

**UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS" - FACULTAD TECNOLÓGICA**  
**PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA**  
**FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO**

**Nº DE RADICACIÓN:** \_\_\_\_\_

**INFORMACIÓN EJECUTORES**

**Ejecutor 1**

Nombre (s):	Jeisson Giovanni
Apellido (s):	Rincón Vivas
Código:	20152375009
E-mail:	<a href="mailto:jeymysterio@hotmail.com">jeymysterio@hotmail.com</a>
Teléfono fijo:	5711329
Celular:	322 224 0298



**Ejecutor 2**

Nombre (s):	Cristian Reynel
Apellido (s):	González Castro
Código:	20151375009
E-mail:	<a href="mailto:reynelfac@hotmail.com">reynelfac@hotmail.com</a>
Teléfono fijo:	2509860
Celular:	3007416750



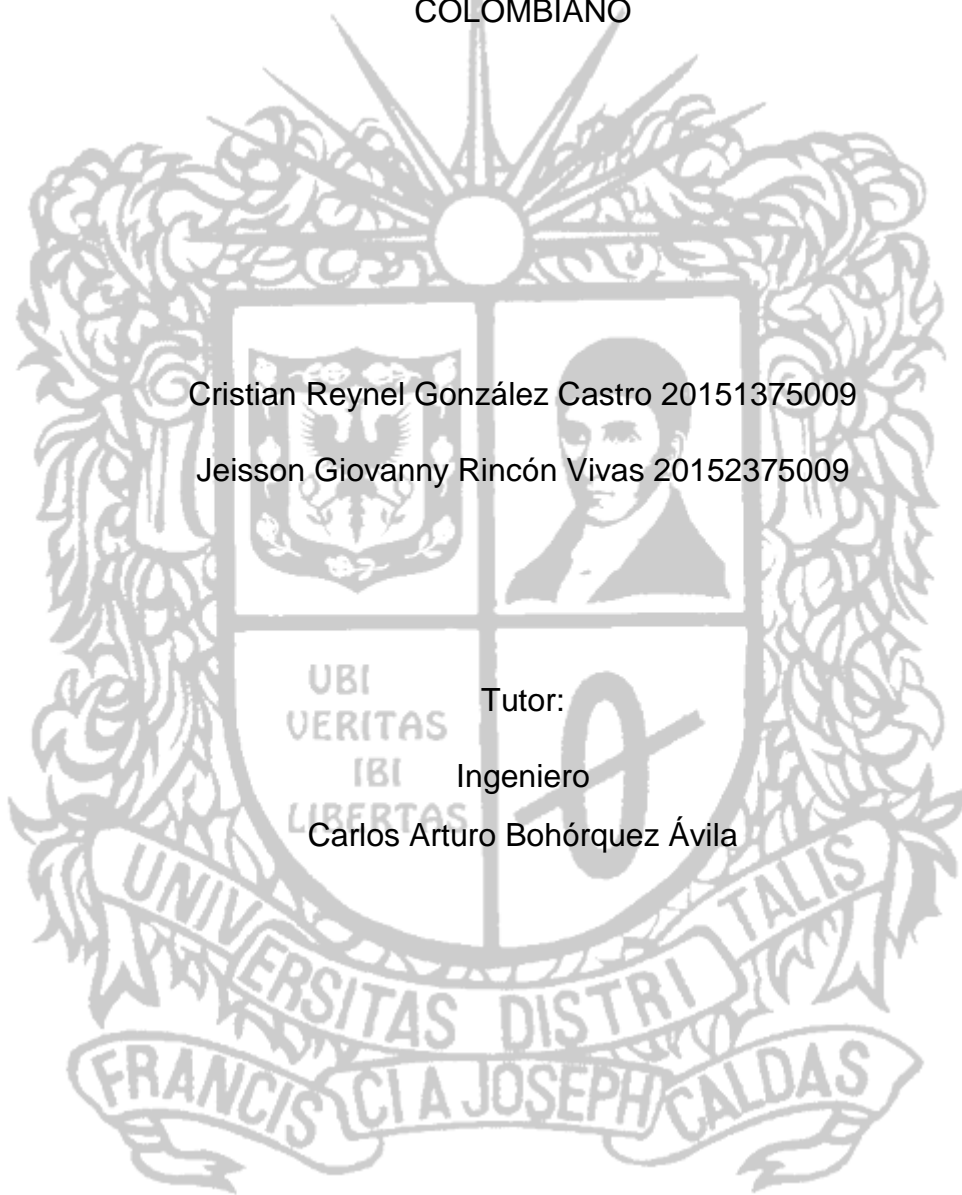
**INFORMACIÓN DEL PROYECTO**

Título del Proyecto:	Creación de una aplicación para el cálculo y diseño de turbinas Savonius, para su implementación en el territorio colombiano	
Duración (estimada):	5 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	
Grupo de Investigación:		
Proyecto de Investigación:		
Áreas del conocimiento que involucra:	Fundamentos de CAE y CAD	

**INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA**

Director: (Vo. Bo.)	Ing. Carlos Arturo Bohórquez Ávila
Proyecto de Pasantía: (Tutor): (Vo. Bo.)	
Formulación Proyecto de Grado: (Profesor): (Vo. Bo.)	

CREACIÓN DE UNA APLICACIÓN PARA EL CÁLCULO Y DISEÑO DE  
TURBINAS SAVONIUS, PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN EL TERRITORIO  
COLOMBIANO



Cristian Reynel González Castro 20151375009

Jeisson Giovanny Rincón Vivas 20152375009

Tutor:

Ingeniero

Carlos Arturo Bohórquez Ávila

Ingeniería mecánica

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Facultad Tecnológica

Bogotá DC

Octubre de 2016

## CONTENIDO

	Pág.
1. Planteamiento del problema	3
1.1 Estado del arte	4
1.2 Justificación	9
2. Objetivos	
2.1 Objetivo general	10
2.2 Objetivos específicos	10
3. Marco teórico	11
4. Metodología	14
5. Cronograma de Actividades	15
6. Presupuesto y financiación	16
