



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS**  
**APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**TEMA:**

“ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD DE GENERACIÓN ELÉCTRICA  
PRODUCIDA POR UN AEROGENERADOR RESONANTE SIN ASPAS  
EN EL EDIFICIO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
APLICADAS”

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico

**Línea de investigación:** Producción industrial y tecnología sostenible

**AUTOR:**

Graciela Katherin Camuez Canticuz

**DIRECTOR:**

Julio Esteban Guerra Masson

**Ibarra – Ecuador**

**2026**



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	2350987646		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Camuez Canticuz Graciela Katherin		
<b>DIRECCIÓN:</b>	La Victoria, Carlos Barahona y Pasaje 7		
<b>EMAIL:</b>	gkcamuezc@utn.edu.ec		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	s/n	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0963610932

DATOS DE LA OBRA	
<b>TÍTULO:</b>	Estimación de la capacidad de generación eléctrica producida por un aerogenerador resonante sin aspas en el edificio de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
<b>AUTOR (ES):</b>	Graciela Katherin Camuez Canticuz
<b>FECHA: DD/MM/AAAA</b>	3/03/2026
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>PREGRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b>
<b>TITULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniero(a) Eléctrico(a)
<b>ASESOR /DIRECTOR:</b>	PhD. Collaguazo Galeano Gerardo Isaías MSc. Guerra Masson Julio Esteban

## 2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 3 días del mes de marzo de 2026

### EL AUTOR:



.....  
Graciela Katherin Camuez Canticuz



## **CERTIFICADO DEL DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Yo, MSc. Guerra Masson Julio Esteban en calidad de director de la señorita estudiante Camuez Canticuz Graciela Katherin certifico que ha culminado con las normas establecidas en la elaboración del Trabajo de Integración Curricular con el tema: “Estimación de la capacidad de generación eléctrica producida por un aerogenerador resonante sin aspas en el edificio de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas”

Para la obtención del título de Ingeniero(a) Eléctrico(a), aprobado la defensa, impresión y empastado.



Firmado electrónicamente por:  
**JULIO ESTEBAN  
GUERRA MASSON**  
Validar únicamente con FirmasRC

.....  
MSc. Guerra Masson Julio Esteban

**DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**DEDICATORIAS**

Dedico este trabajo a mi madre María Canticuz y a mi padre Ángel Camuez por brindarme su apoyo incondicional a lo largo de mi formación académica y personal. De igual forma a mis hermanos Nataly, Jaime Iván y Yael quienes siempre se mantuvieron presentes durante mi proceso de formación, impulsándome a seguir adelante pese a cualquier adversidad...

A mi compañero de vida Miguel Ángel Benavides Farinango, por su amor, paciencia y aliento en cada etapa de este proceso. Gracias por comprender mis ausencias, por impulsarme a continuar cuando el cansancio parecía vencer y por celebrar conmigo cada pequeño logro. Su apoyo incondicional ha sido fundamental para alcanzar esta meta y a nuestros hijos gatunos: Luna la más negrita y Pepe el más leal.

También a mis finaditos que no pudieron acompañarme: Abuelita Isabel y mi perrito Peluchin, que los llevo en mi corazón.

A todos ellos, con profundo cariño y gratitud, les dedico este esfuerzo.

Finalmente, gracias a Dios, que él sabe cómo y porqué pasan las cosas...



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



### AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi más profundo agradecimiento a la “Universidad Técnica del Norte” por haberme brindado la oportunidad de formarme profesionalmente, por los recursos proporcionados y por el entorno académico que me permitió desarrollar mis habilidades, conocimientos y competencias.

Extiendo un especial agradecimiento a mi tutor MSc. Julio Guerra, por su guía experta, paciencia y constante motivación durante todo el proceso de elaboración de esta tesis. Sus orientaciones y observaciones fueron esenciales para estructurar y fortalecer mi investigación.

A mi asesor PhD. Gerardo Collaguazo, le agradezco sinceramente por sus valiosos aportes, comentarios críticos y sugerencias constructivas, que me ayudaron a ampliar mi perspectiva y mejorar significativamente la calidad de este trabajo.

A todo el personal docente de la carrera de Electricidad, por compartir con generosidad su conocimiento, dedicación y experiencia. Cada uno de ustedes ha contribuido de manera significativa a mi crecimiento académico y profesional, dejando una huella imborrable en mi formación.

Finalmente, a mis amigos: Jimmy H., Jean B., Andrés I., Evelyn G. y compañeros de clase, gracias por su apoyo moral y por estar siempre dispuestos a escucharme sea en los tiempos buenos y malos. Su compañía y palabras de ánimo fueron un impulso constante para seguir adelante.



**TABLA DE CONTENIDOS**

**RESUMEN ..... 12**

**ABSTRACT ..... 13**

**CAPITULO I ..... 14**

    INTRODUCCIÓN ..... 14

        Problema de investigación. .... 14

            Problemática a investigar..... 14

            Formulación de la pregunta de investigación ..... 14

    Objetivos ..... 15

        Objetivo General..... 15

        Objetivos Específicos ..... 15

    Alcance y delimitación..... 15

    Justificación..... 16

**CAPÍTULO II..... 18**

    MARCO TEÓRICO..... 18

        Antecedentes ..... 18

        2.1 Introducción ..... 21

            2.1.1 Energía Eólica..... 21

            2.1.2 Aprovechamiento de la energía eólica..... 22

            2.1.3 Potencia eólica disponible ..... 22

            2.1.4 Energía del viento ..... 23

        2.2. Aerogenerador ..... 24

        2.3 Clasificación de los aerogeneradores ..... 24

            2.3.1 Usos ..... 24

            2.3.2 Velocidad de funcionamiento..... 25

            2.3.3 Aerogeneradores según la posición del eje..... 25

            2.3.4 Tipos de aerogeneradores verticales y aplicaciones ..... 28



2.3.5 Número de aspas o palas .....	30
2.4 Aerogeneradores sin aspas .....	31
2.4.1 Vórtices inducidos por vibraciones (VIV) .....	32
2.4.2 Resonancia en AEROGENERADORES sin aspas.....	34
2.4.3 Rigidez de la estructura .....	34
2.4.4 Estructura y funcionamiento de los aerogeneradores sin aspas.....	35
<b>CAPITULO III .....</b>	<b>39</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>39</b>
3.1 Introducción .....	39
3.2 Descripción del área de estudio.....	39
3.3 Metodología .....	40
3.3.1 Métodos .....	41
3.4 Procedimiento.....	42
3.4.1 Técnicas y Herramientas .....	44
3.4.2 Equipos utilizados para la estimación del recurso eólico .....	45
3.4.3 SolidWorks .....	46
3.4.4 Microsoft Excel .....	47
3.5 Ecuaciones.....	47
<b>CAPITULO IV.....</b>	<b>49</b>
<b>RESULTADOS Y ANÁLISIS.....</b>	<b>49</b>
4.1 Recopilación de datos de la velocidad y dirección del viento.....	49
4.2 Análisis del perfil del viento .....	52
4.3 Simulación del aerogenerador resonante sin aspas .....	52
4.4 Mecánica SolidWorks .....	52
4.5 Modelado en Excel.....	53
4.6 Simulación en SolidWorks.....	54
4.6.1 Estimación del potencial eléctrico del aerogenerador resonante sin aspas en el día con valor promedio del recurso eólico de la primera semana.....	54



4.6.2 Estimación del potencial eléctrico del aerogenerador resonante sin aspas en el día con valor promedio de recurso eólico de la segunda semana.....	57
4.6.3 Estimación del potencial eléctrico del aerogenerador resonante sin aspas en el día con valor promedio de recurso eólico de la tercera semana .....	60
4.6.4 Estimación del potencial eléctrico del aerogenerador resonante sin aspas en el día con valor promedio de recurso eólico de la cuarta semana .....	63
4.6.5 Estimación del potencial eléctrico del aerogenerador resonante sin aspas en el día con valor promedio de recurso eólico de la quinta semana .....	66
4.6.6 Estimación del potencial eléctrico del aerogenerador resonante sin aspas en el día con valor promedio del recurso eólico de la sexta semana.....	69
4.6.7 Estimación del potencial eléctrico del aerogenerador resonante sin aspas en el día con valor promedio del recurso eólico de la séptima semana.....	72
4.6.8 Estimación del potencial eléctrico del aerogenerador resonante sin aspas en el día con valor promedio del recurso eólico de la octava semana.....	75
4.6.9 Estimación del potencial eléctrico del aerogenerador resonante sin aspas en el día con valor promedio del recurso eólico de la novena semana .....	78
4.7 Estimación de la potencia eléctrica en el edificio de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas .....	81
Conclusiones .....	87
Recomendaciones.....	88
Referencias bibliográficas .....	89
Anexos.....	94
Cronograma de actividades .....	154
Recursos y presupuesto .....	155



## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. ATLAS EÓLICO DEL ECUADOR .....	23
FIGURA 2. AEROGENERADOR HAWT .....	26
FIGURA 3. AEROGENERADOR VAWT .....	26
FIGURA 4. AEROGENERADOR CON ROTOR SAVONIUS .....	28
FIGURA 5. AEROGENERADOR CON ROTOR DARRIEUS .....	29
FIGURA 6. AEROGENERADOR CON ROTOR EN H O GIROMILL .....	29
FIGURA 7. AEROGENERADOR CON ROTOR WINDSIDE .....	30
FIGURA 8. AEROGENERADOR DE VORTEX BLADELESS S.L.....	32
FIGURA 9. PROTOTIPO INSTALADO EN LA ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ÁVILA EN ESPAÑA .....	34
FIGURA 10. ESTRUCTURA DEL AEROGENERADOR RESONANTE SIN ASPAS .....	35
FIGURA 11. OSCILACIONES DEL GENERADOR PRODUCIDO POR EL FLUJO DEL VIENTO .....	36
FIGURA 12. SISTEMA MAGNÉTICO DE SINTONIZACIÓN .....	37
FIGURA 13. UBICACIÓN DE LOS IMANES Y EL ESTATOR.....	38
FIGURA 14. DESPLAZAMIENTO DE LOS IMANES.....	38
FIGURA 15. CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.....	39
FIGURA 16. DIAGRAMA DEL PROCEDIMIENTO DEL TRABAJO DE GRADO.....	43
FIGURA 17. DISEÑO DEL AEROGENERADOR RESONANTE POR VIV EN SOLIDWORKS .....	53
FIGURA 18. SIMULACIÓN AEROGENERADOR SIN ASPAS DEL 15 DE FEBRERO.....	56
FIGURA 19. SIMULACIÓN AEROGENERADOR RESONANTE SIN ASPAS DEL 21 DE FEBRERO	59
FIGURA 20. SIMULACIÓN AEROGENERADOR RESONANTE SIN ASPAS DEL 2 MARZO.....	62
FIGURA 21. SIMULACIÓN AEROGENERADOR RESONANTE SIN ASPAS DEL 11 MARZO.....	65
FIGURA 22. SIMULACIÓN AEROGENERADOR RESONANTE SIN ASPAS DEL 12 MARZO.....	68
FIGURA 23. SIMULACIÓN AEROGENERADOR RESONANTE SIN ASPAS DEL 24 DE MARZO ...	71
FIGURA 24. SIMULACIÓN AEROGENERADOR RESONANTE SIN ASPAS DEL 26 MARZO.....	74
FIGURA 25. SIMULACIÓN AEROGENERADOR RESONANTE SIN ASPAS DEL 3 ABRIL.....	77
FIGURA 26. SIMULACIÓN AEROGENERADOR RESONANTE SIN ASPAS DEL 11 ABRIL.....	80
FIGURA 27. GRÁFICA DE LA POTENCIA ELÉCTRICA SEMANAL .....	85



**INDICE DE TABLAS**

TABLA I. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE HAWT Y VAWT ..... 27

TABLA II. EQUIPOS DE MEDICION EOLICO ..... 45

TABLA III. DIRECCION DEL VIENTO ..... 49

TABLA IV. VELOCIDAD, DIRECCION DEL VIENTO Y TEMPERATURA ..... 50

TABLA V. RESULTADOS AEROGENERADOR RESONANTE SIN ASPAS DEL 15  
FEBRERO ..... 56

TABLA VI. RESULTADOS AEROGENERADOR RESONANTE SIN ASPAS DEL 21  
DE FEBRERO ..... 59

TABLA VII. RESULTADOS AEROGENERADOR RESONANTE SIN ASPAS DEL 2  
DE MARZO ..... 62

TABLA VIII. RESULTADOS AEROGENERADOR RESONANTE SIN ASPAS DEL  
11 DE MARZO ..... 65

TABLA IX. RESULTADOS AEROGENERADOR RESONANTE SIN ASPAS DEL 12  
DE MARZO ..... 68

TABLA X. RESULTADOS AEROGENERADOR RESONANTE SIN ASPAS DEL 24  
DE MARZO ..... 71

TABLA XI. RESULTADOS AEROGENERADOR RESONANTE SIN ASPAS DEL 26  
DE MARZO ..... 74

TABLA XII. RESULTADOS AEROGENERADOR RESONANTE SIN ASPAS DEL 3  
ABRIL ..... 77

TABLA XIII. RESULTADOS AEROGENERADOR RESONANTE SIN ASPAS DEL  
11 DE ABRIL ..... 80

TABLA XIV. POTENCIA ELECTRICA EN EL EDIFICIO DE LA FACULTAD DE  
INGENIERIA ..... 82

TABLA XV. COMPORTAMINETO SEMANAL DE LA POTENCIA ELÉCTRICA  
GENERADA ..... 84



## RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo estimar la capacidad de generación eléctrica producida por un aerogenerador resonante sin aspas instalado en el edificio de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte, considerando las variables de velocidad y dirección del viento. El estudio surge ante la problemática de las interrupciones en el suministro eléctrico y la necesidad de incorporar alternativas de generación renovable en entornos urbanos y educativos. El propósito de la investigación es evaluar el potencial del recurso eólico disponible y analizar la viabilidad técnica de esta tecnología como complemento a los sistemas de generación convencionales. La metodología empleada corresponde a un enfoque cuantitativo, con un diseño descriptivo-predictivo. La recolección de datos se realizó mediante un anemómetro y una veleta instalados en el edificio de la FICA durante un periodo de dos meses. El procesamiento de la información se efectuó con Microsoft Excel y la simulación del aerogenerador se desarrolló en el software SolidWorks. Los resultados evidencian que el aerogenerador resonante sin aspas presenta un comportamiento estable y un potencial viable de generación eléctrica a partir de velocidades moderadas del viento. El análisis estadístico de la potencia generada, organizado en bloques semanales, mostró valores promedio comprendidos entre 2.5 W y 9.2 W, con picos de hasta 21.77 W en días específicos, destacándose semanas con condiciones de viento favorables. En conclusión, esta tecnología demuestra ser una alternativa complementaria para la generación eléctrica en entornos universitarios, con bajo impacto ambiental y facilidad de implementación.

**Palabras clave:** energía eólica, Vibración Inducida por Vortex (VIV), aerogenerador Resonante, potencia eléctrica, simulación



## ABSTRACT

This research aims to estimate the electrical generation capacity produced by a bladeless resonant wind turbine installed on the building of the Faculty of Engineering in Applied Sciences at the Technical University of the North, considering wind speed and wind direction as the main variables. The study arises from the issue of interruptions in the electrical power supply and the need to incorporate renewable generation alternatives in urban and educational environments. The purpose of the research is to evaluate the potential of the available wind resource and to analyze the technical feasibility of this technology as a complement to conventional power generation systems. The methodology follows a quantitative approach with a descriptive–predictive design. Data collection was carried out using an anemometer and a wind vane installed on the FICA building over a two-month period. Data processing was performed using Microsoft Excel, and the wind turbine simulation was developed using SolidWorks software. The results show that the bladeless resonant wind turbine exhibits stable behavior and a viable potential for electrical power generation at moderate wind speeds. Statistical analysis of the generated power, organized into weekly blocks, revealed average values ranging between 2.5 W and 9.2 W, with peaks of up to 21.77 W on specific days, highlighting weeks with favorable wind conditions. In conclusion, this technology proves to be a complementary alternative for electrical power generation in university environments, offering low environmental impact and ease of implementation.

**Keywords:** Wind energy, Vortex-Induced Vibration (VIV), resonant wind turbine, electrical power, simulation



## **CAPITULO I INTRODUCCIÓN**

Estimación de la capacidad de generación eléctrica producida por un aerogenerador resonante sin aspas en el edificio de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas

### **Problema de investigación.**

#### **Problemática a investigar**

Actualmente, la mayoría de los países dependen en gran medida de las fuentes de energía tradicionales y esto los hace vulnerables a fluctuaciones en los precios internacionales, interrupciones en el suministro eléctrico y el aumento de regulaciones ambientales, los costos asociados con las extracciones, procesamiento que pueden afectar negativamente la economía. La crisis de energía en Ecuador por las faltas de lluvias en las 3 importantes hidroeléctricas como: Paute, Mazar y Sopladora y también que el parque termoeléctrico tampoco pudo responder la demanda del país. Actualmente la transición hacia fuentes de energías sostenibles y renovables, como los de sistemas fotovoltaicos, es crucial en el país, pero su rentabilidad depende de diversos factores.

En las instituciones educativas como colegios, escuelas, institutos y universidades se han visto también afectadas por la interrupción de la electricidad, esta puede causar que las clases se detengan, lo cual dificulta el aprendizaje, así mismo, puede llevar a la pérdida del acceso al material educativo, impactando así la calidad de enseñanza. En espacios que necesitan equipamiento eléctrico, como laboratorios de informática, la ausencia de actividades prácticas planificadas y la falta de iluminación genera un ambiente incomodo en las aulas. Además, pueden afectar la gestión administrativa del edificio, incluyendo el funcionamiento de sistemas de registro y control.

#### **Formulación de la pregunta de investigación**

¿Cuál es la capacidad de generación eléctrica que se puede obtener de un aerogenerador resonante sin aspas en el edificio de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas en función de la velocidad y dirección del viento?



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



## Objetivos

### Objetivo General

Estimar la capacidad de generación eléctrica producida por un aerogenerador resonante sin aspas en el edificio de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas mediante el uso de las variables de velocidad y dirección del viento.

### Objetivos Específicos

1. Describir la tecnología del aerogenerador resonante sin aspas.
2. Determinar el potencial de energía eólica disponible en el edificio de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.
3. Estimar la capacidad de generación eléctrica del aerogenerador sin aspas.

## Alcance y delimitación

Se describirá la tecnología del aerogenerador resonante sin aspas, profundizando en los principios de funcionamiento, como es la resonancia mecánica y como se aprovecha para la generación eléctrica, la descripción de la estructura y los componentes clave del aerogenerador, como el mástil resonante, el alternador sintonizado, entre otros de los aspectos técnicos, aplicativos y prospectivos de esta innovadora forma de generación de energía eólica.

Después, se determinará la capacidad de generación, por medio de un dinamómetro y un sensor de velocidad del viento, durante un periodo de 2 meses, para determinar los parámetros del viento en el edificio de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas donde se estimará la capacidad de energía que produce el aerogenerador resonante teniendo como base los datos obtenidos.

Finalmente, se procederá a simular en el software Solid Works las variables que contribuyen a la conversión de energía eólica a tomando en cuenta los parámetros medidos, estos resultados estimará la cantidad de potencial eléctrico que podría generar el aerogenerador resonante sin aspas.



### **Justificación**

La transformación hacia energías más limpias y renovables es decisiva para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, mitigar el cambio climático y garantizar un suministro energético seguro y sostenible para las futuras generaciones. La introducción de esta tecnología innovadora en un cualquier entorno abre oportunidades para investigar nuevas soluciones en el ámbito de energía renovable, promoviendo la innovación y desarrollo de tecnologías sostenibles en ingeniería, la cual permitirá una mayor eficiencia de generación de electricidad reducirá el consumo de energía convencional mediante la optimización de uso de recursos energéticos.

La resonancia Aero elástica permite que estos aerogeneradores sin aspas aprovechen la fuerza del viento a través del fenómeno de desprendimiento de vórtices, lo que hace menos propensos a daños y más simples en su estructura. El menor movimiento de las estructuras sin aspas se debe a esto, lo que facilita la capacidad de los animales para esquivarlas y reducir la contaminación acústica, permitiendo así su instalación en zonas urbanas. En comparación con los aerogeneradores tradicionales, los aerogeneradores sin palas requieren un espacio de instalación mucho menor, son ligeros y tienen un centro de gravedad cercano al suelo, lo que reduce el impacto visual y facilita la instalación, otra ventaja importante.

Su potencial para maximizar las ventajas y minimizar el impacto ambiental de la energía eólica es prometedor, gracias a su funcionamiento sin aspas y capacidad para producir energía eléctrica a través del viento, se convierte en una alternativa interesante para complementar los aerogeneradores tradicionales y otros sistemas de energía renovable.

Del mismo modo en áreas donde hay interrupciones frecuentes en el suministro eléctrico, tener un aerogenerador que pueda generar energía independientemente de la red eléctrica pueda proporcionar un respaldo de energía eléctrica valiosa, garantizando un suministro continuo de electricidad.



La simulación se puede utilizar para determinar si es económicamente viable instalar un aerogenerador resonante sin aspas, lo cual se requiere evaluar el rendimiento de la innovación, los gastos operativos y de mantenimiento. La recopilación y análisis de datos sobre la generación eléctrica de un aerogenerador sin aspas este proporcionara información para el diseño y optimización de sistemas de energía renovables en diferentes contextos, lo que podría llevar a mejoras y avances en esta área.



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### Antecedentes

A nivel mundial, las tecnologías de energía renovable han avanzado significativamente, y los aerogeneradores sin aspas han ganado atención debido a su capacidad para ser instalados en áreas urbanas y sensibles donde las turbinas convencionales no serían prácticas, estos aerogeneradores están compuestos por cilindros que se mueven cuando son golpeados por el viento, generando electricidad a través de las vibraciones resultantes. Este método no solo reduce el impacto ambiental, sino que también recorta los costos de instalación y mantenimiento en comparación con las turbinas tradicionales [1, 2].

Actualmente, se está investigando fuentes de energía más sostenibles y eficientes debido al agotamiento de recursos no renovables y al impacto negativo que tiene en el medio ambiente las fuentes de energía tradicionales, como los combustibles fósiles; este radica en la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, mitigar el cambio climático y se necesita asegurar un suministro eléctrico seguro y sostenible para futuras generaciones, sin descartar los límites que tienen estas energías, como el petróleo, el gas natural y el carbón, son recursos finitos [3, 4].

La turbina sin aspas Vortex es una alternativa innovadora a las turbinas eólicas convencionales, capturando energía del viento mediante la vorticidad, cuando el viento pasa por la estructura, genera vórtices que hacen vibrar el cilindro vertical, alcanzando la resonancia y generando electricidad a través de un alternador, este estudio diseña la turbina en SolidWorks, analizando diferentes materiales y dimensiones del mástil, y compara parámetros de rendimiento como desplazamiento y frecuencia entre modelos [5].

El uso de energía del flujo de fluido en turbinas eólicas sin aspas (BWT) ha ganado interés, este estudio analiza un sistema híbrido piezoelectromagnético usando ecuaciones RANS y el modelo SST  $k-\omega$ , los transductores electromagnéticos (EMT) y



piezoeléctricos (PVDF) amplían la región de bloqueo hasta un 33% y reducen la amplitud de desplazamiento en un 20% - 70%, el sistema híbrido aumenta la energía recolectada hasta en un 260% comparado con sistemas únicos [6].

La energía eólica ha ganado gran relevancia como fuente de energía limpia. Un estudio evaluó cinco diseños de turbinas eólicas sin aspas de vórtice y descubrió que las formas sinusoidales presentaban mayor deflexión a determinada velocidad del viento. Estos resultados son fundamentales para optimizar el diseño y aumentar la eficiencia de estas turbinas, fomentando avances en la industria de la energía eólica[7] .

El aerogenerador sin aspas emplea un fenómeno de dinámica de fluidos llamado "von Karman vortex street", que produce una señal fluctuante perpendicular al flujo de viento, esta señal, al coincidir con la frecuencia natural de la estructura, induce vibraciones que generan energía mecánica, transformada luego en energía eléctrica para uso doméstico en entornos rurales o urbanos [8].

Esta tecnología, combinada con otras fuentes de energía renovable, puede contribuir a la autosostenibilidad de ciudades y pueblos al equilibrar la producción y consumo de energía localmente, además, el aerogenerador por vibraciones inducidas funciona eficientemente en condiciones de viento moderado, adaptándose a diferentes velocidades y variaciones en la dirección del viento, lo que lo hace ideal para su implementación en entornos urbanos con obstrucciones [8].

En el “Estudio experimental del aerogenerador sin aspas de pequeña potencia para generación de energía eléctrica en el distrito de Acolla, Jauja” analiza una tecnología emergente en energía eólica que utiliza la vibración inducida por el viento para generar electricidad, esta se encuentra aún en desarrollo y esta tecnología fue evaluada por medio de un prototipo de 45mm de diámetro 75mm de altura, probado en un túnel de viento con velocidades de 1m/s a 8m/s [9].

Los resultados mostraron que la generación de energía comienza a partir de 3.2m/s, incrementándose con una mayor área de impacto; un aerogenerador de 20cm de diámetro y 1metro de altura podría generar 58watts a 7m/s, ya que es la velocidad más común en Acolla, la hipótesis fue validada con valor de F de Fisher de 238163.579, concluyendo que es posible generar energía desde 3m/s [9].



En este artículo aborda el diseño y el desarrollo de la turbina eólica sin aspas (BWT), en los próximos años, la BWT tendrá un papel más destacado en la generación de energía dentro del sector eólico [10]. Si bien los aerogeneradores de eje horizontal se utilizan habitualmente en tierra y mar adentro para generar electricidad, la nueva tecnología de turbinas sin aspas de BWT destaca por su innovación. [10]. A diferencia de otras turbinas sin aspas, la BWT no produce el efecto estela y mantiene una alta eficiencia, estas turbinas son especialmente adecuadas para parques eólicos e hidroeléctricos, lo que las hace más viables, reduce costos y minimiza el ruido [10].

La energía puede transformarse, pero su cantidad total no cambia, existe una relación entre la energía de las sacudidas y del viento, ya que el viento causa sacudidas en la naturaleza, este genera una fuerza de elevación al agregar un flujo de vórtice sobre cilindros circulares y esta fuerza es proporcional al vórtice [11].

Un generador de vórtice (VG) es un dispositivo que crea turbulencias debido a su forma, hay más de 100 métodos para producir electricidad; la energía de parques eólicos podría ser más económica porque las turbinas sin aspas generan electricidad mediante sacudidas en lugar de girar y costarían alrededor de un 45% menos que las turbinas convencionales, las vibraciones de las palancas se convierten en electricidad mediante un alternador, lo cual es una manera de transferir energía de una fuente fluida a una estructura y esta como tal en los arcos eólicos podría ser mucho más barata [11].

En Ecuador, aunque aún no se ha implementado específicamente la tecnología de aerogeneradores sin aspas, hay un creciente interés por esta innovación, impulsado por la necesidad de soluciones energéticas sostenibles y eficientes. Este proyecto no solo ampliará el conocimiento académico y científico sobre la viabilidad de estos aerogeneradores en entornos urbanos, sino que también posicionará a la institución a la vanguardia de la investigación y aplicación de tecnologías de energía renovable en la región.



## 2.1 Introducción

Las fuentes de energía renovables son inagotables en comparación con el consumo humano, sin causar daños al medio ambiente por su utilización. Estas fuentes de energía son naturalmente renovables, lo que garantiza su sostenibilidad y las posiciona como opciones limpias o ecológicas en general debido a su baja contaminación y ausencia de emisión de gases de efecto invernadero [12].

El uso de energías renovables ha crecido significativamente en la última década, este aumento se debe a la necesidad de abordar la crisis climática y al incremento de la demanda energética global [13]. En los países desarrollados, donde tradicionalmente se satisfacía la demanda energética con combustibles fósiles, se han implementado políticas que requieren un mayor aporte de energías renovables en la matriz energética [13].

La energía eólica, una de las fuentes renovables más históricas, cuenta con tecnologías de aprovechamiento que son comparativamente más simples y económicas que las de la energía solar fotovoltaica y otras fuentes de energía limpia [14].

En este capítulo, se presentará una descripción detallada de la tecnología del aerogenerador resonante sin aspas. Este tipo de aerogenerador, también conocido como Vortex Bladeless, se diferencia significativamente de los aerogeneradores convencionales con aspas en términos de diseño, principios operativos y beneficios. A lo largo de este capítulo, se explorarán los fundamentos teóricos, los componentes principales y el funcionamiento de esta innovadora tecnología.

### 2.1.1 Energía Eólica

Se aprovecha la energía del viento al convertir su movimiento cinético en electricidad a través de aerogeneradores. Estos equipos utilizan una hélice para transferir el movimiento generado por el viento en las palas hacia un alternador central. Los parques eólicos se utilizan para agrupar varios aerogeneradores cuando se necesita producir electricidad para la red de distribución. Para poder aprovechar eficientemente la energía eólica en una zona específica, es necesario que las condiciones del viento cumplan ciertos requisitos en cuanto a velocidad, continuidad y estabilidad [15].



Si bien la energía eólica es una opción limpia, es importante considerar el impacto ambiental de instalar un parque eólico y evaluar las medidas correctivas necesarias en base a las condiciones del entorno tanto físicas como sociales. A pesar de que hay consenso en nuestra sociedad sobre la coexistencia de instalaciones eólicas y sus entornos, es importante tener en cuenta los impactos asociados con el uso de la energía eólica [15].

La selección del lugar adecuado para el aerogenerador y la estimación de su producción son tareas cruciales. La forma en que el viento se manifiesta (velocidad, dirección, turbulencia, etc.) es difícil de predecir, ya que depende de diversos factores tanto globales como locales [15, 16].

Sin embargo, el viento generalmente presenta características aleatorias e impredecibles, por lo que se utilizan técnicas estadísticas para predecir la intensidad del viento y estimar la generación potencial de la energía.

### **2.1.2 Aprovechamiento de la energía eólica**

En el futuro, la energía eólica tiene un gran potencial de crecimiento como una fuente renovable que se utiliza al convertir la fuerza del viento en electricidad utilizando aerogeneradores [14].

En la actualidad, los avances tecnológicos han permitido desarrollar nuevos modelos de equipos diseñados para generar energía a gran escala. Estos se caracterizan por contar con mecanismos más compactos, un mantenimiento simplificado y una mayor durabilidad, todo ello a un coste de inversión reducido. La evaluación del viento y el cálculo de la disponibilidad del recurso eólico son análisis estadísticos cruciales para determinar si los parques son viables y contribuyen a mitigar su impacto ambiental [14].

### **2.1.3 Potencia eólica disponible**

Se puede estimar la energía eólica disponible al analizar las características geográficas y el viento en los lugares más idóneos, teniendo en cuenta tanto la velocidad como la dirección del viento junto con la densidad del aire. Las condiciones relacionadas con la radiación solar varían según la ubicación y altitud geográfica, así como la



topografía del lugar y el momento específico del día. Además, es importante considerar también la región de montaña en donde se encuentra rodeada por valles y montañas [17].

**2.1.4 Energía del viento**

Los vientos son fuertemente afectados por el terreno, ya que la superficie de la tierra y los obstáculos presentes, como la rugosidad y los elementos cercanos, pueden frenar su velocidad. Es fundamental estudiar el viento en relación con el entorno local, ya que tanto la dirección como la velocidad del viento dependen de factores como valles, pendientes y montañas. Por eso, es crucial contar con estudios previos que validen y respalden la identificación de las mejores áreas para generar energía eólica de manera eficiente, utilizando como base el atlas eólico disponible [14, 18] .

En el Ecuador la magnitud del viento es dependiendo de la región del país ya que son 4 regiones distintas como Costa, Sierra, Amazonia y Galápagos y estas por defecto tiene montañas y valles, en la figura 1 se puede observar la velocidad promedio del viento en Ecuador.

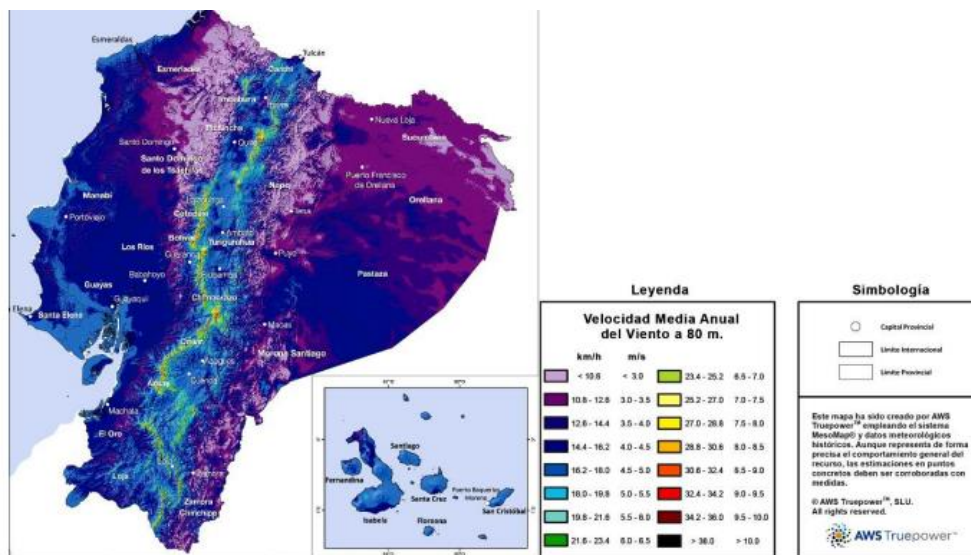


Figura 1. Atlas Eólico del Ecuador [19]

Los datos clave para esta área incluyen la velocidad promedio anual del viento, la altitud que afecta la densidad del aire con respecto al nivel del mar, y la consistencia de un flujo de viento laminar. Esto significa que, debido a la altitud, el viento tiende a mantener una dirección predominante de manera constante [19].



## 2.2. Aerogenerador

Un aerogenerador es un dispositivo que convierte la energía del viento en energía eléctrica utilizando rotores con palas. Su funcionamiento es de la siguiente manera:

- El viento hace girar las palas del rotor, las cuales están conectadas a un eje.
- El movimiento del eje se transfiere a un generador eléctrico a través de un sistema de transmisión.
- El generador, generalmente un alternador trifásico, convierte la energía mecánica rotacional en energía eléctrica.

Existen aerogeneradores de eje horizontal, donde las palas giran alrededor de un eje paralelo al suelo y de eje vertical, donde las palas giran alrededor de un eje perpendicular al suelo. Los más comunes los de eje horizontal con tres o más palas [18].

Además de generar electricidad, los aerogeneradores también se utilizan para bombear agua mediante aerobombas equipadas con ruedas de 6 a 15 álabes. Pueden operar de manera aislada o en conjunto dentro de parques eólicos [20, 21]

## 2.3 Clasificación de los aerogeneradores

La clasificación de los aerogeneradores es fundamental para entender las distintas tecnologías que se usan en la generación de energía eólica. Esta clasificación depende de su uso, velocidad de funcionamiento, orientación del rotor y el número de aspas.

### 2.3.1 Usos

La producción de energía eléctrica en parques eólicos tiene un gran potencial y ayuda mucho a ahorrar energía. Al ser una fuente de energía limpia, también beneficia al medio ambiente. Además, los bajos costos de producción de la energía eólica reducen los gastos asociados. Los sistemas de mini eólica y micro eólica facilitan el autoconsumo, ofreciendo una solución eficiente y sostenible para satisfacer las necesidades energéticas locales [22, 23].



### 2.3.2 Velocidad de funcionamiento

**Aerogenerador lento:** Las palas del aerogenerador están conectadas mediante el buje, que a su vez está acoplado al eje lento, llamado así porque gira a la misma velocidad que las palas, entre 7 y 12 revoluciones por minuto. La mayoría de las turbinas comienzan a generar electricidad cuando el viento alcanza una velocidad de entre 3 y 4 metros por segundo, alcanzando su máxima potencia a 15 metros por segundo. Para evitar daños, se desconectan durante tormentas cuando los vientos superan una velocidad media de 25 metros por segundo en un intervalo de 10 minutos [21].

**Aerogeneradores rápidos:** El eje rápido gira a más de 1500 revoluciones por minuto, el generador utiliza la energía cinética del eje rápido para convertirla en electricidad. Cuando se alcanza la velocidad de sincronismo del generador requerido (seleccionado en función del viento), se conecta suavemente a la red utilizando electrónica de potencia con tiristores, que son interruptores semiconductores controlados electrónicamente. La conexión, que dura entre 3 y 4 segundos, se realiza mediante un interruptor que conecta directamente el generador a la red [24, 25, 26].

### 2.3.3 Aerogeneradores según la posición del eje

**Aerogeneradores de eje Vertical:** El aerogenerador VAWT (Vertical Axis Wind Turbine) tiene un eje vertical, lo que significa que sus palas giran alrededor de este eje central, a diferencia de los HAWT, los VAWT son omnidireccionales y no necesitan ajustarse para orientarse hacia el viento, lo cual es ventajoso en áreas con vientos variables, en la figura 2 se puede apreciar el aerogenerador HAWT. Sin embargo, son menos eficientes debido a su mayor resistencia al aire y son menos comunes. Sus principales componentes se encuentran en la base de la turbina [23]. Como se puede apreciar en la figura 2.

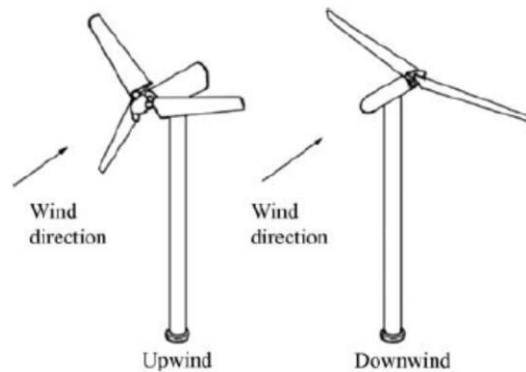


Figura 2. Aerogenerador HAWT [27]

**Aerogeneradores de eje Horizontal:** El aerogenerador HAWT (Horizontal Axis Wind Turbine) es conocido por su eficiencia con un eje horizontal y tres palas. Cada parque eólico se diseña para maximizar la producción eléctrica, seleccionando ubicación y modelo basado en corrientes de viento, su altura de buje y el mecanismo de rotación optimizan la captura de viento, reduciendo costos y aumentando la eficiencia al permitir que el viento impacte primero en el rotor y luego en la torre, como se muestra en la figura 3 [24].

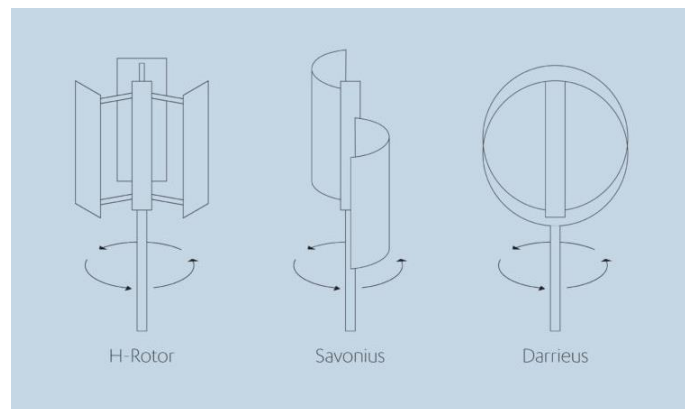


Figura 3. Aerogenerador VAWT [25]

En la TABLA I podemos ver las ventajas y desventajas de estos tipos de aerogeneradores HAWT – Eje horizontal y VAWT- Eje vertical.



