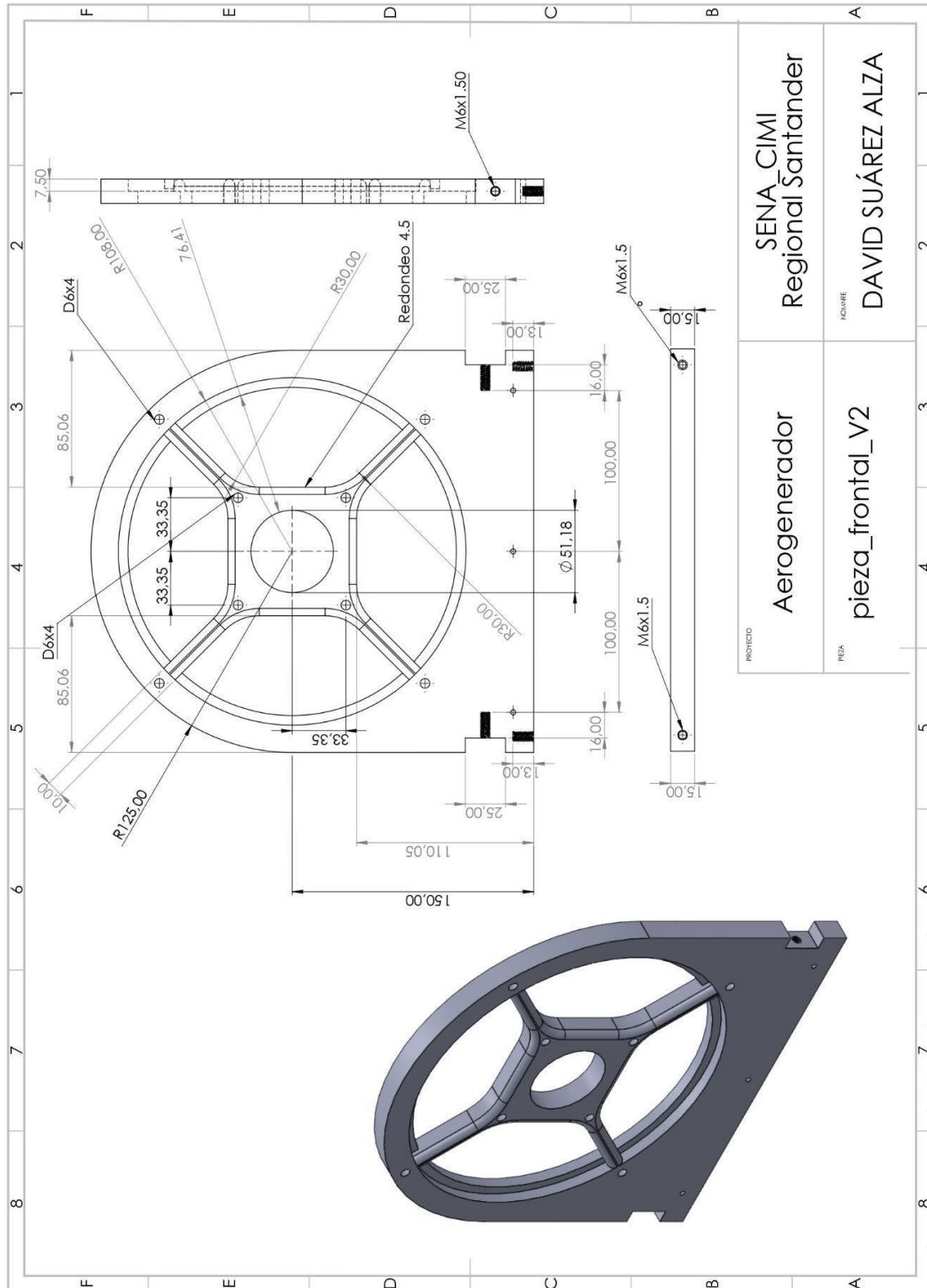


SENA_CIMI
 Regional Santander

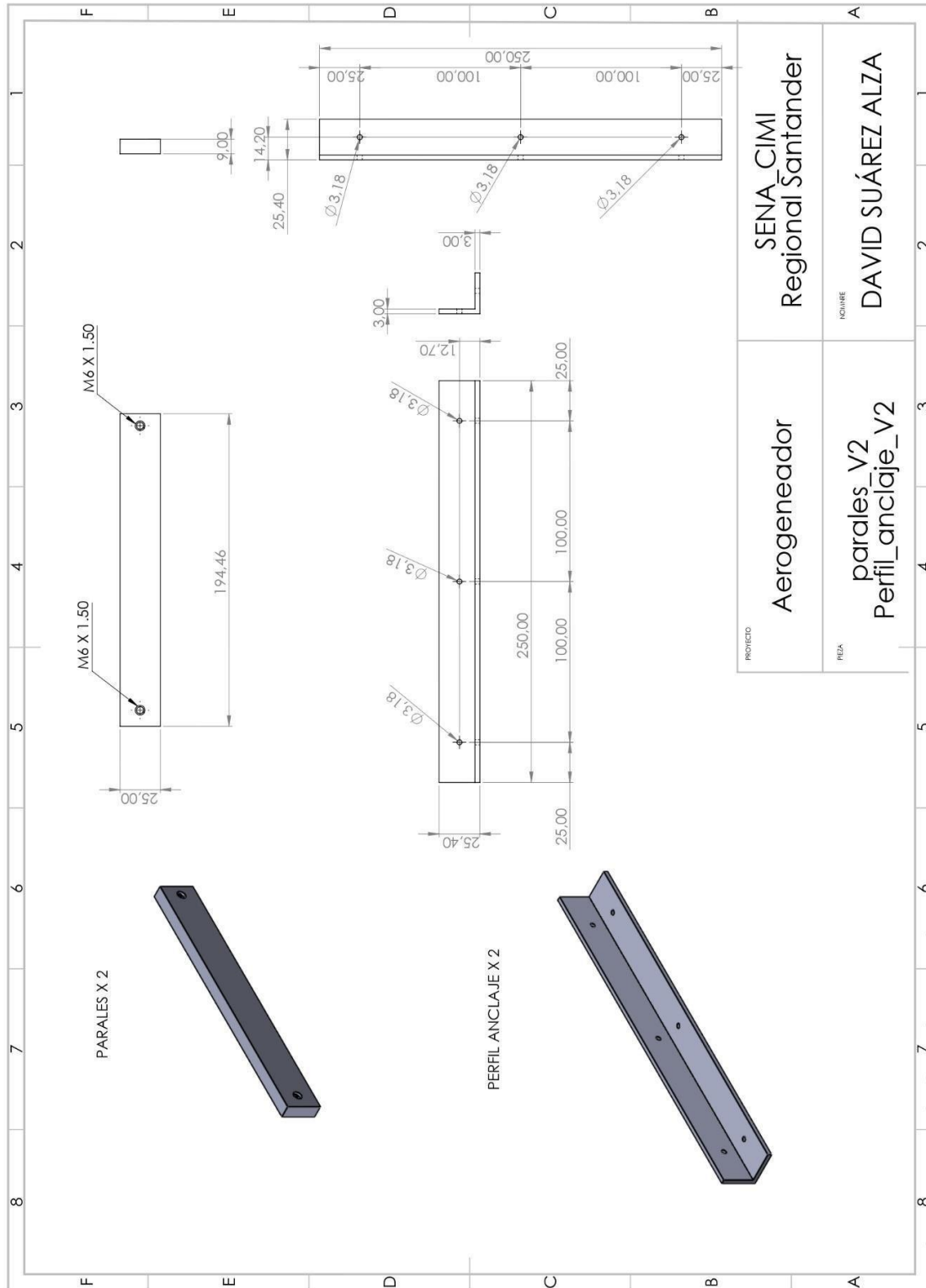
Aerogenerador