7. Referencias	17

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La generación de energía eléctrica, es una de las principales ramas de la industria mundial actual, puesto que con el pasar de los años, se han buscado diferentes maneras de generarla, que sean amigables con el medio ambiente. Las nuevas maneras de generar energía eléctrica buscan diferenciarse de las antiguas principalmente por este menor o nulo impacto ambiental, mediante el aprovechamiento de nuevas fuentes de energía, que no se deriven de combustibles fósiles.

Una de las formas de generación de energía eléctrica de manera amigable con el medio ambiente es la energía eólica. La energía eólica no es un concepto nuevo, puesto que desde hace cientos de años, se ha usado el viento como fuerza motriz, pero no ha sido sino hasta el siglo XXI, que se ha notado su crecimiento, principalmente en el continente europeo. Este tipo de energía, como su nombre lo indica, utiliza la fuerza del viento para generar electricidad, por medio de la transformación de la fuerza del viento en energía mecánica, que posteriormente se transforma en energía eléctrica. Esta transformación de la fuerza del viento (dada por la velocidad del mismo), en energía mecánica, se consigue mediante elementos llamados turbinas. Las turbinas son máquinas que permiten el paso de un fluido en forma continua, recibiendo su energía y transformándola en energía mecánica mediante un rodete con paletas o álabes.

El diseño de las turbinas, es necesario en todos los procesos de generación de energía eléctrica, puesto que parámetros de dimensiones y materiales, pueden afectar la potencia que se obtendrá en el proceso. En el caso de la energía eólica, éste diseño requiere de un tiempo de trabajo en el cual, el diseñador, debe tener en cuenta parámetros del entorno en el cual va a ser instalada la turbina. Para posteriormente realizar los cálculos pertinentes para el diseño de la misma, y finalmente obtener un plano de la turbina deseada, para su posterior fabricación.

