

<b>UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS" - FACULTAD TECNOLÓGICA</b>		
<b>PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA</b>		
<b>FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO</b>		
<b>Nº DE RADICACIÓN:</b> _____		
<b>INFORMACIÓN EJECUTORES</b>		
<b>Ejecutor 1</b>		
Nombre (s):	Juan Camilo	
Apellido (s):	Avila Herrera	
Código:	20162375291	
E-mail:	Jucaavhe@hotmail.com	
Teléfono fijo:	8003454	
Celular:	3144306550	
<b>INFORMACIÓN DEL PROYECTO</b>		
Título del Proyecto:	Análisis y optimización aerodinámica del prototipo de turbina eólica tipo savonius implementado en la facultad tecnológica	
Duración (estimada):	6 meses	
Tipo de Proyecto: (Marqué con una "x")	Innovación y Desarrollo Tecnológico	<input checked="" type="checkbox"/>
	Prestación y Servicios Tecnológicos	<input type="checkbox"/>
	Otro	<input type="checkbox"/>
Modalidad del Trabajo de Grado:	Monografía	
Línea de Investigación de la Facultad*:	Desarrollo tecnológico local e institucional	
Línea de Investigación del Proyecto Curricular**:	Diseño en ingeniería mecánica. Ecoingeniería.	
Grupo de Investigación:		
Proyecto de Investigación:		
Áreas del conocimiento que involucra:	Mecánica de Fluidos. Diseño por elementos finitos. Aerodinámica. Diseño Asistido por Computadora.	
<b>INFORMACIÓN PASANTÍA</b>		
Nombre de la empresa:		
Dirección:		
Teléfonos:		
Correo electrónico:		
<b>INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA</b>		
Director: (Vo. Bo.)	Carlos Arturo Bohórquez Avila	
Proyecto de Pasantía: (Tutor): (Vo. Bo.)		
Formulación Proyecto de Grado: (Profesor): (Vo. Bo.)	Carlos Arturo Bohórquez Avila	

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	5
0. INTRODUCCION.....	5
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	5
1.1. Estado del arte .....	6
1.2. Justificación .....	7
2. OBJETIVOS.....	8
2.1. Objetivo general .....	8
2.2. Objetivos específicos.....	8
3. MARCO TEORICO.....	8
3.1. Energía eólica .....	8
3.2. Turbina eólica .....	9
3.3. Turbina Savonius.....	10
3.4. ley de Betz .....	11
3.5. Modelos de turbulencia .....	12
3.6. Modelo k-epsilon .....	12
4. METODOLOGIA .....	13
4.1. Fase documental .....	13
4.2. Fase de modelamiento.....	13
4.3. Fase análisis computacional.....	13
4.4. Fase de optimización.....	14
4.5. Fase elaboración de metodología de análisis y tesis de grado .....	14
5. CRONOGRAMA .....	15
6. PRESUPUESTO .....	16
7. BIBLIOGRAFIA .....	18

## INDICE DE FIGURAS

Imagen 1: Irradiación solar .....	9
Imagen 2: Turbina eolica .....	10
Imagen 3: Perfil frontal turbina Savonius .....	11
Imagen 4: modelo de Betz .....	11

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: cronograma .....	15
Tabla 2: Recursos humanos asociados.....	16
Tabla 3: Gastos en herramientas informáticas .....	16
Tabla 4: Gastos generales .....	17
Tabla 5: Presupuesto general del proyecto .....	17

Resumen: la energía eólica es una gran fuente de energía limpia disponible para su consumo, que puede llegar a ser aprovechada tanto por personas que tienen dificultades a la hora de acceder a las redes eléctricas como también por las personas que tengan la disponibilidad de espacio. Como las corrientes de aire son intermitentes este tipo de energía puede presentar problemas de estabilidad, por lo cual se plantea la necesidad de aprovechar al máximo los flujos de aire de los que disponga mediante la optimización aerodinámica de los alabes de los generadores eléctricos impulsados por energía eólica.

