

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):	Juan David
Apellido (s):	Orjuela Franco
Código:	20161375005
E-mail:	jdorjuelaf@correo.udistrital.edu.co
Teléfono fijo:	(1) 4 93 89 45
Celular:	311 4 79 04 71



Ejecutor 2

Nombre (s):	Sergio Alejandro
Apellido (s):	Perdomo Salas
Código:	20161375014
E-mail:	saperdomos@correo.udistrital.edu.co
Teléfono fijo:	
Celular:	313 3 51 11 10



INFORMACIÓN DEL PROYECTO

Título del Proyecto:	Implementación de un generador eólico tipo Savonius helicoidal en las instalaciones de la empresa CYGNI ingeniería SAS	
Duración (estimada):	Cuatro meses y medio	
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*:	Apoyo tecnológico empresarial	
Línea de Investigación del Proyecto Curricular**:	Conversión en energías y mecánica de fluidos	
Grupo de Investigación:		
Proyecto de Investigación:		
Áreas del conocimiento que involucra:	Mecánica de fluidos, resistencia de materiales, materiales no metálicos, electrotecnia, diseño mecánico	

INFORMACIÓN PASANTÍA

Nombre de la empresa:	
Dirección:	
Teléfonos:	
Correo electrónico:	
Página Web:	

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Director: (Vo. Bo.)	
Proyecto de Pasantía: (Tutor): (Vo. Bo.)	
Formulación Proyecto de Grado: (Profesor): (Vo. Bo.)	Ingeniero Alexander Alvarado Moreno

**IMPLEMENTACIÓN DE UN GENERADOR EÓLICO TIPO SAVONIUS
HELICOIDAL EN LAS INSTALACIONES DE LA EMPRESA CYGNI INGENIERIA
SAS**

**JUAN DAVID ORJUELA FRANCO
SERGIO ALEJANDRO PERDOMO SALAS**

**Como requisito para la obtención del título en:
INGENIERIA MECANICA**

DIRIGIDO POR:

ING. ALEXANDER ALVARADO MORENO

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS
FACULTAD TECNOLOGICA
PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERIA MECANICA
BOGOTÁ D.C
2018**

CONTENIDO

INDICE DE FIGURAS.....	4
INDICE DE TABLAS	5
RESUMEN	6
1. INTRODUCCION.....	6
1.1 Alcance	7
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
2.1 Estado del Arte	8
2.2 Justificación.....	10
3. OBJETIVOS.....	11
3.1 Objetivo General	11
3.2 Objetivos Específicos.....	11
4. MARCO TEORICO.....	12
4.1 Energía eólica	12
4.2 Tipos de aerogeneradores	13
4.3 El viento.....	15
4.4 Aerogenerador Savonius	15
4.5 Poli estireno	18
4.5.1 técnica de termo formado.....	19
4.6 Generación de energía eléctrica.....	19
5. METODOLOGIA	20
5.1 Recolección de información	20
5.2 Estudio Preliminar	20
5.3 Estudio Detallado.....	21
5.3.1 Diseño Preliminar	21
5.3.2 Diseño Detallado	21
5.4 Etapa de Fabricación.....	21
5.5 Ensamble De Piezas	21
5.6 Instalación y puesta en marcha.....	21
5.7 Seguimiento	22
6. CRONOGRAMA.....	22
7. PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACION	22

8. BIBLIOGRAFÍA.....25

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Aerogenerador de Charles Brush 1886</i>	13
Figura 2: Clasificación de aerogeneradores según disposición del eje giro.....	14
Figura 3: Coeficiente de potencia en función de la velocidad específica para distintos tipos de aerogeneradores	14
Figura 4: Componentes del Aerogenerador tipo Savonius.....	16
Figura 5: Principio accionamiento Rotor Savonius.....	17
Figura 6: Parámetros de construcción de un rotor Savonius.	18
Figura 7: opciones para la conversión de energía eólica en electricidad	20
Figura 8: Diagrama de Gantt, Actividades a realizar.....	22

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Espesores y pesos de láminas de poli estireno.	19
Tabla 2: Costos asociados a los materiales Costos asociados a los materiales..	23
Tabla 3: Costos asociados a la mano de obra por etapas	24