TABLA I. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE HAWT Y VAWT

Tipos de eje	Ventajas	Desventajas	Referencias bibliográficas
HAWT Eje horizontal	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mayor eficiencia</li> <li>▪ Mayores potencias alcanzables</li> <li>▪ Reciben vientos con mayores velocidades gracias a su altura</li> <li>▪ Reciben vientos en régimen laminar en grandes alturas y por ende mejorando su rendimiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ A gran altura es necesario gran torre</li> <li>▪ Instalación costosa</li> <li>▪ Emisión de ruidos molestos</li> <li>▪ Necesitan orientarse a la dirección del viento</li> <li>▪ Necesitan un mayor sistema de seguridad, control y frenado.</li> </ul>	T. Hansen, et al., <i>Aerodynamics of Wind Turbines</i> , 2nd ed. Routledge, 2019.
VAWT Eje vertical	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ No necesitan de gran altura</li> <li>▪ Son fáciles de instalación y económica</li> <li>▪ El generador y la caja de cambios se puede instalar en el suelo</li> <li>▪ Nos son ruidosas</li> <li>▪ Su funcionamiento es independiente de la orientación del viento</li> <li>▪ Aprovechan las bajas velocidades de viento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menor eficiencia</li> <li>▪ Menor potencia</li> <li>▪ Reciben vientos con menores velocidades</li> <li>▪ Recibe vientos de forma turbulenta gracias a los obstáculos que se encuentran en las bajas alturas.</li> </ul>	I. Paraschivoiu, <i>Wind Turbine Design: With Emphasis on Darrieus Concept</i> . Springer, 2019.



### 2.3.4 Tipos de aerogeneradores verticales y aplicaciones

Existen diferentes tipos de aerogeneradores verticales, y cada uno tiene funciones diferentes y capacidad en relación con la potencia eléctrica lo cual mejora el nivel de energía producida [26, 28].

**Aerogenerador con rotor Savonius:** También conocida como turbina de "arrastre" o "batidora de huevos", es un tipo de turbina eólica con eje vertical. Tiene una alta resistencia al aire y se utiliza en aplicaciones mecánicas. Esta turbina se elige con frecuencia por su fácil construcción y bajo costo [29]. Como se puede apreciar en la figura 4 el aerogenerador con rotor Savonius.



Figura 4. Aerogenerador con rotor Savonius [29]

**Aerogenerador con rotor Darrieus:** Consta de delgadas palas simétricas con forma de ala de avión, unidas al eje por sus extremos y diseñadas para un rendimiento máximo, este generador es simple, robusto y más económico que otros tipos; su capacidad de captación omnidireccional permite instalarlo en cualquier terreno sin altas torres, ahorrando costes [30]. Como se puede ver en la figura 5 el aerogenerador con rotor Darrieus.



Figura 5. Aerogenerador con rotor Darrieus [30]

**Aerogenerador con rotor en H o Giromill:** Estas turbinas tienen palas verticales conectadas al eje mediante brazos horizontales, que pueden extenderse desde los extremos o incluso desde la parte central de la pala. Las palas ajustan su orientación a medida que el rotor gira para captar mejor la fuerza del viento [13]. Generalmente, se utilizan para alimentar pequeños equipos electrónicos de baja potencia. Como se puede ver en la figura 6 el aerogenerador con rotor en H o Giromill.



Figura 6. Aerogenerador con rotor en H o Giromill [13]



**Aerogenerador con rotor Windside:** Es un sistema similar al rotor Savonius, pero en lugar de usar una estructura cilíndrica para captar el viento, emplea un perfil curvado y retorcido que se eleva a lo largo del eje vertical. La principal diferencia con otros sistemas de eje vertical es su uso de conceptos aerodinámicos, lo que le permite alcanzar eficiencias comparables a las de los aerogeneradores de eje horizontal [31]. Como se puede ver en la figura 7 el aerogenerador con rotor Windside.



Figura 7. Aerogenerador con rotor Windside [31]

### 2.3.5 Número de aspas o palas

**Monopala:** Es muy parecido al bipala, pero en lugar de dos aspas, solo se usa una, y en el lado opuesto se coloca un contrapeso para mantener el equilibrio del sistema, este diseño es poco común porque necesita una velocidad de viento más alta para operar eficientemente [32].

**Bipala:** Este sistema tiene dos palas colocadas una frente a la otra, lo que garantiza el equilibrio del sistema, aunque este diseño es estable, necesita una mayor velocidad del viento para funcionar correctamente [32].



**Tripala:** Este sistema se basa en colocar tres palas de igual tamaño y peso, separadas por ángulos iguales para mantener el equilibrio, estas palas mejoran la captura del viento y minimizan el ruido causado por la fricción [32].

**Multipala:** Pueden tener hasta 4 palas o varias palas (hasta 24), son máquinas lentas usadas para bombear agua, operando principalmente por arrastre, sus aplicaciones van desde la extracción de agua hasta la generación secundaria de electricidad con embalses y turbinas [33].

## 2.4 Aerogeneradores sin aspas

Según la empresa Vortex Bladeless S.L., es posible implementar un dispositivo de generación eólica basado en resonancia aeroelástica (turbina eólica sin aspas). Es crucial recolectar energía del viento con un dispositivo de bajo mantenimiento, ideal para la generación distribuida [34].

La turbina sin aspas Vortex es una alternativa innovadora a las turbinas eólicas tradicionales. Captura la energía del viento de manera única aprovechando la vorticalidad, que es una especie de movimiento giratorio creado cuando el viento interactúa con la estructura. Esto genera patrones cíclicos de vórtices que son clave para su funcionamiento [5]

Cuando el viento alcanza la fuerza adecuada, la estructura comienza a vibrar en resonancia. Vortex Bladeless es un generador de energía que utiliza esta vibración inducida por vórtices. En lugar de las partes tradicionales como la torre, la góndola y las palas de una turbina convencional, esta tecnología sin palas consiste en un cilindro vertical montado sobre una varilla elástica. El cilindro oscila dentro de un rango específico de velocidad del viento, lo que permite generar electricidad mediante un alternador y un sistema de sincronización [5]. Como se muestra en la figura 8 el prototipo del aerogenerador sin aspas.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



Las ventajas principales que ofrecen estos aerogeneradores en comparación con los generadores convencionales con aspas son:

- Reduce la necesidad de mantenimiento.
- No tiene engranajes y rodamientos.
- Produce menos ruido.
- Ocupa menos espacio para su instalación.
- Tiene un menor impacto hacia flora y fauna, entre otros.



Figura 8. Aerogenerador de Vortex Bladeless S.L. [35]

#### **2.4.1 Vórtices inducidos por vibraciones (VIV)**

En el estudio de los fluidos, sabemos que cuando un flujo, ya sea suave o agitado, encuentra un obstáculo, puede generar vórtices. Estos vórtices, también llamados vórtices de Von Karman, son bien conocidos. Cuando se desprenden, provocan vibraciones en dirección perpendicular al flujo [8].



Estas oscilaciones, que varían según la velocidad del fluido, mantienen una frecuencia constante. Cuando esta frecuencia coincide con la frecuencia natural de la estructura, la hace vibrar durante un tiempo prolongado [8].

Cuando el viento fluye alrededor de una estructura, crea vórtices de presión cuya frecuencia está determinada por la velocidad del viento. Si la estructura vibra a una frecuencia de resonancia parecida, comienza a oscilar y puede aprovechar esa energía. Este fenómeno, conocido como resonancia aeroelástica o desprendimiento de vórtices, es bastante común en la naturaleza [34].

Las ventajas principales de este tipo de aerogenerador resonante sin aspas frente a los aerogeneradores convencionales con palas son su instalación sencilla y el bajo mantenimiento requerido. Esto se debe a que no utiliza mecanismos complejos, sino simplemente un sistema de imanes permanentes para reducir las vibraciones no deseadas [8, 34].

Esto significa que no se necesitan sistemas de amortiguación complejos que requieran mucho mantenimiento, a diferencia de los generadores convencionales. Estos dispositivos producen una cantidad modesta de energía y están diseñados para ser utilizados cerca de donde se consume la electricidad, por lo que se instalan en áreas urbanas y pequeñas ciudades [8, 36]

Los generadores de electricidad por vibración son compactos y simples de instalar, ideales para entornos urbanos. Junto con los paneles solares y sistemas micro hidroeléctricos, pueden ser parte de la estrategia para crear ciudades sostenibles. Esta estrategia busca desarrollar ciudades compactas e inteligentes, conservando áreas verdes, reduciendo emisiones y utilizando fuentes de energía renovable y eficiente [37].

Aunque los aerogeneradores resonantes sin aspas están en fase de desarrollo por su capacidad para mejorar la eficiencia energética y reducir el impacto ambiental, todavía enfrentan desafíos importantes que necesitan soluciones innovadoras y viables a gran escala [38].

A pesar de eso, ya han instalado varios de estos aerogeneradores en universidades y otras organizaciones, incluyendo ayuntamientos en la provincia de Ávila y en otros lugares. Estas instalaciones actualmente actúan más como prototipos para explorar las



capacidades de esta innovación. A medida que la tecnología se escala, surgen nuevos desafíos que deben abordarse [39]. Como se muestra en la figura 9 del prototipo instalado en la Escuela Politécnica Superior de Ávila en España.



Figura 9. Prototipo instalado en la Escuela Politécnica Superior de Ávila en España [36]

#### **2.4.2 Resonancia en aerogeneradores sin aspas**

La resonancia sucede cuando una vibración se intensifica por un movimiento repetitivo. En el ámbito de la aeroelasticidad, el flujo de aire puede hacer que un objeto oscile cuando su frecuencia natural coincide con la frecuencia de los vórtices o torbellinos que se forman en su estela. Estas vibraciones, provocadas por los vórtices, se conocen como fenómenos de VIV (Vortex-Induced Vibrations) [34].

#### **2.4.3 Rigidez de la estructura**

La rigidez de una estructura depende del tipo de material utilizado, cómo están configurados sus componentes y cómo están unidos entre sí. Una estructura se considera rígida cuando no puede deformarse o cambiar su forma sin dañarse o perder su capacidad de funcionar correctamente. Es una cualidad fundamental en el diseño, la construcción y el mantenimiento de cualquier estructura, ya que afecta de manera importante su comportamiento, seguridad y eficiencia en su funcionamiento [40].



#### 2.4.4 Estructura y funcionamiento de los aerogeneradores sin aspas

La estructura del aerogenerador sin aspas como se puede apreciar en la figura 10, cuenta con 4 partes principales que son:

**Base:** Es la sección inmóvil del aerogenerador que se fija en la superficie donde será instalada

**Núcleo:** Es una varilla de material flexible, resistente y duradero, que es expuesto a fatiga por oscilaciones del mástil.

**Alternador:** Es un sistema conformado por imanes de neodimio en forma de arandela, con un bobinado interno llamado estator y este va fijo en la base [40].

**Mástil (Libre):** Es la sección sólida de la estructura que está directamente expuesta al viento y puede lograr una separación controlada de vórtices a lo largo del mástil ajustando el diámetro en relación con la altura [41].

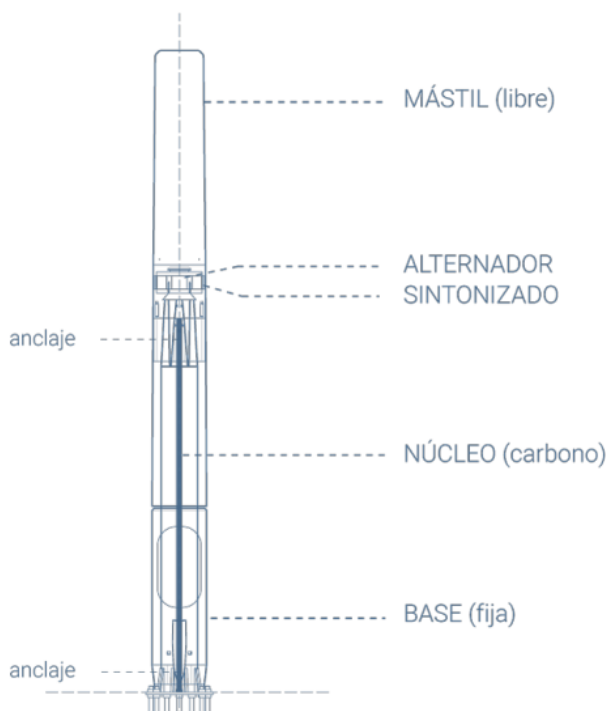


Figura 10. Estructura del aerogenerador resonante sin aspas [34]



Para entender el funcionamiento, es necesario considerar las siguientes partes del sistema:

**Estructura:** Como se puede ver en la figura 11, este aerogenerador tiene la apariencia de un mástil que oscila con una sección cilíndrica, y el viento incide perpendicularmente sobre él. Las oscilaciones ocurren cuando la frecuencia natural del mástil se acerca o coincide con la frecuencia de los vórtices que se forman cuando el viento pasa por la estructura. Este fenómeno es conocido como vórtice de Von Karman [40]. El movimiento oscilatorio generado por el viento es energía cinética que puede aprovecharse como energía mecánica y, a su vez, convertirse en energía eléctrica.

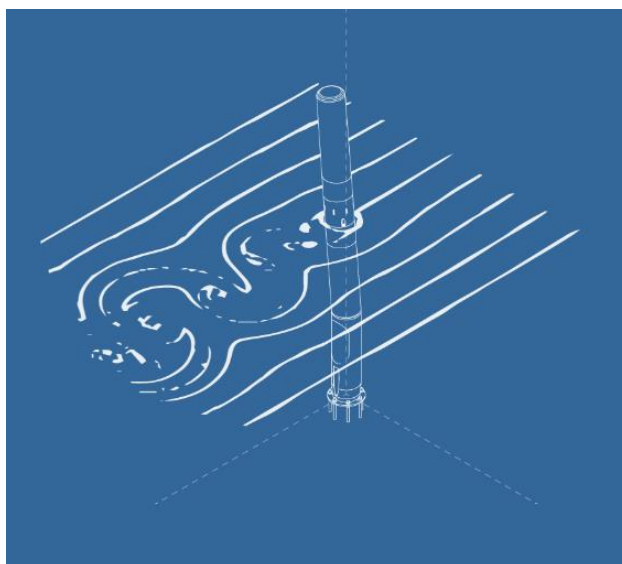


Figura 11. Oscilaciones del generador producido por el flujo del viento [34]

**Sintonizado:** La tecnología desarrollada utiliza la resonancia para hacer que el mástil oscile mediante los vórtices de Von Kármán. Sin embargo, dado que la velocidad del viento cambia constantemente, la frecuencia de formación de los vórtices también varía continuamente. Esto limita considerablemente el rango de velocidades del viento en las que la frecuencia natural de oscilación coincide con la frecuencia de generación de vórtices, lo que resulta en una eficiencia muy baja del equipo. Para abordar este problema, se ha desarrollado un sistema de ajuste adaptativo específicamente para Vortex [41].



Dependiendo del diseño y la colocación de estos imanes, se puede crear un sistema que aumente la frecuencia de resonancia con la amplitud de manera pasiva, es decir, sin necesidad de aplicar ningún control sobre él [41]. Como se puede ver en la figura 12 es el sistema magnético de sintonización.

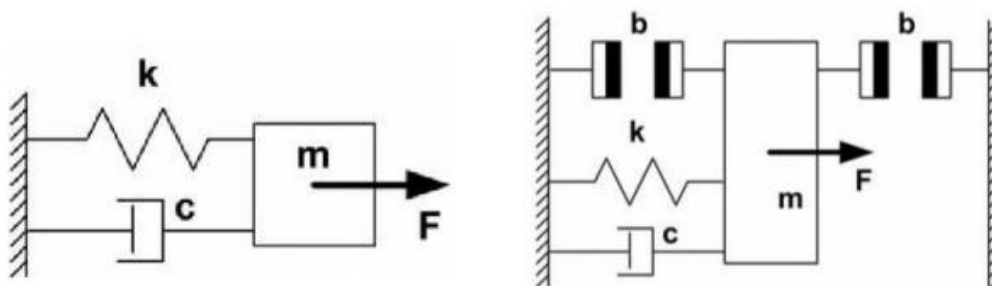


Figura 12. Sistema magnético de sintonización [41]

Generación: En los aerogeneradores Vortex, la energía del viento se convierte en electricidad mediante un alternador magnético que utiliza la inducción electromagnética. El diseño del alternador se ve influenciado por la ausencia de partes móviles y el movimiento del mástil. Se podría pensar que el mejor momento para que los imanes interactúen con la bobina es cuando el mástil está en su posición neutra de oscilación, ya que es en ese punto donde alcanza su velocidad máxima [41].

La figura 13 a continuación se muestra los distintos componentes del alternador. El anillo de imanes "b" está unido al mástil. Cuando el mástil se flexiona, la interacción entre las bobinas y los imanes de sintonización fijados al estátor "a" se incrementa. La parte fija del alternador está sostenida por la estructura "c" que está anclada al suelo [41].



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**

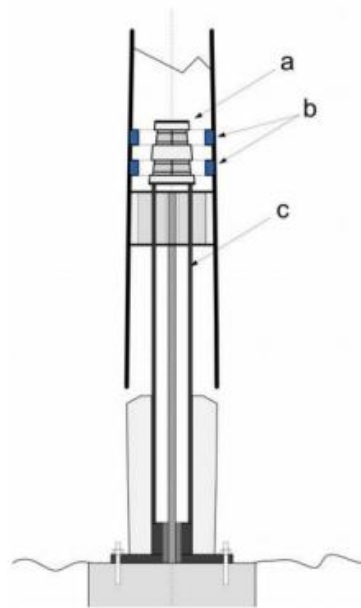


Figura 13. Ubicación de los imanes y el estator [40]

En la figura 14 se puede observar la parte móvil son los imanes y la parte estática con las bobinas, al producir el movimiento en el mástil y sobre los imanes se produce el desplazamiento [40].

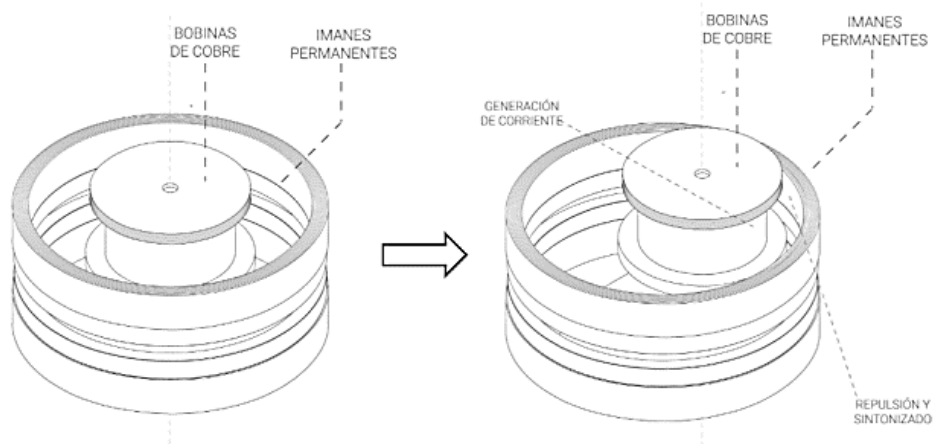


Figura 14. Desplazamiento de los imanes [34]



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**CAPITULO III**  
**MATERIALES Y MÉTODOS**

### 3.1 Introducción

Este capítulo presentó la información relevante sobre los métodos, recursos y el procedimiento que fueron utilizados para llevar a cabo el trabajo curricular integrado. El contenido se estructuró en tres secciones principales: el entorno en el que se desarrolló el estudio, las metodologías de investigación que se aplicaron y los materiales que se emplearon. Cada una de estas secciones proporcionó una descripción detallada de su aplicación en el desarrollo del proyecto de grado.

### 3.2 Descripción del área de estudio

El lugar de estudio en el que se realizó el trabajo de grado fue el edificio de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas (FICA), identificado como el edificio número 5 del campus de la Universidad Técnica del Norte, como se muestra en la figura 15. En este sitio se llevó a cabo la toma de datos mediante un equipo de medición eólica, que incluyó un anemómetro y una veleta, los cuales fueron instalados en el campus universitario.



Figura 15. Campus de la Universidad Técnica del Norte



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



### **3.3 Metodología**

En el presente estudio se empleó una metodología de cinco etapas y como se implementaron en el desarrollo del proyecto de grado.

#### **Primera etapa: Selección el lugar de estudio**

Al inicio del estudio, se procedió a seleccionar el lugar de investigación, lo que implicó identificar el sitio exacto para la obtención de datos. Esta etapa fue fundamental, ya que permitió recopilar información precisa y relevante, estableciendo una base sólida para el desarrollo del estudio.

#### **Segunda etapa: Recolección de datos**

En la segunda etapa, se recopiló información sobre el recurso eólico. Para ello, se instaló un sistema de medición del viento, compuesto por un registrador de datos electrónico y los sensores correspondientes: un anemómetro y una veleta, utilizados para medir la velocidad y la dirección del viento en la zona de estudio. Las mediciones se realizaron sobre el edificio de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas durante un periodo de dos meses.

#### **Tercera etapa: Procesamiento de datos**

Una vez recopilados los datos, estos fueron analizados cuidadosamente. En primer lugar, se procedió a limpiar y organizar los registros de velocidad del viento en una hoja de cálculo en Excel. Posteriormente, se calcularon diversas estadísticas relevantes, como la velocidad promedio.

#### **Cuarta etapa: Estimación del recurso eólico**

Luego, los datos fueron analizados de manera de cálculo utilizando Excel. Este análisis le ayudó a estimar el recurso eólico sobre el edificio universitario, lo cual fue clave para que se realizara una tabla de valores.



Es importante resaltar que esta caracterización se enfocó principalmente en términos de potencia y energía. Estos datos fueron cruciales para la siguiente etapa de dimensionamiento del sistema eólico sin aspas.

### **Quinta etapa: Simulación del sistema**

Después de revisar los datos del viento, se escogerá la turbina eólica sin aspas vortex. Se analizaron las especificaciones técnicas del modelo para estimar cuánta energía podía generar. Luego, se realizó la simulación en el software SolidWorks del aerogenerador sin aspas y, con los parámetros medidos, se obtuvo la capacidad de generación sobre la facultad.

### **Enfoque Cuantitativo**

Para llevar a cabo el estudio, se utilizó un enfoque cuantitativo. Esto significa que se basaron en datos numéricos para estimar el potencial del viento y simular el sistema de aerogeneradores sin aspas. Se eligió este método porque fue crucial medir con precisión variables como la velocidad del viento y la potencia eólica disponible en la facultad de ingeniería en ciencias aplicadas.

#### **3.3.1 Métodos**

##### **Método General**

La metodología de esta investigación sigue un enfoque estructurado basado en el método científico, reconocido por su rigurosidad en la obtención y análisis de información. El estudio parte del incremento del interés en las energías renovables y de la necesidad de implementar fuentes sostenibles de energía en contextos educativos. Esto nos lleva a plantear claramente el problema: ¿Cuál es la capacidad de generación eléctrica que se puede obtener de un aerogenerador resonante sin aspas en el edificio de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas en función de la velocidad y dirección del viento?



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



### **Método específico**

El enfoque metodológico que se ha adoptado para esta investigación se basa en un método descriptivo-predictivo. Esto significa que, por un lado, se describirán detalladamente las características del recurso eólico, y por otro, se tratará de predecir su comportamiento mediante simulaciones, proporcionando resultados de análisis y estimaciones de la capacidad de generación del aerogenerador sin aspas en el edificio de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

### **3.4 Procedimiento**

El objetivo principal fue estimar la capacidad de generación eléctrica producida por un aerogenerador resonante sin aspas en el edificio de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas mediante el uso de las variables de velocidad y dirección del viento.

En la figura 16 se puede observar de manera ordenada y en secuencia el procedimiento del trabajo de grado.

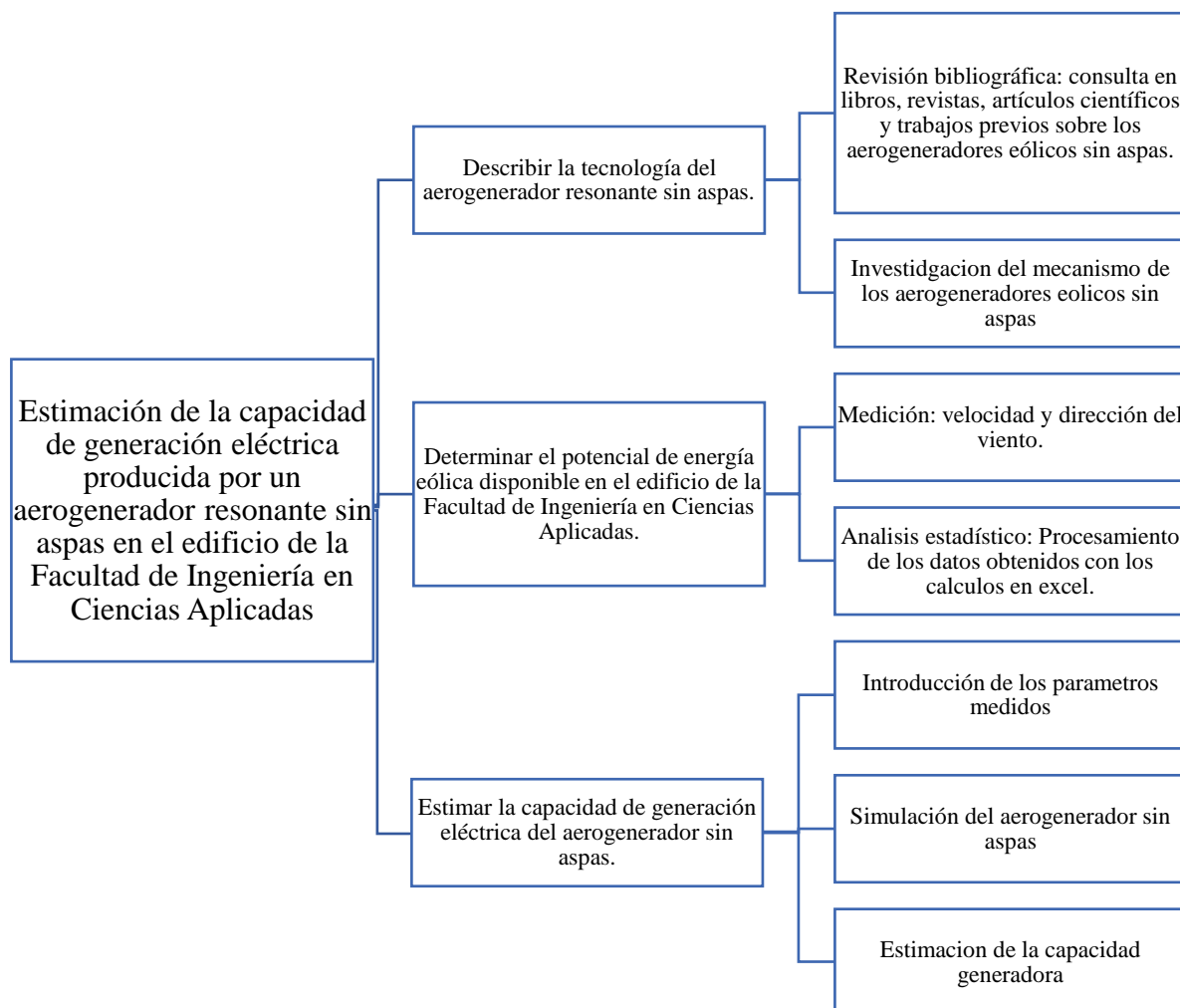


Figura 16. Diagrama del procedimiento del trabajo de grado

La investigación se basó en una revisión y búsqueda bibliográfica, que incluyó la consulta de libros, revistas, artículos científicos y trabajos de grado realizados previos, centrándose en el aerogenerador resonante sin aspas. Esto proporcionó un alcance de las diferentes tecnologías de los sistemas eólicos.



Después de la investigación bibliográfica, se utilizó un equipo de medición eólico de la carrera de electricidad, que contenía un data logger para almacenar, transmitir y gestionar datos provenientes de sensores como el anemómetro y una veleta; estos registraron los parámetros del lugar como velocidad y dirección del viento.

Luego de la obtención de estos datos y con la ayuda de Excel, se pudo obtener un promedio del comportamiento del viento por día.

Finalmente, se empleó el software Solid Works para el modelado del comportamiento del aerogenerador resonante, para su simulación introduciendo los parámetros medidos y obtener así la estimación de capacidad de generación de un aerogenerador sin aspas.

### **3.4.1 Técnicas y Herramientas**

En este estudio, se utilizaron varios métodos para analizar y estimar cómo funcionaba el aerogenerador resonante sin aspas. Primero, se usó Microsoft Excel para hacer un primer análisis de los datos brutos de la velocidad del viento. Con Excel, se pudieron organizar los datos de manera eficiente y determinar las estadísticas básicas como la velocidad y dirección del viento dentro del campus.

Se instalaron los equipos de medición en el edificio de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas por la accesibilidad, ya que permitía que los vientos fueran más fuertes y de tal forma tener una estimación del recurso real. Se procedió a tomar datos desde el 12 de febrero al 12 de abril. Posteriormente, se utilizó el software SolidWorks para simular cómo se comportaba el aerogenerador sin aspas con variaciones en la velocidad del viento.



En resumen, estas técnicas de procesamiento de datos permitieron realizar un análisis detallado del aerogenerador sin aspas, desde la recolección y análisis inicial de datos hasta la simulación del mismo.



### 3.4.2 Equipos utilizados para la estimación del recurso eólico

Para evaluar el potencial eólico, se emplearon varios dispositivos electrónicos, como se puede apreciar en la TABLA II, los cuales facilitaron mediciones precisas para la selección adecuada de equipos que maximizaran el aprovechamiento de la energía renovable en la generación eléctrica.

TABLA II. EQUIPOS DE MEDICION EOLICO [42]

Equipo	Modelo	Utilización	Imagen
Data loggers	RK600-01	Sistema para capturar, almacenar, transmitir y gestionar datos provenientes de sensores que registran la dirección y velocidad del viento, equipado con una pantalla LCD y conexión a una computadora personal.	
Anemómetro	RK100-01	Mide la velocidad, hecho de fibra de carbono, resistente y liviano.	
Veleta	RK110-01	Identifica la dirección del viento utilizando unos chips magnéticos ubicados dentro de su carcasa, siendo muy liviano.	



### 3.4.3 SolidWorks

Se utilizó la simulación como método de investigación, la cual permitió reproducir condiciones reales de un fenómeno o proceso a través de un modelo matemático. Esta simulación fue realizada con el software SolidWorks, el cual contó con licencia institucional otorgada por la Universidad Técnica del Norte (UTN). Esta herramienta de diseño e ingeniería facilitó la creación de modelos tridimensionales de manera precisa e intuitiva, permitiendo además el dibujo y el trazado de piezas junto con sus respectivos ensamblajes [43, 44].

Entre los datos obtenidos se encontraron: la velocidad del viento, la máxima deflexión, la desviación del mástil respecto a su posición de equilibrio (en el caso del aerogenerador por VIV), y el radio de la circunferencia barrida (en el caso del aerogenerador con aspas). Las simulaciones realizadas en SolidWorks fueron altamente detalladas, registrando variables como la velocidad del generador y el par generado, en intervalos de tiempo muy reducidos, para lo cual Excel resultó ser una herramienta fundamental.

Una vez finalizado el diseño de cada componente para el aerogenerador sin aspas la maseta, la base fija, el mástil, el anclaje, la varilla flexible y el alternador, se procedió a simular el comportamiento del aerogenerador.

Los resultados de la simulación fueron exportados a hojas de cálculo en Excel para su posterior análisis. Mediante funciones integradas y herramientas de procesamiento de datos, se calcularon indicadores clave de rendimiento a partir de la información obtenida. Se ingresaron valores reales de velocidad y dirección del viento con el propósito de simular condiciones ambientales reales. A partir de estos datos, SolidWorks determinó las fuerzas aerodinámicas que actuaron sobre el mástil y la varilla flexible.



### 3.4.4 Microsoft Excel

Es una herramienta de hoja de cálculo ampliamente utilizada para la organización, análisis y visualización de datos. Gracias a sus funciones integradas y su interfaz intuitiva, permite realizar cálculos matemáticos, análisis estadísticos, generación de gráficos y procesamiento de grandes volúmenes de información [45].

En el presente estudio, Excel fue utilizado para analizar los datos obtenidos de las simulaciones realizadas en SolidWorks sobre el aerogenerador resonante sin aspas. Esta herramienta facilitó el procesamiento de variables como la velocidad del viento, la deflexión del mástil y otros parámetros clave, permitiendo evaluar el comportamiento del sistema en distintas condiciones operativas y representar visualmente los resultados para su posterior interpretación.

### 3.5 Ecuaciones

Para representar el proceso de conversión de energía mecánica a eléctrica en el aerogenerador con aspas, así como la transformación de energía resonante en energía eléctrica en el aerogenerador VIV, se utilizaron ecuaciones previamente estudiadas en la literatura. En particular, para los generadores VIV, se tomó como referencia el estudio realizado por Hamdan [46]. Se recurrió a artículos científicos y a informes técnicos elaborados por especialistas en energía eólica para identificar las fórmulas más precisas.

Para la deducción matemática, se emplearon las fórmulas que se presentan a continuación, centrando el análisis exclusivamente en un enfoque lineal y utilizando la potencia de salida del aerogenerador por VIV, tal como se indica en la ecuación 1.

$$P_{out} = F_{wind} \times (V_{mast}) \quad ( 1 )$$

Donde:

$P_{out}$ : es la potencia de salida del generador por VIV.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



$F_{wind}$ : es la fuerza aplicada directamente por el viento sobre la superficie del mástil frente a la entrada.

$V_{mast}$ : es la velocidad del mástil, promediada en el tiempo.

La fuerza que se aplique en el aerogenerador es un factor clave para el cálculo de la potencia de salida por ende se deben tomar parámetros para conseguir el resultado usando la fuerza aplicada en el mástil, como se denota en la ecuación 2.

$$F_{wind} = P_{app} \times (A_s) \quad ( 2 )$$

Donde:

$F_{wind}$ : es la fuerza aplicada directamente por el viento sobre la superficie del mástil frente a la entrada.

$P_{app}$ : es la presión del viento aplicada sobre la superficie del mástil.

$A_s$ : es el área de la superficie del mástil.

Una variable clave para la obtención de la potencia de salida recae en la presión del viento aplicada en el mástil donde se utilizó la ecuación 3.

$$P_{app} = 0.5 \times P_{wind} \times (V_{Flow})^2 \quad ( 3 )$$

Donde:

$P_{app}$ : la presión del viento aplicada sobre la superficie del mástil.

$P_{wind}$ : es la densidad del aire.

$V_{Flow}$ : velocidad del viento.



## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y ANÁLISIS

#### 4.1 Recopilación de datos de la velocidad y dirección del viento

Para estimar con precisión la capacidad de generación eléctrica de un aerogenerador resonante sin aspas, es fundamental conocer las condiciones del recurso eólico disponible en la zona de estudio. En este contexto, la velocidad y dirección del viento son variables críticas que influyen directamente en el comportamiento y rendimiento del sistema.

El análisis del viento incluye el desglose de sus distintas direcciones, las cuales se expresan en grados según el punto cardinal desde el cual provienen los flujos de aire como se puede observar en la TABLA III. Esta representación angular permite identificar con precisión las trayectorias predominantes del viento en una ubicación determinada.

TABLA III. DIRECCION DEL VIENTO [47]

Rumbo	Grados
NE (Norte-Este) Noreste	45°
SE (Sur-Este) Sudeste	135°
SO (Sur-Oeste) Sudoeste	225°
NO (Norte-Oeste) Noroeste	315°
NNE(Norte-Norte-Este) Norte Noreste	22.5°
ENE (Este-Norte-Este) Este Noreste	67.5°
ESE (Este-Sur-Este) Este Sudeste	112.5°
SSE (Sur-Sur-Este) Sur Sudeste	157°
SSO (Sur-Sur-Oeste) Sur Sudoeste	202.5°
(OSO (Oeste-Sur-Oeste) Oeste Sudoeste	247.5°
ONO (Oeste-Norte-Oeste) Oeste Noroeste	292.5°



NNO (Norte-Norte-Oeste) Norte Noroeste

337.5°

La recopilación de estos datos permite caracterizar el perfil eólico del sitio, identificar patrones de comportamiento del viento a lo largo del tiempo y evaluar la viabilidad técnica de la instalación del aerogenerador. En este estudio, los datos fueron obtenidos mediante un equipo de recolección compuesto por un registrador de datos (logger RK600-01), un anemómetro y una veleta. El periodo de medición abarcó dos meses, desde el 12 de febrero hasta el 12 de abril, con una resolución diaria.

A continuación, en la TABLA IV se presenta el análisis de los datos recolectados, que servirá como base para las simulaciones y estimaciones de generación eléctrica en el edificio de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

TABLA IV. VELOCIDAD, DIRECCION DEL VIENTO Y TEMPERATURA

Año	Mes	Días	Velocidad del viento		Temperatura (°C)
			WS (m/s)	WD (Grados)	
2025	2	12	1.58	15.3	12.86
2025	2	13	1.42	96.4	12.14
2025	2	14	1.43	69.1	12.93
2025	2	15	1.63	78.9	13.07
2025	2	16	1.65	87.7	12.48
2025	2	17	1.64	59.2	13.26
2025	2	18	1.62	306.3	12.39
2025	2	19	2.23	322.2	13.06
2025	2	20	2.06	307.1	12.71
2025	2	21	1.69	21.6	13.48
2025	2	22	1.42	39.4	13.16
2025	2	23	2.0	58.2	13.13
2025	2	24	1.36	338.6	12.68
2025	2	25	1.49	31.9	13.35
2025	2	26	1.57	72.7	12.98
2025	2	27	1.33	56.2	12.66
2025	2	28	1.87	86.0	12.98
2025	3	1	1.76	77.3	13.04



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



2025	3	2	1.29	60.2	12.56
2025	3	3	1.16	64.4	12.41
2025	3	4	1.31	44.7	13.36
2025	3	5	2.08	308.1	13.23
2025	3	6	2.35	299.4	11.5
2025	3	7	3.23	303.5	12.03
2025	3	8	2.62	300.5	12.66
2025	3	9	2.09	311.8	13.67
2025	3	10	1.93	313.4	12.87
2025	3	11	2.1	332.1	12.68
2025	3	12	2.11	324.2	12.76
2025	3	13	2.29	353.2	13.11
2025	3	14	2.44	336.3	13.46
2025	3	15	2.14	14.8	13.03
2025	3	16	1.37	11.6	13.04
2025	3	17	1.17	53.4	13.14
2025	3	18	1.42	50.4	13.27
2025	3	19	2.17	85.4	12.98
2025	3	20	1.66	56.3	12.59
2025	3	21	1.61	75.1	13.19
2025	3	22	1.46	62.3	13.57
2025	3	23	1.81	91.2	13.88
2025	3	24	1.67	74.2	13.51
2025	3	25	2.3	77.2	13.49
2025	3	26	1.77	55.2	13.05
2025	3	27	2.14	78.7	13.29
2025	3	28	2.41	109.0	12.16
2025	3	29	1.41	80.4	12.45
2025	3	30	1.4	15.4	13.48
2025	3	31	1.3	72.0	12.77
2025	4	1	1.98	95.4	12.84
2025	4	2	2.28	98.4	13.22
2025	4	3	2.14	79.1	12.71
2025	4	4	2.09	77.1	13.74
2025	4	5	2.34	95.1	13.31
2025	4	6	2.7	104.4	12.97
2025	4	7	2.02	86.3	13.18
2025	4	8	1.99	67.7	13.57
2025	4	9	1.88	77.1	13.53
2025	4	10	1.94	83.2	13.59
2025	4	11	2.07	86.1	13.39
2025	4	12	2.83	100.5	13.04



## 4.2 Análisis del perfil del viento

Durante el periodo de observación, comprendido entre el 12 de febrero y el 12 de abril de 2025, se registraron valores diarios de velocidad y dirección del viento. La velocidad del viento (WS) presentó una variación entre 1.16 m/s y 3.23 m/s, con un valor promedio aproximado de 1.93 m/s. Este rango indica una disponibilidad moderada del recurso eólico, adecuada para el funcionamiento de aerogeneradores resonantes sin aspas, que pueden operar eficientemente a velocidades bajas.