## 0. INTRODUCCION

En el siguiente trabajo se pretende realizar un análisis aerodinámico de una turbina de tipo savonius ya implementada y puesta en funcionamiento, la cual aunque está diseñada para trabajar con bajas corrientes de aire, no aprovecha todo el potencial eólico que pueda existir en las zonas circundantes a la universidad Distrital Francisco José de Caldas Facultad Tecnológica, donde esta implementada. Para esto se va a realizar un análisis de la turbina en un software especializado en estudios aerodinámicos llamado ANSYS, el cual tiene un paquete destinado para este tipo de investigaciones llamado FLUENT.

No solo se trata de realizar dicho estudio aerodinámico, sino que a través de este mismo encontrar las variables geométricas que cambiándolas puedan aumentar la eficiencia de la turbina respecto a la cantidad de aire que entra en contacto con esta. Además, debido a la poca documentación existente para realizar análisis aerodinámicos se plantea la necesidad de crear una metodología documentada que guíe y motive a futuros investigadores a desarrollar simulaciones precisas de prototipos en ANSYS.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Existe en Colombia la necesidad de desarrollar maneras alternativas de generación de energía no solo por la problemática ambiental que se está viviendo a nivel mundial, sino que además en países como este el acceso a la energía eléctrica no está a disposición de toda su población, aparte de que existe una dependencia casi general por las hidroeléctricas distribuidas por todo el país y esto significa un problema en casos de sequías o fenómenos naturales que caractericen la falta de lluvias; por lo cual se deben desarrollar tecnologías que permitan obtener energía en lugares remotos, que

sean eficientes con los recursos que dispongan y que además sean amigables con el medio ambiente.

La energía eólica ya se ha empezado a usar en Colombia, existe una planta de generación en la Guajira que produce una cantidad importante de la electricidad a nivel nacional, conociendo su potencial eólico el país ve en esta tecnología la salida a la dependencia por las hidroeléctricas; Para esto las universidades que son las que actúan como referentes del desarrollo científico colombiano están empezando a desarrollar metodologías para la aplicación de análisis aerodinámicos basados en software específicos sobre turbinas impulsadas por corrientes de aire, de esta manera se busca crear u optimizar aletas que sean mucho más eficientes para regiones que tengan un promedio de corrientes más bien bajo.

En semestres anteriores, estudiantes de ingeniería mecánica de la Universidad Distrital Francisco José De Caldas facultad Tecnológica realizaron como proyecto de grado la construcción de un prototipo de turbina eólica en instalaciones de la universidad, el prototipo funciona pero debido a las pequeñas corrientes de aire que existen por esa área no genera la potencia esperada<sup>1</sup>. Por lo cual es adecuado realizar un análisis aerodinámico de dicha turbina en un software especializado como lo es ANSYS y su paquete FLUENT, al realizar un correcto análisis de la aleta se logra precisar si es posible mejorar el rendimiento de la misma a la hora de aprovechar las pocas ráfagas de viento así mismo hace falta crear y dejar documentada una metodología que contenga los pasos para realizar este tipo de análisis ya que en la actualidad no es mucha la información que existe en español de cómo manejar el programa y su uso es más bien limitado a personas con estudios muy avanzados.

### 1.1. Estado del arte:

Realizando una investigación completa de como otras personas han realizado análisis aerodinámicos en alabes se encontraron proyectos de grado con algún tipo de similitudes, por ejemplo estudiantes de la universidad libre de Colombia se encargaron de realizar un análisis de una micro turbina eólica para implementarla en la ciudad de Bogotá, por lo cual tuvieron que recurrir a varias fuentes de datos climatológicos como lo es el IDEAM para establecer en que parte de la ciudad existen mejores corrientes de aire para la implementación de dicha turbina, ellos decidieron también usar una turbina de tipo savonius, después de revisar la adecuada posición respecto a un edificio se realizó el análisis de la turbina bajo las condiciones a las cuales había quedado instalada, realizaron análisis CFD (Computacional fluid dynamics) en ANSYS principalmente de los edificios donde iba a ir instalada la turbina<sup>2</sup>. Algo muy importante fue el estudio de los ángulos de ataque de la turbina savonius, el cual fue seleccionado a partir de los resultados del software para cada valor del ángulo, teniendo en cuenta este factor importante se plantea como prioritario para el actual

---

<sup>1</sup>LUGO, Daniel y BOCANEGRA, Laura. (2015). Diseño y construcción de un prototipo de turbina eólica de 60 W, para suministro eléctrico de zonas urbanas. Tesis de ingeniería. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