RESUMEN

El presente documento tiene como fin principal, dar a conocer la intención de realizar la implementación y puesta en marcha de un generador eólico tipo Savonius, en la empresa CYGNI Ingeniera SAS, cuya actividad principal es la producción y prestación de servicios en el sector publicitario, posicionándose a la vanguardia del mercado y buscando continuamente evolución y dinamismo en sus procesos tanto internos como externos

Con base en lo anterior, es preciso decir que, la intención principal de dicho generador es abastecer el sistema de iluminación interno de la empresa, dando así un valor agregado y una contribución positiva al medio ambiente desde el quehacer diario de la misma. A lo largo del presente escrito, se plantea de manera ordenada el diseño y la construcción del generador, así como las características de localización y ambientales del lugar de implementación; del mismo modo, la materialización de dicho generador integrara diversos sectores de la industria nacional; obteniendo como resultado la generación de conocimientos adicionales con miras a una suficiencia energética, además de esto se plantea la integración técnica y tecnológica de distintos sectores productivos como modelo de economía sostenible.

1. INTRODUCCION

Las condiciones ambientales presentes a lo largo del territorio nacional, como son la topografía, la localización a nivel mundial y la gran cantidad de recursos, permite a Colombia ser un ambiente propicio para la incursión, implementación y explotación de las energías renovables.

Debido a estas condiciones, sistemas de generación alternativos como Biomasa, solar, y eólica, pueden llegar a ser soluciones a problemas energéticos que presentan las industrias nacionales. Es por ello que los sistemas de energía eólica, se convierten en una solución eficiente, dado que, siendo sistemas libres de mantenimiento, de fácil instalación y transporte, pueden ser primordiales a la hora de implementarse a zonas sin interconexión, y abastecer de energía a las pequeñas industria y a los hogares colombianos, particularmente un sistema vertical de generación helicoidal tipo Savonius, considerado un generador de baja potencia y siendo un sistema de arrastre, se convierte en una opción bastante acertada para ser implementada en centros poblacionales y ciudades como la ciudad de Bogotá D.C en donde la velocidad del viento no suele ser muy alta debido principalmente al extenso crecimiento demográfico.

1.1 Alcance

Se pretende construir un generador eólico tipo Savonius helicoidal de bajo costo, integrando distintas técnicas y alternativas para su desarrollo, de manera que se integre al sistema de iluminación interno de la empresa CYGNI Ingeniería SAS.

Esto se realizara tomando como base el proyecto de grado de tecnología mecánica de los estudiantes Diana Carolina Ramírez Salcedo y Juan David Orjuela Franco titulado “fabricación en resina poliéster reforzada con fibra de vidrio de un rotor eólico tipo Savonius mediante modelado directo sobre modelo físico” ejecutado en el año 2015 para la UNIVERSIDAD DISTRITAL Francisco José de Caldas.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La creciente demanda energética que presentan las industrias colombianas, combinadas a los costos de energía eléctrica, y a su vez la creciente ola del uso de energías alternativas, ponen de manifiesto la implementación de un sistema amigable con el medio ambiente y que, a su vez, genere dentro de las empresas retribuciones de tipo económico y de mayor independencia, generando sistemas dentro de la empresa más eficientes y autónomos.

Las condiciones actuales a nivel mundial, donde los índices de contaminación presentes por el uso constante de los combustibles fósiles, el mal manejo de los mismos, y la escases actual por su uso desmedido durante los últimos 150 años de consumo, han popularizado el uso de las energías alternativas y renovables; es por ello que el informe que presento el prestigioso REN 21 el año anterior sobre las energías alternativas, permiten evidenciar datos como los siguientes, “Las adiciones de capacidad instalada de energía renovable marcaron un nuevo record en 2016, con 161 giga watts (GW) añadidos, lo cual aumentó el total mundial en casi 9% en comparación con el 2015. La capacidad solar Fotovoltaica fue la estrella de 2016, pues representa cerca del 47% de las adiciones totales, seguida por la energía eólica con 34% y la energía hidráulica con 15,5%. Por quinto año consecutivo, la inversión en capacidad de energía renovable (incluyendo toda la energía hidráulica) aproximadamente duplicó las inversiones en capacidad de generación de combustibles fósiles, alcanzando los \$249,8 miles de millones de dólares. Hoy en día, el mundo añade más capacidad de energía renovable al año que la capacidad neta que añade para todos los combustibles fósiles combinados” (REN 21, 2017).