En cuanto a la dirección del viento (WD), se observó una distribución amplia, abarcando prácticamente todos los cuadrantes, con concentraciones notables entre los 60° y 120°, así como entre 300° y 360°, lo que sugiere la presencia de vientos predominantes provenientes del este-noreste y del noroeste. Esta información es útil para orientar adecuadamente el aerogenerador y maximizar su aprovechamiento.

Adicionalmente, las temperaturas registradas se mantuvieron relativamente estables, oscilando entre 11.5°C y 13.8°C, lo cual indica condiciones ambientales constantes que no interfieren significativamente con el rendimiento del dispositivo.

## 4.3 Simulación del aerogenerador resonante sin aspas

A continuación, se presentan los antecedentes que respaldan la simulación del aerogenerador resonante sin aspas, el cual se basa en el fenómeno de vibración inducida por vórtices (VIV). En esta etapa se consideran las condiciones ambientales relevantes, como la presión atmosférica, la velocidad y dirección del viento, además de la temperatura. También se describe el modelo único empleado para representar el comportamiento del sistema, así como el procedimiento desarrollado en Excel para calcular las ecuaciones necesarias y estimar su capacidad de generación eléctrica.

## 4.4 Mecánica SolidWorks

Para el desarrollo de la simulación del aerogenerador resonante sin aspas basado en el fenómeno de VIV, se tomó como referencia principal el estudio realizado por Ahmed [48], esta investigación aportó información clave que fue considerada en cada fase del diseño.



La elaboración del modelo se realizó con especial atención al detalle, procurando reproducir con exactitud las dimensiones definidas en el estudio original, como se observa en la figura 17. Este enfoque minucioso fue determinante para alcanzar un alto grado de precisión en los resultados, ya que, al conservar fielmente las medidas del modelo de referencia, la simulación logró representar de forma realista el comportamiento del aerogenerador bajo condiciones de vibración inducida por vórtices.

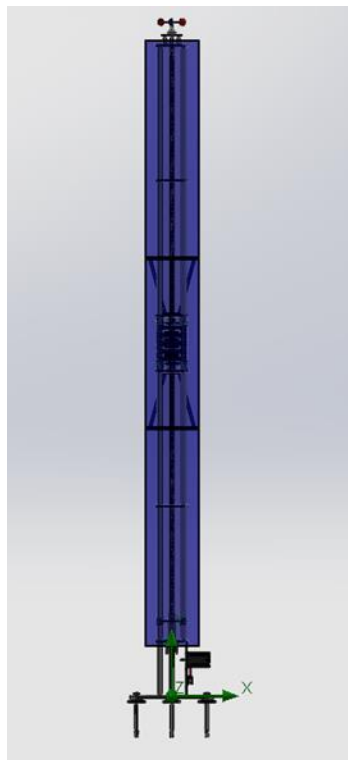


Figura 17. Diseño del aerogenerador resonante por VIV en SolidWorks

#### 4.5 Modelado en Excel

Para complementar los hallazgos de este estudio, se elaboró una hoja de cálculo en Excel que permite calcular la potencia eléctrica utilizando las ecuaciones presentadas en el capítulo tres. Esta herramienta fue diseñada para facilitar el análisis de datos mediante funciones y fórmulas integradas.

Además, cada tecnología fue analizada en hojas separadas dentro del archivo, lo que permite un manejo organizado y específico de los datos como se puede observar.



## Potencia Eléctrica Generada

### Datos:

**Pwind:** densidad del aire

**Vflow:** velocidad del viento (datos del equipo de medición)

**Papp:** presión del viento sobre la superficie del mástil

**As:** área de la superficie del mástil

**Fwind:** fuerza directamente por el viento sobre la superficie del mástil

**Pout:** potencia eléctrica generada por el aerogenerador sin aspas

**Vmast:** velocidad del viento promedio (datos de la simulación)

$$P_{wind}=1,225 \text{ kg/m}^3$$

$$A_s=3\text{m de alto} \cdot 0,25\text{m de base} = 0,75\text{m}^2$$

### Fórmulas a aplicar

$$P_{app}=0,5 \cdot P_{wind} \cdot V_{flow}^2$$

$$F_{wind}= P_{app} \cdot A_s$$

$$P_{out}=F_{wind} \cdot V_{mast}$$

Este modelo no solo optimiza la precisión en los cálculos, sino que también mejora la presentación de los resultados, brindando una herramienta accesible y eficaz para determinar la potencia generada.

## 4.6 Simulación en SolidWorks

### 4.6.1 Estimación del potencial eléctrico del aerogenerador resonante sin aspas en el día con valor promedio del recurso eólico de la primera semana

A continuación, se presentan los datos recopilados y utilizados para estimar el potencial eléctrico, seleccionando para cada semana el día correspondiente al valor promedio de velocidad del viento. Esta elección se basa en criterios estadísticos que permiten representar de manera más objetiva y estable el comportamiento eólico semanal, evitando distorsiones provocadas por valores atípicos.



De esta forma, la simulación del desempeño del aerogenerador resonante sin aspas se realiza bajo condiciones representativas del recurso disponible, lo que contribuye a una estimación más fiable de su capacidad de generación eléctrica.

Para este propósito, se utilizaron las ecuaciones 1, 2 y 3, la cual fue adaptada y utilizada en Microsoft Excel para llevar a cabo su análisis y procesamiento. En la primera semana del 12 febrero al 18 de febrero, seleccionando el día 15 de febrero, correspondiente al valor promedio de actividad eólica durante la primera semana, se ha tomado en cuenta una velocidad de viento 1.63 m/s y una temperatura ambiental de 13.07 °C, tal como se muestra en la TABLA IV. Además, se ha registrado una dirección del viento desde el sudeste, también referenciada en la TABLA III.

En cuanto a la presión atmosférica, se utilizó un valor de 101700 Pa, el cual se ingresó en la sección de simulación de fluidos del software SolidWorks. Tras introducir estos valores, se procedió a realizar la simulación considerando una duración de 36.000 segundos.

Es importante señalar que se optó por un análisis lineal con el objetivo de simplificar los cálculos y facilitar la obtención de variables accesibles en el programa. Inicialmente, se mantuvieron los valores por defecto y en las ejecuciones posteriores, se seleccionó la opción de nuevo cálculo para evitar influencias sobre los resultados obtenidos.

A partir de estos datos, se modeló el desempeño del aerogenerador resonante si aspas, el cual funcionó bajo dichas condiciones, seleccionando parámetros como la velocidad promedio, densidad media del aire, la fuerza normal sobre el mástil, como se ilustra en la figura 18.

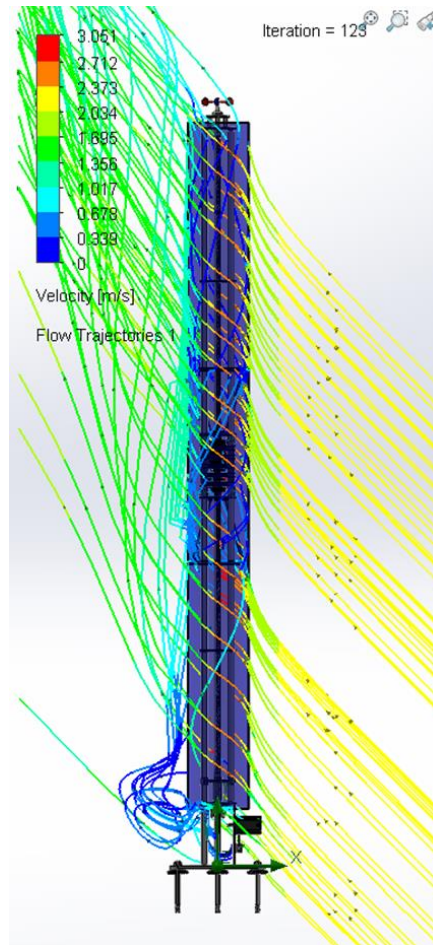


Figura 18. Simulación aerogenerador sin aspas del 15 de febrero

Como producto de los valores obtenidos de los parámetros seleccionados, los datos fueron exportados a un archivo de Excel para facilitar su gestión, estos resultados se presentan en la TABLA V.

TABLA V. RESULTADOS AEROGENERADOR RESONANTE SIN ASPAS DEL 15 FEBRERO

Nombre del objetivo	Unidad	Valor Actual	Valor Promedio	Progreso [%]	Uso en convergencia	Criterio
Densidad media	[Kg/m <sup>3</sup> ]	1,23762	1,23762	100	Yes	1,23762E-08
Velocidad media	[m/s]	2,28906	2,28905	100	Yes	0,000389875
Fuerza Normal	[N]	1,54475	1,54406	100	Yes	0,349189



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



Una vez obtenidos los resultados necesarios, se procedió a trabajar con los datos en Excel. En este proceso, se incluyen variables como la velocidad del mástil, obtenidas directamente de la simulación, así como la velocidad del lugar, la densidad del aire y las dimensiones del aerogenerador. Cabe destacar que, si bien algunas variables obtenidas de la simulación no se emplearon en el presente análisis, se las tuvo en cuenta para su posible uso en investigaciones posteriores.

Para la presión del viento aplicada sobre la superficie del mástil, se utilizó la ecuación 3 considerando el valor de la velocidad del viento de 1.63 m/s, el valor del área de la densidad del aire de 1.225 kg/m<sup>3</sup>, obteniendo la presión del viento aplicada sobre la superficie del mástil, consiguiendo un valor de 1.62735125 Pa.

Con el valor de 1.62735125 Pa, se procedió a utilizar la ecuación 2, para el cálculo de la fuerza aplicada directamente por el viento sobre la superficie del mástil frente a la entrada multiplicando por el área de 0.75m<sup>2</sup>, obteniendo un valor de 1.22051344 N (Newtons).

Finalmente, para el resultado del cálculo de la potencia eléctrica, se utilizó la ecuación 1 considerando el valor de la fuerza aplicada directamente por el viento sobre la superficie del mástil de 1.22051344 N por el valor del viento aplicado en el mástil de 2.28905 m/s, obteniendo la potencia eléctrica de 2.79 W (vatios), procediendo a utilizar el mismo procedimiento para los días restantes.

#### **4.6.2 Estimación del potencial eléctrico del aerogenerador resonante sin aspas en el día con valor promedio de recurso eólico de la segunda semana**

Seguidamente, se presentan los datos recopilados y utilizados para estimar el potencial eléctrico, seleccionando para cada semana el día correspondiente al valor promedio de velocidad del viento. Esta elección se basa en criterios estadísticos que permiten representar de manera más objetiva y estable el comportamiento eólico semanal, evitando distorsiones provocadas por valores atípicos.



De esta forma, la simulación del desempeño del aerogenerador resonante sin aspas se realiza bajo condiciones representativas del recurso disponible, lo que contribuye a una estimación más fiable de su capacidad de generación eléctrica.

Para el cálculo, se utilizaron las ecuaciones 1, 2 y 3, la cual fue adaptada y utilizada en Microsoft Excel para llevar a cabo su análisis y procesamiento. En la segunda semana del 19 febrero al 25 de febrero, seleccionando el día 21 de febrero, correspondiente al valor promedio de actividad eólica durante la segunda semana, se ha tomado en cuenta una velocidad de viento 1.69 m/s y una temperatura ambiental de 13.48 °C, tal como se muestra en la TABLA IV. Además, se ha registrado una dirección del viento desde el noreste, también referenciada en la TABLA III.

En cuanto a la presión atmosférica, se utilizó un valor de 101700 Pa, el cual se ingresó en la sección de simulación de fluidos del software SolidWorks. Tras introducir estos valores, se procedió a realizar la simulación considerando una duración de 36.000 segundos.

Cabe destacar que se adoptó un análisis lineal con el objetivo de simplificar los cálculos y facilitar la obtención de variables accesibles en el programa. Inicialmente, se mantuvieron los valores por defecto y en las ejecuciones posteriores, se seleccionó la opción de nuevo cálculo para evitar influencias sobre los resultados obtenidos.

A partir de estos datos, se modeló el desempeño del aerogenerador resonante si aspas, el cual funcionó bajo dichas condiciones, seleccionando parámetros como la velocidad promedio, densidad media del aire, la fuerza normal sobre el mástil, como se ilustra en la figura 19.

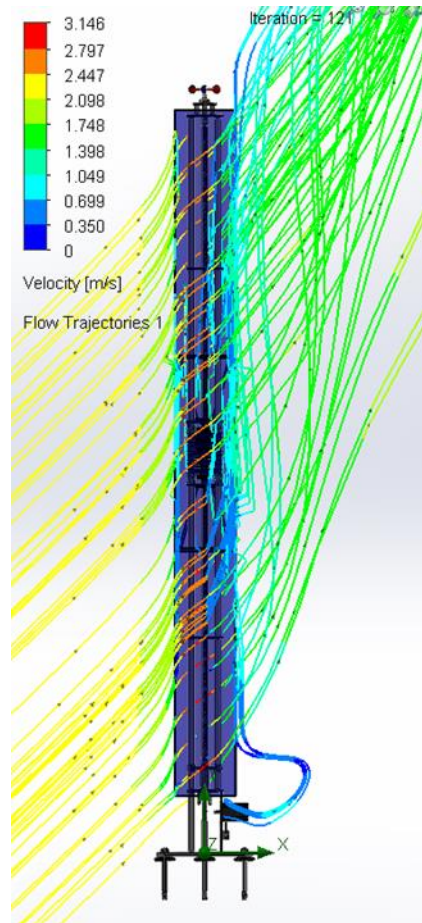


Figura 19. Simulación aerogenerador resonante sin aspas del 21 de febrero

Como producto de los valores obtenidos de los parámetros seleccionados, los datos fueron exportados a un archivo de Excel para facilitar su gestión, estos resultados se presentan en la TABLA VI.

TABLA VI. RESULTADOS AEROGENERADOR RESONANTE SIN ASPAS DEL 21 DE FEBRERO

Nombre del objetivo	Unidad	Valor Actual	Valor Promedio	Progreso [%]	Uso en convergencia	Criterio
Densidad media	[Kg/m <sup>3</sup> ]	1,23585	1,23585	100	Yes	1,23585E-08
Velocidad media	[m/s]	2,33416	2,33418	100	Yes	0,000342345
Fuerza Normal	[N]	1,6916	1,69077	100	Yes	0,377053



Una vez obtenidos los resultados necesarios, se procedió a trabajar con los datos en Excel. En este proceso, se incluyen variables como la velocidad del mástil, obtenidas directamente de la simulación, así como la velocidad del lugar, la densidad del aire y las dimensiones del aerogenerador. Cabe destacar que, si bien algunas variables obtenidas de la simulación no se emplearon en el presente análisis, se las tuvo en cuenta para su posible uso en investigaciones posteriores.

Para la presión del viento aplicada sobre la superficie del mástil, se utilizó la ecuación 3 considerando el valor de la velocidad del viento de 1.69 m/s, el valor del área de la densidad del aire de 1.225 kg/m<sup>3</sup>, obteniendo la presión del viento aplicada sobre la superficie del mástil, consiguiendo un valor de 1.74936125 Pa.

Con el valor de 1.74936125 Pa, se procedió a utilizar la ecuación 2, para el cálculo de la fuerza aplicada directamente por el viento sobre la superficie del mástil frente a la entrada multiplicando por el área de 0.75m<sup>2</sup>, obteniendo un valor de 1.31202094 N (Newtons).

Finalmente, para el resultado del cálculo de la potencia eléctrica, se utilizó la ecuación 1 considerando el valor de la fuerza aplicada directamente por el viento sobre la superficie del mástil de 1.31202094 N por el valor del viento aplicando en el mástil de 2.33418 m/s, obteniendo la potencia eléctrica de 3.06 W (vatios), procediendo a utilizar el mismo procedimiento para los días restantes.

#### **4.6.3 Estimación del potencial eléctrico del aerogenerador resonante sin aspas en el día con valor promedio de recurso eólico de la tercera semana**

Posteriormente, se presentan los datos recopilados y utilizados para estimar el potencial eléctrico, seleccionando para cada semana el día correspondiente al valor promedio de velocidad del viento. Esta elección se basa en criterios estadísticos que permiten representar de manera más objetiva y estable el comportamiento eólico semanal, evitando distorsiones provocadas por valores atípicos.



De esta forma, la simulación del desempeño del aerogenerador resonante sin aspas se realiza bajo condiciones representativas del recurso disponible, lo que contribuye a una estimación más fiable de su capacidad de generación eléctrica.

Para este propósito, se utilizaron las ecuaciones 1, 2 y 3, la cual fue adaptada y utilizada en Microsoft Excel para llevar a cabo su análisis y procesamiento. En la tercera semana del 26 febrero al 4 de marzo, seleccionando el día 2 de marzo, correspondiente al valor promedio de actividad eólica durante la tercera semana, se ha tomado en cuenta una velocidad de viento 1.29 m/s y una temperatura ambiental de 12.56 °C, tal como se muestra en la TABLA IV. Además, se ha registrado una dirección del viento desde el sudeste, también referenciada en la TABLA III.

En cuanto a la presión atmosférica, se utilizó un valor de 101700 Pa, el cual se ingresó en la sección de simulación de fluidos del software SolidWorks. Tras introducir estos valores, se procedió a realizar la simulación considerando una duración de 36.000 segundos.

Es importante señalar que se optó por un análisis lineal con el objetivo de simplificar los cálculos y facilitar la obtención de variables accesibles en el programa. Inicialmente, se mantuvieron los valores por defecto y en las ejecuciones posteriores, se seleccionó la opción de nuevo cálculo para evitar influencias sobre los resultados obtenidos.

A partir de estos datos, se modeló el desempeño del aerogenerador resonante si aspas, el cual funcionó bajo dichas condiciones, seleccionando parámetros como la velocidad promedio, densidad media del aire, la fuerza normal sobre el mástil, como se ilustra en la figura 20.

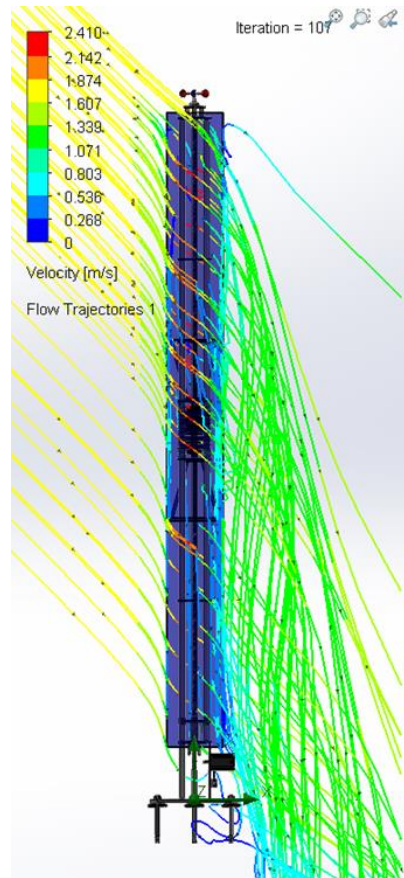


Figura 20. Simulación aerogenerador resonante sin aspas del 2 marzo

Como producto de los valores obtenidos de los parámetros seleccionados, los datos fueron exportados a un archivo de Excel para facilitar su gestión, estos resultados se presentan en la TABLA VII.

TABLA VII. RESULTADOS AEROGENERADOR RESONANTE SIN ASPAS DEL 2 DE MARZO

Nombre del objetivo	Unidad	Valor Actual	Valor Promedio	Progreso [%]	Uso en convergencia	Criterio
Densidad media	[Kg/m <sup>3</sup> ]	1,23983	1,23983	100	Yes	1,23983E-08
Velocidad media	[m/s]	1,8144	1,81444	100	Yes	0,000278933
Fuerza Normal	[N]	0,992942	0,991548	100	Yes	0,225891



Una vez obtenidos los resultados necesarios, se procedió a trabajar con los datos en Excel, en este proceso, se incluyen variables como la velocidad del mástil, obtenidas directamente de la simulación, así como la velocidad del lugar, la densidad del aire y las dimensiones del aerogenerador. Cabe destacar que, si bien algunas variables obtenidas de la simulación no se emplearon en el presente análisis, se las tuvo en cuenta para su posible uso en investigaciones posteriores.

Para la presión del viento aplicada sobre la superficie del mástil, se utilizó la ecuación 3 considerando el valor de la velocidad del viento de 1.29 m/s, el valor del área de la densidad del aire de 1.225 kg/m<sup>3</sup>, obteniendo la presión del viento aplicada sobre la superficie del mástil, consiguiendo un valor de 1.01926125 Pa.

Con el valor de 1.01926125 Pa, se procedió a utilizar la ecuación 2, para el cálculo de la fuerza aplicada directamente por el viento sobre la superficie del mástil frente a la entrada multiplicando por el área de 0.75m<sup>2</sup>, obteniendo un valor de 0.76444594 N (Newtons).

Finalmente, para el resultado del cálculo de la potencia eléctrica, se utilizó la ecuación 1 considerando el valor de la fuerza aplicada directamente por el viento sobre la superficie del mástil de 0.76444594 N por el valor del viento aplicando en el mástil de 2.81444 m/s, obteniendo la potencia eléctrica de 2.15 W (vatios), procediendo a utilizar el mismo procedimiento para los días restantes.

#### **4.6.4 Estimación del potencial eléctrico del aerogenerador resonante sin aspas en el día con valor promedio de recurso eólico de la cuarta semana**

De acuerdo con los datos recopilados y utilizados para estimar el potencial eléctrico, seleccionando para cada semana el día correspondiente al valor promedio de velocidad del viento. Esta elección se basa en criterios estadísticos que permiten representar de manera más objetiva y estable el comportamiento eólico semanal, evitando distorsiones provocadas por valores atípicos.



De esta forma, la simulación del desempeño del aerogenerador resonante sin aspas se realiza bajo condiciones representativas del recurso disponible, lo que contribuye a una estimación más fiable de su capacidad de generación eléctrica.

Para este propósito, se utilizaron las ecuaciones 1, 2 y 3, la cual fue adaptada y utilizada en Microsoft Excel para llevar a cabo su análisis y procesamiento. En la cuarta semana del 5 de marzo al 11 de marzo, seleccionando el día 11 de marzo, correspondiente al valor promedio de actividad eólica durante la semana, se ha tomado en cuenta una velocidad de viento 2.1 m/s y una temperatura ambiental de 12.68 °C, tal como se muestra en la TABLA IV. Además, se ha registrado una dirección del viento desde el noroeste, también referenciada en la TABLA III.

En cuanto a la presión atmosférica, se utilizó un valor de 101700 Pa, el cual se ingresó en la sección de simulación de fluidos del software SolidWorks. Tras introducir estos valores, se procedió a realizar la simulación considerando una duración de 36.000 segundos.

Es importante señalar que se optó por un análisis lineal con el objetivo de simplificar los cálculos y facilitar la obtención de variables accesibles en el programa. Inicialmente, se mantuvieron los valores por defecto y en las ejecuciones posteriores, se seleccionó la opción de nuevo cálculo para evitar influencias sobre los resultados obtenidos.

A partir de estos datos, se modeló el desempeño del aerogenerador resonante si aspas, el cual funcionó bajo dichas condiciones, seleccionando parámetros como la velocidad promedio, densidad media del aire, la fuerza normal sobre el mástil, como se ilustra en la figura 21.

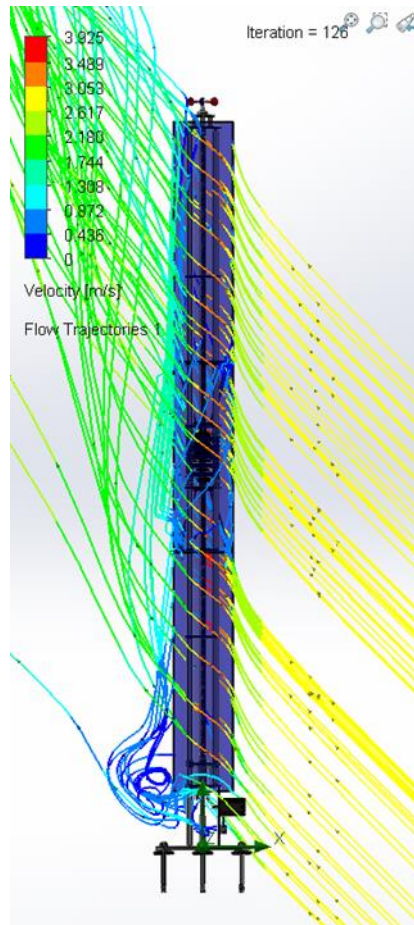


Figura 21. Simulación aerogenerador resonante sin aspas del 11 marzo

Como producto de los valores obtenidos de los parámetros seleccionados, los datos fueron exportados a un archivo de Excel para facilitar su gestión, estos resultados se presentan en la TABLA VIII.

TABLA VIII. RESULTADOS AEROGENERADOR RESONANTE SIN ASPAS DEL 11 DE MARZO

Nombre del objetivo	Unidad	Valor Actual	Valor Promedio	Progreso [%]	Uso en convergencia	Criterio
Densidad media	[Kg/m <sup>3</sup> ]	1,23931	1,23931	100	Yes	1,23931E-08
Velocidad media	[m/s]	2,94967	2,94965	100	Yes	0,000487851
Fuerza Normal	[N]	2,59948	2,54248	100	Yes	0,583542



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



Una vez obtenidos los resultados necesarios, se procedió a trabajar con los datos en Excel. En este proceso, se incluyen variables como la velocidad del mástil, obtenidas directamente de la simulación, así como la velocidad del lugar, la densidad del aire y las dimensiones del aerogenerador. Cabe destacar que, si bien algunas variables obtenidas de la simulación no se emplearon en el presente análisis, se las tuvo en cuenta para su posible uso en investigaciones posteriores.

Para la presión del viento aplicada sobre la superficie del mástil, se utilizó la ecuación 3 considerando el valor de la velocidad del viento de 2.1 m/s, el valor del área de la densidad del aire de 1.225 kg/m<sup>3</sup>, obteniendo la presión del viento aplicada sobre la superficie del mástil, consiguiendo un valor de 2.701125 Pa.

Con el valor de 2.701125 Pa, se procedió a utilizar la ecuación 2, para el cálculo de la fuerza aplicada directamente por el viento sobre la superficie del mástil frente a la entrada multiplicando por el área de 0.75m<sup>2</sup>, obteniendo un valor de 2.02584375 N (Newtons).

Finalmente, para el resultado del cálculo de la potencia eléctrica, se utilizó la ecuación 1 considerando el valor de la fuerza aplicada directamente por el viento sobre la superficie del mástil de 2.02584375 N por el valor del viento aplicando en el mástil de 2.94965 m/s, obteniendo la potencia eléctrica de 5.98 W (vatios), procediendo a utilizar el mismo procedimiento para los días restantes.

#### **4.6.5 Estimación del potencial eléctrico del aerogenerador resonante sin aspas en el día con valor promedio de recurso eólico de la quinta semana**

A continuación, se presentan los datos recopilados y utilizados para estimar el potencial eléctrico, seleccionando para cada semana el día correspondiente al valor promedio de velocidad del viento. Esta elección se basa en criterios estadísticos que permiten representar de manera más objetiva y estable el comportamiento eólico semanal, evitando distorsiones provocadas por valores atípicos.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



De esta forma, la simulación del desempeño del aerogenerador resonante sin aspas se realiza bajo condiciones representativas del recurso disponible, lo que contribuye a una estimación más fiable de su capacidad de generación eléctrica.

Para este propósito, se utilizaron las ecuaciones 1, 2 y 3, la cual fue adaptada y utilizada en Microsoft Excel para llevar a cabo su análisis y procesamiento. En la quinta semana del 12 de marzo al 18 de marzo, seleccionando el día 12 de marzo, correspondiente al valor promedio de actividad eólica durante la quinta semana, se ha tomado en cuenta una velocidad de viento 2.11 m/s y una temperatura ambiental de 12.76 °C, tal como se muestra en la TABLA IV. Además, se ha registrado una dirección del viento desde el noroeste, también referenciada en la TABLA III.

En cuanto a la presión atmosférica, se utilizó un valor de 101700 Pa, el cual se ingresó en la sección de simulación de fluidos del software SolidWorks. Tras introducir estos valores, se procedió a realizar la simulación considerando una duración de 36.000 segundos.

Es importante señalar que se optó por un análisis lineal con el objetivo de simplificar los cálculos y facilitar la obtención de variables accesibles en el programa. Inicialmente, se mantuvieron los valores por defecto y en las ejecuciones posteriores, se seleccionó la opción de nuevo cálculo para evitar influencias sobre los resultados obtenidos.

A partir de estos datos, se modeló el desempeño del aerogenerador resonante si aspas, el cual funcionó bajo dichas condiciones, seleccionando parámetros como la velocidad promedio, densidad media del aire, la fuerza normal sobre el mástil, como se ilustra en la figura 22.

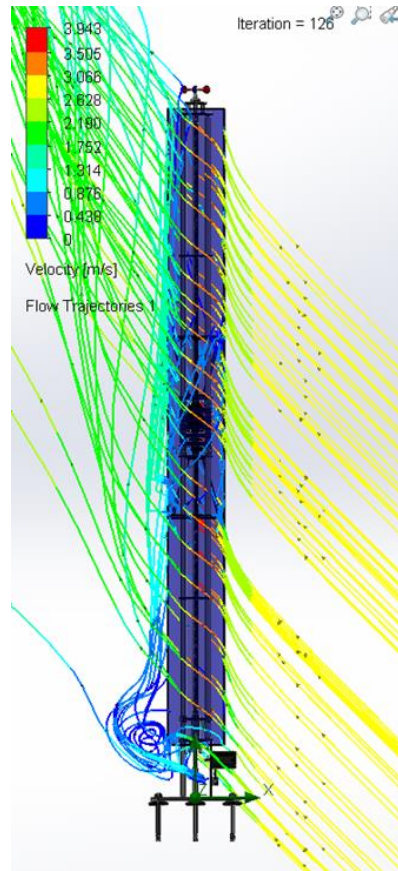


Figura 22. Simulación aerogenerador resonante sin aspas del 12 marzo

Como producto de los valores obtenidos de los parámetros seleccionados, los datos fueron exportados a un archivo de Excel para facilitar su gestión, estos resultados se presentan en la TABLA IX.

TABLA IX. RESULTADOS AEROGENERADOR RESONANTE SIN ASPAS DEL 12 DE MARZO

Nombre del objetivo	Unidad	Valor Actual	Valor Promedio	Progreso [%]	Uso en convergencia	Criterio
Densidad media	[Kg/m <sup>3</sup> ]	1,23897	1,23897	100	Yes	1,23897E-08
Velocidad media	[m/s]	2,96368	2.9637	100	Yes	0,000491448
Fuerza Normal	[N]	2,55908	2,56282	100	Yes	0,588949



Una vez obtenidos los resultados necesarios, se procedió a trabajar con los datos en Excel, en este proceso, se incluyen variables como la velocidad del mástil, obtenidas directamente de la simulación, así como la velocidad del lugar, la densidad del aire y las dimensiones del aerogenerador. Cabe destacar que, si bien algunas variables obtenidas de la simulación no se emplearon en el presente análisis, se las tuvo en cuenta para su posible uso en investigaciones posteriores.

Para la presión del viento aplicada sobre la superficie del mástil, se utilizó la ecuación 3 considerando el valor de la velocidad del viento de 2.11 m/s, el valor del área de la densidad del aire de 1.225 kg/m<sup>3</sup>, obteniendo la presión del viento aplicada sobre la superficie del mástil, consiguiendo un valor de 2.72691125 Pa.

Con el valor de 2.72691125 Pa, se procedió a utilizar la ecuación 2, para el cálculo de la fuerza aplicada directamente por el viento sobre la superficie del mástil frente a la entrada multiplicando por el área de 0.75m<sup>2</sup>, obteniendo un valor de 2.04518344 N (Newtons).

Finalmente, para el resultado del cálculo de la potencia eléctrica, se utilizó la ecuación 1 considerando el valor de la fuerza aplicada directamente por el viento sobre la superficie del mástil de 2.04518344 N por el valor del viento aplicando en el mástil de 2.96370 m/s, obteniendo la potencia eléctrica de 6.06 W (vatios), procediendo a utilizar el mismo procedimiento para los días restantes.

#### **4.6.6 Estimación del potencial eléctrico del aerogenerador resonante sin aspas en el día con valor promedio del recurso eólico de la sexta semana**

Seguidamente, se presentan los datos recopilados y utilizados para estimar el potencial eléctrico, seleccionando para cada semana el día correspondiente al valor promedio de velocidad del viento. Esta elección se basa en criterios estadísticos que permiten representar de manera más objetiva y estable el comportamiento eólico semanal, evitando distorsiones provocadas por valores atípicos.



De esta forma, la simulación del desempeño del aerogenerador resonante sin aspas se realiza bajo condiciones representativas del recurso disponible, lo que contribuye a una estimación más fiable de su capacidad de generación eléctrica.

Para este propósito, se utilizaron las ecuaciones 1, 2 y 3, la cual fue adaptada y utilizada en Microsoft Excel para llevar a cabo su análisis y procesamiento. En la sexta semana del 19 marzo al 25 de marzo, seleccionando el día 24, correspondiente al valor promedio de actividad eólica durante la sexta semana, se ha tomado en cuenta una velocidad de viento 1.67 m/s y una temperatura ambiental de 13.21 °C, tal como se muestra en la TABLA IV. Además, se ha registrado una dirección del viento desde el sudeste, también referenciada en la TABLA III.

En cuanto a la presión atmosférica, se utilizó un valor de 101700 Pa, el cual se ingresó en la sección de simulación de fluidos del software SolidWorks. Tras introducir estos valores, se procedió a realizar la simulación considerando una duración de 36.000 segundos.

Es importante señalar que se optó por un análisis lineal con el objetivo de simplificar los cálculos y facilitar la obtención de variables accesibles en el programa. Inicialmente, se mantuvieron los valores por defecto y en las ejecuciones posteriores, se seleccionó la opción de nuevo cálculo para evitar influencias sobre los resultados obtenidos.

A partir de estos datos, se modeló el desempeño del aerogenerador resonante si aspas, el cual funcionó bajo dichas condiciones, seleccionando parámetros como la velocidad promedio, densidad media del aire, la fuerza normal sobre el mástil, como se ilustra en la figura 23.

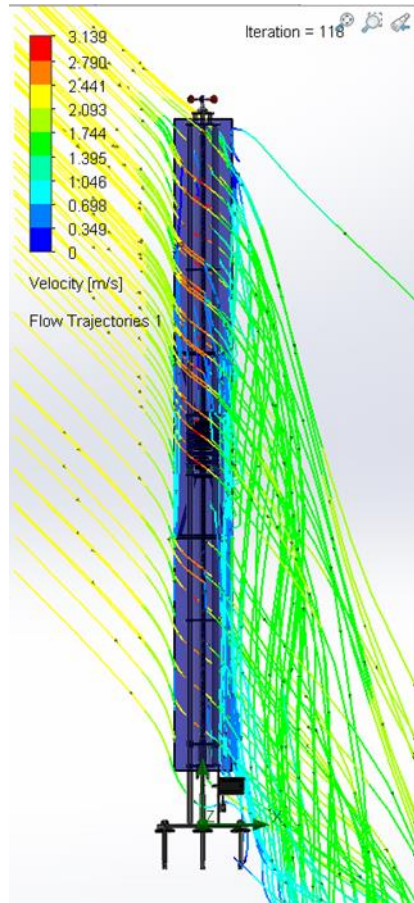


Figura 23. Simulación aerogenerador resonante sin aspas del 24 de marzo

Como producto de los valores obtenidos de los parámetros seleccionados, los datos fueron exportados a un archivo de Excel para facilitar su gestión, estos resultados se presentan en la TABLA X

TABLA X. RESULTADOS AEROGENERADOR RESONANTE SIN ASPAS DEL 24 DE MARZO

Nombre del objetivo	Unidad	Valor Actual	Valor Promedio	Progreso [%]	Uso en convergencia	Criterio
Densidad media	[Kg/m <sup>3</sup> ]	1,23572	1,23572	100	Yes	1,23572E-08
Velocidad media	[m/s]	2,34964	2,3496	100	Yes	0,000352826
Fuerza Normal	[N]	1,67834	1,67647	100	Yes	0,376526



Una vez obtenidos los resultados necesarios, se procedió a trabajar con los datos en Excel. En este proceso, se incluyen variables como la velocidad del mástil, obtenidas directamente de la simulación, así como la velocidad del lugar, la densidad del aire y las dimensiones del aerogenerador. Cabe destacar que, si bien algunas variables obtenidas de la simulación no se emplearon en el presente análisis, se las tuvo en cuenta para su posible uso en investigaciones posteriores.

Para la presión del viento aplicada sobre la superficie del mástil, se utilizó la ecuación 3 considerando el valor de la velocidad del viento de 1.67 m/s, el valor del área de la densidad del aire de 1.225 kg/m<sup>3</sup>, obteniendo la presión del viento aplicada sobre la superficie del mástil, consiguiendo un valor de 1.70820125 Pa.

Con el valor de 1.70820125 Pa, se procedió a utilizar la ecuación 2, para el cálculo de la fuerza aplicada directamente por el viento sobre la superficie del mástil frente a la entrada multiplicando por el área de 0.75m<sup>2</sup>, obteniendo un valor de 1.28115094 N (Newtons).

Finalmente, para el resultado del cálculo de la potencia eléctrica, se utilizó la ecuación 1 considerando el valor de la fuerza aplicada directamente por el viento sobre la superficie del mástil de 1.28115094 N por el valor del viento aplicando en el mástil de 2.3496 m/s, obteniendo la potencia eléctrica de 3.01W (vatios), procediendo a utilizar el mismo procedimiento para los días restantes.

#### **4.6.7 Estimación del potencial eléctrico del aerogenerador resonante sin aspas en el día con valor promedio del recurso eólico de la séptima semana**

Posteriormente, se presentan los datos recopilados y utilizados para estimar el potencial eléctrico, seleccionando para cada semana el día correspondiente al valor promedio de velocidad del viento. Esta elección se basa en criterios estadísticos que permiten representar de manera más objetiva y estable el comportamiento eólico semanal, evitando distorsiones provocadas por valores atípicos.