<sup>2</sup>GUAUQUE, Edwin y TORRES, German. (2014). Análisis aerodinámico de una microturbina eólica de eje vertical para la generación de energía eléctrica en una zona urbana de Bogotá, Colombia. Tesis de ingeniería. Universidad Libre de Colombia.

proyecto de grado realizar un estudio completo de diferentes ángulos de ataque como un modo de optimización para la turbina implementada en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

En la universidad de Pereira se trabajó en el diseño de una turbina eólica de baja potencia bastante parecida a la construida en el proyecto que se está estudiando en cuestión, la autora realizo análisis estructurales con un software con las capacidades para esto como lo es SOLIDWORKS y el análisis aerodinámico lo realizo en la herramienta integrada SOLIDWORKS FLOW SIMULATION<sup>3</sup>, con estos análisis se asegura que los datos obtenidos dan fiabilidad a la hora de empezar con la construcción del prototipo, pero así mismo el autor asegura que se debe desarrollar un proyecto para la optimización del perfil de la aleta y la estructura metálica con un software que se integre directamente con programas CAD y se encargue de la optimización de este tipo de elementos, para este tipo de optimizaciones que requieren algoritmos específicos se cuenta con la gran herramienta computacional que es ANSYS el cual tiene la capacidad de leer archivos nativos de cualquier programa CAD a través de geometry interface o space claim.

Una investigación realizada por una empresa española dedicada al diseño de fuentes de energía alternativas se basó en realizar estudios aerodinámicos a distintos perfiles empleados en aerogeneradores de baja potencia, este estudio se realizó mediante ensayos en túneles de viento, de los cuales se pueden obtener datos muy confiables; se utilizaron para el análisis perfiles de distintas características buscando llegar a una conclusión clara de que parámetros se pueden asociar directamente a la eficiencia del perfil bajo análisis<sup>4</sup>. Los criterios que se pusieron a prueba principalmente fueron el coeficiente de arrastre y de sustentación, que a través de estos dos se obtiene una relación ( $C_i/C_d$ ) que permite que el coeficiente de potencia aumente y el radio de la turbina disminuya, además se tuvo en cuenta el ángulo de ataque ( $\alpha$ ) que caracteriza cuál de los dos coeficientes (de arrastre o de sustentación) tenga mayor influencia sobre el perfil. Por último y muy relacionado con el ángulo de ataque se valora el número de Reynolds que va a indicar si el tipo de flujo después de atravesar el perfil tiende a ser laminar o turbulento. El estudio se realizó para 5 distintos perfiles con el software especializado JavaFoil con el cual se pudo interpretar las presiones existentes sobre el extradós y el intradós; finalmente se concluyó que un factor muy importante para aumentar la potencia es tener una relación ( $C_i/C_d$ ) con un valor alto lo que significa que el perfil debe diseñarse de tal manera que genere poco arrastre y mucha sustentación lo cual finalmente podría disminuir el radio de la turbina, además se definió que el ángulo de ataque debe estar entre ( $6^\circ$  y  $8^\circ$ ) para que así se genere una sobre presión en la parte inferior y una depresión en la parte superior del perfil. Teniendo como base estos parámetros ya definidos a la hora de desarrollar el análisis aerodinámico en este proyecto se espera poder realizar una optimización de la turbina.

## 1.2. Justificación

---

<sup>3</sup> TORRES, Daniela. (2015). Diseño de un generador eólico de eje vertical de baja potencia. Tesis de ingeniería. Universidad Tecnológica De Pereira.

<sup>4</sup> CARANTOÑA, Alejandro. (2009). Análisis del Comportamiento Aerodinámico de Perfiles empleados en Aerogeneradores de Baja Potencia. Artículo investigativo. Empresa Fglongatt, programa de Fuentes Alternas de Energía y Generación Distribuida.

Las energías renovables son una salida que tiene la humanidad para preservar el medio ambiente del cual dispone e intentar revertir algunos fenómenos ocasionados por el cambio climático, por la tanto la ingeniería como una rama de la ciencia debe encargarse de optimizar estos tipos de sistemas de generación de energía de manera que puedan ser más eficientes con menos recursos. Una de las energías renovables más interesantes es la eólica, debido a que genera grandes cantidades de energía con un recurso del cual siempre se podrá contar (en mayor cantidad en regiones específicas) como lo son las corrientes de aire. A pesar de la gran eficiencia que puede tener las turbinas eólicas en la generación de energía existe el problema que no en todas las regiones del país se puede contar con grandes corrientes de aire, lo cual dificulta la implementación de estos generadores en diferentes lugares.