El proceso de diseño de las turbinas eólicas, requiere de apoyo de un software CAD, que permite realizar los planos de la turbina en función de los resultados obtenidos por los cálculos de diseño, lastimosamente, en la actualidad la ayuda que prestan los software CAD en el cálculo de los diseños no es muy grande.

## **1.1 ESTADO DEL ARTE**

Para la realización de la propuesta, se debieron tener en cuenta los avances e investigaciones que se han hecho con respecto al tema, ya que éstas son de suma importancia como apoyo en el desarrollo del proyecto, y sirven para contextualizar el mismo en el ámbito de desarrollo.

### **1.1.1 INVESTIGATION ON PERFORMANCE OF IMPROVED SAVONIUS ROTOR: AN OVERVIEW**

Las turbinas eólicas de tipo Savonius han sido consideradas como adecuadas para la generación de energía a partir de bajas velocidades del fluido de trabajo (viento), sin embargo, sufre de una eficiencia pobre. Con el fin de minimizar la desviación de par estático y para mejorar el rendimiento de Savonius Rotor, se hicieron esfuerzos continuos para mejorar la geometría en los perfiles de los álabes. En diversos estudios, los perfiles de los álabes de la turbina Savonius se investigaron mediante la modificación de la forma de la hoja y por el diseño de nuevas formas de cuchillas. Este artículo presenta una visión general de la turbina Savonius, sus distintos diseños de perfil de álabe y el rendimiento de los mismos a través de diversos estudios. “De acuerdo con el ángulo de giro, el rotor helicoidal con  $\Gamma = 180^\circ$  se encuentra como el mejor en términos de coeficiente de potencia”. (Kumar, 2015)

Éste artículo, presenta un panorama general de las turbinas eólicas Savonius, y de las principales características de los perfiles de sus álabes, teniéndolas en cuenta en el diseño de los mismos, para definir mediante una serie de estudios, cual es la geometría que permite la mayor eficiencia en la turbina. En la realización de éste proyecto, tener en cuenta éste panorama general de las turbinas Savonius, es de

gran ayuda, puesto que la geometría de los álabes, es un parámetro de vital importancia en el proceso de diseño de la turbina. Éste estudio permite identificar cual es la geometría de álabes más adecuada en el proceso, dependiendo de las velocidades del viento.