Mirando más de cerca nuestro panorama nacional, “Colombia cuenta con un cubrimiento del 70% proveniente de energía hidroeléctrica y el 30 % restante repartido en energía solar, eólica, biomasa y en un mayor porcentaje por la energía térmica” (PORTAFOLIO, 2016); dada esta política tan baja del uso y explotación de energías alternativas, son pocas las empresas a nivel nacional que tienen dentro de sus instalaciones sistemas de cogeneración, que se apoyen al sistema interconectado nacional para abastecer sus procesos energéticos.

Es por ello que la empresa CYGNI Ingeniería SAS, desea implementar dentro de sus instalaciones el uso de un sistema autónomo y eficiente lo cual no solo los posicionara a la vanguardia dentro del sector, sino que también permitirá la exploración y apropiación de sistemas de generación autónoma y la consecución no nuevos modelos de negocio. Así pues, se pretende realizar una prueba piloto, en la cual, se suplirá el abastecimiento de iluminación interno con el que cuenta la compañía, si esta etapa piloto resulta en un éxito tanto energético como económico se buscara progresivamente la independencia del sistema interconectado nacional, abasteciendo de forma autónoma sus procesos productivos dentro de la empresa buscando dejar de ser un consumidor y pasar a ser un generador dentro del SIN.

Por tanto, diferentes tipos de energía alternativa como biomasa, fotovoltaica, eólica, etc. Pueden llegar a ser una solución a la problemática que presenta la empresa CYGNI Ingeniería SAS, es por ello que la selección adecuada de un sistema de generación alternativo se vuelve imperante para suplir las condiciones que plantea la empresa.

Para lograr una selección adecuada de dicho sistema es necesario tener en cuenta la disponibilidad de recursos con que se cuenta, así pues, es necesario acotar que la empresa CYGNI Ingeniería SAS se encuentra ubicada en la localidad de Santa Fe en la ciudad de Bogotá D.C, en cuanto a su instalación física cuenta con un área de 144 m², es una bodega a doble altura con una altura promedio igual a la de las construcciones aledañas, además cuenta con un techo construido a dos aguas; como se requiere de una inversión económicamente baja desde el punto económico, se ha optado por la generación eólica, ya que la localización y disposición del lugar sumados a la instalación física disponible, la convierten en la opción más rentable y con menor inversión en adecuación física para su implementación.

2.1 Estado del Arte

En la actualidad la preocupación ambiental es grande y desde años atrás se han venido realizando ambiciosos proyectos con el fin de construir generadores de energía limpia; diversos estudios e investigaciones hacia la generación limpia abordando distintas fuentes como lo son la biomasa, hidráulica, solar, eólica entre otras, ha dado como resultado gran aceptación e importantes avances en cada una de estas ramas.

En ese orden de ideas y según datos históricos del banco mundial se ha presentado un descenso significativo de la generación de energía eléctrica a partir de recursos fósiles, y cerca del 13% en los últimos 50 años, así como un alza en la producción de energía a partir de fuentes renovables sin incluir la generación hidroeléctrica del orden de 1,4 billones de Kw – hora en los últimos 50 años (Banco mundial, 2014)

Al hacer la lectura de dichos valores es necesario recordar y tener en cuenta que la población en el mundo en esos últimos 50 años ha aumentado en promedio 1,6%, con lo cual se evidencia un alto grado de desarrollo y apropiación de los recursos naturales en pro de la generación eléctrica.

Le energía eólica ocupa un gran peldaño en este desarrollo energético limpio, y es que, “la capacidad eólica en todo el mundo llegó a 393 GW a finales de junio de 2015, de los cuales 21’7 GW se añadieron en los primeros seis meses del año” (Roca, 2015), esto se debe principalmente a que sin importar la localización geográfica en que se encuentre, se puede encontrar corrientes de viento que pueden llegar a ser utilizadas con fines energéticos.

Lo anterior representa una ventaja plausible respecto a las demás formas de energía renovable, y es que, para tomar como ejemplo la energía solar, se deben cumplir unas condiciones bastante estrictas para que su rendimiento y aprovechamiento sea el adecuado, dichas condiciones casi que solo las cumplen los países tropicales y dentro de ellos también se tiene una segregación adicional.

Así pues, el uso de la energía eólica, a gran y pequeña escala puede llegar a posicionarse como la principal fuente de generación energética en el mundo, solo si es posible vencer su gran desventaja, y es el costo de fabricación operación y montaje.