DAVID SUÁREZ ALZA

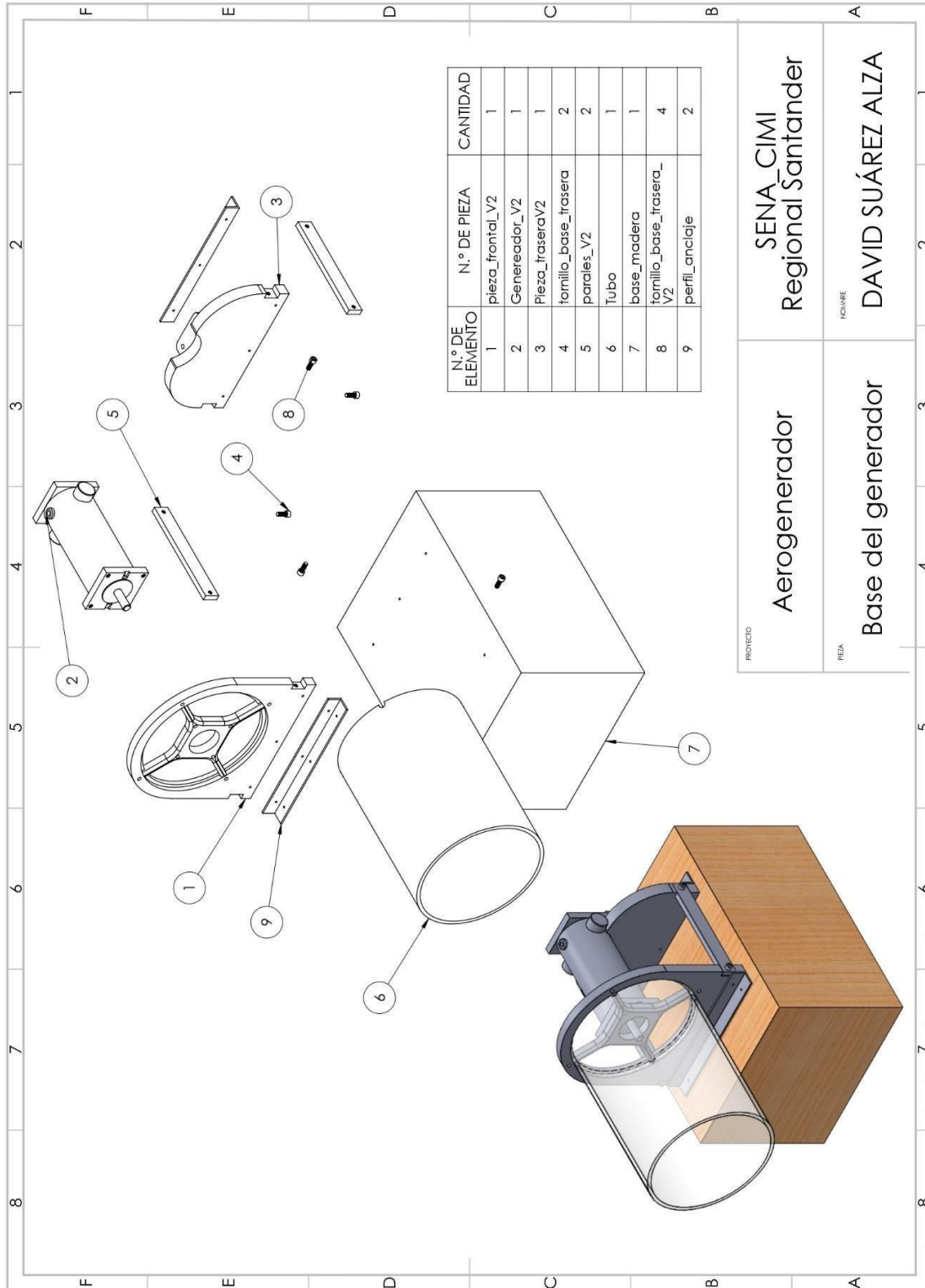
pieza_trasera_V2



Producto 8 SÓLIDWORKS Educativo. Solo para uso en la enseñanza.



Producto 8. SOLIDWORKS Educativa. 7. Solo para uso en la enseñanza. 6.



Producto SOLIDWORKS Educatinal. Solo para uso en la enseñanza.