### **1.1.2 PERFORMANCE ANALYSIS OF SAVONIUS ROTOR ON DIFFERENT ASPECT RATIO FOR HYDROPOWER GENERATION**

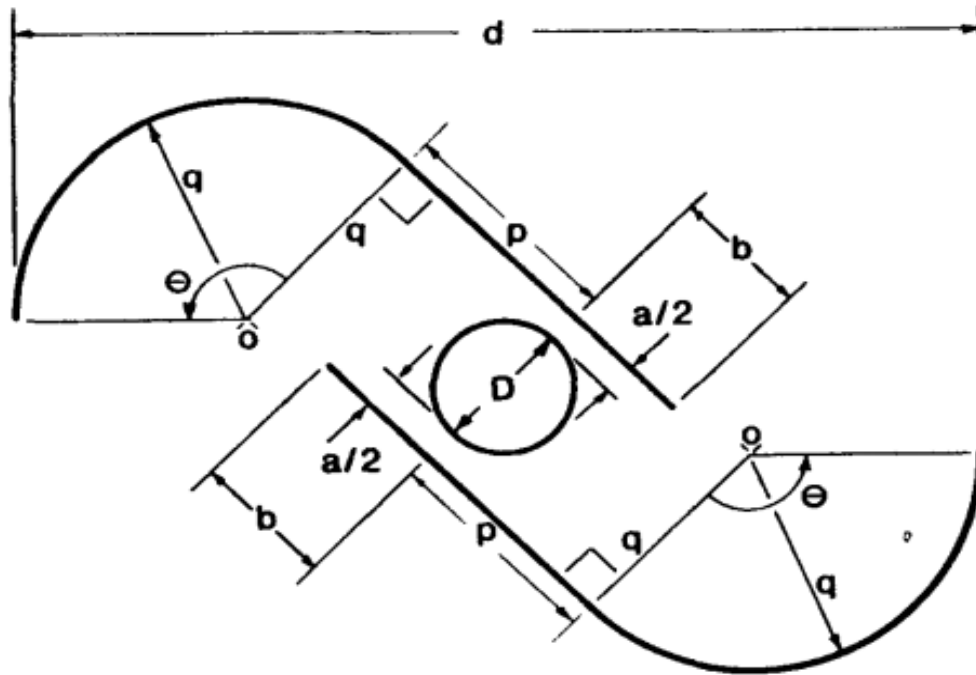
El trabajo presentado en este documento está dirigido a la investigación de varias dimensiones posibles del rotor Savonius para la generación de energía hidroeléctrica estable usando un generador de inducción. Las variaciones de altura y diámetro de rotor Savonius afectan el rendimiento del mismo y requieren de ciertas velocidades. La simulación en MATLAB se lleva a cabo para diferentes dimensiones con diversas velocidades de agua. (Pudur, 2015) Se presenta el modelo MATLAB / Simulink de cada componente del sistema, tales como rotor Savonius, generador asíncrono, convertidor de potencia, filtros de LCL y esquemas de control.

En éste artículo realizado en el 2015, se presenta la simulación en MATLAB de los componentes de la turbina Savonius, lo que resulta de gran aporte para la realización del presente proyecto, puesto que en el artículo, se muestra la variación de parámetros como rendimiento y velocidades requeridas para potencias determinadas, en función del diámetro del rotor.

### **1.1.3 AERODYNAMICS OF THE SAVONIUS ROTOR: EXPERIMENTS AND ANALYSIS**

Un enfoque para el diseño de una turbina savonius, se da a través de experimentos y análisis numéricos que involucren la eficiencia del mismo en un campo determinado. (Modi, 1990) Este artículo, presentaba como objetivo mejorar el diseño de los álabes sin sacrificar la simplicidad del concepto Savonius. La geometría de la cuchilla se limitó a propósito para un arco de círculo seguida de

una línea recta para facilitar la construcción, además comprende el diseño de un prototipo basado en los datos del modelo realizado, y una evaluación de su desempeño.

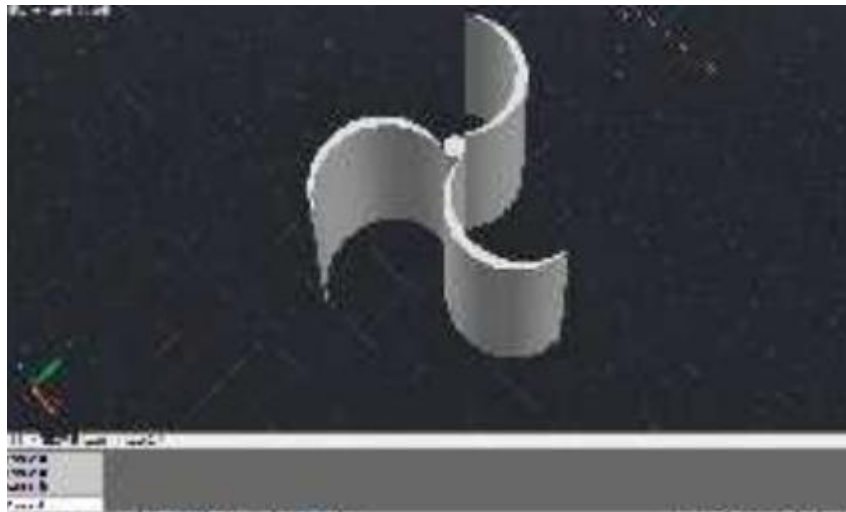


**Fig. 1 geometría de los álabes de las turbinas**

En la figura se puede observar la geometría que utilizan en esta investigación y se identifican todos los parámetros que están asociados a la misma, y que son calculados en el proceso de diseño. Este trabajo es una gran aporte para la realización del proyecto, puesto que se basan en el diseño de una turbina Savonius a partir de un enfoque diferente, se parte de un análisis aerodinámico de los álabes de la turbina, que permiten un mayor aprovechamiento de la velocidad del viento que incide sobre los álabes.