Es por esto que se encuentra a lo largo del mundo unos cuantos parques eólicos con generadores de eje horizontal los cuales resultan costosos debido a su tamaño y a los materiales empleados en su fabricación, además de que requiere terrenos bastante extensos ara que las estelas de los mismos generadores no se perturben y generen interferencias entre sí.

Debido a esto, se han creado diferentes desarrollos respecto a generadores de menor rendimiento pero con unos requisitos de operación mínimos, este es el caso del generador Savonius, un generador de eje vertical de baja potencia, cuya fabricación se puede realizar con diversos materiales de bajo costo, debido a la brevedad de fabricación los estudios enfocados a este tipo de generadores se han desarrollado en torno a su eficiencia.

Producto de estos estudios ha surgido un prototipo de rotor Savonius de geometría helicoidal construido por la compañía WindSide, el cual presenta una mayor eficiencia que los modelos convencionales, así mismo posee una construcción de mayor complejidad debido a su geometría, para la fabricación de este modelo emplean diversos materiales como lo son compuestos de fibra de vidrio, aluminio y acero inoxidable.

El desarrollo de este tipo de tecnologías en Colombia es insipiente puesto que el único lugar catalogado como parque eólico y de generación de energía limpia es el parque Jepirachi, el cual es un parque ubicado en el mar frente a las costas de la guajira el cual posee 15 generadores de eje horizontal, que desde su instalación y

hasta la fecha se ha mantenido en fase experimental puesto que no se encuentra conectado con el sistema interconectado nacional.

Recientemente “la comisión de regulación de energía y gas (CREG) definió las reglas para que los usuarios del servicio de energía eléctrica en el país puedan producir energía y venderla al sistema interconectado nacional” (ACIEM, 2018) lo cual evidencia la potencialización de las energías renovables en el país pero desde entes particulares sin evidenciar interés alguno en el gobierno actual.

Como parte de estas iniciativas particulares se encuentra en el país el Grupo Celsia, el cual ubica su actividad dentro de este nicho en ofrecer soluciones de autogeneración y cogeneración a partir de la energía solar, para industrias y hogares, dentro de sus clientes más reconocidos se encuentra la planta de Nacional de chocolates ubicada en el municipio de Buga la grande en el valle del cauca.

Además de esto se encuentran diversos desarrollos y aportes desde la academia en la generación eléctrica a partir de fuentes renovables, no solo desde la utilización e implementación sino también desde rendimiento y más aún, el apropiamiento y adaptación de diversas soluciones buscando la optimización de la misma, es el caso del proyecto de grado de tecnología mecánica de los estudiantes Diana Carolina Ramírez Salcedo y Juan David Orjuela Franco presentado en el año 2015 en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, el cual llevaba por título “fabricación en resina poliéster reforzada con fibra de vidrio de un rotor eólico tipo Savonius mediante modelado directo sobre modelo físico” en el cual se planteaba el problema del elevado costo de fabricación de rotores eólicos tipo Savonius en la variante WindSide brindando como solución la fabricación de dicho rotor a partir de resina poliéster reforzada con fibra de vidrio, realizando el modelado sobre un modelo realizado a partir de aproximaciones en madera para finalmente alistar la superficie de trabajo con masilla, en el cual se obtuvieron aproximaciones bastante buenas respecto al modelo de computador y el modelo realizado por medio de impresión 3D en la misma universidad.

2.2 Justificación

Dado que a nivel Nacional las políticas e implementación de energías alternativas son pocas, la empresa CYGNI Ingeniería SAS pretende contar entre sus instalaciones con un sistema amigable con el medio ambiente que supla las necesidades energéticas que presenta en sus instalaciones, y de esta manera abastecer el sistema de iluminación de la empresa; contando con un sistema que le reduzca costos y mayor autonomía del sistema nacional interconectado, también en lo posible generar un modelo económico que pueda presentar a otros usuarios o interesados en el uso de este tipo de sistemas de generación.

Con base a lo antes mencionado, el proyecto pretende presentar un sistema de generación eficaz que sea rentable, sostenible y económico para las necesidades que presenta la empresa CYGNI, también dar la posibilidad de abordar desde la academia en temas de interés nacional e internacional, como es el uso de energías

alternativas; y de esta manera promover e incentivar el estudio de este tipo de sistemas.