Conociendo la problemática ocasionada por la irregularidad en la distribución de las corriente eólicas se deja en claro la gran necesidad que existe de realizar una correcta elección de las aletas que van a transmitir la energía al generador eléctrico, de manera que se aproveche de la mejor manera los escasos flujos de aire que pasa por estas regiones. Es común en la actualidad que a la hora de construcciones de modelos aerodinámicos existan varios cálculos que puedan vislumbrar el futuro funcionamiento del equipo en condiciones ideales, pero son escasos los análisis por software asistido, hace falta documentación de fácil acceso que guíe en el proceso de modelado y estudio de sistemas aerodinámicos lo cual garantizaría su óptimo funcionamiento teniendo en cuenta distintas variables para la construcción.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo general:

Análisis y optimización aerodinámica de un modelo de turbina eólica de baja potencia tipo savonius construida e implementada por estudiantes en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas mediante el uso del software ANSYS – FLUENT.

### 2.2. Objetivos específicos:

- Establecer parámetros de análisis aerodinámico de gran influencia en la eficiencia de la turbina
- Rediseñar el modelo aerodinámico de la turbina tipo savonius para analizar su eficiencia en condiciones de trabajo.
- Realizar una metodología de análisis con el software ANSYS – FLUENT para su utilización como guía para futuros proyectos.

## 3. MARCO TEORICO



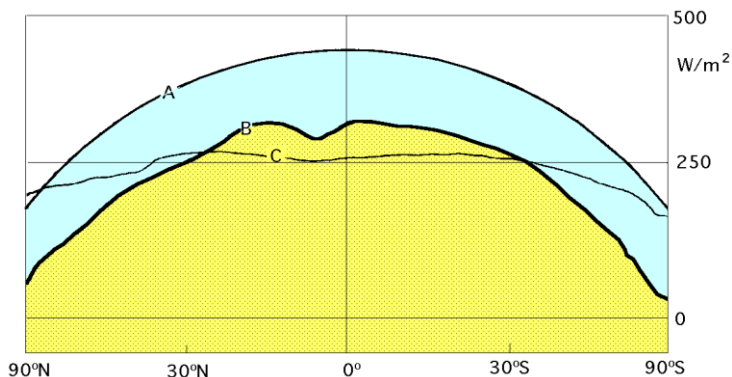
Para la elaboración y entendimiento del presente trabajo de grado es necesario tener claros ciertos conocimientos previos acerca de algunos temas en específico, para lo cual el marco teórico se encarga de dar a conocer este tipo de conceptos:

### 3.1. Energía eólica:

Se considera viento a toda masa de aire en movimiento, que surge como consecuencia del desigual calentamiento de la superficie terrestre, siendo la fuente de energía eólica, o mejor dicho, la energía mecánica que en forma de energía cinética transporta el aire en movimiento. La Tierra recibe una gran cantidad de energía procedente del Sol que en lugares favorables puede llegar a ser del orden de 2000 kW/m<sup>2</sup> anuales; el 2% de ella se transforma en energía eólica capaz de proporcionar una potencia del orden de 10 kW.

La Tierra funciona como una gran máquina térmica que transforma parte del calor solar en la energía cinética del viento, *imagen 1*. La energía eólica tiene como ventajas la de ser inagotable, gratuita y no lesiva al medio ambiente, pero cuenta también con los grandes inconvenientes de ser dispersa y aleatoria. Bajo la acción de la presión, el aire de la atmósfera se desplaza de un lugar a otro a diferentes velocidades, dando lugar al viento. El gradiente de velocidades es mayor cuanto mayor es la diferencia de presiones y su movimiento viene influenciado por el giro de la Tierra. Las causas principales del origen del viento son:

- La radiación solar que es más importante en el Ecuador que en los Polos
- La rotación de la Tierra que provoca desviaciones hacia la derecha en el Hemisferio Norte y hacia la izquierda en el Hemisferio Sur
- Las perturbaciones atmosféricas<sup>5</sup>.