### 1.1.4 CFD ANALYSIS OF A SAVONIUS VERTICAL AXIS WIND TURBINE

En el campo de la energía renovable, la eólica es muy atractiva y tiene un papel muy importante en la energía sostenible. El propósito de esta investigación es analizar una turbina eólica de eje vertical Savonius de baja velocidad de viento, que es barato y se hace a través de un material fácilmente disponible para proporcionar la cantidad de electricidad necesaria en Pakistán. (Muneer, 2015) Este documento realiza el diseño de la turbina de viento y el efecto del mismo sobre los álabes. Con la ayuda del cálculo de los valores, vista en 3D y elaborado en el software AutoCAD. Con la ayuda del archivo generado en AutoCAD, se ha analizado el comportamiento de viento arriba y por debajo de los álabes de la turbina.



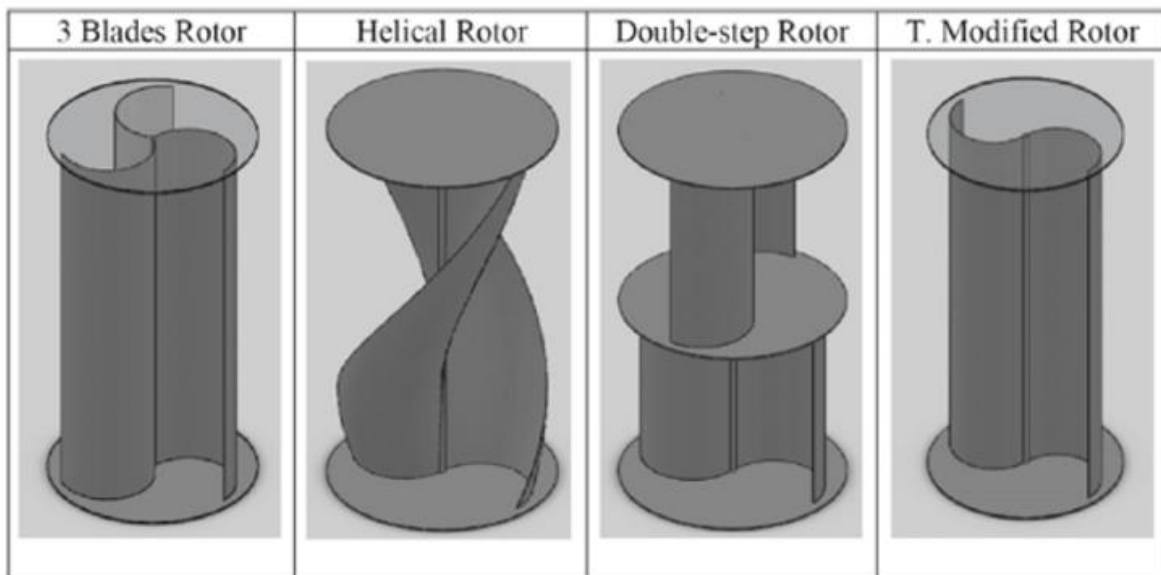
**Fig 2. Geometría de los álabes en AutoCAD**

En este artículo se puede destacar, que el uso de software de diseño empieza a jugar un papel importante en el proceso de diseño de turbinas Savonius, puesto que permiten su representación tridimensional para posteriores análisis. En éste artículo utilizan el software AutoCAD para dicha representación, permitiendo hacer un análisis del comportamiento del viento en las partes superior e inferior de los álabes, consiguiendo una optimización en los mismos, buscando ahorro de costos.