Por todo lo anterior es importante contemplar diferentes fuentes y formas de generar energía eléctrica, como lo es la energía eólica, teniendo en cuenta que la velocidad del viento en promedio para Colombia en la superficie es de alrededor de 4 m/s (IDEAM, 2016) y que “los aerogeneradores multipala y Savonius alcanzan su máximo coeficiente de potencia y rendimiento aerodinámico para velocidades específicas bajas. Funcionan bien con velocidades del viento pequeñas.” (Villarrubia López, 2012) Siendo los generadores de eje vertical los más apropiados para la implementación dentro del terreno nacional, y las ciudades de este.

Así mismo, el desarrollo de energía a pequeña escala permitiría llegar a las zonas desconectadas de la red de interconexión nacional mejorando así la calidad de vida de las familias asentadas en dichas zonas.

Se proyecta que las condiciones para que el generador obtenga la aceptación que requiere, estarán dadas por la implementación de medios alternativos para su fabricación, con el fin de disminuir su costo. Así pues, se plantea realizar el rotor mediante técnicas de producción e industrialización económicas y asequibles.

Técnicas como el termo formado de láminas de poli estireno calibre 60 u 80, que cual permite una buena maniobrabilidad ya que a baja temperatura permite un flujo laminar constante, siendo un material reciclado y de bajo costo y bajo peso se convierte en una alternativa bastante viable a desarrollar.

En este proyecto se pretende la estandarización y viabilizarían de la generación eléctrica a partir de generación eólica mediante un rotor tipo Savonius helicoidal de bajo costo.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Implementar un sistema de generación eólica tipo Savonius, dentro de las instalaciones de la empresa CYGNI, el cual permita abastecer el sistema de iluminación con el que cuenta la planta actualmente durante sus horas laborales diarias.

3.2 Objetivos Específicos

- Recolectar datos en la zona de instalación (consumo de energía, velocidad del viento, dirección, horas de uso, capacidad a instalar, etc.)
- Elaborar el modelamiento gráfico y matemático de los alabes y el rotor eólico tipo Savonius helicoidal.
- Realizar los cálculos pertinentes para el generador eléctrico y la transmisión mecánica cumpliendo con la potencia requerida.
- Fabricar el rotor eólico mediante termoformado de láminas de poliestireno.

- Ensamblar los elementos que componen el rotor y realizar pruebas de funcionamiento en vacío.
- Instalar el generador eólico y realizar pruebas y seguimiento de funcionamiento.

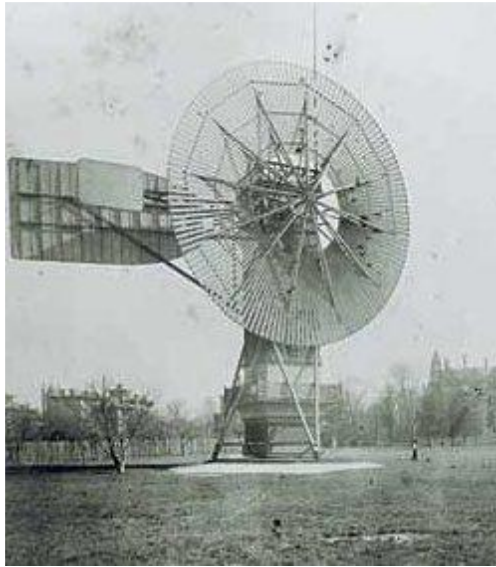
4. MARCO TEORICO

4.1 Energía eólica

El recurso eólico ha sido explotado durante mucho tiempo en todas partes del mundo “Aunque el aprovechamiento de la energía eólica data de las épocas más remotas de la humanidad (los egipcios ya navegaban a vela en el año 4.500 [a.C.]), la primera noticia que se tiene sobre el uso del viento mediante un molino proviene de Herón de Alejandría que construyó una estructura en el siglo 2 [a.C.] para proporcionar aire a su órgano” (Antesana Nuñez, 2004).

El uso de los molinos de viento también es un tema bastante conocido en Europa y el mundo “Los molinos más antiguos, pertenecientes a la civilización Persa en el siglo 7 [d.C.], eran de eje vertical y se utilizaban para la molienda y bombeo de agua” (Antesana Nuñez, 2004).