*A) Irradiación solar sobre una superficie horizontal; B) Irradiación solar absorbida por la tierra; C) Irradiación solar radiada al espacio exterior*

*Imagen 1: irradiación solar*

<sup>5</sup> FERNANDEZ, pedro. (1993). Energía eólica. Servicio de publicaciones E.T.S.I Industriales y T. Santander, España

### 3.2. Turbina eólica:

Una turbina eólica es un dispositivo mecánico que convierte la energía del viento en electricidad. Las turbinas eólicas diseñan para convertir la energía del movimiento del viento (energía cinética) en la energía mecánica, movimiento de un eje. Luego en los generadores de la turbina, ésta energía mecánica se convierte en electricidad. La electricidad generada se puede almacenar en baterías, o utilizar directamente. Hay tres leyes físicas básicas que gobiernan la cantidad de energía aprovechable del viento.

- La primera ley indica que la energía generada por la turbina es proporcional a la velocidad del viento al cuadrado.
- La segunda ley indica que la energía disponible es directamente proporcional al área barrida de las paletas. La energía es proporcional al cuadrado de la longitud de las paletas.
- La tercera ley indica que existe una eficacia teórica máxima de los generadores eólicos del 59%. En la práctica, la mayoría de las turbinas de viento son mucho menos eficientes que esto, y se diseñan diversos tipos para obtener la máxima eficacia posible a diversas velocidades del viento. Los mejores generadores eólicos tienen eficacias del 35% al 40%.<sup>6</sup>

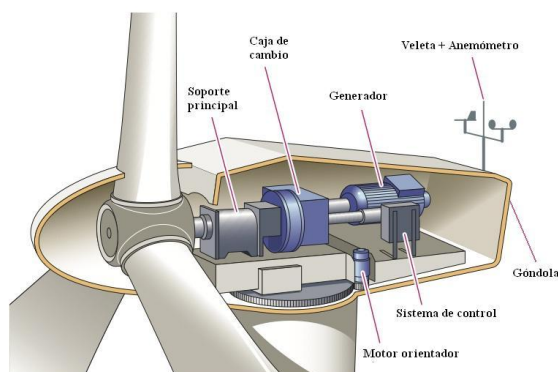


Imagen 2: turbina eólica.

### 3.3. Turbina Savonius:

El finés Sigurd Savonius inventó el rotor que lleva su nombre a mediados de la década del 20 y desde entonces el rotor en cuestión ha sido objeto de numerosos estudios que han ayudado a determinar las variables que inciden en su eficiencia.

Sus principales ventajas consisten en la relativa facilidad de construcción, su costo reducido en comparación a otros aerogeneradores y su bajo nivel tecnológico, lo cual lo hacen especialmente adecuado para países en vías de desarrollo y para poblados aislados y de pocos recursos. Sin embargo, debido a que funciona gracias al arrastre que produce el viento en sus palas (la diferencia de arrastre que se genera en las palas -una es cóncava y la otra convexa- causa un momento de torsión total respecto al eje distinto de cero en la presencia de suficiente viento, produciendo el

---

<sup>6</sup> Turbinas Eolicas.(2005). Textos científicos.com. recuperado de <https://www.textoscienificos.com/energia/turbinas>

giro), implica que exista una gran pérdida de energía causada por el rozamiento con el aire de la pala que va en contra del viento. El Sr Savonius introdujo un detalle muy importante en su modelo, que consiste en el traslape existente entre las dos palas que forman el aparato. Esto permite aumentar la eficiencia en la extracción de energía, debido a la adición de un factor de sustentación (no muy grande) al ya comentado factor de arrastre.<sup>7</sup>

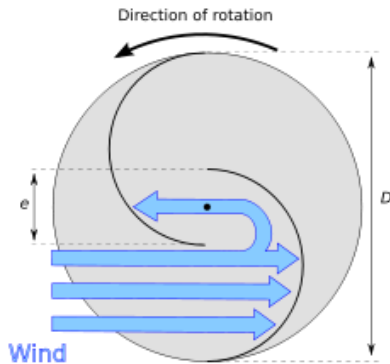


Imagen 3: perfil frontal turbina Savonius.