### 1.1.5 MODELADO COMPUTACIONAL DE TURBINA SAVONIUS

El rotor o turbina Savonius es uno de los más utilizados en la generación de energía eléctrica a partir de energía eólica. Sin embargo, hay varios tipos de turbinas Savonius que se utilizan de acuerdo a necesidades diferentes. En éste artículo se presenta un modelado computacional de éstos tipos de turbinas, “El objetivo principal es encontrar el mejor coeficiente de potencia ( $C_p$ ), al igual que el coeficiente de torque ( $C_m$ ) en los diferentes modelos. Para lograr este objetivo se utiliza modelado computacional CFD, con simulaciones 3D en régimen transitorio”. (Palencia, 2015).



**Fig. 3 Modelos de turbinas Savonius.**

El conocer los diferentes modelos y sus respectivos comportamientos en términos de potencia frente a la velocidad del viento, permite identificar, cual de los modelos es mejor para diferentes aplicaciones. En la imagen se pueden apreciar 4 diferentes pmodelos de turbinas Savonius ( con tres álabes, helicoidal, de doble etapa, y convencional).

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

Las energías renovables, representan el futuro en la generación de energía eléctrica, debido a su buen trato con el medio ambiente. La energía eólica se ha potenciado en los últimos años en todo el mundo, permitiendo que más y más industrias recurran a la implantación de éste tipo de energía.

El diseño de las turbinas eólicas, es un proceso que va de la mano con los software CAD, que permiten su representación tridimensional para su verificación antes de su fabricación. Los software CAD no prestan la ayuda necesaria en la realización de los cálculos para el diseño de dichas turbinas.

En Colombia, la energía eólica no toma la suficiente fuerza en la industria para ser parte del campo de generación eléctrica por múltiples factores, como falta de conocimiento en diseño de turbinas para dicho fin. Por ende, esta propuesta se basará en la realización de un comando apoyado en un software CAD, que facilite la realización de los cálculos de diseño de una turbina eólica savonius, y su representación tridimensional, de modo que el proceso de diseño sea más amigable con las personas que buscan la instalación de éste tipo de turbinas.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

- crear una aplicación dentro de un software CAD, que facilite la realización de los cálculos de diseño de una turbina eólica savonius, y su representación tridimensional, permitiendo que el usuario parta de parámetros de diseño como potencia y velocidad del viento en una región determinada en Colombia.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar una investigación acerca de la velocidad del viento en las regiones más importantes de Colombia.
- Identificar de manera completa el proceso de diseño de una turbina savonius, para su posterior modelamiento.
- Realizar un modelo para el diseño de una turbina Savonius.
- Usar el apoyo del software NX 10.0 para la implementación de la aplicación.

### 3. MARCO TEÓRICO

Para abordar de forma óptima el proyecto, es necesaria la identificación de algunos conceptos, que permitirán una comprensión más adecuada del mismo.