En cuanto a la generación eléctrica funcional se tiene registros de 1886 “El primer aerogenerador capaz de generar corriente continua fue fabricado por Charles Brush en los años 1886-87. Tenía un rotor de 17 [m] de diámetro y estaba constituido por 144 palas de madera (multipala americano). Podía generar hasta 12[kW] de potencia” (Antesana Nuñez, 2004). (Figura 1)



*Figura 1: Aerogenerador de Charles Brush 1886
fuente: (Antesana Nuñez, 2004)*

Aunque no sucede lo mismo para el caso colombiano, en donde el uso de ese extenso recurso no parece apropiarse, puesto que, en cuanto a generación eléctrica a gran escala tan solo se cuenta con un parque que genera cerca de 3000 MW, el cual se encuentra desconectado puesto que es un plan piloto y puede llegar a abastecer cerca del 20% de la demanda nacional (Güesguán Cerpa, 2015) y en cuanto a producción a pequeña escala se encuentran, pequeños proyectos aislados principalmente de trabajos universitarios.

4.2 Tipos de aerogeneradores

Existen diferentes formas de clasificarlos entre las más comunes están la disposición del eje de giro, es decir eje horizontal (son las más usadas) y de eje vertical; por la velocidad del rotor, según su generación eléctrica y la potencia nominal. (Figura 2)

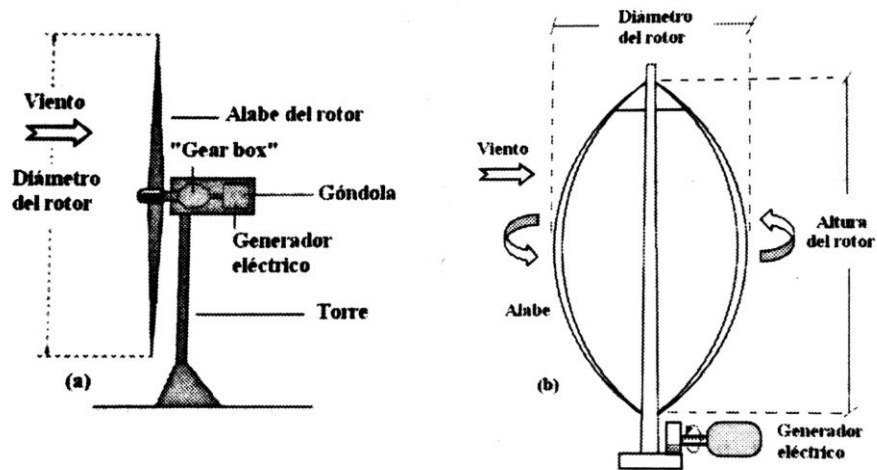


Figura 2: Clasificación de aerogeneradores según disposición del eje giro.
Fuente: (Villarubia Lopez, 2012)

“un parámetro empleado para diferenciar los distintos tipos de turbinas eólicas, es la relación entre la velocidad lineal del extremo de la pala y la velocidad nominal del viento. Esta relación se conoce como velocidad específica de la turbina (tip speed ratio) y se designa como λ (lambda)” (Villarubia López, 2012). (Figura 3)

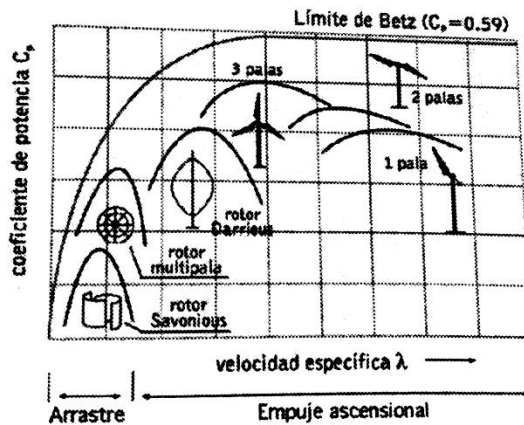


Figura 3: Coeficiente de potencia en función de la velocidad específica para distintos tipos de aerogeneradores.
Fuente: (Villarubia lopez, 2012)

La velocidad nominal del viento es aquella para la cual el rotor alcanza su potencia nominal.

“Para valores de λ inferiores o del orden de la unidad, la maquina presenta un par de arranque grande y tiene muchas palas. En cambio para valores elevados de λ , la turbina tiene menos palas (tripala o bipala), presenta un par de arranque menor y la velocidad del extremo de la pala es mayor” (Villarrubia López, 2012). El análisis anterior aplica para generadores de eje vertical debido a la incidencia y el perfil de ataque del alabe.