De esta forma, la simulación del desempeño del aerogenerador resonante sin aspas se realiza bajo condiciones representativas del recurso disponible, lo que contribuye a una estimación más fiable de su capacidad de generación eléctrica.

Para este propósito, se utilizaron las ecuaciones 1, 2 y 3, la cual fue adaptada y utilizada en Microsoft Excel para llevar a cabo su análisis y procesamiento. En la séptima semana del 26 marzo al 4 de abril, seleccionando el día 26 de marzo, correspondiente al valor promedio de actividad eólica durante la séptima semana, se ha tomado en cuenta una velocidad de viento 1.77 m/s y una temperatura ambiental de 13.05 °C, tal como se muestra en la TABLA IV. Además, se ha registrado una dirección del viento desde el sudeste, también referenciada en la TABLA III.

En cuanto a la presión atmosférica, se utilizó un valor de 101700 Pa, el cual se ingresó en la sección de simulación de fluidos del software SolidWorks. Tras introducir estos valores, se procedió a realizar la simulación considerando una duración de 36.000 segundos.

Es importante señalar que se optó por un análisis lineal con el objetivo de simplificar los cálculos y facilitar la obtención de variables accesibles en el programa. Inicialmente, se mantuvieron los valores por defecto y en las ejecuciones posteriores, se seleccionó la opción de nuevo cálculo para evitar influencias sobre los resultados obtenidos.

A partir de estos datos, se modeló el desempeño del aerogenerador resonante si aspas, el cual funcionó bajo dichas condiciones, seleccionando parámetros como la velocidad promedio, densidad media del aire, la fuerza normal sobre el mástil, como se ilustra en la figura 24.

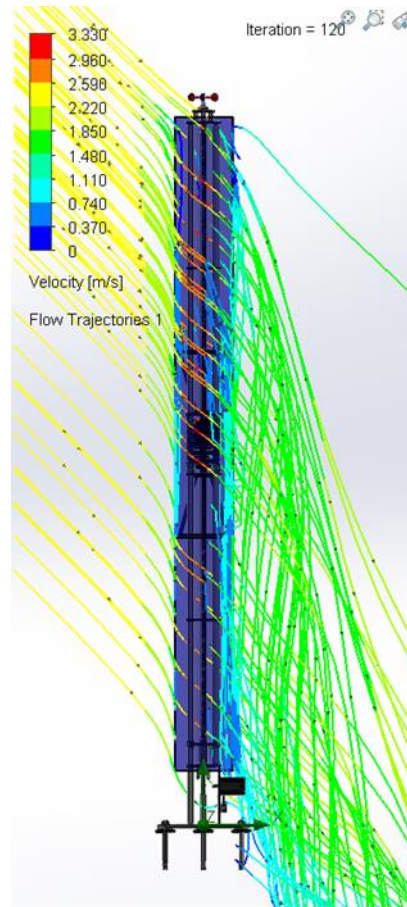


Figura 24. Simulación aerogenerador resonante sin aspas del 26 marzo

Como producto de los valores obtenidos de los parámetros seleccionados, los datos fueron exportados a un archivo de Excel para facilitar su gestión, estos resultados se presentan en la TABLA XI.

TABLA XI. RESULTADOS AEROGENERADOR RESONANTE SIN ASPAS DEL 26 DE MARZO

Nombre del objetivo	Unidad	Valor Actual	Valor Promedio	Progreso [%]	Uso en convergencia	Criterio
Densidad media	[Kg/m <sup>3</sup> ]	1,23771	1,23771	100	Yes	1,23771E-08
Velocidad media	[m/s]	2,4903	2,49034	100	Yes	0,000378258
Fuerza Normal	[N]	1,89044	1,88619	100	Yes	0,42413



Una vez obtenidos los resultados necesarios, se procedió a trabajar con los datos en Excel. En este proceso, se incluyen variables como la velocidad del mástil, obtenidas directamente de la simulación, así como la velocidad del lugar, la densidad del aire y las dimensiones del aerogenerador. Cabe destacar que, si bien algunas variables obtenidas de la simulación no se emplearon en el presente análisis, se las tuvo en cuenta para su posible uso en investigaciones posteriores.

Para la presión del viento aplicada sobre la superficie del mástil, se utilizó la ecuación 3 considerando el valor de la velocidad del viento de 1.77 m/s, el valor del área de la densidad del aire de 1.225 kg/m<sup>3</sup>, obteniendo la presión del viento aplicada sobre la superficie del mástil, consiguiendo un valor de 1.91890125 Pa.

Con el valor de 1.91890125 Pa, se procedió a utilizar la ecuación 2, para el cálculo de la fuerza aplicada directamente por el viento sobre la superficie del mástil frente a la entrada multiplicando por el área de 0.75m<sup>2</sup>, obteniendo un valor de 1.43917594 N (Newtons).

Finalmente, para el resultado del cálculo de la potencia eléctrica, se utilizó la ecuación 1 considerando el valor de la fuerza aplicada directamente por el viento sobre la superficie del mástil de 1.43917594 N por el valor del viento aplicando en el mástil de 2.49034 m/s, obteniendo la potencia eléctrica de 3.58 W (vatios), procediendo a utilizar el mismo procedimiento para los días restantes.

#### **4.6.8 Estimación del potencial eléctrico del aerogenerador resonante sin aspas en el día con valor promedio del recurso eólico de la octava semana**

De acuerdo con los datos recopilados y utilizados para estimar el potencial eléctrico, seleccionando para cada semana el día correspondiente al valor promedio de velocidad del viento. Esta elección se basa en criterios estadísticos que permiten representar de manera más objetiva y estable el comportamiento eólico semanal, evitando distorsiones provocadas por valores atípicos.



De esta forma, la simulación del desempeño del aerogenerador resonante sin aspas se realiza bajo condiciones representativas del recurso disponible, lo que contribuye a una estimación más fiable de su capacidad de generación eléctrica.

Para este propósito, se utilizaron las ecuaciones 1, 2 y 3, la cual fue adaptada y utilizada en Microsoft Excel para llevar a cabo su análisis y procesamiento. En la octava semana del 2 de abril al 8 de abril, seleccionando el día 3 abril, correspondiente al valor promedio de actividad eólica durante la octava semana, se ha tomado en cuenta una velocidad de viento 2.14 m/s y una temperatura ambiental de 12.71°C, tal como se muestra en la TABLA IV. Además, se ha registrado una dirección del viento desde el sudeste, también referenciada en la TABLA III.

En cuanto a la presión atmosférica, se utilizó un valor de 101700 Pa, el cual se ingresó en la sección de simulación de fluidos del software SolidWorks. Tras introducir estos valores, se procedió a realizar la simulación considerando una duración de 36.000 segundos.

Es importante señalar que se optó por un análisis lineal con el objetivo de simplificar los cálculos y facilitar la obtención de variables accesibles en el programa. Inicialmente, se mantuvieron los valores por defecto y en las ejecuciones posteriores, se seleccionó la opción de nuevo cálculo para evitar influencias sobre los resultados obtenidos.

A partir de estos datos, se modeló el desempeño del aerogenerador resonante si aspas, el cual funcionó bajo dichas condiciones, seleccionando parámetros como la velocidad promedio, densidad media del aire, la fuerza normal sobre el mástil, como se ilustra en la figura 25.

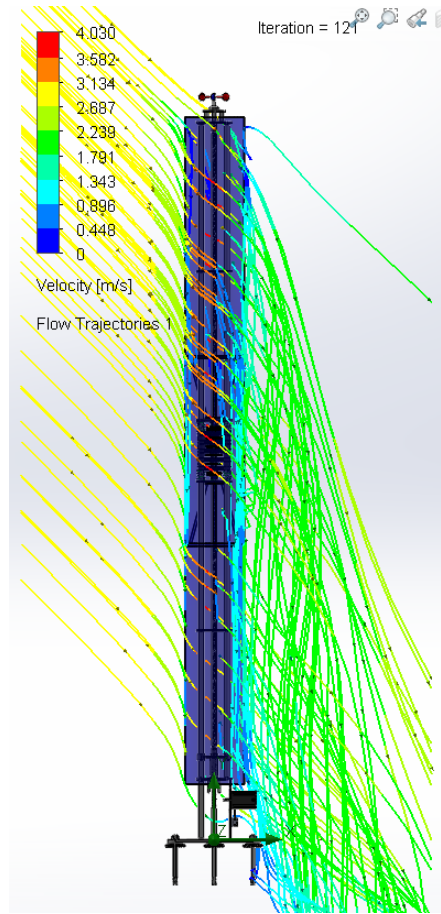


Figura 25. Simulación aerogenerador resonante sin aspas del 3 abril

Como producto de los valores obtenidos de los parámetros seleccionados, los datos fueron exportados a un archivo de Excel para facilitar su gestión, estos resultados se presentan en la TABLA VII.

TABLA XII. RESULTADOS AEROGENERADOR RESONANTE SIN ASPAS DEL 3 ABRIL

Nombre del objetivo	Unidad	Valor Actual	Valor Promedio	Progreso [%]	Uso en convergencia	Criterio
Densidad media	[Kg/m <sup>3</sup> ]	1,23918	1,23918	100	Yes	1,23918E-08
Velocidad media	[m/s]	3,01118	3,0111	100	Yes	0,000464844
Fuerza Normal	[N]	2,76565	2,75886	100	Yes	0,620793



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



Una vez obtenidos los resultados necesarios, se procedió a trabajar con los datos en Excel. En este proceso, se incluyen variables como la velocidad del mástil, obtenidas directamente de la simulación, así como la velocidad del lugar, la densidad del aire y las dimensiones del aerogenerador. Cabe destacar que, si bien algunas variables obtenidas de la simulación no se emplearon en el presente análisis, se las tuvo en cuenta para su posible uso en investigaciones posteriores.

Para la presión del viento aplicada sobre la superficie del mástil, se utilizó la ecuación 3 considerando el valor de la velocidad del viento de 2.14 m/s, el valor del área de la densidad del aire de 1.225 kg/m<sup>3</sup>, obteniendo la presión del viento aplicada sobre la superficie del mástil, consiguiendo un valor de 2.805005 Pa.

Con el valor de 2.805005 Pa, se procedió a utilizar la ecuación 2, para el cálculo de la fuerza aplicada directamente por el viento sobre la superficie del mástil frente a la entrada multiplicando por el área de 0.75m<sup>2</sup>, obteniendo un valor de 2.10375375 N (Newtons).

Finalmente, para el resultado del cálculo de la potencia eléctrica, se utilizó la ecuación 1 considerando el valor de la fuerza aplicada directamente por el viento sobre la superficie del mástil de 2.10375375 N por el valor del viento aplicando en el mástil de 3.0111 m/s, obteniendo la potencia eléctrica de 6.33 W (vatios), procediendo a utilizar el mismo procedimiento para los días restantes.

#### **4.6.9 Estimación del potencial eléctrico del aerogenerador resonante sin aspas en el día con valor promedio del recurso eólico de la novena semana**

A continuación, se presentan los datos recopilados y utilizados para estimar el potencial eléctrico, seleccionando para cada semana el día correspondiente al valor promedio de velocidad del viento. Esta elección se basa en criterios estadísticos que permiten representar de manera más objetiva y estable el comportamiento eólico semanal, evitando distorsiones provocadas por valores atípicos. De esta forma, la simulación del desempeño del aerogenerador resonante sin aspas se realiza bajo condiciones



representativas del recurso disponible, lo que contribuye a una estimación más fiable de su capacidad de generación eléctrica.

Para este propósito, se utilizaron las ecuaciones 1, 2 y 3, la cual fue adaptada y utilizada en Microsoft Excel para llevar a cabo su análisis y procesamiento. En la novena semana, del 9 de abril al 12 de abril, seleccionando el día 11 abril, correspondiente al valor promedio de actividad eólica durante la novena semana, se ha tomado en cuenta una velocidad de viento 2.07 m/s y una temperatura ambiental de 13.39 °C, tal como se muestra en la TABLA IV. Además, se ha registrado una dirección del viento desde el sudeste, también referenciada en la TABLA III.

En cuanto a la presión atmosférica, se utilizó un valor de 101700 Pa, el cual se ingresó en la sección de simulación de fluidos del software SolidWorks. Tras introducir estos valores, se procedió a realizar la simulación considerando una duración de 36.000 segundos.

Es importante señalar que se optó por un análisis lineal con el objetivo de simplificar los cálculos y facilitar la obtención de variables accesibles en el programa. Inicialmente, se mantuvieron los valores por defecto y en las ejecuciones posteriores, se seleccionó la opción de nuevo cálculo para evitar influencias sobre los resultados obtenidos.

A partir de estos datos, se modeló el desempeño del aerogenerador resonante si aspas, el cual funcionó bajo dichas condiciones, seleccionando parámetros como la velocidad promedio, densidad media del aire, la fuerza normal sobre el mástil, como se ilustra en la figura 26.

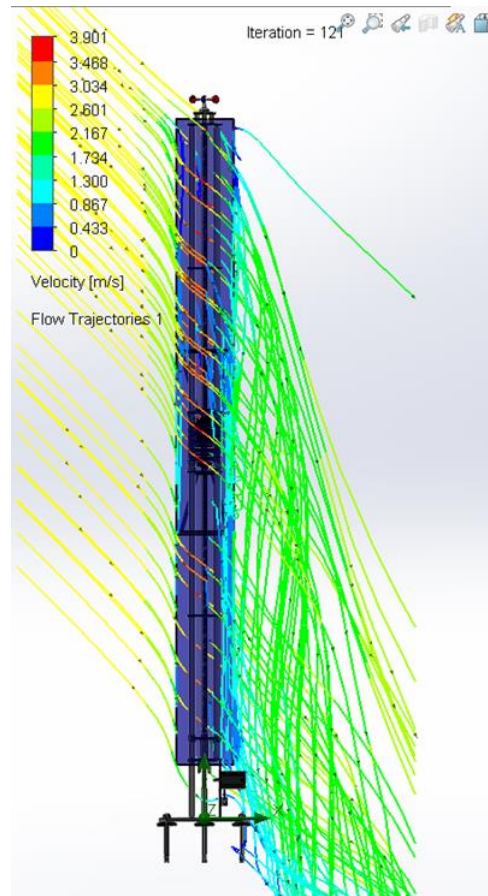


Figura 26. Simulación aerogenerador resonante sin aspas del 11 abril

Como producto de los valores obtenidos de los parámetros seleccionados, los datos fueron exportados a un archivo de Excel para facilitar su gestión, estos resultados se presentan en la tabla XIII.

TABLA XIII. RESULTADOS AEROGENERADOR RESONANTE SIN ASPAS DEL 11 DE ABRIL

Nombre del objetivo	Unidad	Valor Actual	Valor Promedio	Progreso [%]	Uso en convergencia	Criterio
Densidad media	[Kg/m <sup>3</sup> ]	1,23624	1,23624	100	Yes	1,23624E-08
Velocidad media	[m/s]	2,91264	2,91258	100	Yes	0,00044811
Fuerza Normal	[N]	2,57705	2,57499	100	Yes	0,579358



Una vez obtenidos los resultados necesarios, se procedió a trabajar con los datos en Excel. En este proceso, se incluyen variables como la velocidad del mástil, obtenidas directamente de la simulación, así como la velocidad del lugar, la densidad del aire y las dimensiones del aerogenerador. Cabe destacar que, si bien algunas variables obtenidas de la simulación no se emplearon en el presente análisis, se las tuvo en cuenta para su posible uso en investigaciones posteriores.

Para la presión del viento aplicada sobre la superficie del mástil, se utilizó la ecuación 3 considerando el valor de la velocidad del viento de 2.07 m/s, el valor del área de la densidad del aire de 1.225 kg/m<sup>3</sup>, obteniendo la presión del viento aplicada sobre la superficie del mástil, consiguiendo un valor de 2.62450125 Pa.

Con el valor de 2.62450125 Pa, se procedió a utilizar la ecuación 2, para el cálculo de la fuerza aplicada directamente por el viento sobre la superficie del mástil frente a la entrada multiplicando por el área de 0.75m<sup>2</sup>, obteniendo un valor de 1.96837594 N (Newtons).

Finalmente, para el resultado del cálculo de la potencia eléctrica, se utilizó la ecuación 1 considerando el valor de la fuerza aplicada directamente por el viento sobre la superficie del mástil de 1.96837594 N por el valor del viento aplicando en el mástil de 2.91258 m/s, obteniendo la potencia eléctrica de 5.73 W (vatios).

#### **4.7 Estimación de la potencia eléctrica en el edificio de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas**

Una vez recopilada y procesada la información del equipo de medición de medición eólico y tras la ejecución de las simulaciones respectivas junto con los datos fueron exportados a un archivo de Excel se procedió a realizar los cálculos correspondientes y ya con los resultados obtenidos e ir organizando.

Dicha organización consistió en la tabulación semanal de los datos específicos, convertidos a unidades de potencia eléctrica expresadas en vatios (W). La presentación consolidada de estos resultados se encuentra en la TABLA XIV.



TABLA XIV. POTENCIA ELECTRICA EN EL EDIFICIO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA

Año	Mes	Días	Potencia Eléctrica (W)
2025	2	12	2,54
2025	2	13	1,85
2025	2	14	1,89
2025	2	15	2,79
2025	2	16	2,9
2025	2	17	2,85
2025	2	18	2,75
2025	2	19	7,15
2025	2	20	5,65
2025	2	21	3,06
2025	2	22	1,85
2025	2	23	5,17
2025	2	24	1,62
2025	2	25	2,14
2025	2	26	2,5
2025	2	27	1,52
2025	2	28	4,23
2025	3	1	3,52
2025	3	2	2,15
2025	3	3	1,01
2025	3	4	1,45
2025	3	5	5,81
2025	3	6	8,38
2025	3	7	21,77
2025	3	8	11,62
2025	3	9	5,9
2025	3	10	4,64
2025	3	11	5,98
2025	3	12	6,06
2025	3	13	7,75
2025	3	14	9,37
2025	3	15	6,33
2025	3	16	1,66
2025	3	17	0,98
2025	3	18	1,85
2025	3	19	6,6
2025	3	20	2,96
2025	3	21	2,7



2025	3	22	2,01
2025	3	23	3,83
2025	3	24	3,01
2025	3	25	7,86
2025	3	26	3,58
2025	3	27	6,33
2025	3	28	9,05
2025	3	29	1,81
2025	3	30	1,77
2025	3	31	1,42
2025	4	1	5,02
2025	4	2	7,66
2025	4	3	6,33
2025	4	4	5,9
2025	4	5	8,28
2025	4	6	12,72
2025	4	7	5,33
2025	4	8	5,09
2025	4	9	4,29
2025	4	10	4,72
2025	4	11	5,73
2025	4	12	14,65

Este procedimiento constituye una etapa fundamental del análisis, al permitir una representación estructurada y precisa del comportamiento de la generación eléctrica en la zona de estudio. Asimismo, posibilita el análisis semanal y la identificación de variaciones temporales en el desempeño del aerogenerador resonante sin aspas.

La tabla resultante proporciona una visión integral del rendimiento operativo y la eficiencia energética del aerogenerador sin aspas, permitiendo determinar la estimación de potencia eléctrica y también presenta el análisis estadístico de la potencia eléctrica generada por un aerogenerador resonante sin aspas, basado en mediciones diarias correspondientes al periodo comprendido entre el 12 de febrero y el 12 de abril de 2025.

Los datos han sido organizados en bloques semanales, considerando ocho semanas completas de siete días y una semana adicional de cuatro días, con el objetivo de facilitar una evaluación estructurada del comportamiento energético.



Se han calculado los valores de potencia promedio, máxima, mínima y el total semanal, permitiendo observar las variaciones en el rendimiento del sistema a lo largo del tiempo. Este enfoque ofrece una perspectiva comparativa útil para identificar patrones estacionales, semanas con mayor o menor generación, y la eficiencia del aerogenerador bajo distintas condiciones ambientales como puede observar en la TABLA XV

TABLA XV. COMPORTAMIENTO SEMANAL DE LA POTENCIA ELÉCTRICA GENERADA

Semana	Promedio (W)	Máximo (W)	Mínimo (W)	Total, Semanal (W)
Semana 1	2.51	2.90	1.85	17.57
Semana 2	3.81	7.15	1.62	26.64
Semana 3	2.34	4.23	1.01	16.38
Semana 4	9.16	21.77	4.64	64.10
Semana 5	4.86	9.37	0.98	34.00
Semana 6	4.14	7.86	2.01	28.97
Semana 7	4.14	9.05	1.42	28.98
Semana 8	7.33	12.72	5.09	51.31
Semana 9	7.35	14.65	4.29	29.39

Durante las nueve semanas analizadas, se evidencian fluctuaciones significativas en la potencia eléctrica generada por el aerogenerador resonante sin aspas. La Semana 4 registró el valor más alto de generación total 64.10 W y el pico de potencia más elevado 21.77 W, lo cual sugiere condiciones de viento altamente favorables. Asimismo, la Semana 8 presentó un rendimiento notable con un total de 51.31 W, reafirmando una tendencia de alta eficiencia hacia inicios de abril.

En contraste, la Semana 1 reflejó el nivel más bajo de generación, tanto en promedio 2.51 W como en total semanal 17.57 W, lo que puede atribuirse a días de menor actividad eólica. De manera destacada, la Semana 9, a pesar de incluir únicamente cuatro días, mostró una generación considerable 29.39 W y un promedio elevado 7.35 W, superando incluso a semanas completas como la 5, 6 y 7.

Estos resultados permiten inferir que, aunque la duración de la semana incide en el total acumulado, las condiciones climáticas puntuales tienen un efecto determinante



sobre el

rendimiento energético del sistema, siendo crucial su monitoreo para optimizar su implementación y uso.

En la gráfica 27 a continuación, se ilustra la distribución de la potencia eléctrica total generada por semana, producto del funcionamiento del aerogenerador resonante sin aspas durante el periodo comprendido entre el 12 de febrero y el 12 de abril de 2025. Los datos han sido agrupados en nueve semanas, permitiendo una visualización clara de la variabilidad en el desempeño energético a lo largo del tiempo.

Este tipo de representación facilita la identificación de semanas con mayor o menor eficiencia en la conversión de energía eólica en energía eléctrica. Asimismo, permite detectar tendencias relevantes asociadas a factores como la variabilidad del viento y las condiciones climáticas locales. La diferencia entre los valores semanales pone en evidencia la importancia del análisis temporal para la evaluación del potencial energético en instalaciones de este tipo.

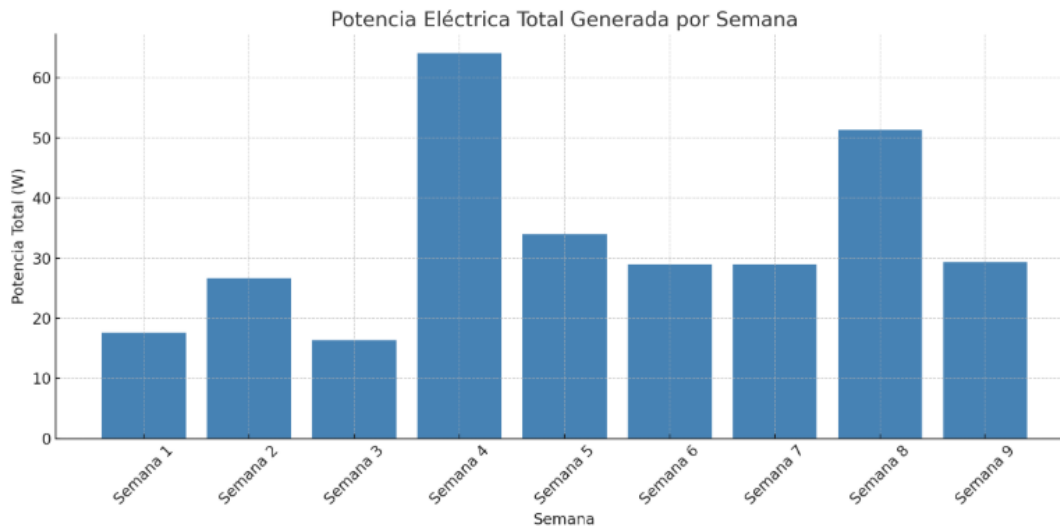


Figura 27. Gráfica de la potencia eléctrica semanal



La gráfica de barras correspondiente permite visualizar la potencia eléctrica total generada por semana durante el periodo de análisis. Se observa que la Semana 4 y la Semana 8 presentan los valores más altos de generación, evidenciando condiciones eólicas particularmente favorables durante esos intervalos. En contraste, la Semana 1 registra el menor nivel de producción, lo que indica una baja actividad eólica en esos días.

Resulta destacable la Semana 9, que, a pesar de estar compuesta únicamente por cuatro días, alcanza un nivel de generación significativo, lo cual sugiere que durante ese periodo se presentaron condiciones atmosféricas óptimas para el funcionamiento del aerogenerador resonante sin aspas.



## Conclusiones

1. Se ha logrado describir detalladamente el funcionamiento del aerogenerador resonante sin aspas, una tecnología basada en el fenómeno de vibración inducida por vórtices (VIV), la cual elimina componentes mecánicos rotativos y propone una alternativa más compacta y silenciosa en comparación con los aerogeneradores tradicionales. Esta tecnología demuestra ser adecuada para entornos urbanos o edificaciones, donde el espacio es limitado y se requiere una menor interferencia visual o acústica.
2. El análisis de los datos recolectados permitió determinar que el potencial eólico disponible en el edificio de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas varía considerablemente a lo largo de las semanas. Semanas como la cuarta y la octava mostraron una mayor disponibilidad del recurso eólico, lo que sugiere que en ciertos periodos el viento tiene un comportamiento favorable para la generación energética, mientras que, en otros, como la primera semana, la producción es mínima. Esto evidencia la necesidad de contar con datos prolongados y continuos para caracterizar adecuadamente el sitio.
3. Se logró estimar la capacidad de generación eléctrica del aerogenerador sin aspas a partir de datos reales. El dispositivo mostró una generación semanal promedio que oscila entre los 2.5 W y los 9.2 W, con picos de hasta 21.77 W en días específicos. Aunque la producción puede parecer modesta, los resultados confirman la viabilidad técnica del sistema para complementar la matriz energética en contextos urbanos a pequeña escala.

**Recomendaciones**

- Ampliar la base de datos meteorológicos mediante la recolección continua de información por varios meses o durante un año completo, lo que permitirá un análisis estacional más robusto del potencial eólico en el sitio.
- Integrar sensores de viento en tiempo real al sistema de monitoreo del edificio para ajustar dinámicamente los parámetros de operación del aerogenerador y mejorar la eficiencia en función de las condiciones ambientales.
- Desarrollar estudios de escalabilidad y replicabilidad, que permitan analizar la implementación de esta tecnología en otras estructuras de la universidad o entornos urbanos similares.



### Referencias bibliográficas

- [1] “Vortex Bladeless | Eólica sin Palas.” Accessed: Dec. 29, 2025. [Online]. Available: <https://vortexbladeless.com/es/>
- [2] “Aerogenerador sin aspas, ¿qué es y cómo funciona? - Energía Evolucionada.” Accessed: Dec. 29, 2025. [Online]. Available: <https://energiaevoluciona.org/energias-renovables/eolica/aerogeneradores/sin-aspas/>
- [3] E. P. Moran Meza, “Estudio de aceptación social y las nuevas fuentes de energías renovables,” 2022, Accessed: Dec. 29, 2025. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22794>
- [4] D. Stefany, R. Salazar, L. Tatiana, and P. Cano, “Determinación de la huella de carbono de la Universidad de La Salle sede Candelaria,” 2019, *Universidad de La Salle. Facultad de Ingeniería. Ingeniería Ambiental y Sanitaria*. Accessed: Dec. 29, 2025. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.14625/21622>
- [5] S. Francis, V. Umesh, and S. Shivakumar, “Design and Analysis of Vortex Bladeless Wind Turbine,” *Mater. Today Proc.*, vol. 47, pp. 5584–5588, Jan. 2021, doi: 10.1016/J.MATPR.2021.03.469.
- [6] Y. Masoumi, F. Taheri-Behrooz, and S. M. Hasheminejad, “Numerical study of a synergistic hybrid energy harvesting system for bladeless wind turbines,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 307, May 2024, doi: 10.1016/J.ENCONMAN.2024.118342.
- [7] A. Tripathi, S. Thakur, and T. Aggarwal, “Modal and Static Analysis of Vortex Bladeless Wind Turbines with Different Geometries,” *E3S Web of Conferences*, vol. 430, Oct. 2023, doi: 10.1051/E3SCONF/202343001254.
- [8] C. Andrade-Terán, “Simulación numérica de la interacción fluido-estructura para predecir la respuesta de aerogeneradores sin palas a vibraciones inducidas por el viento en ciudades compactas,” *Enfoque UTE*, vol. 13, no. 2, pp. 1–16, Apr. 2022, doi: 10.29019/ENFOQUEUTE.796.
- [9] E. E. Auqui Gaspar, “Estudio experimental del aerogenerador sin aspas de pequeña potencia para generación de energía eléctrica en el distrito de Acolla - Jauja,” 2023, *Universidad Nacional del Centro del Perú*. Accessed: Dec. 29, 2025. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/20.500.12894/10487>
- [10] M. Bharathi Anand and R. Resmi, “Design and Optimization of Bladeless Turbine,” *INDICON 2022 - 2022 IEEE 19th India Council International Conference*, 2022, doi: 10.1109/INDICON56171.2022.10040205.



- [11] A.  
Demirbas and M. I. Andejany, “Optimization of wind power generation using shaking energy,” *Energy Sources, Part B: Economics, Planning and Policy*, vol. 12, no. 4, pp. 326–331, Apr. 2017, doi: 10.1080/15567249.2015.1112860.
- [12] R. Alexis and B. Llanos, “La generación de energía eléctrica para el desarrollo industrial en el ecuador a partir del uso de las energías renovables,” 2020, Accessed: Dec. 29, 2025. [Online]. Available: <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/4023>
- [13] E. Matheo Alave-Vargas, R. Orellana Lafuente, and D. Felipe Sempértegui-Tapia, “ESTADO DEL ARTE SOBRE AEROGENERADORES DE EJE VERTICAL STATE-OF-THE-ART REVIEW ON VERTICAL-AXIS WIND TURBINES (VAWT’s),” *INVESTIGACIÓN & DESARROLLO*, vol. 22, no. 1, pp. 161–172, 2022, doi: 10.23881/idupbo.022.1-13i.
- [14] D. J. Willis *et al.*, “Wind energy research: State-of-the-art and future research directions,” *Renew. Energy*, vol. 125, pp. 133–154, Sep. 2018, doi: 10.1016/J.RENENE.2018.02.049.
- [15] I. Junior. Ortiz, M. Fabricio. Reyes, L. Adalberto. Vásquez, S. Eugenio. Delgado, and E. Abraham. Lamilla, “Los Parques eólicos una Mirada Desde la Administración y Gerencia de Los Proyectos de Energía Del Ecuador,” vol. 600, pp. 26–60, 2020, Accessed: Dec. 29, 2025. [Online]. Available: <https://etecam.com/index.php/etecam/article/view/12>
- [16] Ana. Serrano Santamaría, “Aire, viento y parques eólicos : aspectos jurídico-privados,” p. 246, 2019.
- [17] B. Wang, S. Geoffroy, and M. Bonhomme, “Urban form study for wind potential development,” *Environ. Plan. B Urban Anal. City Sci.*, vol. 49, no. 1, pp. 76–91, Jan. 2022, doi: 10.1177/2399808321994449.
- [18] Creus Antonio, *Energías Renovables*, Cano Pina, S.L., vol. 24cm. Bogotá: Cano Pina, 2014. Accessed: Dec. 29, 2025. [Online]. Available: <https://bibliotecadigital.utn.edu.ec/files/original/82b0e5135b6e37531ed5d784c7f9e3aca34a16ba.pdf>
- [19] A. W. Mejía Yépez, “Óptima ubicación de aerogeneradores basado en el Atlas Eólico para maximizar la potencia generada,” 2018, Accessed: Dec. 29, 2025. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16066>
- [20] G. González Calle, “Integración eólica y solar fotovoltaica en edificios residenciales”.



- [21] “Vista de Controlador Difuso De Tensión Para Un Generador Eólico De Imanes Permanentes.” Accessed: Jan. 12, 2026. [Online]. Available: <https://infometrica.org/index.php/syh/es/article/view/211/235>
- [22] C. Sneyder and O. Aldana, “Transmisión en HVDC para generación eólica,” 2020, *Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito*. Accessed: Jan. 12, 2026. [Online]. Available: <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/1340>
- [23] A. : Martínez and M. Ayala, “Estudio de un aerogenerador Offshore: Diseño de las palas y comportamiento de la plataforma offshore,” May 2020, Accessed: Jan. 12, 2026. [Online]. Available: <http://addi.ehu.eus/handle/10810/43105>
- [24] T. Coronado González, “Modelización por elementos finitos y simulación 3D de aerogeneradores HAWT,” 2019.
- [25] “Cambio del panorama eólico | Abdul Latif Jameel®.” Accessed: Jan. 12, 2026. [Online]. Available: <https://alj.com/es/perspective/blown-away/>
- [26] “Aerogeneradores verticales Savonius, Giromill y Darrieus.” Accessed: Jan. 18, 2026. [Online]. Available: <https://www.lbaindustrial.com.mx/aerogeneradores-verticales/>
- [27] “(PDF) Ingeniería de diseño de turbinas eólicas de eje horizontal (HAWT) utilizando materiales localizados para áreas de velocidad del viento marginal.” Accessed: Jan. 12, 2026. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/384153094\\_Design\\_Engineering\\_Horizontal\\_Axis\\_Wind\\_Turbine\\_HAWT\\_using\\_Localized\\_Materials\\_for\\_Marginal\\_Wind\\_Speed\\_Areas](https://www.researchgate.net/publication/384153094_Design_Engineering_Horizontal_Axis_Wind_Turbine_HAWT_using_Localized_Materials_for_Marginal_Wind_Speed_Areas)
- [28] R. De La *et al.*, “ESTUDIO AERODINÁMICO DE UN AEROGENERADOR DE EJE VERTICAL MEDIANTE TÉCNICAS DE CÁLCULO CFD”.
- [29] D. Puspitasari and K. Sahim, “Effect of Savonius blade height on the performance of a hybrid Darrieus-Savonius wind turbine,” *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, vol. 13, no. 4, pp. 5832–5847, 2019, doi: 10.15282/JMES.13.4.2019.09.0465.
- [30] Y. R. Sutariya and H. Zhou, “DARRIEUS WIND TURBINES WITH TWISTED BLADES,” *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings (IMECE)*, vol. 5, 2022, doi: 10.1115/IMECE2022-94124.
- [31] M. Ramos Domínguez, D. Saucedo Carvajal, M. Ángel Alonso Arévalo Ricardo Arturo Chávez Pérez Dra Vanesa Magar Brunner Daniel Saucedo Carvajal, and D. Rufina Hernández Martínez, “Tesis defendida por Mikhail Ramos Domínguez y aprobada por el siguiente Comité Queda prohibida la reproducción parcial o



total de

esta obra sin el permiso formal y explícito del autor y director de la tesis,” 2018.

- [32] “UNIVERSIDAD DEL AZUAY FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Banco de pruebas didáctico para sistema de energía eólica”.
- [33] E. De, U. T. Estructural, A. G. Ferrer, A. I. Almerich, C. Jérica, and M. Puchalt, “Evolución de una tipología estructural El molino de viento,” 2019.
- [34] D. Jesús and Y. Villarreal, “Aerogeneradores resonantes por VIV”, Accessed: Jan. 18, 2026. [Online]. Available: [www.vortexbladeless.com](http://www.vortexbladeless.com)
- [35] C. De, “UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA,” 2024.
- [36] “Escuela Politécnica de Ávila e Iberdrola desarrollan un ...” Accessed: Jan. 19, 2026. [Online]. Available: <https://tidop.usal.es/escuela-politecnica-de-avila-e-iberdrola-desarrollan-un-proyecto-pionero-para-la-toma-de-datos-en-centrales-electricas/>
- [37] “Los Objetivos de Desarrollo Sostenible, un conjunto de herramientas para enfrentar la crisis - Inestoria.” Accessed: Jan. 18, 2026. [Online]. Available: <https://inestoria.org/los-objetivos-de-desarrollo-sostenible-un-conjunto-de-herramientas-para-enfrentar-la-crisis/>
- [38] “Aerogeneradores sin palas, eólica 2.0. con Vortex Bladeless - Patentes y Marcas.” Accessed: Jan. 18, 2026. [Online]. Available: <https://www.madrimasd.org/blogs/patentesymarcas/2021/aerogeneradores-sin-palas-eolica-2-0-con-vortex-bladeless/>
- [39] “Aerogeneradores sin aspas: el invento español que promete llevar la energía eólica a la ciudad.” Accessed: Jan. 18, 2026. [Online]. Available: [https://www.abc.es/antropia/abci-aerogeneradores-sin-aspas-energia-eolica-autoconsumo-20220914142043\\_noticia.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.abc.es%2Fantropia%2Fabci-aerogeneradores-sin-aspas-energia-eolica-autoconsumo-20220914142043\\_noticia.html](https://www.abc.es/antropia/abci-aerogeneradores-sin-aspas-energia-eolica-autoconsumo-20220914142043_noticia.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.abc.es%2Fantropia%2Fabci-aerogeneradores-sin-aspas-energia-eolica-autoconsumo-20220914142043_noticia.html)
- [40] J. E. Rocano Perez and B. A. Nieves Panza, “Simulación y estimación de la producción energética de un aerogenerador sin aspas mediante análisis computacional,” 2024, Accessed: Jan. 19, 2026. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/27749>
- [41] M. Á. Sánchez Hidalgo and R. Atienza Pascual, “Nuevo concepto de generacion eolica. Aerogenerador sin palas por vorticidad,” *Tecnología y desarrollo*, ISSN-e 1696-8085, No. 15, 2017, no. 15, p. 2, 2017, Accessed: Jan. 19, 2026. [Online].