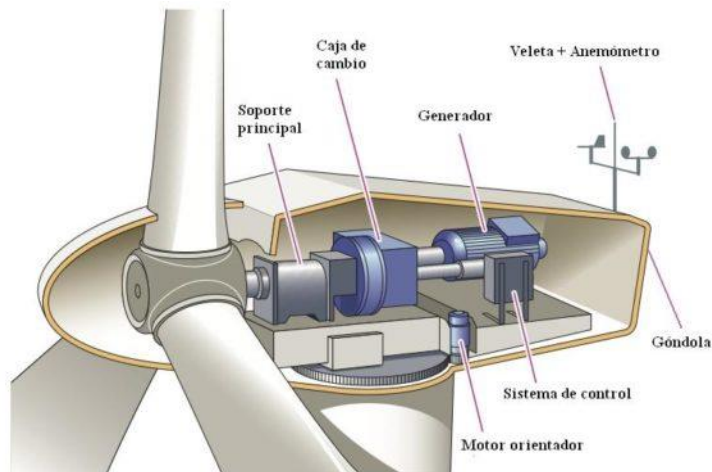
#### **Energía Eólica**

La energía eólica es la energía obtenida a partir del viento, es decir, *la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire, y que es convertida en otras formas útiles de energía para las actividades humanas*. El término «eólico» proviene del latín *aeolicus*, que significa «*perteneciente o relativo a Eolo*», *dios de los vientos en la mitología griega*. La energía del viento está relacionada con el movimiento de las masas de aire que se desplazan desde zonas de alta presión atmosférica hacia zonas adyacentes de menor presión.

Los vientos se generan a causa del calentamiento no uniforme de la superficie terrestre por medio de la radiación solar, *entre el 1 y el 2 % de la energía proveniente del Sol, se convierte en viento*. Los continentes transfieren, durante el día, una mayor cantidad de energía solar al aire que las masas de agua, haciendo que este se caliente y se expanda, por lo que se al volverse menos denso y se eleva. El aire más frío y pesado que proviene de los mares, océanos y grandes lagos se pone en movimiento para ocupar el lugar dejado por el aire caliente.

La energía del viento se aprovecha mediante el uso de máquinas eólicas o aeromotores, que son capaces de transformar la energía eólica en energía mecánica utilizable, ya sea para accionar directamente las máquinas o para la producción de energía eléctrica.

Para producir energía eléctrica se utilizan aerogeneradores, que consiste en un generador eléctrico con sus sistemas de control y conexión a la red. La energía eólica mueve una hélice y mediante un sistema mecánico, se hace girar el rotor de un generador, que es el que produce la energía eléctrica. Un esquema simple de lo que se mencionó es el que se tiene en la figura 1.



**Fig. 4. Esquema simple de un aerogenerador.**

## **Turbina Savonius**

Los rotores Savonius son un tipo de turbina eólica de eje vertical usado para convertir el poder del viento en torsión sobre un eje rotatorio. Fueron inventadas por el ingeniero finlandés Sigurd J. Savonius en el año 1922.

Las Savonius son una de las turbinas más simples. Aerodinámicamente, son dispositivos de arrastre o resistencia que constan de dos o tres palas. Mirando el rotor desde arriba, las palas forman la figura de una S. Debido a la curvatura, las palas experimentan menos resistencia cuando se mueven en contra del viento que a favor de él. Esta diferencia causa que la turbina Savonius gire. Como es un artefacto de arrastre, la Savonius extrae mucho menos de la fuerza del viento que las turbinas de sustentación con similar tamaño. Por otro lado, no necesitan orientarse en la dirección del viento, soportan mejor las turbulencias y pueden empezar a girar con vientos de baja velocidad. Es una de las turbinas más económicas y más fáciles de usar.

Este tipo de turbinas son apropiadas para sectores rurales con escaso acceso a la electricidad y para bombeo de agua. También es viable la construcción de estas turbinas en zonas deprimidas porque requiere escasa capacidad de inversión inicial, poca capacidad tecnológica y se obtienen grandes beneficios con casi nulo impacto ambiental.

## **Macros**

Es una serie de instrucciones que se almacenan para que se puedan ejecutar de forma secuencial mediante una sola llamada u orden de ejecución. Dicho de otra forma, un macroinstrucción es una instrucción compleja, formada por otras instrucciones más sencillas. Esto permite la automatización de tareas repetitivas. Las macros tienden a almacenarse en el ámbito del propio programa que las utiliza y se ejecutan pulsando una combinación especial de teclas o un botón especialmente creado y asignado para tal efecto. La diferencia entre un macroinstrucción y un programa es que en los macroinstrucciones la ejecución es secuencial y no existe otro concepto del flujo de programa, y por tanto, no puede bifurcarse.