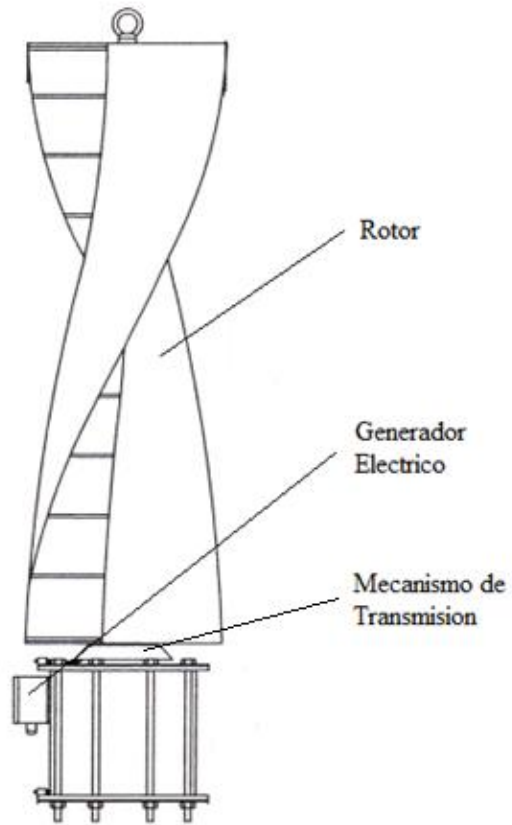
4.3 El viento

El viento se define en esencia como aire en movimiento “a escala global se debe a las diferencias de temperatura que provoca la radiación solar sobre las distintas partes del globo terrestre. Las diferencias de densidad y presión originadas por estas variaciones de temperatura son la causa del movimiento de las masas de aire.” (Villarrubia López, 2012).

“En la estructura vertical de la troposfera, se distingue entre las capas más próximas a la superficie terrestre, donde el rozamiento es importante y las más alejadas donde es mucho menor y puede considerarse poco significativo (condiciones de atmosfera libre)” (Villarrubia López, 2012). La zona más próxima es la capa limite, donde la fuerza de rozamiento hace que la velocidad del viento en las zonas de baja presión sea mayor; es en esta capa donde se sitúa el estudio del viento para aplicaciones de generación eléctrica a partir del aire.

4.4 Aerogenerador Savonius

El aerogenerador tipo Savonius fue diseñado por el ingeniero finlandés Sigurd J. Savonius en 1924 y patentado por éste en 1929 (Correa Delgado, 1996). El cual consta de tres piezas fundamentales: el Rotor, mecanismo de transmisión y el generador eléctrico (Figura 1). El principio de funcionamiento se basa en la fuerza de arrastre diferencial que generan las corrientes de viento sobre las superficies del rotor, que debido a la curvatura de los alabes de éste presenta menor resistencia cuando gira en contra del viento que lo impulsa (Figura 2). Siendo este rotor un mecanismo de arrastre obtiene menor fuerza de las corrientes de aire que las turbinas de sustentación convencionales; lo cual le permite soportar turbulencias y accionamientos con bajas velocidades del viento (Orduz Berdugo & Suárez Pérez, 2011)



*Figura 4: Componentes del Aerogenerador tipo Savonius.
Fuente: <http://www.windside.com/filebank/130-WS-0%2C30B.pdf>*

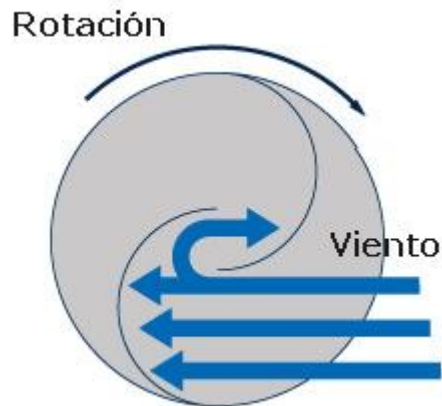


Figura 5: Principio accionamiento Rotor Savonius.

Fuente: <http://www.lbaindustrial.com.mx/products/aerogeneradores-de-eje-vertical/>

Para obtener un diseño adecuado del rotor es necesario tener en cuenta algunas relaciones de dimensionamiento y aspecto. “Diferentes experimentos han mostrado que para alcanzar un coeficiente de potencia (**C_p**) máximo las relaciones geométricas deben ser: $s/a=1/6$; s/d entre $1/10$ y $1/20$; el cruzamiento de las aspas **e** igual a cero; la relación de aspecto, o sea la relación entre la altura del rotor y **d** debe ser 2, los extremos del rotor deben estar cubiertos y la curvatura de los álabes debe ser simétrica” (Rodríguez Devis, 1985); dichas variables se encuentran esquematizadas en la figura 3.