Available:

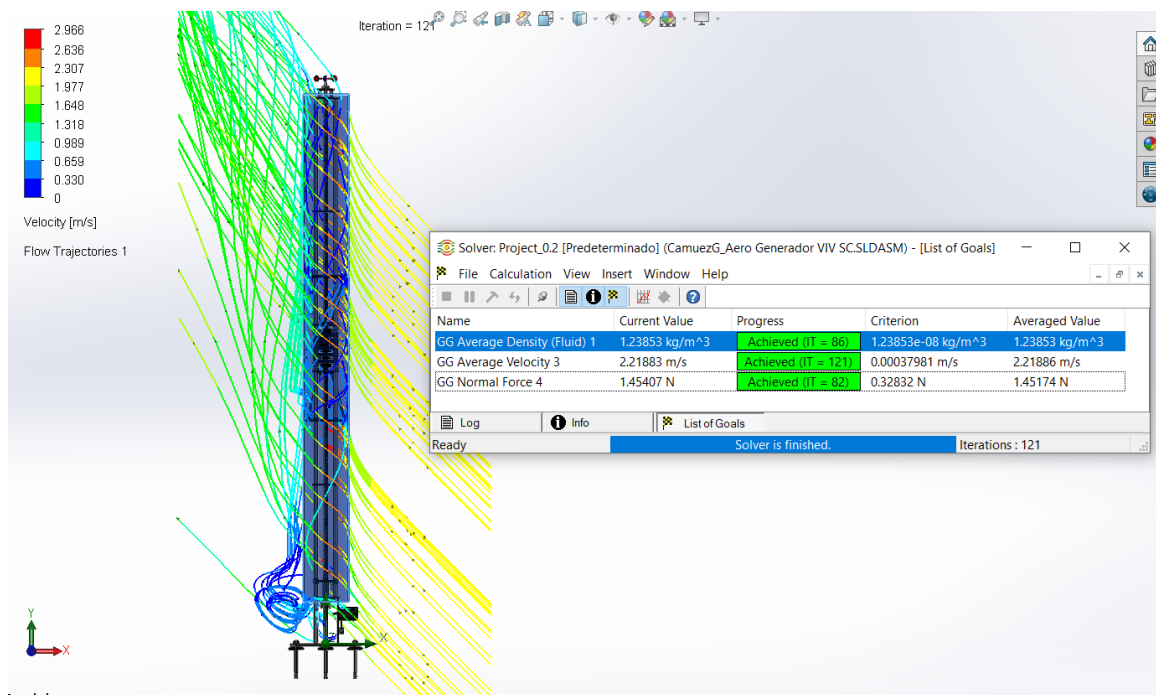
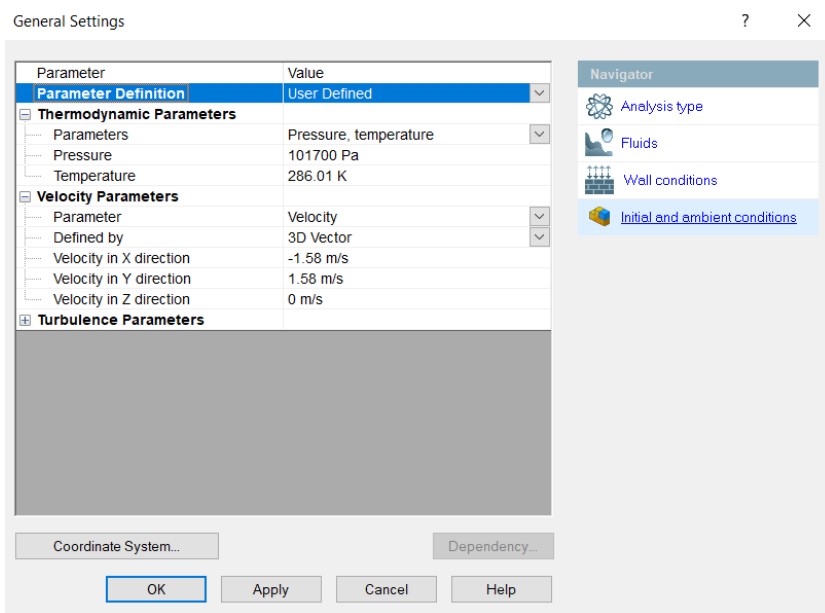
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6670295&info=resumen&idoma=ENG>

- [42] C. Anderson and M. Paillacho, “Implementación de un sistema de microgeneración eólica con integración a la red eléctrica en el edificio de la carrera de electricidad en la Universidad Técnica del Norte,” Jan. 2020, Accessed: Jan. 19, 2026. [Online]. Available: <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10108>
- [43] “Guía del estudiante para el aprendizaje del software SolidWorks ®,” 1995.
- [44] “Dassault Systèmes lanza SOLIDWORKS 2022 con nuevas mejoras orientadas al usuario para acelerar el desarrollo de productos innovadores - Dassault Systèmes.” Accessed: Jan. 19, 2026. [Online]. Available: <https://www.3ds.com/es/newsroom/media-alerts/dassault-systemes-solidworks-2022-launched-featuring-user-driven-enhancements-accelerate-product-development>
- [45] “Programas de hojas de cálculo | Microsoft 365.” Accessed: Jan. 19, 2026. [Online]. Available: <https://www.microsoft.com/es-es/microsoft-365/excel/spreadsheets>
- [46] H. Hamdan *et al.*, “Experimental and Numerical Study of Novel Vortex Bladeless Wind Turbine with an Economic Feasibility Analysis and Investigation of Environmental Benefits,” *Energies (Basel)*, vol. 17, no. 1, Jan. 2024, doi: 10.3390/EN17010214.
- [47] A. M. Elsayed and M. B. Farghaly, “Theoretical and numerical analysis of vortex bladeless wind turbines,” *Wind Engineering*, vol. 46, no. 5, pp. 1408–1426, Oct. 2022, doi: 10.1177/0309524X221080468.
- [48] A. M. Elsayed, M. B. Farghaly, A. M. Elsayed, and M. B. Farghaly, “Theoretical and numerical analysis of vortex bladeless wind turbines,” *WiEng*, vol. 46, no. 5, pp. 1408–1426, Oct. 2022, doi: 10.1177/0309524X221080468.



**Anexos**

**Anexo 1. Simulación del aerogenerador sin aspas del día 12 de febrero**





# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

### CARRERA DE ELECTRICIDAD



## Anexo 2. Simulación del aerogenerador sin aspas del día 13 de febrero

General Settings

Parameter	Value
Parameter Definition	User Defined
<b>Thermodynamic Parameters</b>	
Parameters	Pressure, temperature
Pressure	101700 Pa
Temperature	285.29 K
<b>Velocity Parameters</b>	
Parameter	Velocity
Defined by	3D Vector
Velocity in X direction	-1.42 m/s
Velocity in Y direction	1.42 m/s
Velocity in Z direction	0 m/s
<b>Turbulence Parameters</b>	

Coordinate System... Dependency...

OK Apply Cancel Help

Navigator

- Analysis type
- Fluids
- Wall conditions
- Initial and ambient conditions

Iteration = 123

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
GG Average Density (Fluid) 1	1.24166 kg/m <sup>3</sup>	Achieved (IT = 85)	1.24166e-08 kg/m <sup>3</sup>	1.24166 kg/m <sup>3</sup>
GG Average Velocity 3	1.99413 m/s	Achieved (IT = 123)	0.000343106 m/s	1.99408 m/s
GG Normal Force 4	1.17764 N	Achieved (IT = 82)	0.265865 N	1.17723 N

Ready Solver is finished. Iterations: 123

\*Frontal



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

### CARRERA DE ELECTRICIDAD



### Anexo 3. Simulación del aerogenerador sin aspas del día 14 de febrero

General Settings

Parameter	Value
<b>Parameter Definition</b>	User Defined
<b>Thermodynamic Parameters</b>	
Parameters	Pressure, temperature
Pressure	101700 Pa
Temperature	286.08 K
<b>Velocity Parameters</b>	
Parameter	Velocity
Defined by	3D Vector
Velocity in X direction	-1.43 m/s
Velocity in Y direction	1.43 m/s
Velocity in Z direction	0 m/s
<b>Turbulence Parameters</b>	

Coordinate System... Dependency...

OK Apply Cancel Help

Iteration = 122

Velocity [m/s]

Flow Trajectories 1

\*Frontal

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
GG Average Density (Fluid) 1	1.23823 kg/m <sup>3</sup>	Achieved (IT = 85)	1.23823e-08 kg/m <sup>3</sup>	1.23823 kg/m <sup>3</sup>
GG Average Velocity 3	2.00822 m/s	Achieved (IT = 122)	0.000344439 m/s	2.00819 m/s
GG Normal Force 4	1.18952 N	Achieved (IT = 82)	0.268879 N	1.18999 N

Ready Solver is finished. Iterations : 122



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**Anexo 4.** Simulación del aerogenerador sin aspas del día 15 de febrero

General Settings

Parameter	Value
<b>Parameter Definition</b> User Defined	
<b>Thermodynamic Parameters</b>	
Parameters	Pressure, temperature
Pressure	101700 Pa
Temperature	286.22 K
<b>Velocity Parameters</b>	
Parameter	Velocity
Defined by	3D Vector
Velocity in X direction	-1.63 m/s
Velocity in Y direction	1.63 m/s
Velocity in Z direction	0 m/s
<b>Turbulence Parameters</b>	

Coordinate System... Dependency...

OK Apply Cancel Help

Navigator

- Analysis type
- Fluids
- Wall conditions
- Initial and ambient conditions

Iteration = 123

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
GG Average Density (Fluid) 1	1.23762 kg/m <sup>3</sup>	Achieved (IT = 86)	1.23762e-08 kg/m <sup>3</sup>	1.23762 kg/m <sup>3</sup>
GG Average Velocity 3	2.28906 m/s	Achieved (IT = 123)	0.000389875 m/s	2.28905 m/s
GG Normal Force 4	1.54475 N	Achieved (IT = 82)	0.349189 N	1.54406 N

Ready Solver is finished. Iterations : 123



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**Anexo 5.** Simulación del aerogenerador sin aspas del día 16 de febrero

General Settings

Parameter	Value
Parameter Definition	User Defined
<b>Thermodynamic Parameters</b>	
Parameters	Pressure, temperature
Pressure	101700 Pa
Temperature	285.63 K
<b>Velocity Parameters</b>	
Parameter	Velocity
Defined by	3D Vector
Velocity in X direction	-1.65 m/s
Velocity in Y direction	1.65 m/s
Velocity in Z direction	0 m/s
<b>Turbulence Parameters</b>	

Coordinate System... Dependency...

OK Apply Cancel Help

Iteration = 122

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
GG Average Density (Fluid) 1	1.24018 kg/m <sup>3</sup>	Achieved (IT = 107)	1.24018e-08 kg/m <sup>3</sup>	1.24018 kg/m <sup>3</sup>
GG Average Velocity 3	2.31728 m/s	Achieved (IT = 122)	0.000394759 m/s	2.31722 m/s
GG Normal Force 4	1.58544 N	Achieved (IT = 82)	0.358525 N	1.58571 N

Ready Solver is finished. Iterations : 122



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**Anexo 6.** Simulación del aerogenerador sin aspas del día 17 de febrero

General Settings

Parameter	Value
<b>Parameter Definition</b>	User Defined
<b>Thermodynamic Parameters</b>	
Parameters	Pressure, temperature
Pressure	101700 Pa
Temperature	286.41 K
<b>Velocity Parameters</b>	
Parameter	Velocity
Defined by	3D Vector
Velocity in X direction	-1.64 m/s
Velocity in Y direction	1.64 m/s
Velocity in Z direction	0 m/s
<b>Turbulence Parameters</b>	

Coordinate System... Dependency...

OK Apply Cancel Help

Iteration = 123

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
GG Average Density (Fluid) 1	1.2368 kg/m <sup>3</sup>	Achieved (IT = 87)	1.2368e-08 kg/m <sup>3</sup>	1.2368 kg/m <sup>3</sup>
GG Average Velocity 3	2.30311 m/s	Achieved (IT = 123)	0.000392937 m/s	2.30309 m/s
GG Normal Force 4	1.56439 N	Achieved (IT = 82)	0.353252 N	1.56465 N

Ready Solver is finished. Iterations : 123

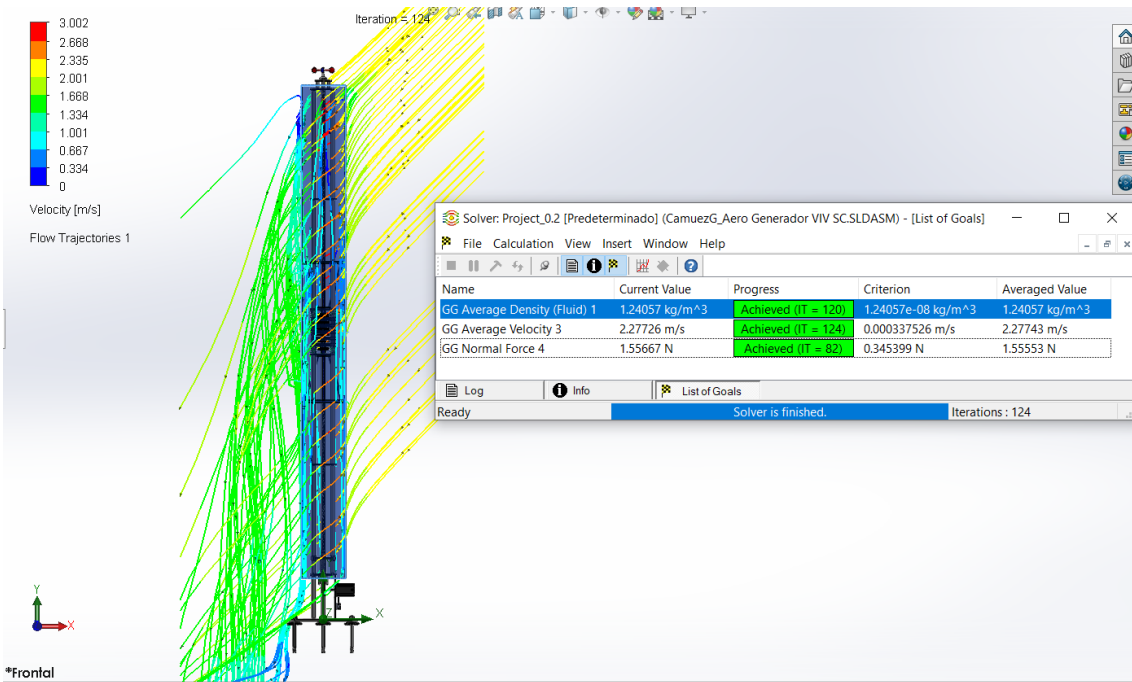
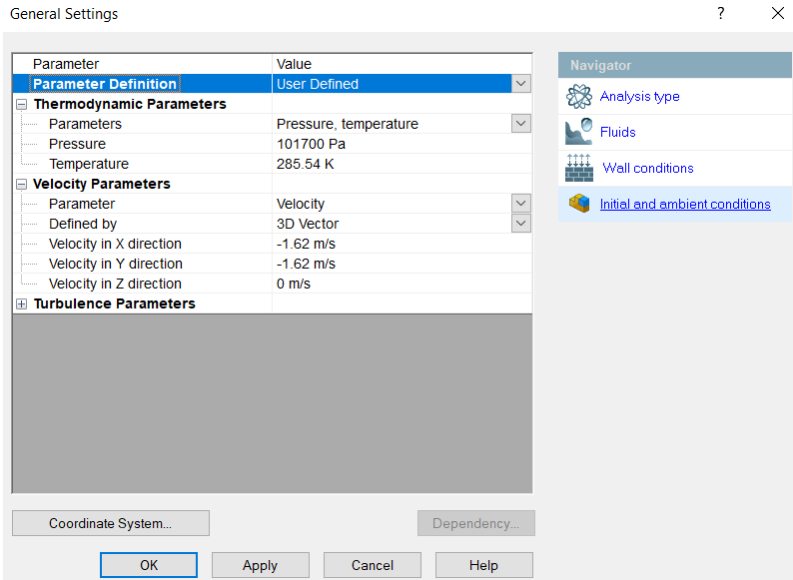
\*Frontal



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**Anexo 7.** Simulación del aerogenerador sin aspas del día 18 de febrero





# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

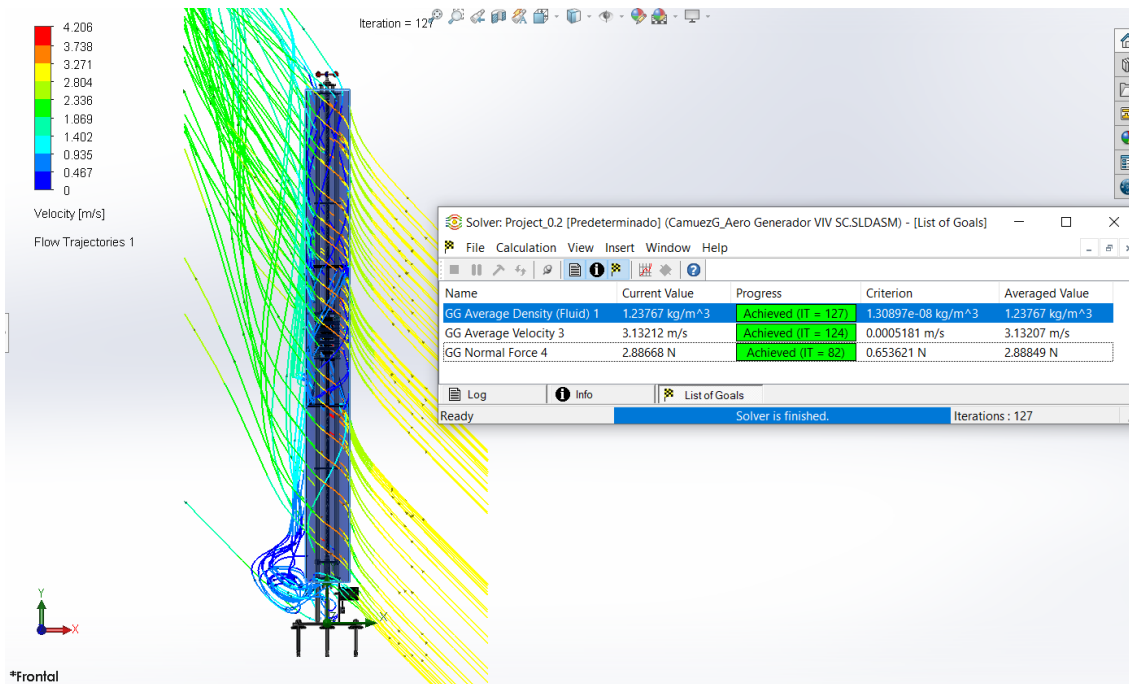
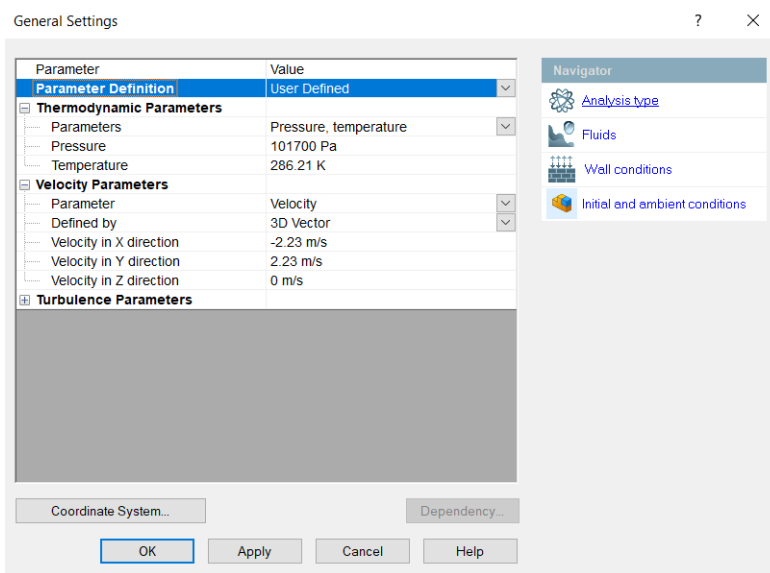
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

### CARRERA DE ELECTRICIDAD



### Anexo 8. Simulación del aerogenerador sin aspas del día 19 de febrero





# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

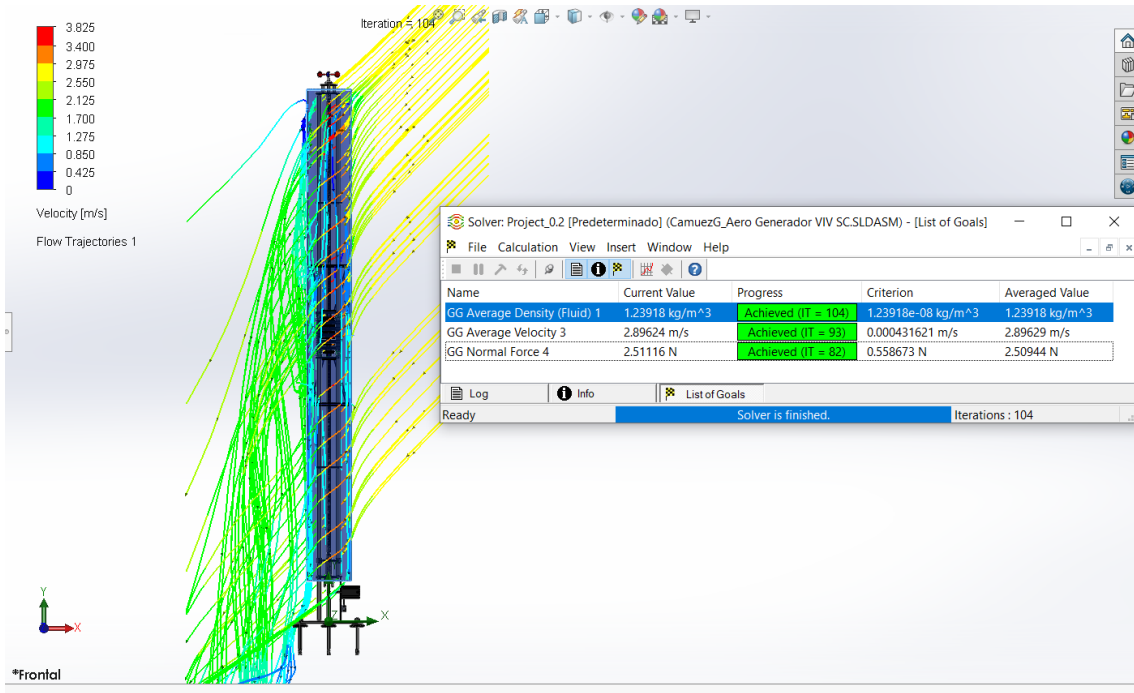
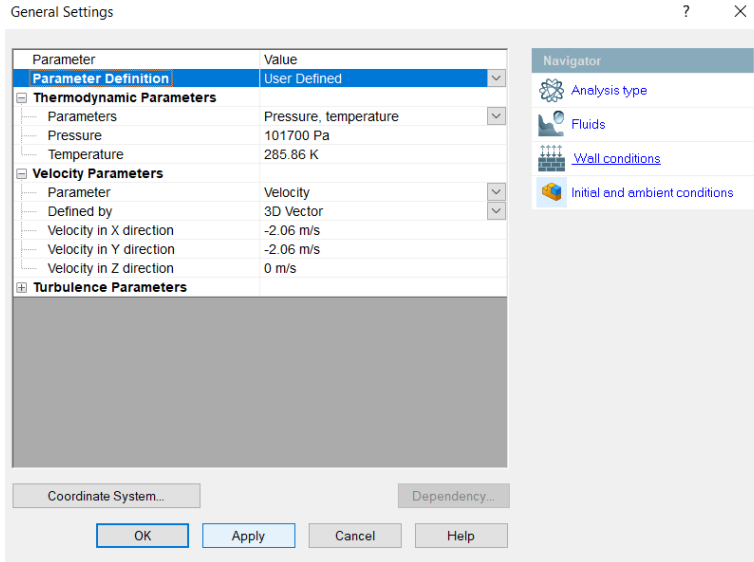
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

### CARRERA DE ELECTRICIDAD



#### Anexo 9. Simulación del aerogenerador sin aspas del día 20 de febrero

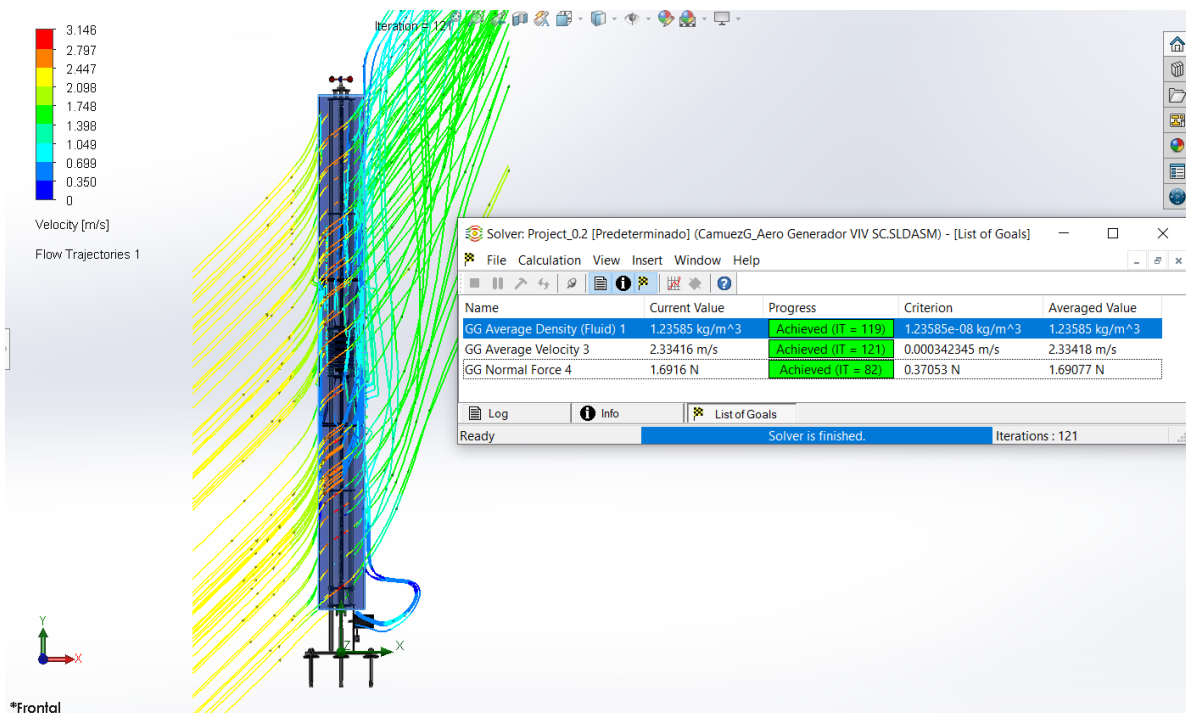
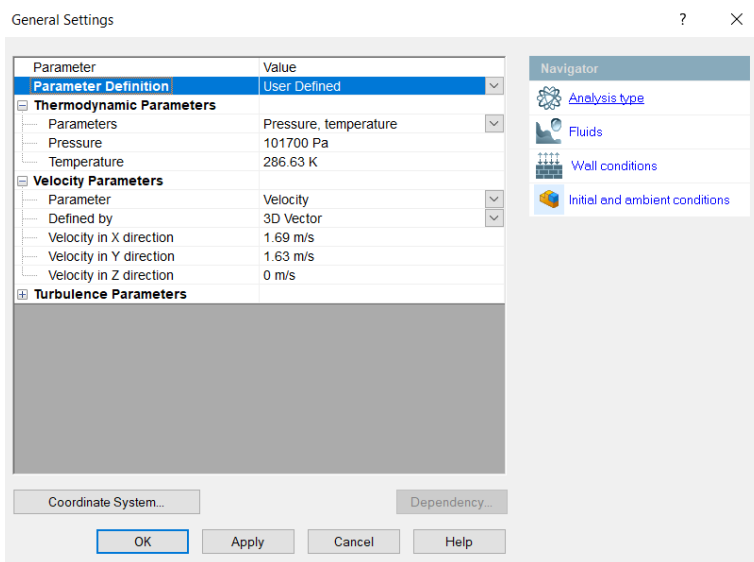




**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**Anexo 10.** Simulación del aerogenerador sin aspas del día 21 de febrero

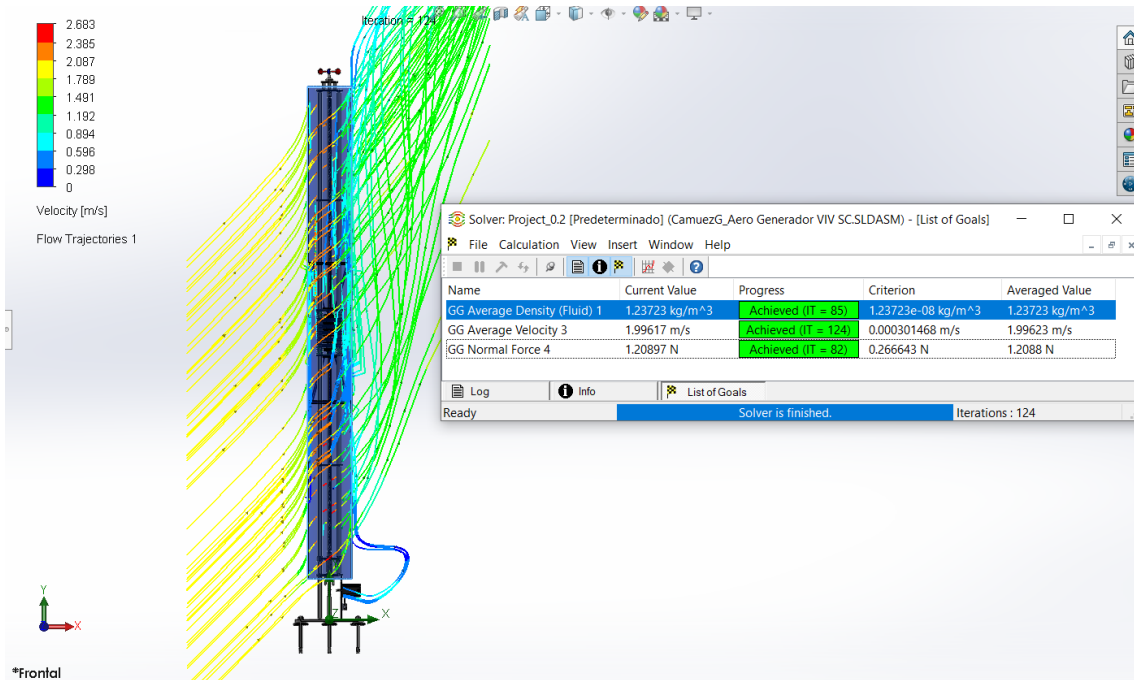
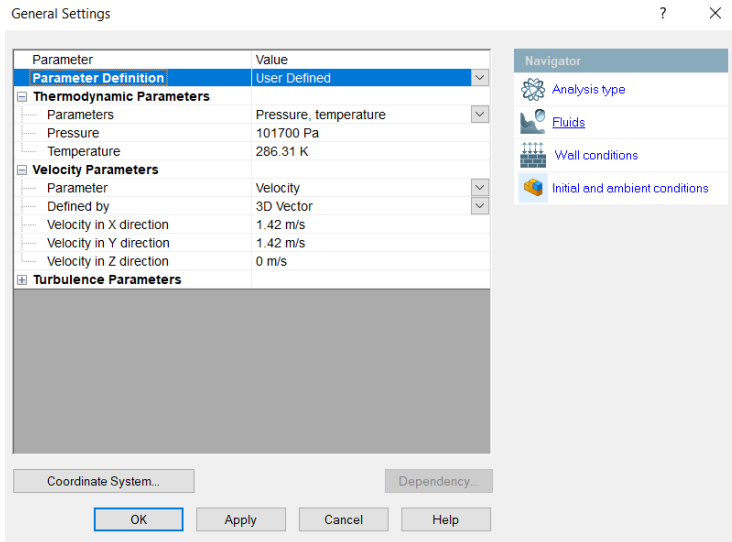




**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**Anexo 11.** Simulación del aerogenerador sin aspas del día 22 de febrero

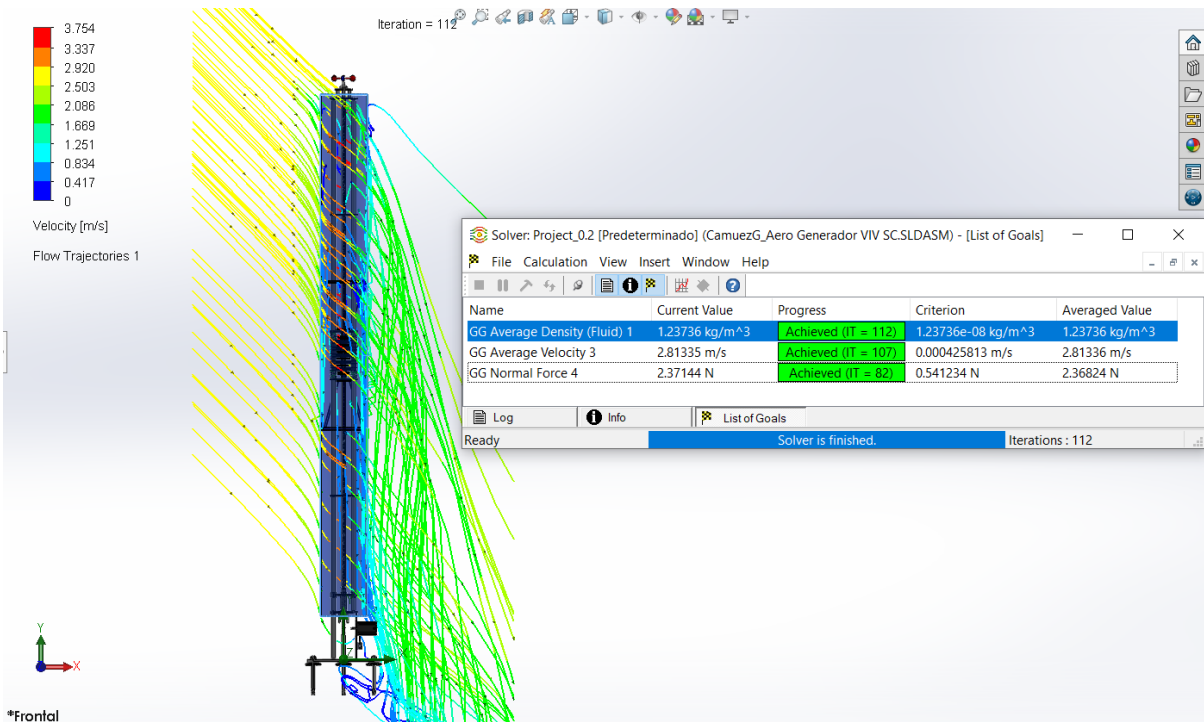
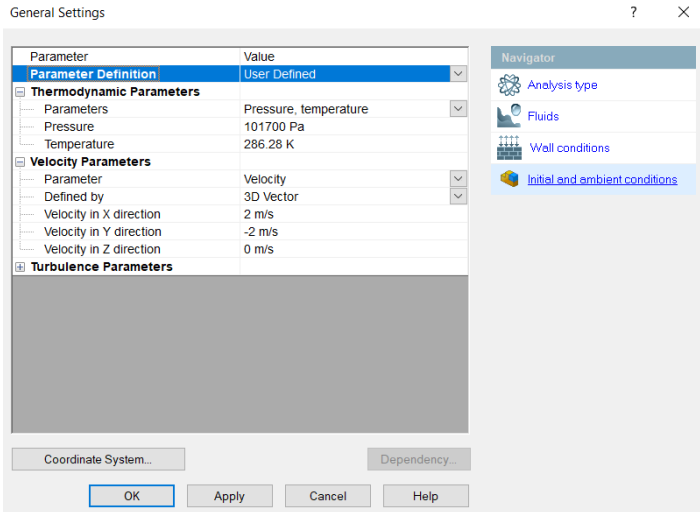




**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**Anexo 12.** Simulación del aerogenerador sin aspas del día 23 de febrero





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**Anexo 13.** Simulación del aerogenerador sin aspas del día 24 de febrero

General Settings

Parameter	Value
Parameter Definition	User Defined
<b>Thermodynamic Parameters</b>	
Parameters	Pressure, temperature
Pressure	101700 Pa
Temperature	285.83 K
<b>Velocity Parameters</b>	
Parameter	Velocity
Defined by	3D Vector
Velocity in X direction	-1.36 m/s
Velocity in Y direction	1.36 m/s
Velocity in Z direction	0 m/s
<b>Turbulence Parameters</b>	

Coordinate System... Dependency...