#### 3.4. Ley de Betz:

Cuanto mayor sea la energía cinética que un aerogenerador extraiga del viento, mayor será la ralentización que sufrirá el viento que deja el aerogenerador. Si intentamos extraer toda la energía del viento, el aire saldría con una velocidad nula, es decir, el aire no podría abandonar la turbina. En ese caso no se extraería ninguna energía en absoluto, ya que obviamente también se impediría la entrada de aire al rotor del aerogenerador. En el otro caso extremo, el viento podría pasar a través de las paletas sin ser para nada estorbado. En este caso tampoco habríamos extraído ninguna energía del viento. Así pues, se asume alguna forma de frenar el viento que esté entremedio de estos dos extremos, y que sea más eficiente en la conversión de la energía del viento en energía mecánica útil. Un aerogenerador ideal ralentizaría el viento hasta  $2/3$  de su velocidad inicial. Se usa la ley física fundamental para la aerodinámica de los aerogeneradores: La ley de Betz dice que sólo puede convertirse menos de  $16/27$  (el 59 %) de la energía cinética en energía mecánica usando un aerogenerador.<sup>8</sup>

La ley de Betz fue formulada por primera vez por el físico alemán Albert Betz en 1919. Su libro "Wind-Energie", publicado en 1926, proporciona buena parte del conocimiento que en ese momento se tenía sobre energía eólica y aerogeneradores.

<sup>7</sup> Rotor eólico savonius de eje vertical. (2009). Archive.is. Valparaiso, Chile.: recuperado de <http://archive.is/pi1P0#selection-1479.9-1479.40>

<sup>8</sup> ANDERSON.J.D. (1984). *Fundamentos de Aerodinámica*,3ra Edición. Mc Graw Hill

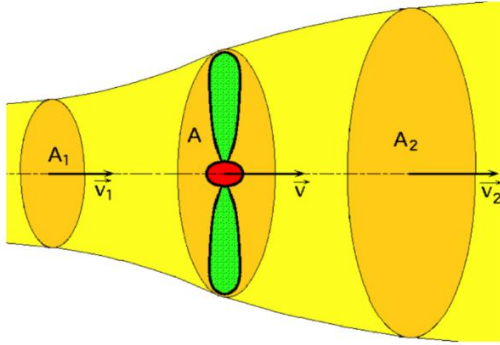


Imagen 4: Modelo de Betz

### 3.5. Modelos de turbulencia:

La turbulencia puede ser caracterizada como el movimiento caótico o desordenado del fluido. Un movimiento turbulento del fluido tiene lugar con la presencia de remolinos, mientras que cuando estos están ausentes el movimiento del fluido es laminar. El surgimiento de la turbulencia está relacionado con la relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas en el fluido: cuando las fuerzas viscosas son suficientemente grandes con respecto a las inerciales, estas son capaces de amortiguar los pequeños remolinos y el fluido tiende a ser laminar. Si por el contrario las fuerzas viscosas son pequeñas con relación a las inerciales, este proceso de amortiguación no tiene lugar y se producen remolinos tanto a pequeña escala como a escalas mayores.

El desarrollo de la Fluidodinámica Computacional (CFD) trajo aparejada la necesidad de la representación computacional del proceso de la turbulencia y esto dio lugar a varios modelos computacionales de turbulencia, que se pueden agrupar en:

- Modelos promediados de Reynolds de las ecuaciones de Navier – Stokes (RANS).
- Modelos de Simulación de Grandes Remolinos (LES).
- Modelos de Simulación Numérica Directa (DNS)<sup>9</sup>

### 3.6. Modelo K-épsilon:

El modelo K-Epsilon es uno de los modelos de turbulencia más implantado a nivel industrial. Es un modelo con dos ecuaciones de transporte para representar las propiedades turbulentas del flujo. La primera variable de este modelo es la energía cinética turbulenta (K), dicha variable determina la

<sup>9</sup> CAPOTE. J.A, ALVEAR. D, ABREU. O, L'AZARO, M Y ESPINA. P. Influencia del modelo de turbulencia y del refinamiento de la discretización espacial en la exactitud de las simulaciones computacionales de incendios. Investigación. Grupo GIDAI – Seguridad contra Incendios, Universidad de Cantabria.