Las macros son grupos de instrucciones que tienen un seguimiento cronológico usadas para economizar tareas; una macro no es más que un conjunto de instrucciones tales como «borrar archivo», «añadir registro», etc., y que se almacenan en una ubicación especial por ejemplo en Microsoft Access observamos que hay una zona para crear macros, una macro en Access trabajando para una base de datos podría ser un archivo que al llamarse desde otra instrucción: borrar los registros de un cliente o accionista, luego borrar ciertos registros en otras tablas, extraerá su información de un log, entre otras cosas.

## 4. METODOLOGÍA

- Investigación y recopilación de información a través de documentos acerca de energía eólica en Colombia.
- Reconocimiento de información acerca de los antecedentes en el campo de aplicación del proyecto.
- Seleccionar los materiales y recursos necesarios para la realización del proyecto.
- Identificar de manera completa, el diseño de una turbina savonius, teniendo en cuenta parámetros como velocidades del viento y potencias requeridas.
- Realizar un modelo del diseño de las turbinas partiendo de los parámetros descritos anteriormente.
- Importar el modelo de diseño al software CAD, mediante el uso del API del mismo.
- Realizar pruebas de la aplicación creada para verificar su correcto funcionamiento.

## 5. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

La duración del presente proyecto tiene una estimación de entre 15 y 20 semanas, las cuales se distribuirán de la siguiente manera:

ACTIVIDADES	Primer mes				Segundo mes				Tercer mes				Cuarto mes				Quinto mes				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Recopilación	■	■	■																		
Reconocimiento		■	■	■																	
Selección de material de apoyo		■	■	■																	
Identificar diseño					■	■	■														
Realizar modelo									■	■	■	■	■								
Realización de modelo CAD																■	■	■	■		
Realización pruebas de verificación																				■	■



## 6. PRESUPUESTO Y FINCANCIACIÓN

RECURSOS	VALOR EN PESOS
SOFTWARE CAD a utilizar	Financiado por la Universidad
Gastos en papelería	80.000

## 7. REFERENCIAS

Kumar, A., Saini R.P. (13 de marzo de 2015). Investigation on Performance of Improved Savonius Rotor: An Overview. *Recent Developments in Control, Automation and Power Engineering (RDCAPE)*. DOI: 10.1109/RDCAPE.2015.7281386.

Pudur, R., Gao S. (11 de enero de 2015). Performance analysis of Savonius rotor on different aspect ratio for hydropower generation. *Power, Dielectric and Energy Management at NERIST (ICPDEN)*. DOI: 10.1109/ICPDEN.2015.7084490.

Modi, V. J., Roth N.J. (17 de agosto 1990). Aerodynamics of the savonius rotor: experiments and analysis. *Energy Conversion Engineering Conference, 1990. IECEC-90*. DOI: 10.1109/IECEC.1990.747953.

Muneer, A., Bilal, M., Sarwar, U., Ahmad, Z. (10 de junio de 2015). CFD analysis of a savonius vertical axis wind turbine. *Power Generation System and Renewable Energy Technologies (PGSRET)*. DOI: 10.1109/PGSRET.2015.7312200.

Palencia, A., Jimenez, G., Utria, K. (2015). Modelado computacional de turbina Savonius. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*. vol.23 no.3.

Marimar. (30 de Septiembre de 2016). Energía Eólica. Recuperado de <http://elblogverde.com/energia-eolica>.

TecnoblogSanmartin. (20 de marzo 2012). "Rotor Savonius". Recuperado de <https://tecnoblogsanmartin.wordpress.com/category/tecnologia-3%C2%BA-e-s-o/unidad-5-energias-renovables/5-2-energia-eolica/rotor-savonius>.

Taller de informática. (2 de mayo de 2012). "¿Qué es un macro?". Recuperado de <http://creaciondedocelealtavistayamil.blogspot.com.co/2012/05/v-behaviorurldefaultvmlo.html>.