OK Apply Cancel Help

Iteration = 123

Velocity [m/s]

Flow Trajectories 1

\*Frontal

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
GG Average Density (Fluid) 1	1.23931 kg/m <sup>3</sup>	Achieved (IT = 83)	1.23931e-08 kg/m <sup>3</sup>	1.23931 kg/m <sup>3</sup>
GG Average Velocity 3	1.90982 m/s	Achieved (IT = 123)	0.000328131 m/s	1.90981 m/s
GG Normal Force 4	1.0784 N	Achieved (IT = 82)	0.243358 N	1.07819 N

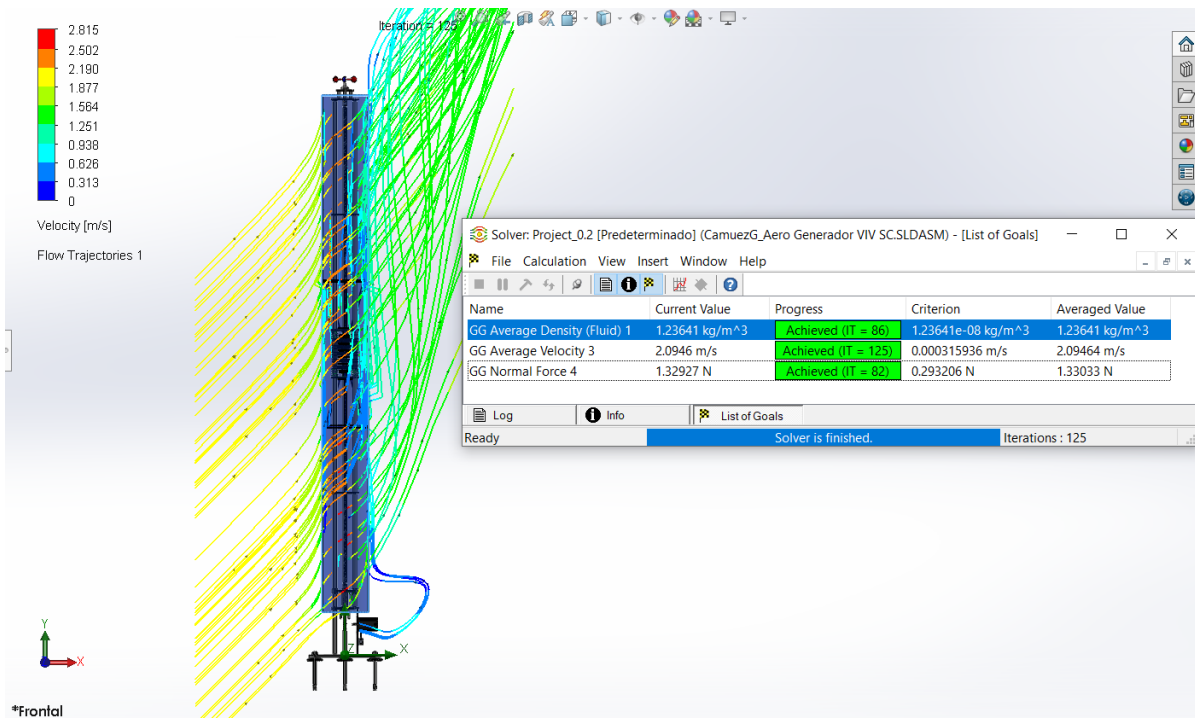
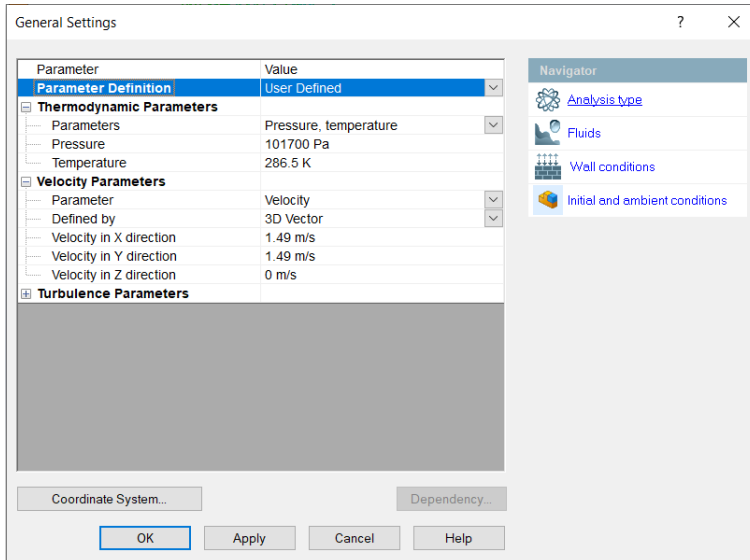
Ready Solver is finished. Iterations : 123



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**Anexo 14.** Simulación del aerogenerador sin aspas del día 25 de febrero

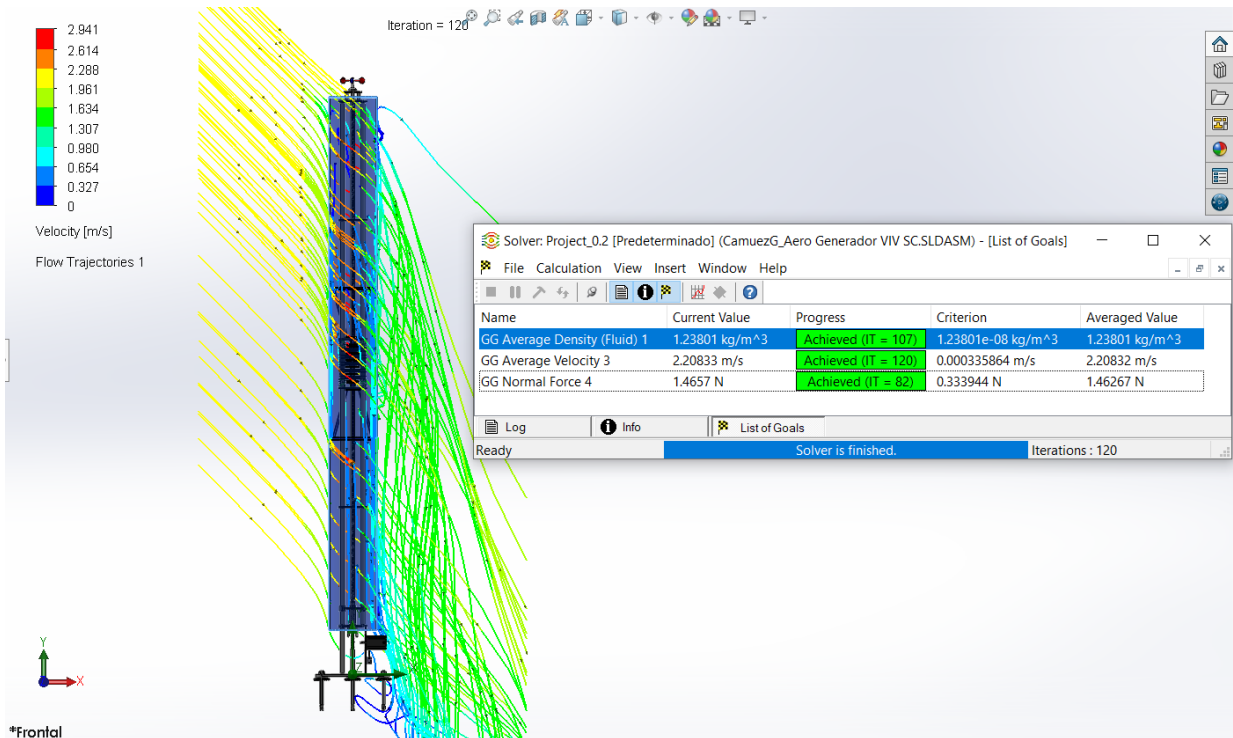
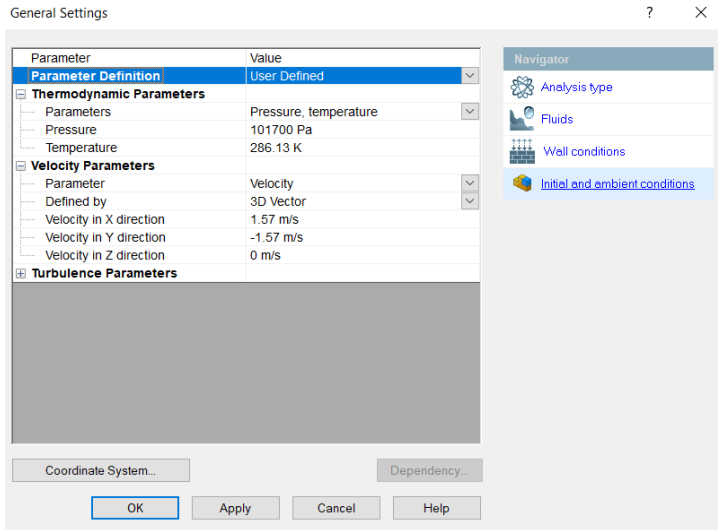




**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**Anexo 15.** Simulación del aerogenerador sin aspas del día 26 de febrero





# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

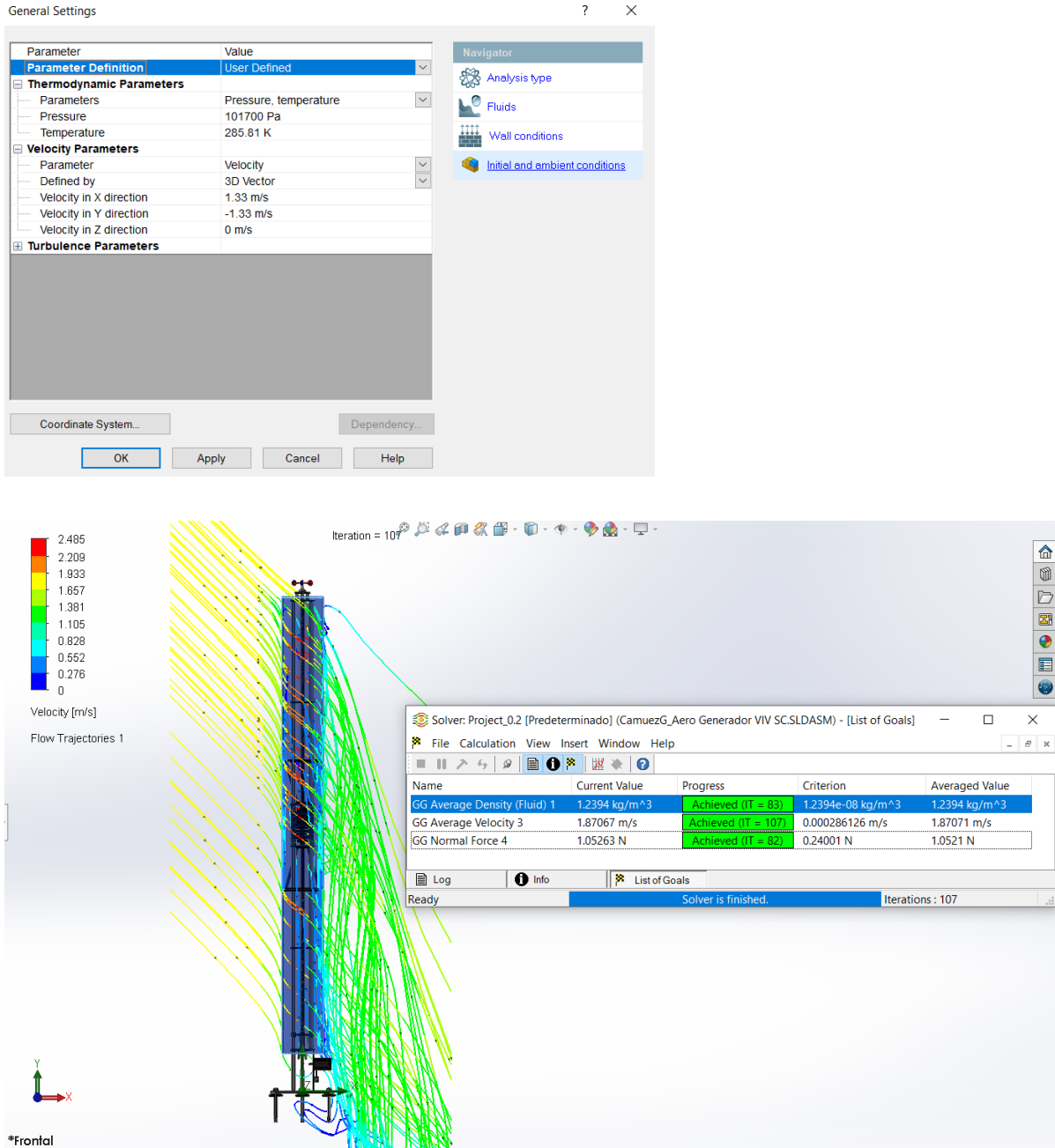
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

### CARRERA DE ELECTRICIDAD



#### Anexo 16. Simulación del aerogenerador sin aspas del día 27 de febrero

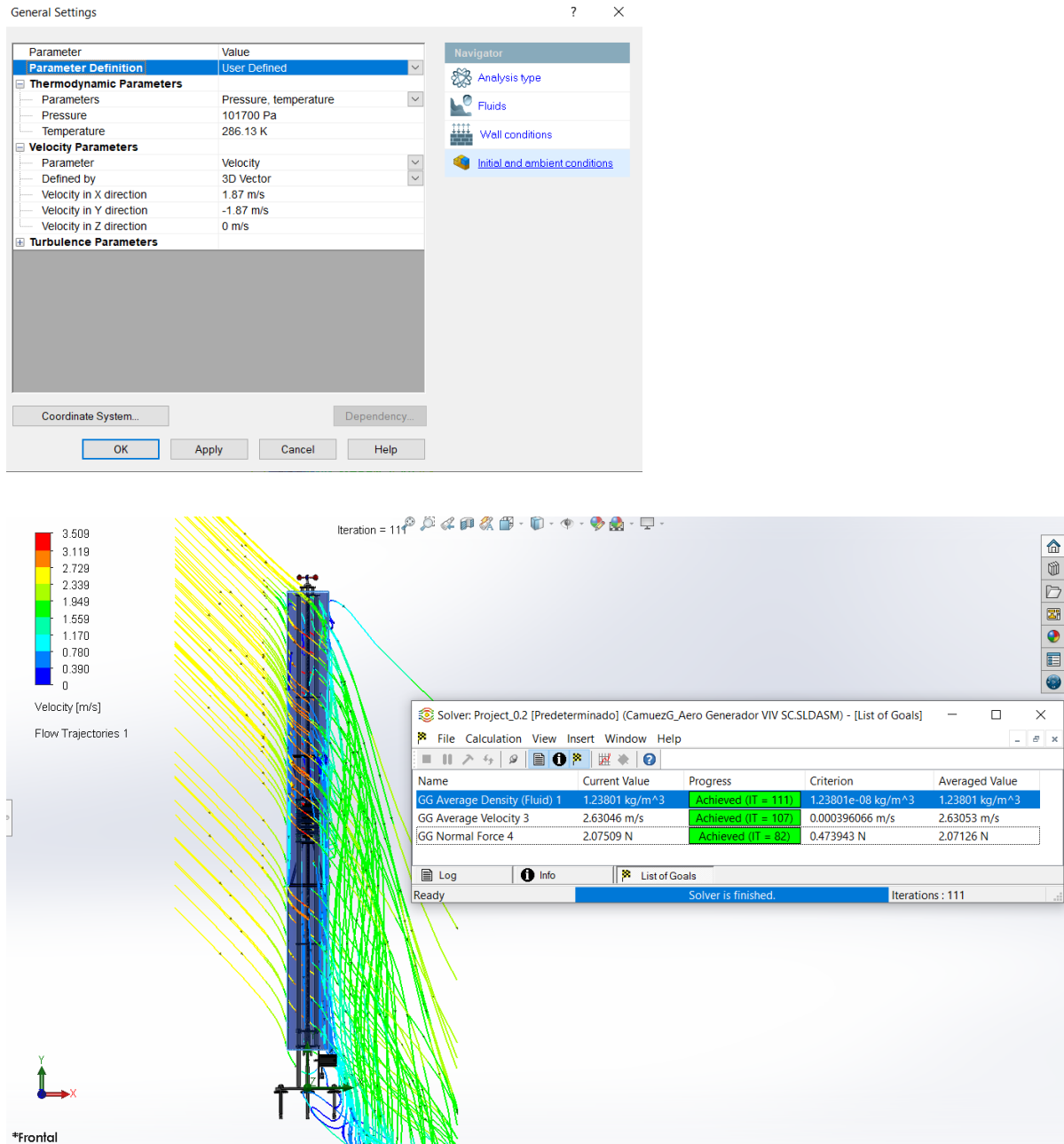




**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**Anexo 17.** Simulación del aerogenerador sin aspas del día 28 de febrero





# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

### CARRERA DE ELECTRICIDAD



### Anexo 18. Simulación del aerogenerador sin aspas del día 1 de marzo

General Settings ? X

Parameter	Value
<b>Parameter Definition</b>	
Parameter Definition	User Defined
<b>Thermodynamic Parameters</b>	
Parameters	Pressure, temperature
Pressure	101700 Pa
Temperature	286.19 K
<b>Velocity Parameters</b>	
Parameter	Velocity
Defined by	3D Vector
Velocity in X direction	1.76 m/s
Velocity in Y direction	-1.76 m/s
Velocity in Z direction	0 m/s
<b>Turbulence Parameters</b>	

Navigator

- Analysis type
- Fluids
- Wall conditions
- Initial and ambient conditions

Coordinate System... Dependency...

Iteration = 116

Solver: Project\_0.2 [Predeterminado] (CamuezG\_Aero Generador VIV SC.SLDASM) - [List of Goals]

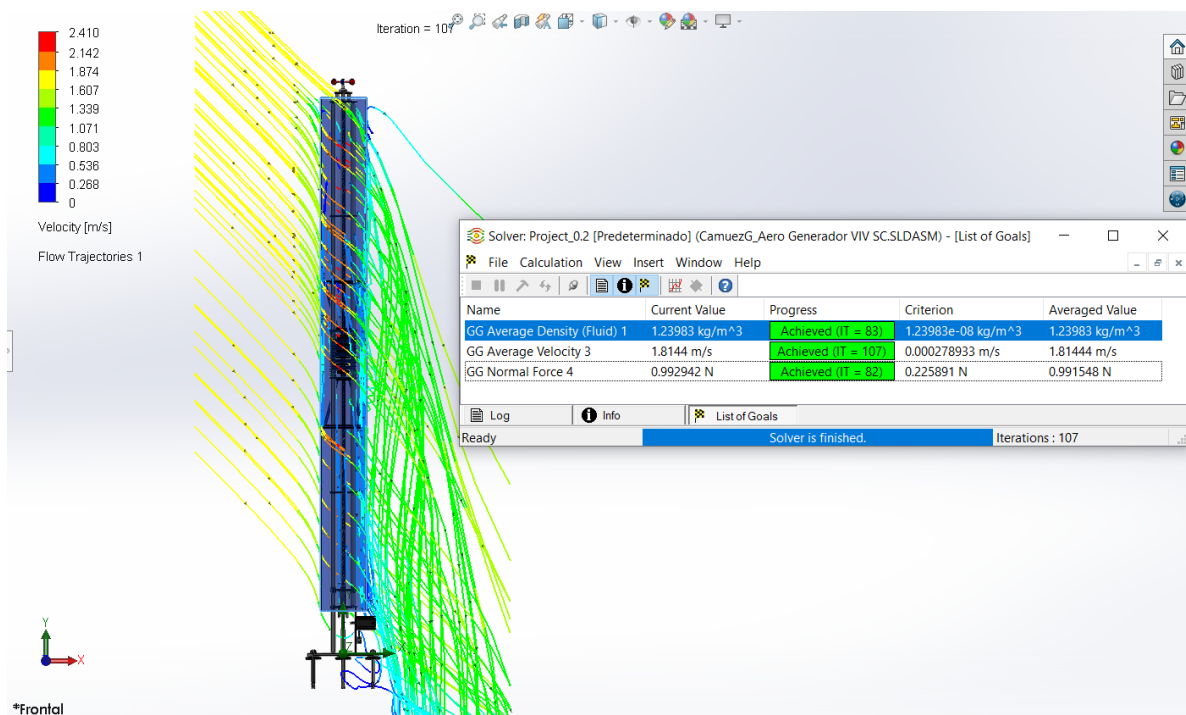
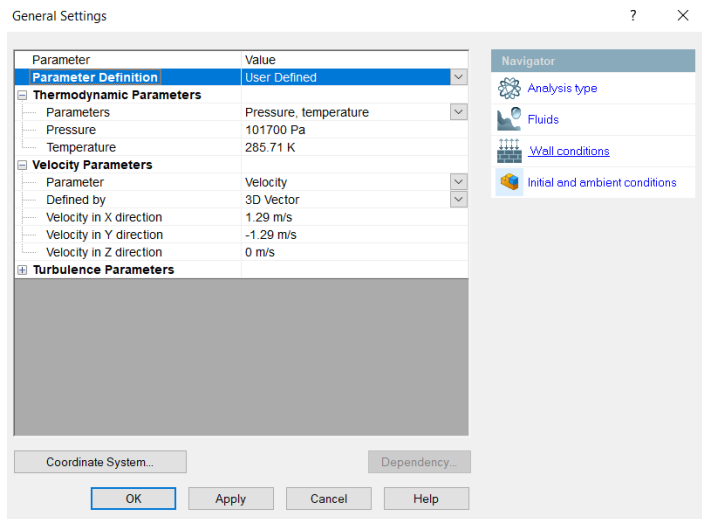
Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
GG Average Density (Fluid) 1	1.23775 kg/m <sup>3</sup>	Achieved (IT = 110)	1.23775e-08 kg/m <sup>3</sup>	1.23775 kg/m <sup>3</sup>
GG Average Velocity 3	2.47556 m/s	Achieved (IT = 116)	0.000373771 m/s	2.47559 m/s
GG Normal Force 4	1.84452 N	Achieved (IT = 82)	0.419692 N	1.84073 N

Ready Solver is finished. Iterations: 116

\*Frontal



Anexo 19. Simulación del aerogenerador sin aspas del día 2 de marzo

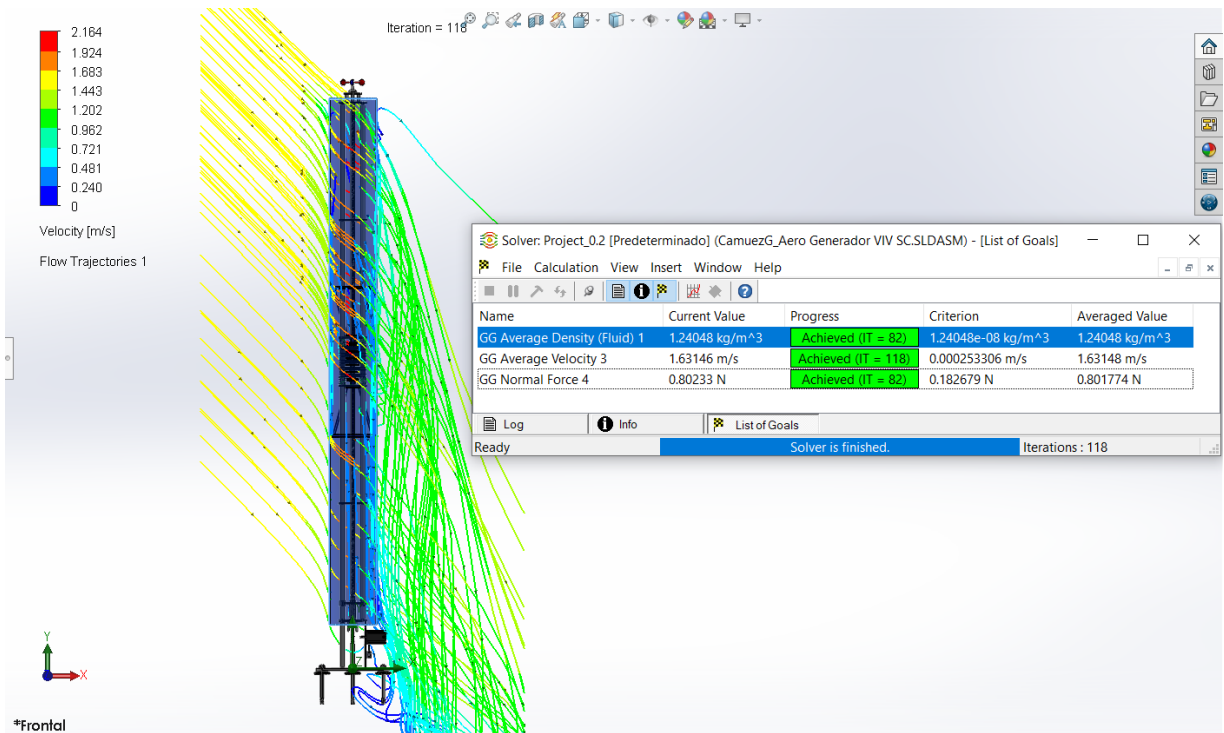
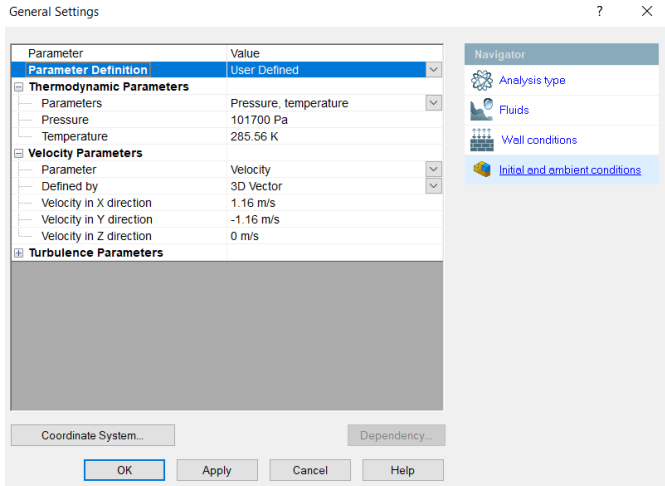




**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**Anexo 20.** Simulación del aerogenerador sin aspas del día 3 de marzo

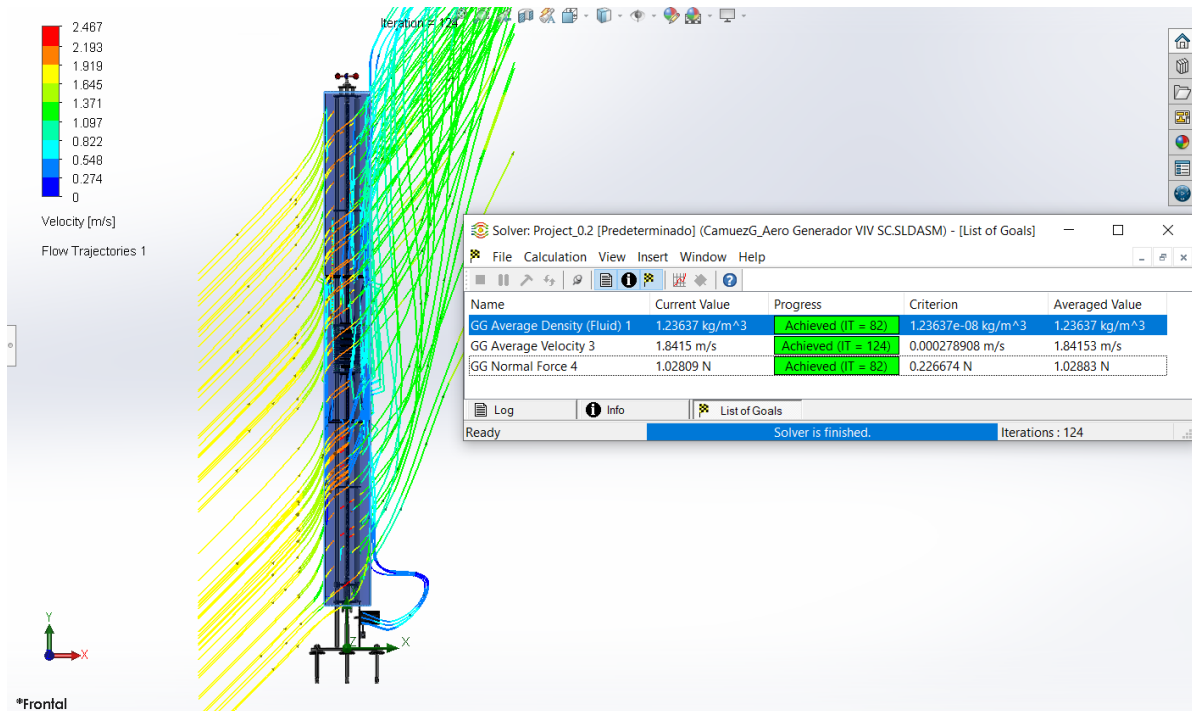
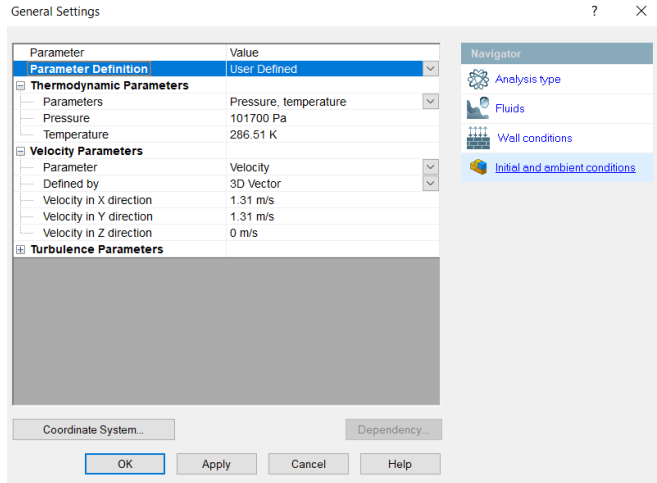




**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**Anexo 21.** Simulación del aerogenerador sin aspas del día 4 de marzo

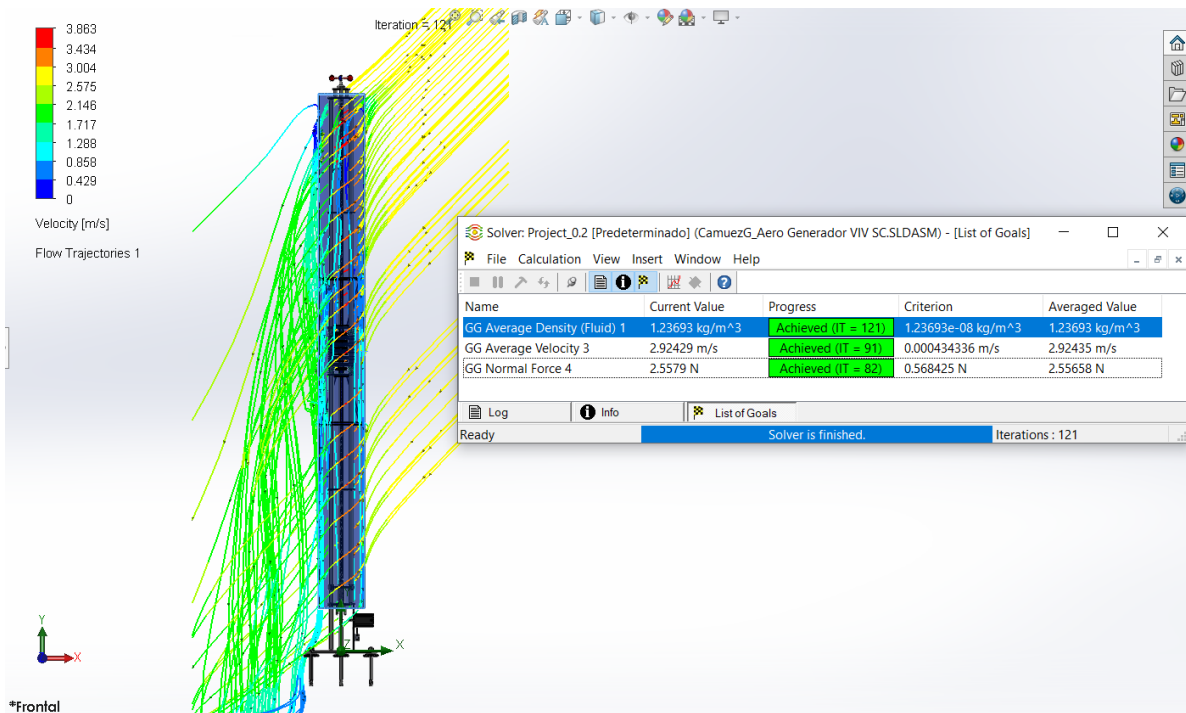
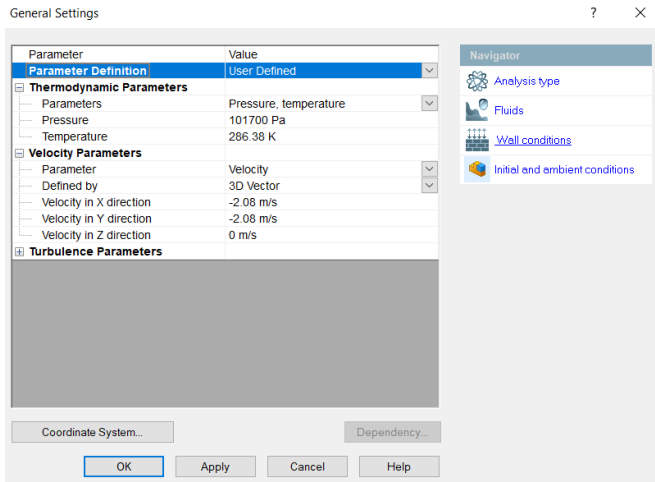




**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**Anexo 22.** Simulación del aerogenerador sin aspas del día 5 de marzo

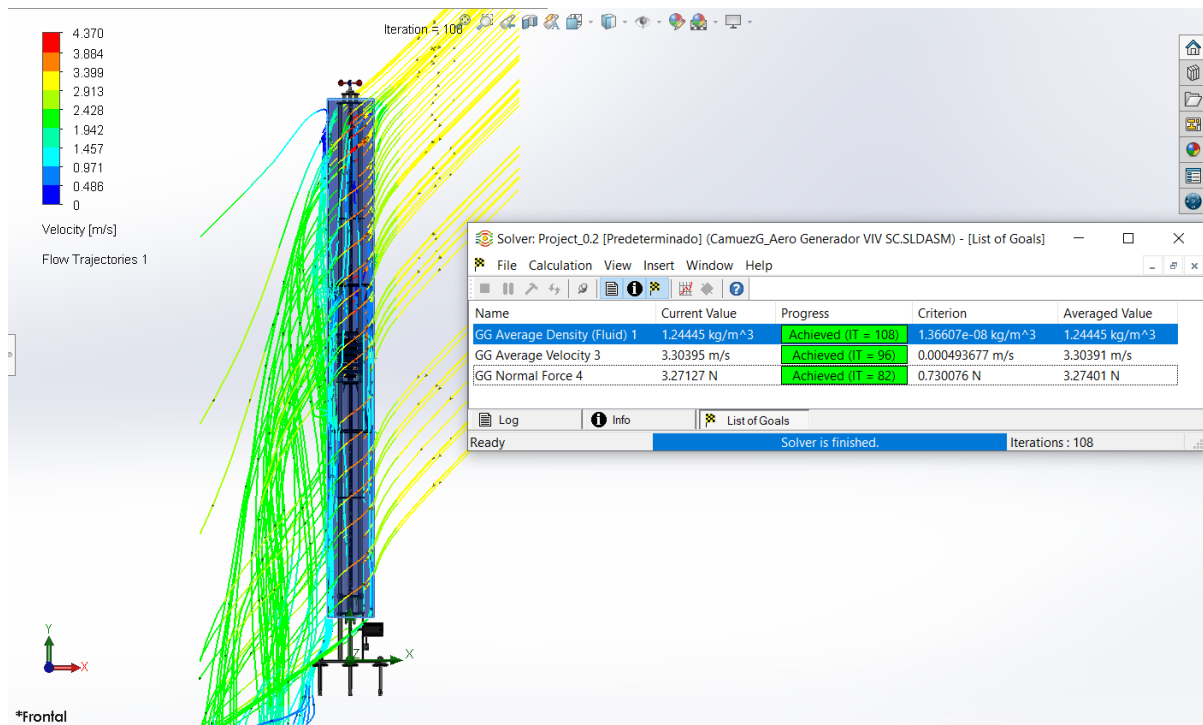
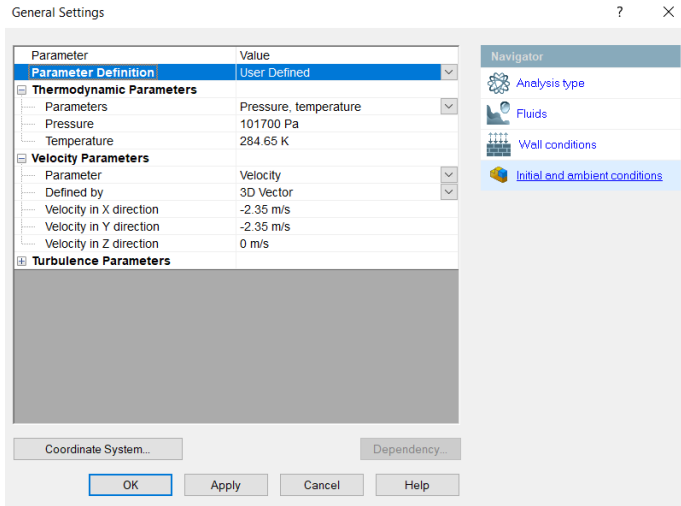




**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**Anexo 23.** Simulación del aerogenerador sin aspas del día 6 de marzo





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**Anexo 24.** Simulación del aerogenerador sin aspas del día 7 de marzo

General Settings

Parameter	Value
<b>Parameter Definition</b> User Defined	
<b>Thermodynamic Parameters</b>	
Parameters	Pressure, temperature
Pressure	101700 Pa
Temperature	285.18 K
<b>Velocity Parameters</b>	
Parameter	Velocity
Defined by	3D Vector
Velocity in X direction	-3.23 m/s
Velocity in Y direction	-3.23 m/s
Velocity in Z direction	0 m/s
<b>Turbulence Parameters</b>	

Coordinate System... Dependency...

OK Apply Cancel Help

Iteration = 125

Velocity [m/s]

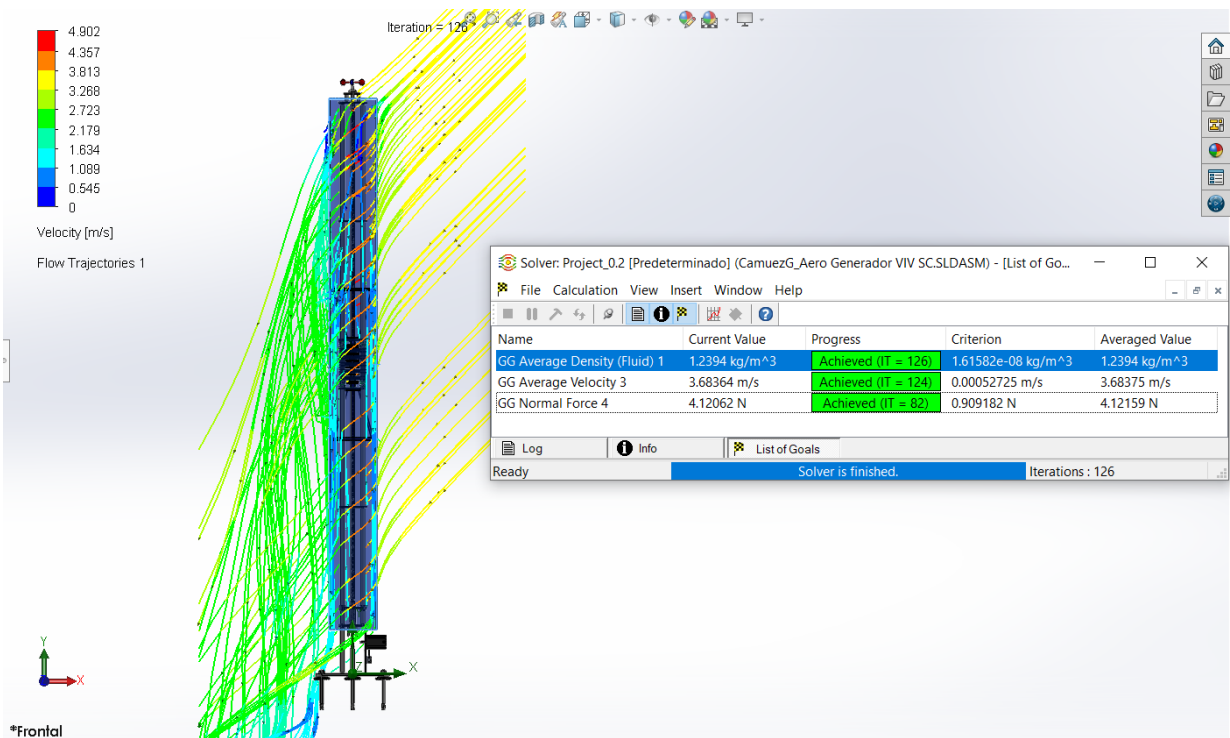
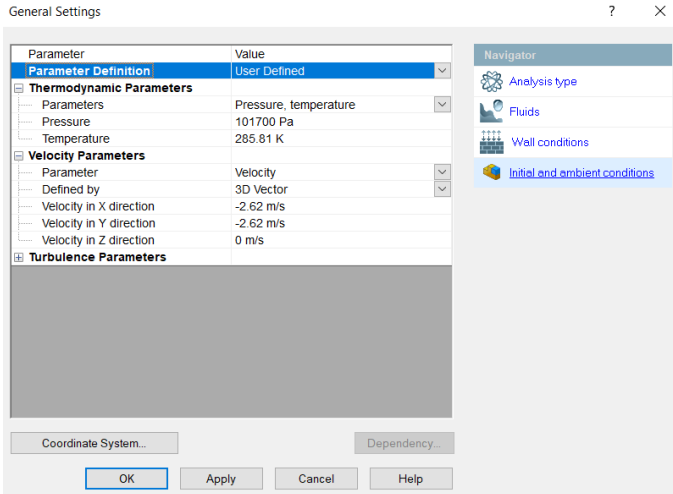
Flow Trajectories 1

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
GG Average Density (Fluid) 1	1.24214 kg/m <sup>3</sup>	Achieved (IT = 125)	2.46763e-08 kg/m <sup>3</sup>	1.24214 kg/m <sup>3</sup>
GG Average Velocity 3	4.54167 m/s	Achieved (IT = 123)	0.00063647 m/s	4.54177 m/s
GG Normal Force 4	6.26686 N	Achieved (IT = 82)	1.38517 N	6.27447 N

Ready Solver is finished. Iterations: 125



Anexo 25. Simulación del aerogenerador sin aspas del día 8 de marzo





Anexo 26. Simulación del aerogenerador sin aspas del día 9 de marzo

General Settings

Parameter	Value
Parameter Definition	User Defined
<b>Thermodynamic Parameters</b>	
Parameters	Pressure, temperature
Pressure	101700 Pa
Temperature	286.82 K
<b>Velocity Parameters</b>	
Parameter	Velocity
Defined by	3D Vector
Velocity in X direction	-2.09 m/s
Velocity in Y direction	-2.09 m/s
Velocity in Z direction	0 m/s
<b>Turbulence Parameters</b>	

Coordinate System... Dependency...