intensidad turbulenta, mientras que la segunda variable representa la disipación turbulenta (Epsilon). Las ecuaciones que gobiernan dichas variables son las siguientes<sup>10</sup>:

- Energía cinética turbulenta

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \quad (1)$$

- Disipación lenta

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon \quad (2)$$

Donde:

- $G_k$ : Generación de energía cinética turbulenta debido a los gradientes de velocidad medios.
- $G_b$ : Generación de energía cinética debido a la flotabilidad.
- $Y_M$ : Contribución de la dilatación fluctuante en turbulencia compresible.
- $C_{1\epsilon}$ ,  $C_{2\epsilon}$ ,  $C_{3\epsilon}$ ,  $\sigma$ : Constantes determinadas experimentalmente.
- $\mu$ : Viscosidad turbulenta.
- $\sigma_k$ : Número de Prandtl en función de  $k$ .
- $\sigma_\epsilon$ : Número de Prandtl en función de  $\epsilon$ .

#### 4. METODOLOGIA

Para el presente proyecto se elaboró una metodología general en los siguientes pasos:

##### 4.1. Fase documental:

En esta fase se deben completar los conocimientos necesarios para el total entendimiento de los factores más relevantes a la hora de realizar el análisis de una turbina eólica mediante proyectos de

---

<sup>10</sup> TAPIA, Elvira. Análisis del sistema de ventilación de un secadero solar mediante técnica fluido computacional. Tesis de grado. Escuela superior de ingenieros.

grado, libros y páginas, además como el análisis se realiza sobre un modelo implementado por estudiantes de ingeniería mecánica, la tesis que estos realizaron sirve como guía de los aspectos técnicos y los factores de diseño que servirán para realizar un estudio aerodinámico completo.

#### 4.2. Fase de modelamiento:

Con base en la tesis de grado en la cual se realizó el diseño de la turbina eólica tipo Savonius implementada en la universidad Distrital Francisco José de Caldas, se debe realizar un modelamiento exacto de la estructura de soporte y la turbina como tal mediante el software Solid Edge. La precisión del modelamiento es fundamental para el análisis computacional.

#### 4.3. Fase de análisis computacional:

Al haber realizado un modelamiento exacto de la turbina tipo Savonius lo siguiente es que con ayuda del software ANSYS – FLUENT y teniendo como base los estudios climatológicos de la zona, se realiza un análisis de como la turbina trabaja en tiempo real y si logra las metas para las que fue construida. Se deben establecer parámetros críticos que pueden afectar la eficiencia de la turbina.

#### 4.4. Fase de optimización:

Después de haber realizado el análisis del conjunto turbina – soporte, se establecen los parámetros más incidentes a la hora de mejorar la eficiencia de funcionamiento de esta, de manera que realizando cambios en estos factores se obtengan resultados favorables y quede documentado un diseño de turbina que sea más eficiente para futuras implementaciones.

#### 4.5. Fase de elaboración de metodología de análisis y tesis de grado:

La última fase para este proyecto de grado es la elaboración de una metodología documentada de cómo realizar análisis aerodinámicos mediante el software ANSYS – FLUENT para la guía de estudiantes en futuros proyectos de grado. Finalmente todo esto se plasma en la tesis que va a servir para la culminación de la carrera de ingeniería mecánica

## 5. CRONOGRAMA

FASE	ACTIVIDAD	DURACIÓN (semanas)															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1. DOCUMENTAL	1.1. Búsqueda, Clasificación y Sistematización de la información	█															
	1.2. Lectura y análisis de la información		█														
2. MODELAMIENTO	2.1. Análisis de la geometría			█													
	2.2. Modelamiento en el software				█												
3. ANALISIS COMPUTACIONAL	3.1. Montaje en el software					█											
	3.2. Definición de parámetros						█	█									
4. OPTIMIZACION	4.1. Mejoramiento de parámetros críticos y análisis								█	█							
5. METOLOGIA Y TESIS DE GRADO	5.1. Elaboración de la metodología										█						
	4.2. Elaboración tesis de grado											█	█				

Tabla 1: cronograma

## 6. PRESUPUESTO

Para la elaboración del siguiente proyecto de grado se tuvo en cuenta que la universidad cuenta con licencias en el software Solid Edge y ANSYS, por la cual el trabajo de modelado, análisis y optimización se realizara en las instalaciones de cómputo con las que cuenta la universidad.

Recurso Humano Asociado				
Descripción	Cantidad de personas	Dedicación (promedio)	Valor Hora	Costo personal
	Numero	Horas	Pesos	Pesos
<b>Autores del proyecto</b>	1	16	\$20.000	\$960.000
<b>Director o tutor</b>	1	2	\$30.000	\$180.000
			<b>TOTAL</b>	<b>\$1.140.000</b>

Tabla 2: recursos humanos asociados.

Gastos de herramientas informáticas				
Herramienta	Detalle	Costo referencia	Unidades	Total
<b>Licencia</b>	Microsoft Office 2016	\$23.000	3 meses	\$70.000
<b>Computador</b>	Marca Toshiba (personal)	\$1.800.000	1	\$1.800.000
<b>Suministros de computador</b>	Impresora / Tinta Memoria USB	\$200.000	1	\$200.000
<b>Internet</b>	Hogar	\$74.000	3 meses	\$222.000
			<b>TOTAL</b>	<b>\$2.292.000</b>

Tabla 3: Gastos en herramientas informáticas.



Gastos generales				
Gastos	Detalle	Cantidad	Valor unitario	Total
Fotocopias	Documentación técnica	100	\$100	\$10.000
Impresión documentos	Tesis/toma datos	100	\$200	\$20.000
Suministros de oficina	Papelería	20	\$2.000	\$40.000
Transportes	Traslado a sala de computo	40	\$2.000	\$80.000
			<b>TOTAL</b>	<b>\$150.000</b>

Tabla 4: Gastos generales.

Presupuesto General Proyecto			
Duración estimada en meses		3	
Semanas		12	
Descripción		Costo asociado	Fuentes de financiación
Recurso Humano Asociado		\$1.140.000	
1	Autores del proyecto	\$960.000	Personal
1	Director o tutor	\$180.000	Institucional
Gastos Generales		\$150.000	Personal
Equipo de apoyo		\$2.292.000	Personal
Subtotal		\$3.582.000	
10%	Imprevistos	\$358.200	
<b>Total presupuestado</b>		<b>\$3.940.200</b>	

Tabla 5: Presupuesto general del proyecto

## 7. BIBLIOGRAFIA

LUGO, Daniel y BOCANEGRA, Laura. (2015). Diseño y construcción de un prototipo de turbina eólica de 60 W, para suministro eléctrico de zonas urbanas. Tesis de ingeniería. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

GUAUQUE, Edwin y TORRES, German. (2014). Análisis aerodinámico de una microturbina eólica de eje vertical para la generación de energía eléctrica en una zona urbana de Bogotá, Colombia. Tesis de ingeniería. Universidad Libre de Colombia.

TORRES, Daniela. (2015). Diseño de un generador eólico de eje vertical de baja potencia. Tesis de ingeniería. Universidad Tecnológica De Pereira.

CARANTOÑA, Alejandro. (2009). Análisis del Comportamiento Aerodinámico de Perfiles empleados en Aerogeneradores de Baja Potencia. Artículo investigativo. Empresa Fglongatt, programa de Fuentes Alternas de Energía y Generación Distribuida.

FERNANDEZ, pedro. (1993). Energía eólica. Servicio de publicaciones E.T.S.I Industriales y T. Santander, España

Turbinas Eólicas.(2005). Textos científicos.com. recuperado de <https://www.textoscientificos.com/energia/turbinas>

Rotor eólico Savonius de eje vertical. (2009). Archive.is. Valparaíso, Chile.: recuperado de <http://archive.is/pi1P0#selection-1479.9-1479.40>

ANDERSON.J.D. (1984). *Fundamentos de Aerodinámica*,3ra Edición. Mc Graw Hill

CAPOTE. J.A, ALVEAR. D, ABREU. O, L´AZARO, M Y ESPINA. P. Influencia del modelo de turbulencia y del refinamiento de la discretizacion espacial en la exactitud de las simulaciones computacionales de incendios. Investigación. Grupo GIDAI – Seguridad contra Incendios, Universidad de Cantabria.

TAPIA, Elvira. Análisis del sistema de ventilación de un secadero solar mediante técnica fluido computacional. Tesis de grado. Escuela superior de ingenieros.