OK Apply Cancel Help

Iteration = 129

Velocity [m/s]

Flow Trajectories 1

\*Frontal

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
GG Average Density (Fluid) 1	1.23503 kg/m <sup>3</sup>	Achieved (IT = 128)	1.23503e-08 kg/m <sup>3</sup>	1.23503 kg/m <sup>3</sup>
GG Average Velocity 3	2.93844 m/s	Achieved (IT = 129)	0.000417644 m/s	2.9384 m/s
GG Normal Force 4	2.61011 N	Achieved (IT = 82)	0.57602 N	2.61367 N

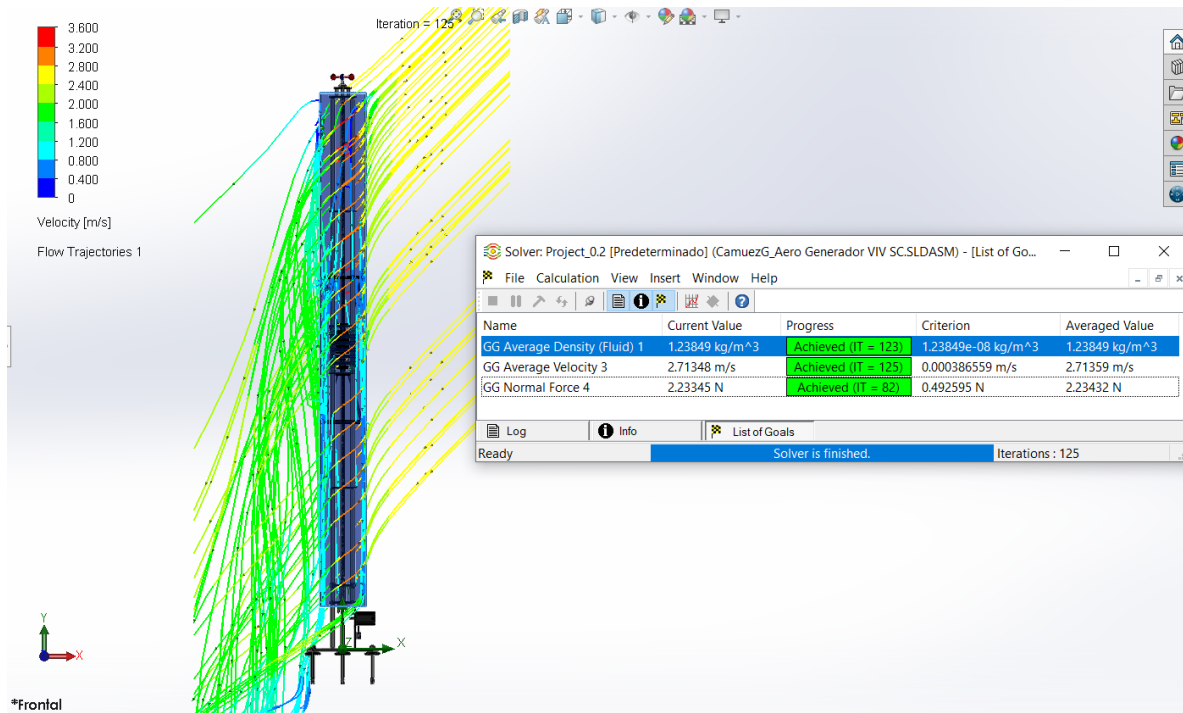
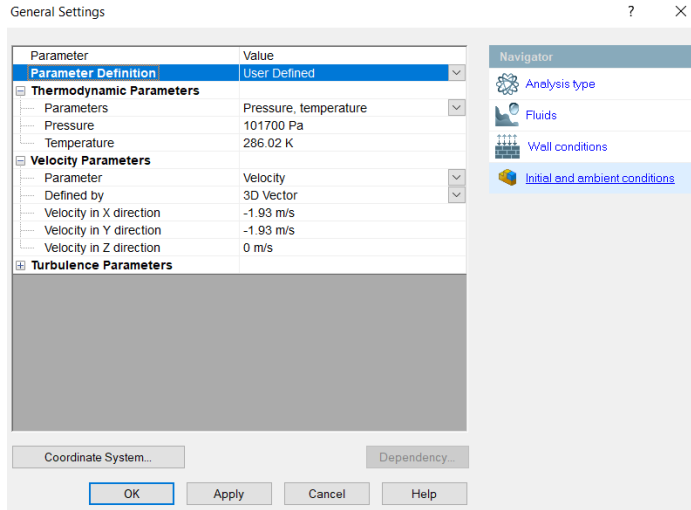
Ready Solver is finished. Iterations : 129



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**Anexo 27.** Simulación del aerogenerador sin aspas del día 10 de marzo





# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

### CARRERA DE ELECTRICIDAD



### Anexo 28. Simulación del aerogenerador sin aspas del día 11 de marzo

General Settings ? X

Parameter	Value
<b>Parameter Definition</b>	
Parameter Definition	User Defined
<b>Thermodynamic Parameters</b>	
Parameters	Pressure, temperature
Pressure	101700 Pa
Temperature	285.83 K
<b>Velocity Parameters</b>	
Parameter	Velocity
Defined by	3D Vector
Velocity in X direction	-2.1 m/s
Velocity in Y direction	2.1 m/s
Velocity in Z direction	0 m/s
<b>Turbulence Parameters</b>	

Navigator

- Analysis type
- Fluids
- Wall conditions
- Initial and ambient conditions

Coordinate System... Dependency...

Iteration = 126

Solver: Project\_02 [Predeterminado] (CamuezG\_Aero Generador VIV SC.SLDASM) - [List of Go...

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
GG Average Density (Fluid) 1	1.23931 kg/m <sup>3</sup>	Achieved (IT = 126)	1.23931e-08 kg/m <sup>3</sup>	1.23931 kg/m <sup>3</sup>
GG Average Velocity 3	2.94967 m/s	Achieved (IT = 124)	0.000487851 m/s	2.94965 m/s
GG Normal Force 4	2.53948 N	Achieved (IT = 82)	0.583542 N	2.54248 N

Ready Solver is finished. Iterations: 126

\*Frontal



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**Anexo 29.** Simulación del aerogenerador sin aspas del día 12 de marzo

General Settings

Parameter	Value
<b>Parameter Definition</b> User Defined	
<b>Thermodynamic Parameters</b>	
Parameters	Pressure, temperature
Pressure	101700 Pa
Temperature	285.91 K
<b>Velocity Parameters</b>	
Parameter	Velocity
Defined by	3D Vector
Velocity in X direction	-2.11 m/s
Velocity in Y direction	2.11 m/s
Velocity in Z direction	0 m/s
<b>Turbulence Parameters</b>	

Coordinate System... Dependency...

OK Apply Cancel Help

Iteration = 126

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
GG Average Density (fluid) 1	1.23897 kg/m <sup>3</sup>	Achieved (IT = 126)	1.23897e-08 kg/m <sup>3</sup>	1.23897 kg/m <sup>3</sup>
GG Average Velocity 3	2.96368 m/s	Achieved (IT = 125)	0.000491448 m/s	2.9637 m/s
GG Normal Force 4	2.55908 N	Achieved (IT = 82)	0.588949 N	2.56282 N

Ready Solver is finished. Iterations : 126



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



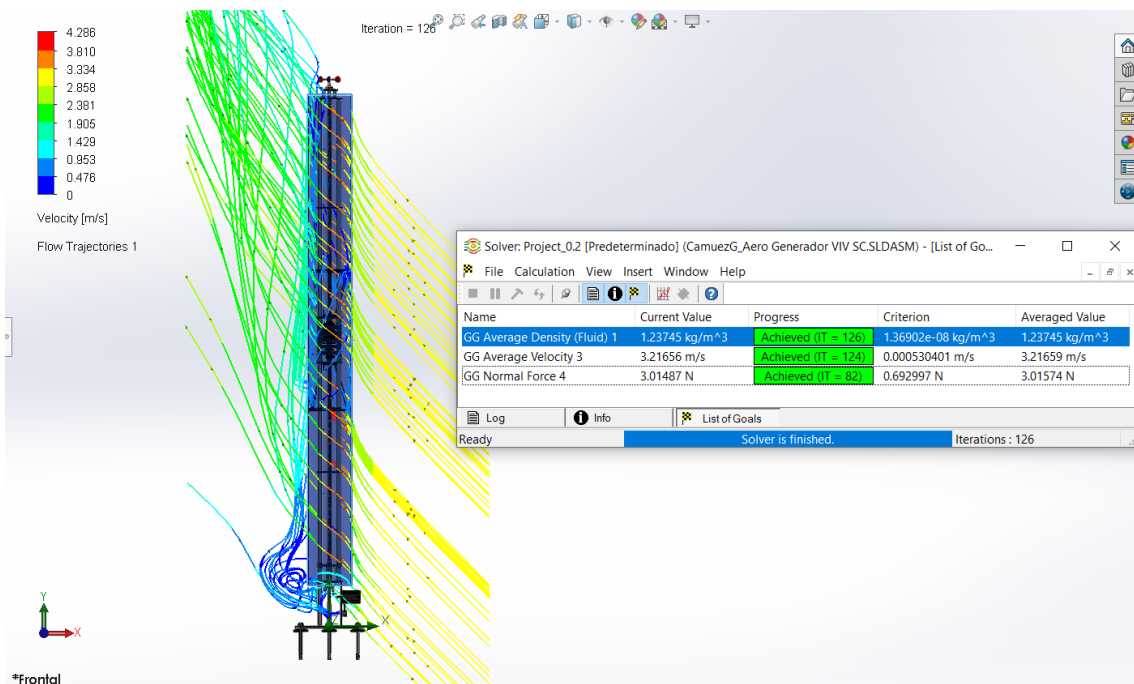
**Anexo 30.** Simulación del aerogenerador sin aspas del día 13 de marzo

General Settings

Parameter	Value
<b>Parameter Definition</b> User Defined	
<b>Thermodynamic Parameters</b>	
Parameters	Pressure, temperature
Pressure	101700 Pa
Temperature	286.26 K
<b>Velocity Parameters</b>	
Parameter	Velocity
Defined by	3D Vector
Velocity in X direction	-2.29 m/s
Velocity in Y direction	2.29 m/s
Velocity in Z direction	0 m/s
<b>Turbulence Parameters</b>	

Coordinate System... Dependency...

OK Apply Cancel Help





# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

### CARRERA DE ELECTRICIDAD



### Anexo 31. Simulación del aerogenerador sin aspas del día 14 de marzo

General Settings

Parameter	Value
Parameter Definition	User Defined
<b>Thermodynamic Parameters</b>	
Parameters	Pressure, temperature
Pressure	101700 Pa
Temperature	286.61 K
<b>Velocity Parameters</b>	
Parameter	Velocity
Defined by	3D Vector
Velocity in X direction	-2.44 m/s
Velocity in Y direction	2.44 m/s
Velocity in Z direction	0 m/s
<b>Turbulence Parameters</b>	

Coordinate System... Dependency...

OK Apply Cancel Help

Iteration = 126

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
GG Average Density (Fluid) 1	1.23594 kg/m <sup>3</sup>	Achieved (IT = 126)	1.55041e-08 kg/m <sup>3</sup>	1.23594 kg/m <sup>3</sup>
GG Average Velocity 3	3.42732 m/s	Achieved (IT = 123)	0.000564642 m/s	3.42732 m/s
GG Normal Force 4	3.41959 N	Achieved (IT = 82)	0.786231 N	3.42044 N

Solver: Project\_0.2 [Predeterminado] (CamuezG\_Aero Generador VIV SC.SLDASM) - [List of Go...]

Ready Solver is finished. Iterations : 126



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**Anexo 32.** Simulación del aerogenerador sin aspas del día 15 de marzo

General Settings

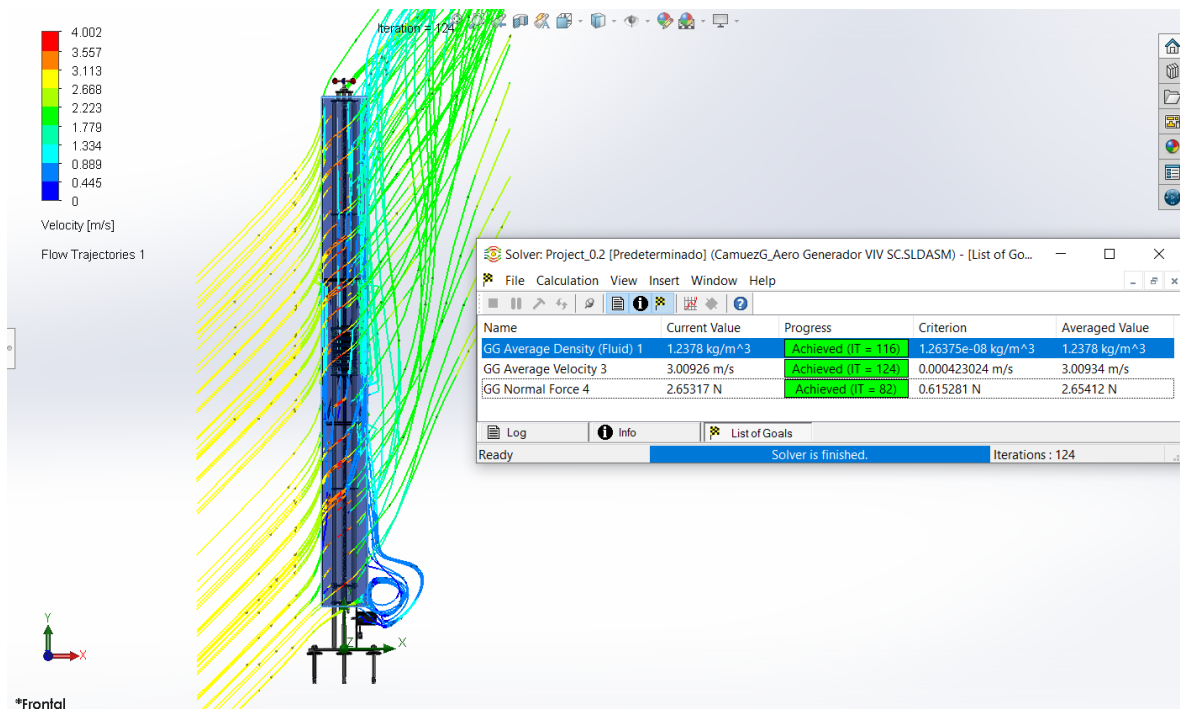
Parameter	Value
Parameter Definition	User Defined
<b>Thermodynamic Parameters</b>	
Parameters	Pressure, temperature
Pressure	101700 Pa
Temperature	286.18 K
<b>Velocity Parameters</b>	
Parameter	Velocity
Defined by	3D Vector
Velocity in X direction	2.14 m/s
Velocity in Y direction	2.14 m/s
Velocity in Z direction	0 m/s
<b>Turbulence Parameters</b>	

Coordinate System... Dependency...

OK Apply Cancel Help

Navigator

- Analysis type
- Fluids
- Wall conditions
- Initial and ambient conditions





# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

### CARRERA DE ELECTRICIDAD



### Anexo 33. Simulación del aerogenerador sin aspas del día 16 de marzo

General Settings

Parameter	Value
Parameter Definition	User Defined
<b>Thermodynamic Parameters</b>	
Parameters	Pressure, temperature
Pressure	101700 Pa
Temperature	286.19 K
<b>Velocity Parameters</b>	
Parameter	Velocity
Defined by	3D Vector
Velocity in X direction	1.37 m/s
Velocity in Y direction	1.37 m/s
Velocity in Z direction	0 m/s
<b>Turbulence Parameters</b>	

Coordinate System... Dependency...

OK Apply Cancel Help

Velocity [m/s]

Flow Trajectories 1

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
GG Average Density (Fluid) 1	1.23775 kg/m <sup>3</sup>	Achieved (IT = 82)	1.23775e-08 kg/m <sup>3</sup>	1.23775 kg/m <sup>3</sup>
GG Average Velocity 3	1.92623 m/s	Achieved (IT = 121)	0.000279808 m/s	1.92628 m/s
GG Normal Force 4	1.08936 N	Achieved (IT = 82)	0.25212 N	1.08954 N

Ready Solver is finished. Iterations : 121



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

### CARRERA DE ELECTRICIDAD



### Anexo 34. Simulación del aerogenerador sin aspas del día 17 de marzo

General Settings

Parameter	Value
Parameter Definition	User Defined
<b>Thermodynamic Parameters</b>	
Parameters	Pressure, temperature
Pressure	101700 Pa
Temperature	286.29 K
<b>Velocity Parameters</b>	
Parameter	Velocity
Defined by	3D Vector
Velocity in X direction	1.17 m/s
Velocity in Y direction	-1.17 m/s
Velocity in Z direction	0 m/s
<b>Turbulence Parameters</b>	

Coordinate System... Dependency...

OK Apply Cancel Help

Iteration = 110

Velocity [m/s]

Flow Trajectories 1

\*Frontal

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
GG Average Density (Fluid) 1	1.23732 kg/m <sup>3</sup>	Achieved (IT = 82)	1.23732e-08 kg/m <sup>3</sup>	1.23732 kg/m <sup>3</sup>
GG Average Velocity 3	1.64606 m/s	Achieved (IT = 110)	0.000255239 m/s	1.6461 m/s
GG Normal Force 4	0.825351 N	Achieved (IT = 82)	0.184986 N	0.825106 N

Ready Solver is finished. Iterations: 110



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

### CARRERA DE ELECTRICIDAD



### Anexo 35. Simulación del aerogenerador sin aspas del día 18 de marzo

General Settings

Parameter	Value
Parameter Definition	User Defined
<b>Thermodynamic Parameters</b>	
Parameters	Pressure, temperature
Pressure	101700 Pa
Temperature	286.42 K
<b>Velocity Parameters</b>	
Parameter	Velocity
Defined by	3D Vector
Velocity in X direction	1.42 m/s
Velocity in Y direction	-1.42 m/s
Velocity in Z direction	0 m/s
<b>Turbulence Parameters</b>	

Coordinate System... Dependency...

OK Apply Cancel Help

Iteration = 109

Velocity [m/s]

Flow Trajectories 1

\*Frontal

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
GG Average Density (Fluid) 1	1.23676 kg/m <sup>3</sup>	Achieved (IT = 82)	1.23676e-08 kg/m <sup>3</sup>	1.23676 kg/m <sup>3</sup>
GG Average Velocity 3	1.99785 m/s	Achieved (IT = 109)	0.000302793 m/s	1.9979 m/s
GG Normal Force 4	1.21565 N	Achieved (IT = 82)	0.272452 N	1.21297 N

Ready Solver is finished. Iterations: 109



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

### CARRERA DE ELECTRICIDAD



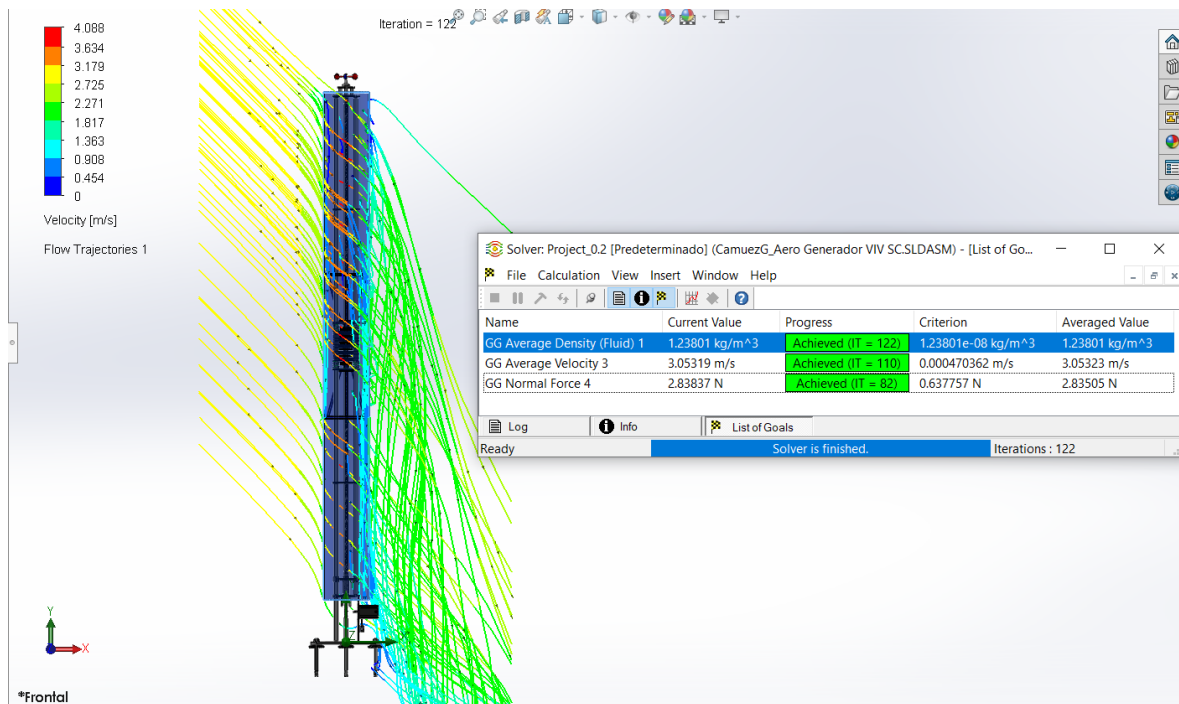
### Anexo 36. Simulación del aerogenerador sin aspas del día 19 de marzo

General Settings

Parameter	Value
Parameter Definition	User Defined
<b>Thermodynamic Parameters</b>	
Parameters	Pressure, temperature
Pressure	101700 Pa
Temperature	286.13 K
<b>Velocity Parameters</b>	
Parameter	Velocity
Defined by	3D Vector
Velocity in X direction	2.17 m/s
Velocity in Y direction	-2.17 m/s
Velocity in Z direction	0 m/s
<b>Turbulence Parameters</b>	

Coordinate System... Dependency...

OK Apply Cancel Help





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**Anexo 37.** Simulación del aerogenerador sin aspas del día 20 de marzo

General Settings

Parameter	Value
Parameter Definition	User Defined
<b>Thermodynamic Parameters</b>	
Parameters	Pressure, temperature
Pressure	101700 Pa
Temperature	285.74 K
<b>Velocity Parameters</b>	
Parameter	Velocity
Defined by	3D Vector
Velocity in X direction	1.66 m/s
Velocity in Y direction	-1.66 m/s
Velocity in Z direction	0 m/s
<b>Turbulence Parameters</b>	

Coordinate System... Dependency...

OK Apply Cancel Help

Iteration = 118

Velocity [m/s]  
 Flow Trajectories 1

\*Frontal

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
GG Average Density (Fluid) 1	1.2397 kg/m <sup>3</sup>	Achieved (IT = 105)	1.2397e-08 kg/m <sup>3</sup>	1.2397 kg/m <sup>3</sup>
GG Average Velocity 3	2.33557 m/s	Achieved (IT = 118)	0.000350428 m/s	2.33559 m/s
GG Normal Force 4	1.66529 N	Achieved (IT = 82)	0.373228 N	1.66223 N

Ready Solver is finished. Iterations: 118



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



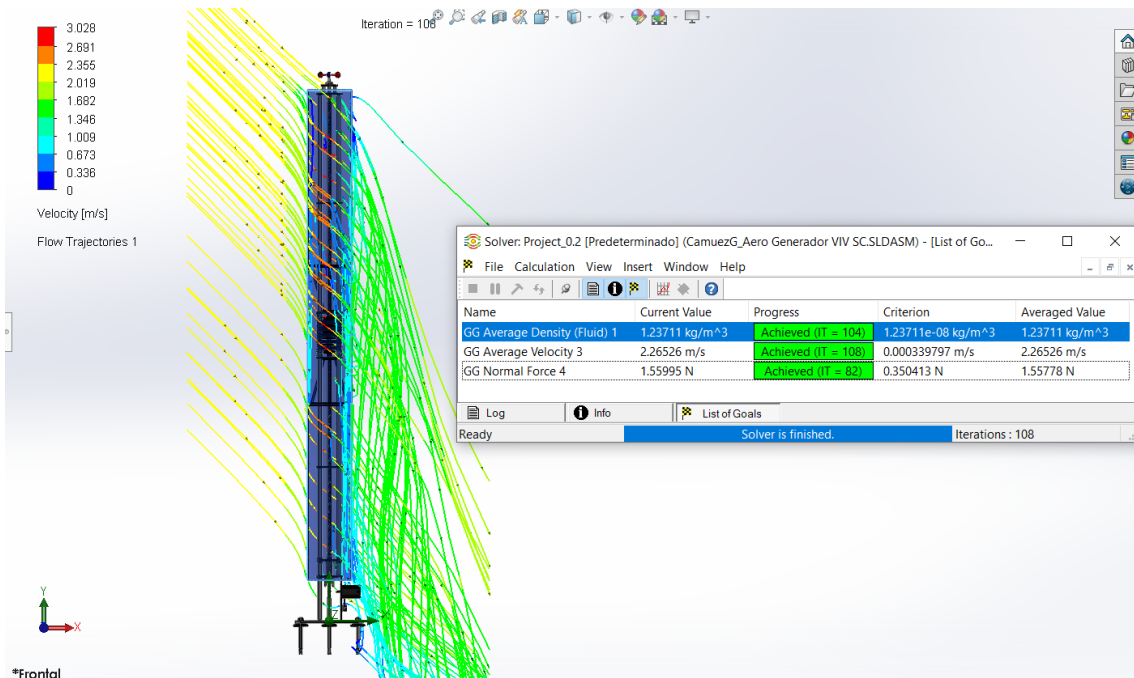
**Anexo 38.** Simulación del aerogenerador sin aspas del día 21 de marzo

General Settings

Parameter	Value
Parameter Definition	User Defined
<b>Thermodynamic Parameters</b>	
Parameters	Pressure, temperature
Pressure	101700 Pa
Temperature	286.34 K
<b>Velocity Parameters</b>	
Parameter	Velocity
Defined by	3D Vector
Velocity in X direction	1.61 m/s
Velocity in Y direction	-1.61 m/s
Velocity in Z direction	0 m/s
<b>Turbulence Parameters</b>	

Coordinate System... Dependency...

OK Apply Cancel Help

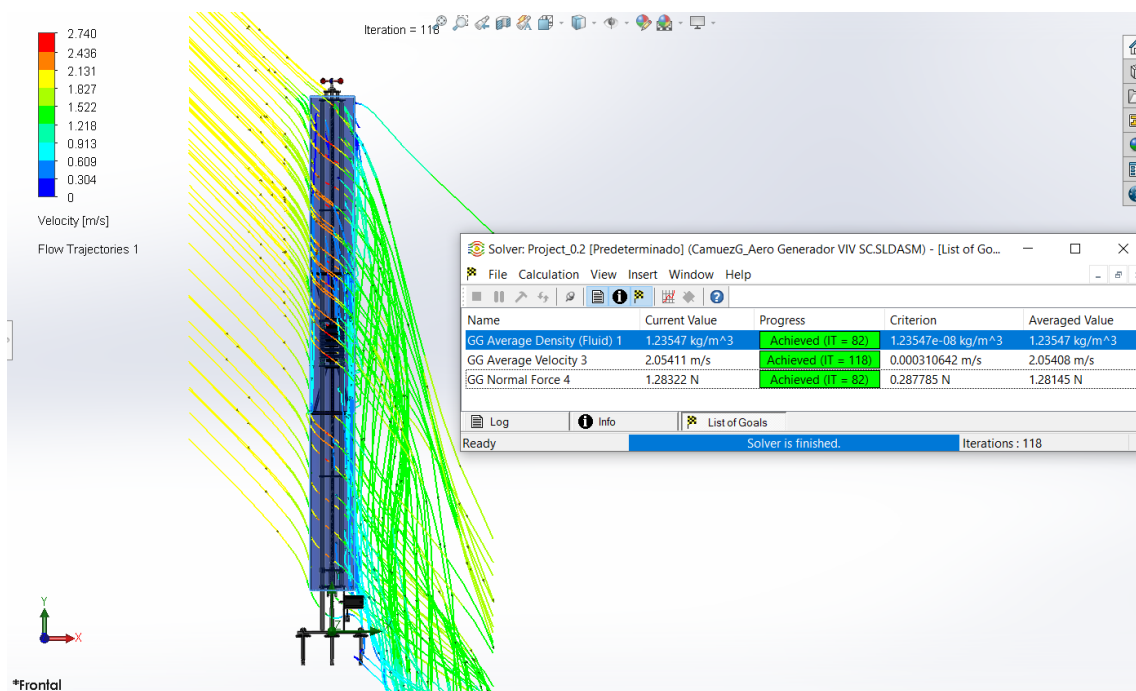
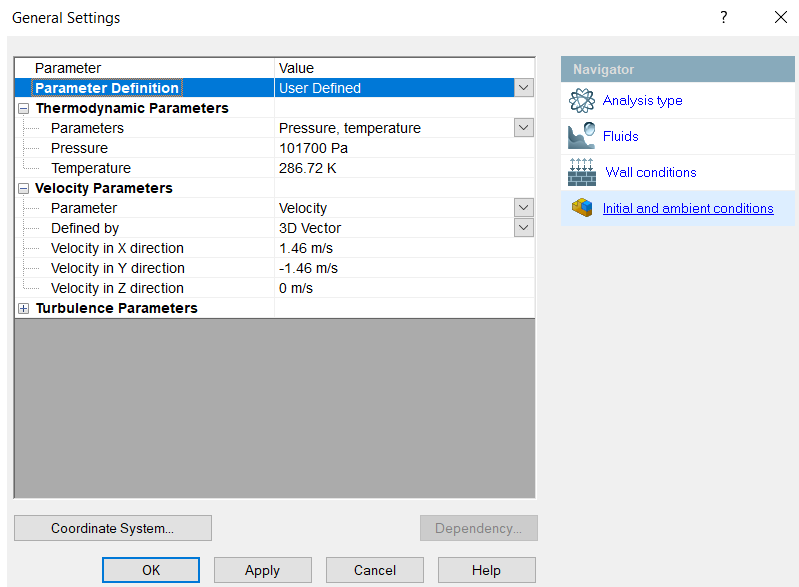




**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**Anexo 39.** Simulación del aerogenerador sin aspas del día 22 de marzo





# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

### CARRERA DE ELECTRICIDAD



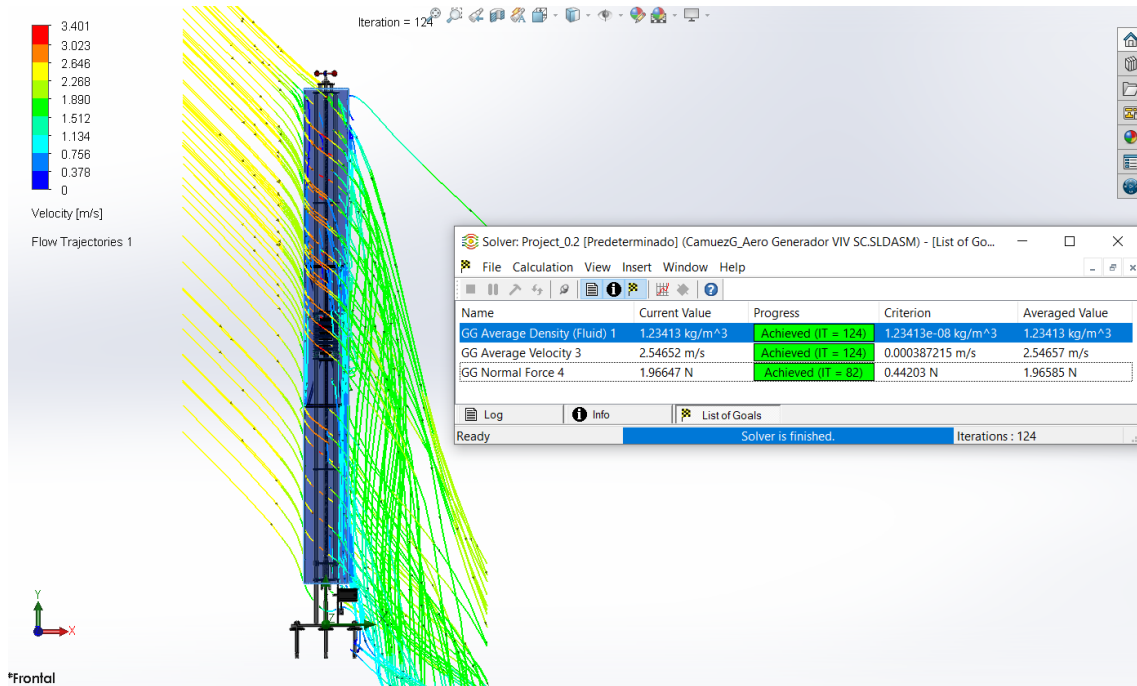
#### Anexo 40. Simulación del aerogenerador sin aspas del día 23 de marzo

General Settings

Parameter	Value
<b>Parameter Definition</b>	User Defined
<b>Thermodynamic Parameters</b>	
Parameters	Pressure, temperature
Pressure	101700 Pa
Temperature	287.03 K
<b>Velocity Parameters</b>	
Parameter	Velocity
Defined by	3D Vector
Velocity in X direction	1.81 m/s
Velocity in Y direction	-1.81 m/s
Velocity in Z direction	0 m/s
<b>Turbulence Parameters</b>	

Coordinate System... Dependency...

OK Apply Cancel Help





# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

### CARRERA DE ELECTRICIDAD



#### Anexo 41. Simulación del aerogenerador sin aspas del día 24 de marzo

General Settings

Parameter	Value
Parameter Definition	User Defined
<b>Thermodynamic Parameters</b>	
Parameters	Pressure, temperature
Pressure	101700 Pa
Temperature	286.66 K
<b>Velocity Parameters</b>	
Parameter	Velocity
Defined by	3D Vector
Velocity in X direction	1.67 m/s
Velocity in Y direction	-1.67 m/s
Velocity in Z direction	0 m/s
<b>Turbulence Parameters</b>	

Coordinate System... Dependency...

OK Apply Cancel Help

Navigator

- Analysis type
- Fluids
- Wall conditions
- Initial and ambient conditions

Iteration = 118

Velocity [m/s]

Flow Trajectories 1

\*Frontal

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
GG Average Density (Fluid) 1	1.23572 kg/m <sup>3</sup>	Achieved (IT = 105)	1.23572e-08 kg/m <sup>3</sup>	1.23572 kg/m <sup>3</sup>
GG Average Velocity 3	2.34964 m/s	Achieved (IT = 118)	0.000352826 m/s	2.3496 m/s
GG Normal Force 4	1.67834 N	Achieved (IT = 82)	0.376526 N	1.67647 N

Ready Solver is finished. Iterations : 118



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**Anexo 42.** Simulación del aerogenerador sin aspas del día 25 de marzo

General Settings

Parameter	Value
Parameter Definition	User Defined
<b>Thermodynamic Parameters</b>	
Parameters	Pressure, temperature
Pressure	101700 Pa
Temperature	286.64 K
<b>Velocity Parameters</b>	
Parameter	Velocity
Defined by	3D Vector
Velocity in X direction	2.3 m/s
Velocity in Y direction	-2.3 m/s
Velocity in Z direction	0 m/s
<b>Turbulence Parameters</b>	

Coordinate System... Dependency...

OK Apply Cancel Help

Iteration = 127

Velocity [m/s]

Flow Trajectories 1

\*Frontal

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
GG Average Density (Fluid) 1	1.23581 kg/m <sup>3</sup>	Achieved (IT = 127)	1.23501e-08 kg/m <sup>3</sup>	1.23581 kg/m <sup>3</sup>
GG Average Velocity 3	3.23617 m/s	Achieved (IT = 111)	0.000501879 m/s	3.23627 m/s
GG Normal Force 4	3.16072 N	Achieved (IT = 82)	0.714485 N	3.17136 N

Ready Solver is finished. Iterations: 127



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

### CARRERA DE ELECTRICIDAD

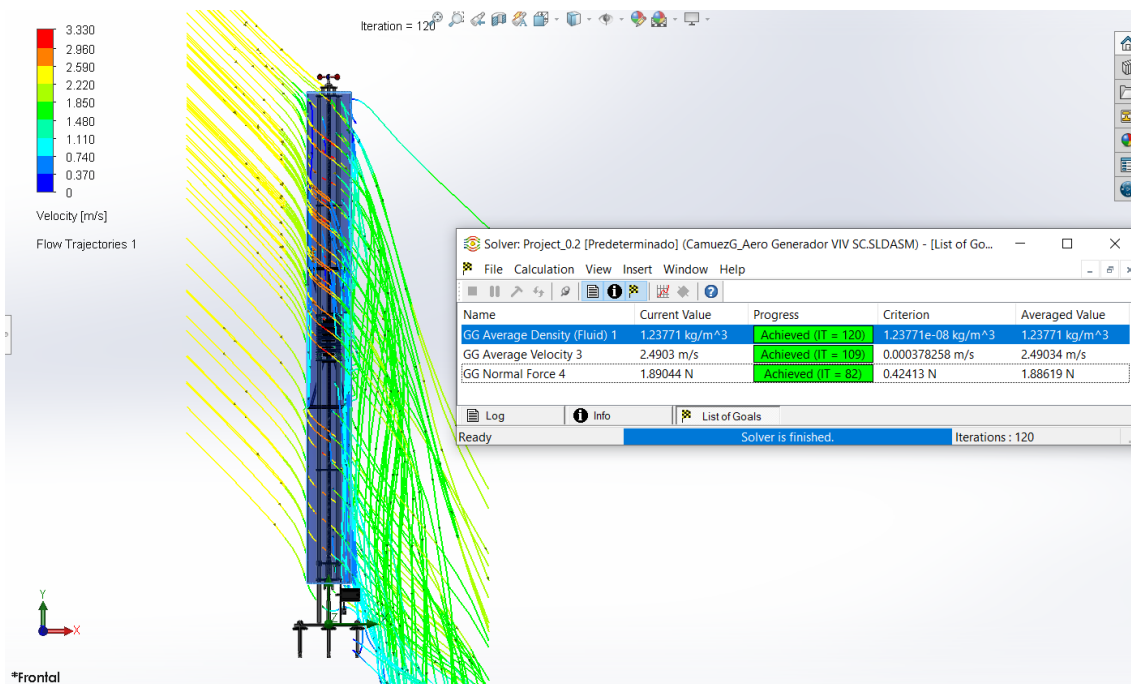


### Anexo 43. Simulación del aerogenerador sin aspas del día 26 de marzo

General Settings

Parameter	Value
<b>Parameter Definition</b>	User Defined
<b>Thermodynamic Parameters</b>	
Parameters	Pressure, temperature
Pressure	101700 Pa
Temperature	286.2 K
<b>Velocity Parameters</b>	
Parameter	Velocity
Defined by	3D Vector
Velocity in X direction	1.77 m/s
Velocity in Y direction	-1.77 m/s
Velocity in Z direction	0 m/s
<b>Turbulence Parameters</b>	

Buttons: OK, Apply, Cancel, Help

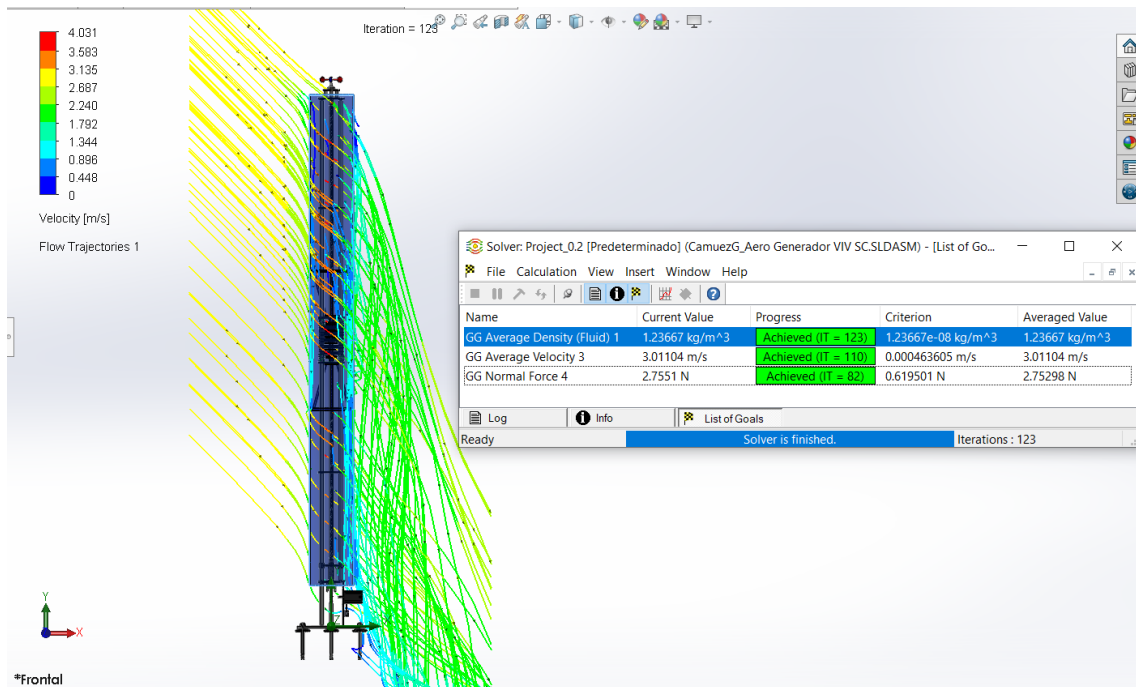
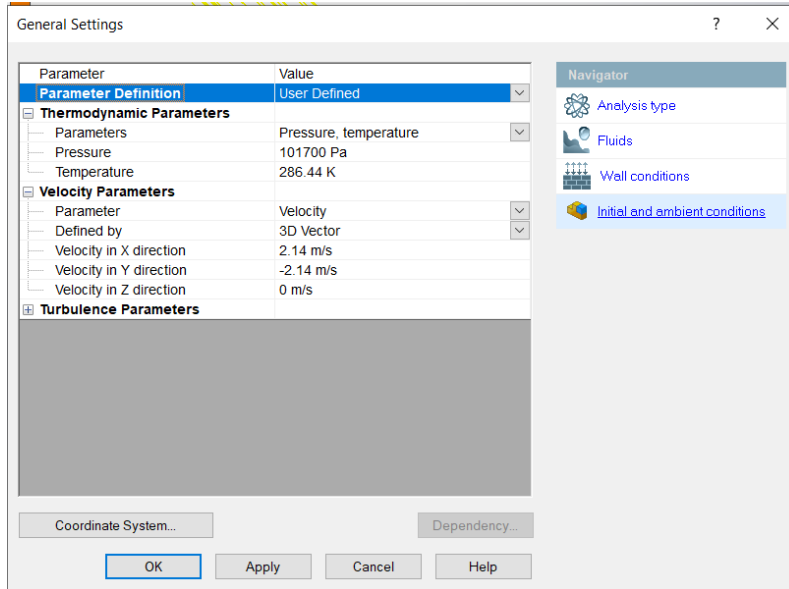




**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**Anexo 44.** Simulación del aerogenerador sin aspas del día 27 de marzo





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**Anexo 45.** Simulación del aerogenerador sin aspas del día 28 de marzo

General Settings

Parameter	Value
<b>Parameter Definition</b>	User Defined
<b>Thermodynamic Parameters</b>	
Parameters	Pressure, temperature
Pressure	101700 Pa
Temperature	285.31 K
<b>Velocity Parameters</b>	
Parameter	Velocity
Defined by	3D Vector
Velocity in X direction	2.41 m/s
Velocity in Y direction	-2.41 m/s
Velocity in Z direction	0 m/s
<b>Turbulence Parameters</b>	

Coordinate System... Dependency...

OK Apply Cancel Help

Iteration = 122

Velocity [m/s]  
Flow Trajectories 1

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
GG Average Density (Fluid) 1	1.24157 kg/m <sup>3</sup>	Achieved (IT = 122)	1.31875e-08 kg/m <sup>3</sup>	1.24157 kg/m <sup>3</sup>
GG Average Velocity 3	3.39117 m/s	Achieved (IT = 110)	0.000522843 m/s	3.39104 m/s
GG Normal Force 4	3.50351 N	Achieved (IT = 82)	0.78795 N	3.50498 N

Log Info List of Goals

Ready Solver is finished. Iterations : 122

\*Frontal



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**Anexo 46.** Simulación del aerogenerador sin aspas del día 29 de marzo

General Settings

Parameter	Value
Parameter Definition	User Defined
<b>Thermodynamic Parameters</b>	
Parameters	Pressure, temperature
Pressure	101700 Pa
Temperature	285.6 K
<b>Velocity Parameters</b>	
Parameter	Velocity
Defined by	3D Vector
Velocity in X direction	1.41 m/s
Velocity in Y direction	-1.41 m/s
Velocity in Z direction	0 m/s
<b>Turbulence Parameters</b>	

Coordinate System... Dependency...

OK Apply Cancel Help

Iteration = 110

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
GG Average Density (Fluid) 1	1.24031 kg/m <sup>3</sup>	Achieved (IT = 82)	1.24031e-08 kg/m <sup>3</sup>	1.24031 kg/m <sup>3</sup>
GG Average Velocity 3	1.98378 m/s	Achieved (IT = 110)	0.000300653 m/s	1.98383 m/s
GG Normal Force 4	1.20248 N	Achieved (IT = 82)	0.269399 N	1.19877 N

Ready Solver is finished. Iterations : 110



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

### CARRERA DE ELECTRICIDAD



#### Anexo 47. Simulación del aerogenerador sin aspas del día 30 de marzo

General Settings

Parameter	Value
Parameter Definition	User Defined
<b>Thermodynamic Parameters</b>	
Parameters	Pressure, temperature
Pressure	101700 Pa
Temperature	286.63 K
<b>Velocity Parameters</b>	
Parameter	Velocity
Defined by	3D Vector
Velocity in X direction	1.4 m/s
Velocity in Y direction	1.4 m/s
Velocity in Z direction	0 m/s
<b>Turbulence Parameters</b>	

Coordinate System... Dependency...

OK Apply Cancel Help

Navigator

- Analysis type
- Fluids
- Wall conditions
- Initial and ambient conditions

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
GG Average Density (Fluid) 1	1.23585 kg/m <sup>3</sup>	Achieved (IT = 82)	1.23585e-08 kg/m <sup>3</sup>	1.23585 kg/m <sup>3</sup>
GG Average Velocity 3	1.96843 m/s	Achieved (IT = 121)	0.000284873 m/s	1.96849 m/s
GG Normal Force 4	1.13334 N	Achieved (IT = 82)	0.262883 N	1.13571 N

Ready Solver is finished. Iterations: 121



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**Anexo 48.** Simulación del aerogenerador sin aspas del día 31 de marzo

General Settings

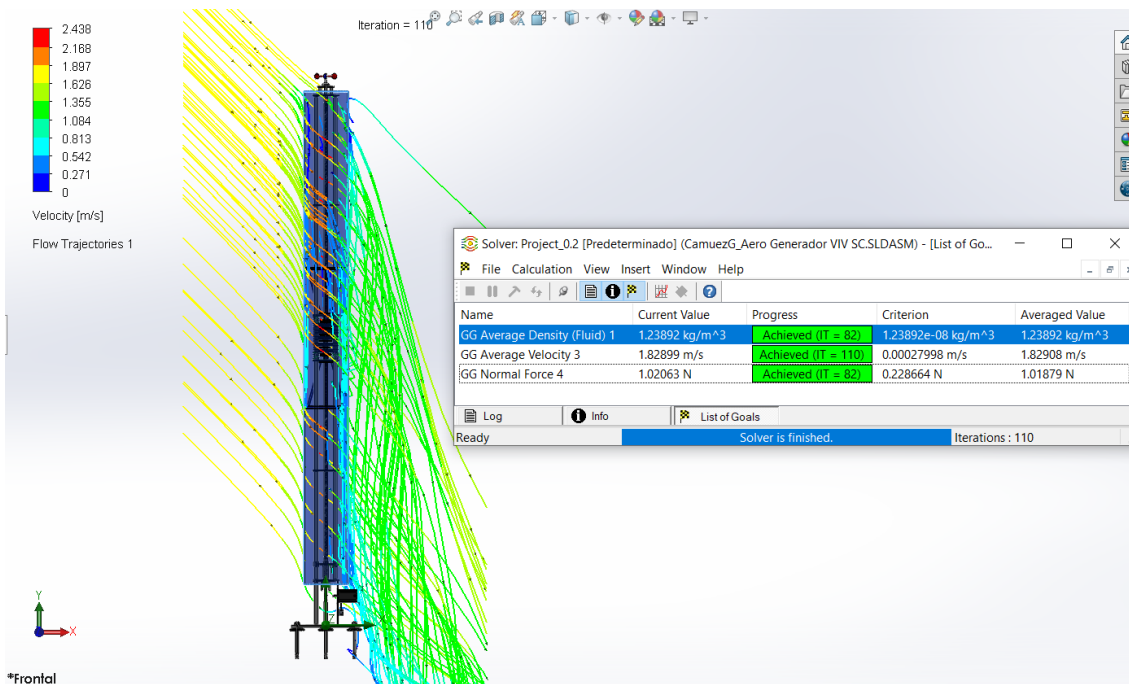
Parameter	Value
<b>Parameter Definition</b>	User Defined
<b>Thermodynamic Parameters</b>	
Parameters	Pressure, temperature
Pressure	101700 Pa
Temperature	285.92 K
<b>Velocity Parameters</b>	
Parameter	Velocity
Defined by	3D Vector
Velocity in X direction	1.3 m/s
Velocity in Y direction	-1.3 m/s
Velocity in Z direction	0 m/s
<b>Turbulence Parameters</b>	

Coordinate System... Dependency...

OK Apply Cancel Help

Navigator

- Analysis type
- Fluids
- Wall conditions
- Initial and ambient conditions





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**Anexo 49.** Simulación del aerogenerador sin aspas del día 1 de abril

General Settings

Parameter	Value
Parameter Definition	User Defined
<b>Thermodynamic Parameters</b>	
Parameters	Pressure, temperature
Pressure	101700 Pa
Temperature	285.99 K
<b>Velocity Parameters</b>	
Parameter	Velocity
Defined by	3D Vector
Velocity in X direction	1.98 m/s
Velocity in Y direction	-1.98 m/s
Velocity in Z direction	0 m/s
<b>Turbulence Parameters</b>	

Coordinate System... Dependency...

OK Apply Cancel Help

Iteration = 122

Velocity [m/s]  
Flow Trajectories 1

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
GG Average Density (Fluid) 1	1.23862 kg/m <sup>3</sup>	Achieved (IT = 122)	1.23862e-08 kg/m <sup>3</sup>	1.23862 kg/m <sup>3</sup>
GG Average Velocity 3	2.7859 m/s	Achieved (IT = 110)	0.000428889 m/s	2.78596 m/s
GG Normal Force 4	2.36465 N	Achieved (IT = 82)	0.531002 N	2.36175 N

Ready Solver is finished. Iterations : 122

\*Frontal



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

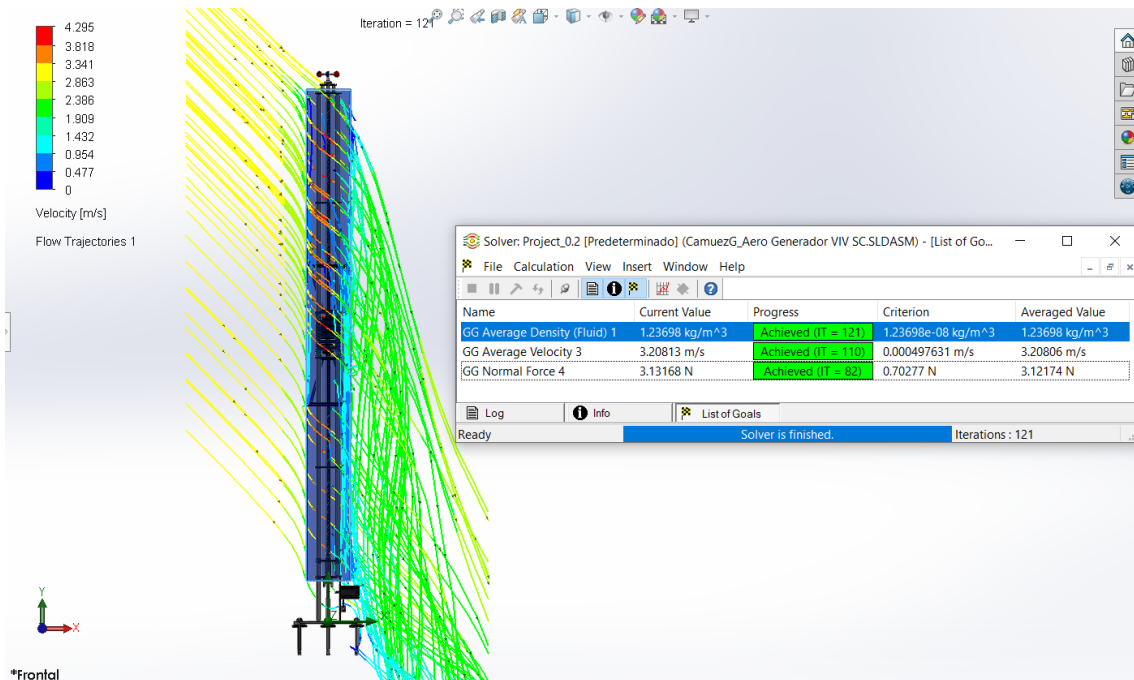
### CARRERA DE ELECTRICIDAD



### Anexo 50. Simulación del aerogenerador sin aspas del día 2 de abril

General Settings

Parameter	Value
Parameter Definition	User Defined
<b>Thermodynamic Parameters</b>	
Parameters	Pressure, temperature
Pressure	101700 Pa
Temperature	286.37 K
<b>Velocity Parameters</b>	
Parameter	Velocity
Defined by	3D Vector
Velocity in X direction	2.28 m/s
Velocity in Y direction	-2.28 m/s
Velocity in Z direction	0 m/s
<b>Turbulence Parameters</b>	







**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**Anexo 52.** Simulación del aerogenerador sin aspas del día 4 de abril

General Settings

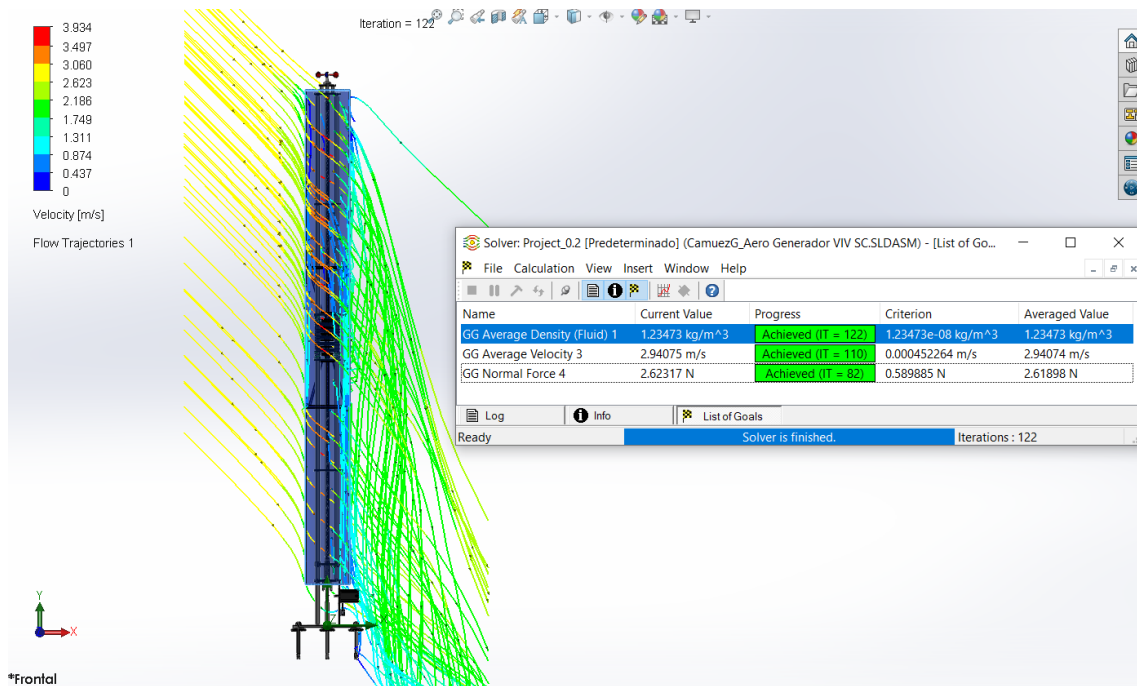
Parameter	Value
Parameter Definition	User Defined
<b>Thermodynamic Parameters</b>	
Parameters	Pressure, temperature
Pressure	101700 Pa
Temperature	286.89 K
<b>Velocity Parameters</b>	
Parameter	Velocity
Defined by	3D Vector
Velocity in X direction	2.09 m/s
Velocity in Y direction	-2.09 m/s
Velocity in Z direction	0 m/s
<b>Turbulence Parameters</b>	

Coordinate System... Dependency...

OK Apply Cancel Help

Navigator

- Analysis type
- Fluids
- Wall conditions
- Initial and ambient conditions





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**Anexo 53.** Simulación del aerogenerador sin aspas del día 5 de abril

General Settings

Parameter	Value
Parameter Definition	User Defined
<b>Thermodynamic Parameters</b>	
Parameters	Pressure, temperature
Pressure	101700 Pa
Temperature	286.46 K
<b>Velocity Parameters</b>	
Parameter	Velocity
Defined by	3D Vector
Velocity in X direction	2.34 m/s
Velocity in Y direction	-2.34 m/s
Velocity in Z direction	0 m/s
<b>Turbulence Parameters</b>	

Coordinate System... Dependency...

OK Apply Cancel Help

Navigator

- Analysis type
- Fluids
- Wall conditions
- Initial and ambient conditions

Iteration = 126

Velocity [m/s]

Flow Trajectories 1

\*Frontal

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
GG Average Density (Fluid) 1	1.23659 kg/m <sup>3</sup>	Achieved (IT = 126)	1.23659e-08 kg/m <sup>3</sup>	1.23659 kg/m <sup>3</sup>
GG Average Velocity 3	3.29241 m/s	Achieved (IT = 111)	0.000508102 m/s	3.29252 m/s
GG Normal Force 4	3.28518 N	Achieved (IT = 82)	0.740027 N	3.2822 N

Ready Solver is finished. Iterations : 126



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



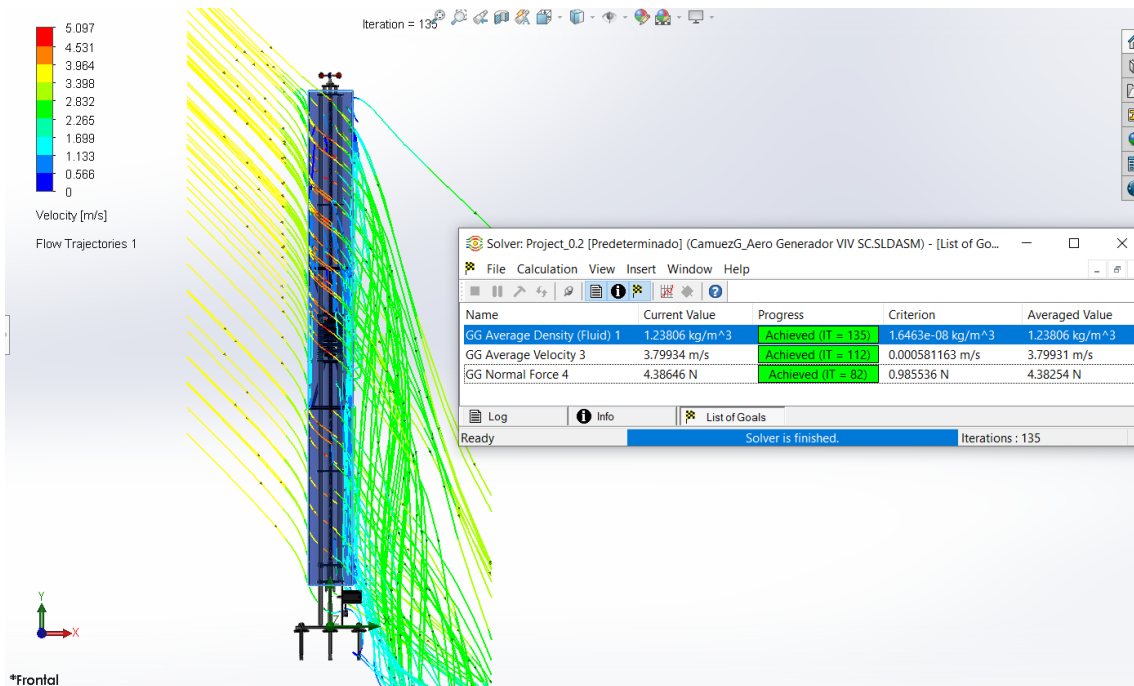
**Anexo 54.** Simulación del aerogenerador sin aspas del día 6 de abril

General Settings

Parameter	Value
Parameter Definition	User Defined
<b>Thermodynamic Parameters</b>	
Parameters	Pressure, temperature
Pressure	101700 Pa
Temperature	286.12 K
<b>Velocity Parameters</b>	
Parameter	Velocity
Defined by	3D Vector
Velocity in X direction	2.7 m/s
Velocity in Y direction	-2.7 m/s
Velocity in Z direction	0 m/s
<b>Turbulence Parameters</b>	

Coordinate System... Dependency...

OK Apply Cancel Help





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**Anexo 55.** Simulación del aerogenerador sin aspas del día 7 de abril

General Settings

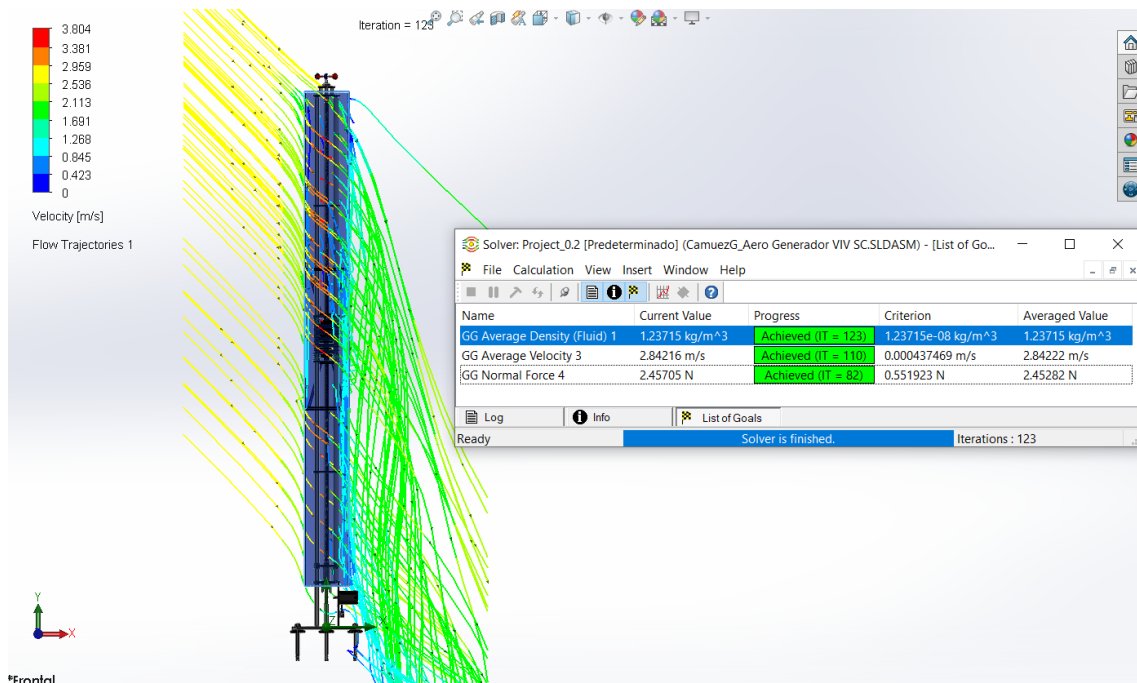
Parameter	Value
Parameter Definition	User Defined
<b>Thermodynamic Parameters</b>	
Parameters	Pressure, temperature
Pressure	101700 Pa
Temperature	286.33 K
<b>Velocity Parameters</b>	
Parameter	Velocity
Defined by	3D Vector
Velocity in X direction	2.02 m/s
Velocity in Y direction	-2.02 m/s
Velocity in Z direction	0 m/s
<b>Turbulence Parameters</b>	

Coordinate System... Dependency...

OK Apply Cancel Help

Navigator

- Analysis type
- Fluids
- Wall conditions
- Initial and ambient conditions





# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

### CARRERA DE ELECTRICIDAD



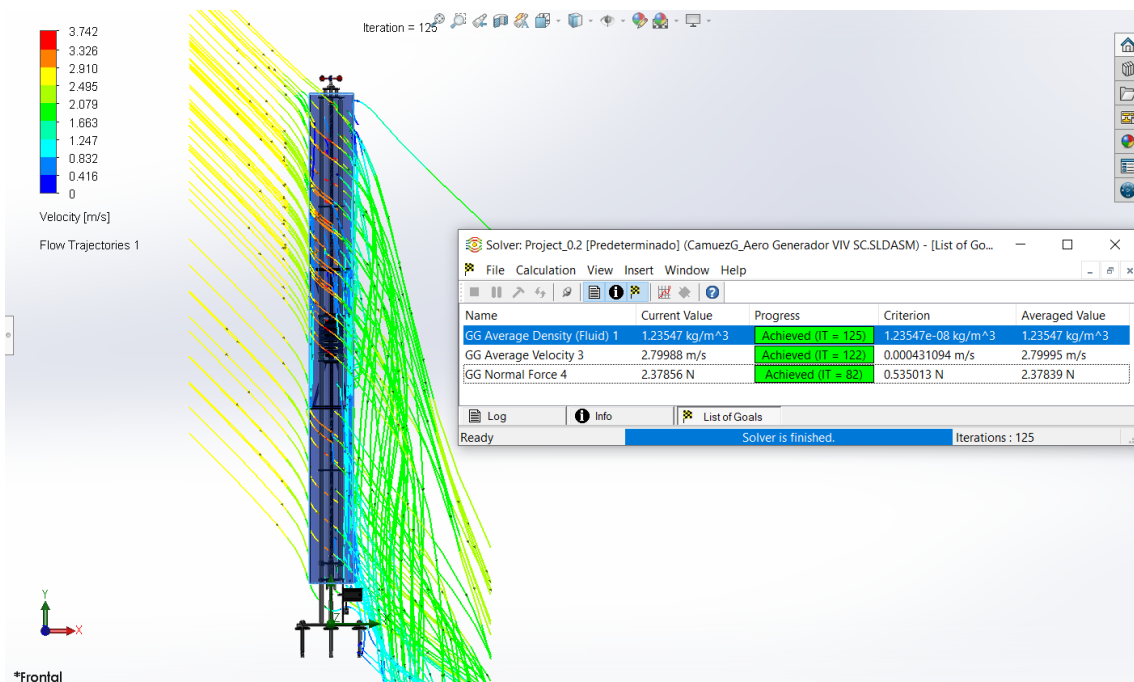
### Anexo 56. Simulación del aerogenerador sin aspas del día 8 de abril

General Settings

Parameter	Value
<b>Parameter Definition</b>	User Defined
<b>Thermodynamic Parameters</b>	
Parameters	Pressure, temperature
Pressure	101700 Pa
Temperature	286.72 K
<b>Velocity Parameters</b>	
Parameter	Velocity
Defined by	3D Vector
Velocity in X direction	1.99 m/s
Velocity in Y direction	-1.99 m/s
Velocity in Z direction	0 m/s
<b>Turbulence Parameters</b>	

Coordinate System... Dependency...

OK Apply Cancel Help





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**Anexo 57.** Simulación del aerogenerador sin aspas del día 9 de abril

General Settings

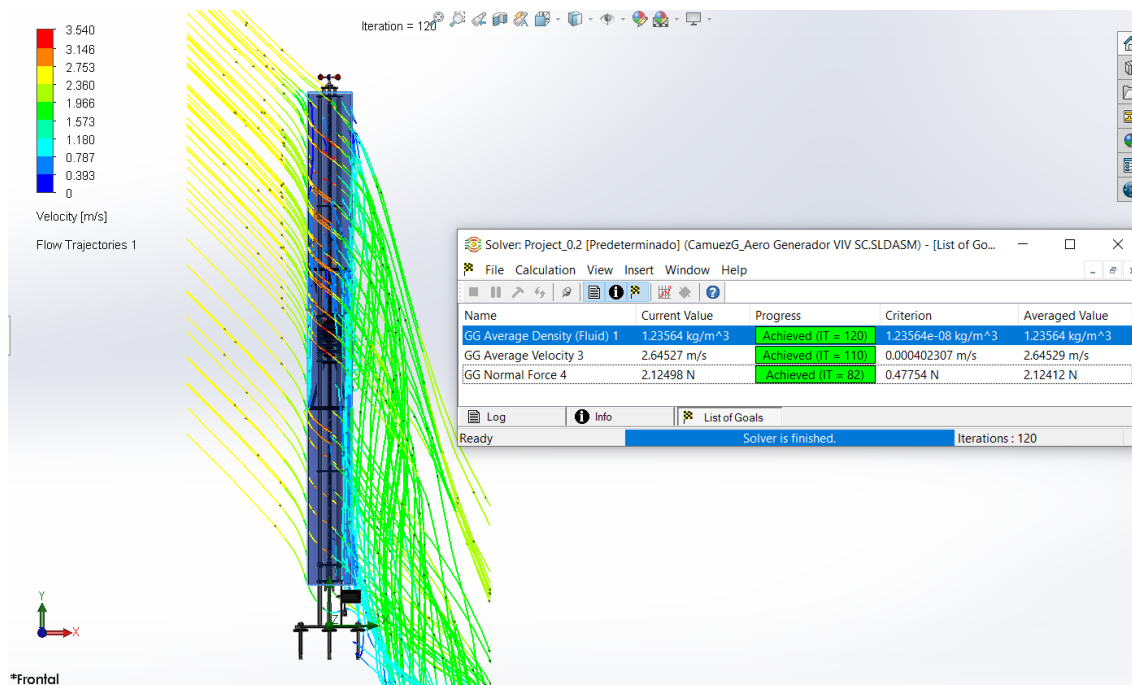
Parameter	Value
Parameter Definition	User Defined
<b>Thermodynamic Parameters</b>	
Parameters	Pressure, temperature
Pressure	101700 Pa
Temperature	286.68 K
<b>Velocity Parameters</b>	
Parameter	Velocity
Defined by	3D Vector
Velocity in X direction	1.88 m/s
Velocity in Y direction	-1.88 m/s
Velocity in Z direction	0 m/s
<b>Turbulence Parameters</b>	

Coordinate System... Dependency...

OK Apply Cancel Help

**Navigator**

- Analysis type
- Fluids
- Wall conditions
- Initial and ambient conditions





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**Anexo 58.** Simulación del aerogenerador sin aspas del día 10 de abril

General Settings

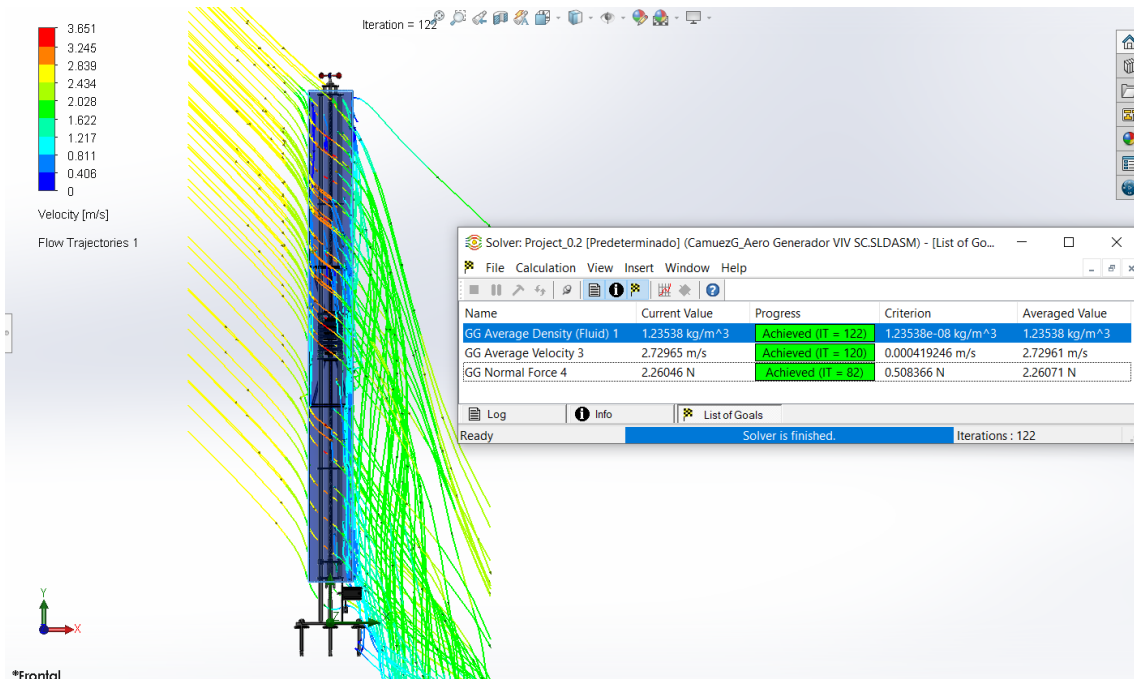
Parameter	Value
Parameter Definition	User Defined
<b>Thermodynamic Parameters</b>	
Parameters	Pressure, temperature
Pressure	101700 Pa
Temperature	286.74 K
<b>Velocity Parameters</b>	
Parameter	Velocity
Defined by	3D Vector
Velocity in X direction	1.94 m/s
Velocity in Y direction	-1.94 m/s
Velocity in Z direction	0 m/s
<b>Turbulence Parameters</b>	

Coordinate System... Dependency...

OK Apply Cancel Help

Navigator

- Analysis type
- Fluids
- Wall conditions
- Initial and ambient conditions





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**Anexo 59.** Simulación del aerogenerador sin aspas del día 11 de abril

General Settings

Parameter	Value
Parameter Definition	User Defined
<b>Thermodynamic Parameters</b>	
Parameters	Pressure, temperature
Pressure	101700 Pa
Temperature	286.54 K
<b>Velocity Parameters</b>	
Parameter	Velocity
Defined by	3D Vector
Velocity in X direction	2.07 m/s
Velocity in Y direction	-2.07 m/s
Velocity in Z direction	0 m/s
<b>Turbulence Parameters</b>	

Coordinate System... Dependency...

OK Apply Cancel Help

Iteration = 121

Velocity [m/s]

Flow Trajectories 1

\*Frontal

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
GG Average Density (Fluid) 1	1.23624 kg/m <sup>3</sup>	Achieved (IT = 121)	1.23624e-08 kg/m <sup>3</sup>	1.23624 kg/m <sup>3</sup>
GG Average Velocity 3	2.91264 m/s	Achieved (IT = 110)	0.00044811 m/s	2.91258 m/s
GG Normal Force 4	2.57705 N	Achieved (IT = 82)	0.579358 N	2.57499 N

Ready Solver is finished. Iterations : 121



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**Anexo 60.** Simulación del aerogenerador sin aspas del día 12 de abril

General Settings

Parameter	Value
<b>Parameter Definition</b>	User Defined
<b>Thermodynamic Parameters</b>	
Parameters	Pressure, temperature
Pressure	101700 Pa
Temperature	286.19 K
<b>Velocity Parameters</b>	
Parameter	Velocity
Defined by	3D Vector
Velocity in X direction	2.83 m/s
Velocity in Y direction	-2.83 m/s
Velocity in Z direction	0 m/s
<b>Turbulence Parameters</b>	

Coordinate System... Dependency...

OK Apply Cancel Help

Navigator

- Analysis type
- Fluids
- Wall conditions
- Initial and ambient conditions

Iteration = 133

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
GG Average Density (Fluid) 1	1.23775 kg/m <sup>3</sup>	Achieved (IT = 133)	1.80607e-08 kg/m <sup>3</sup>	1.23775 kg/m <sup>3</sup>
GG Average Velocity 3	3.9821 m/s	Achieved (IT = 110)	0.000606361 m/s	3.98211 m/s
GG Normal Force 4	4.80199 N	Achieved (IT = 82)	1.08246 N	4.79864 N

Ready Solver is finished. Iterations : 133

\*Frontal



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-010-CES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**

**Cronograma de actividades**

OBJETIVO	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	Actividades											%Ponderado			
<b>GENERAL</b>  Estimar la capacidad de generación eléctrica producida por un aerogenerador resonante sin aspas en el edificio de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas mediante el uso de las variables de velocidad y dirección del viento.	Describir la tecnología del aerogenerador resonante sin aspas.	<b>Actividad 1:</b> Investigar bibliografías, artículos, documentos técnicos sobre los aerogeneradores resonantes sin aspas <b>Actividad 2:</b> Analizar el mecanismo del aerogenerador resonantes sin aspas. <b>Actividad 3:</b> Investigar sobre novedades tecnológicas y los progresos de los aerogeneradores sin aspas.													100%	
	Determinar el potencial de energía eólica disponible en el edificio de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.	<b>Actividad 1:</b> Estudiar el entorno de la facultad, considerando la ubicación geográfica, la altura y presencia de obstáculos. <b>Actividad 2:</b> Recopilar datos sobre la velocidad del viento y dirección. <b>Actividad 3:</b> Analizar el perfil de viento para calcular como se distribuye la velocidad y dirección del viento.														100%
	Estimar la capacidad de generación eléctrica del aerogenerador sin aspas en función de diferentes variables, como la dirección y velocidad del viento.	<b>Actividad 1:</b> Simular en Solid Works tomando en cuenta los parámetros medidos para estimar el potencial eléctrico <b>Actividad 2:</b> Realizar una estimación de la capacidad de generación eléctrica disponible en la facultad.														100%



### Recursos y presupuesto

Nº	RUBROS	GASTOS (\$)	PORCENTAJE
1	Impresiones a color	25,00	4%
2	Impresiones a blanco y negro	50,00	10%
3	Extensión de cable con tomacorriente	7,00	3%
4	Internet	224,00	48%
5	Tacos fischer, broca y tornillos	4,00	2%
6	Transporte	100,00	23%
7	Imprevistos (10%)	41,00	10%
	TOTAL	451,00	100%