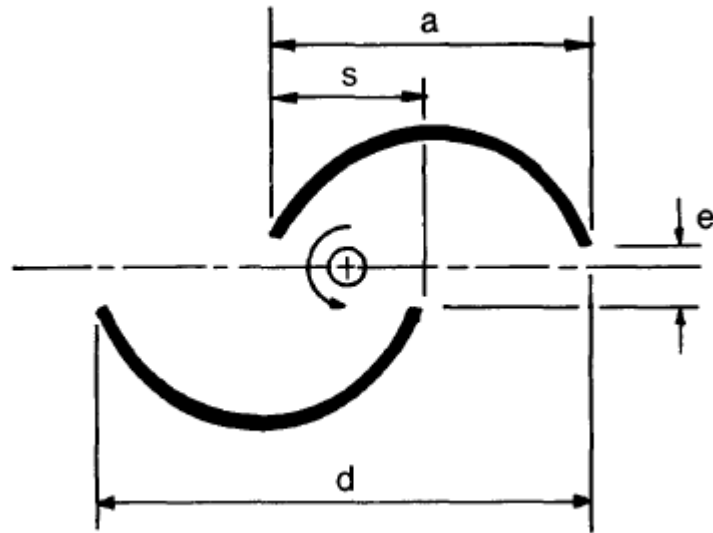


Figura 6: Parámetros de construcción de un rotor Savonius.
Fuente: (Rodríguez Devis, 1985)

4.5 Poliestireno

“En condiciones normales el homo polímero de poliestireno es transparente, inodoro, insípido y relativamente frágil, a no ser que se modifique. El homo polímero se caracteriza por su rigidez, brillo claridad y facilidad de procesado, pero tiende a ser frágil, las propiedades al impacto del poli estireno pueden mejorarse mediante la polimerización con el elastómero poli butadieno” (Smith, 1998)

Puede ser empleado en impresión, termo formado y dobléz, con este material es posible fabricar bandejas, contenedores e infinidad de piezas termoformadas.

Su estado de suministro es en láminas principalmente en dimensiones de 1,00 x 2,00 m con espesores calibrados en centésimas de pulgada (tabla 1) y una variedad de colores, sumado a un peso bastante bajo.

Calibre	Espesor (mm)	Peso (Kg/m ²)
10	0,25	0,27
15	0,37	0,41
20	0,50	0,54
25	0,62	0,68
30	0,75	0,81
40	1,00	1,08
50	1,25	1,35
60	1,50	1,62
70	1,75	1,89
80	2,00	2,16
100	2,50	2,70
115	2,87	3,11
120	3,00	3,24
150	3,75	4,05
200	5,00	5,40

*Tabla 1: Espesores y pesos de láminas de poli estireno
Fuente: Propia.*

4.5.1 técnica de termoformado

“El término termo formado define un proceso en el que un film o lámina de un polímero termoplástico se calienta de manera controlada a temperaturas cercanas a la temperatura de transición vítrea del material para luego, con ayuda de un flujo de aire, de vacío, de manera mecánica e incluso con acciones combinadas se deforma la lámina plástica en una forma geométrica definida” (Correa Espinoza). Una vez realizada esta deformación se permite su enfriamiento a temperatura ambiente, antes de ser retirado del molde, con lo cual se garantiza la permanencia de la forma.

Para el poli estireno se emplean temperaturas inferiores a 100 °C, lo cual permite el termoformado del material, el cual se realiza en cámaras de vacío o para aplicaciones especiales se realiza mediante aplicaciones manuales, dependiendo esta última de la destreza y conocimiento del operario.

4.6 Generación de energía eléctrica

Para la generación de energía eléctrica a partir de la energía cinética del viento se deben tener en cuenta distintos aspectos, como son “el régimen de velocidad del rotor eólico, tipo de regulación, régimen del viento, requisitos de la red eléctrica o costes de inversión y explotación” (Villarrubia López, 2012).

En la figura 5 se aprecia un esquema con las distintas opciones que se pueden tener para la transformación de la energía cinética en energía eléctrica, la decisión sobre que configuración usar depende de las características definidas en el montaje.

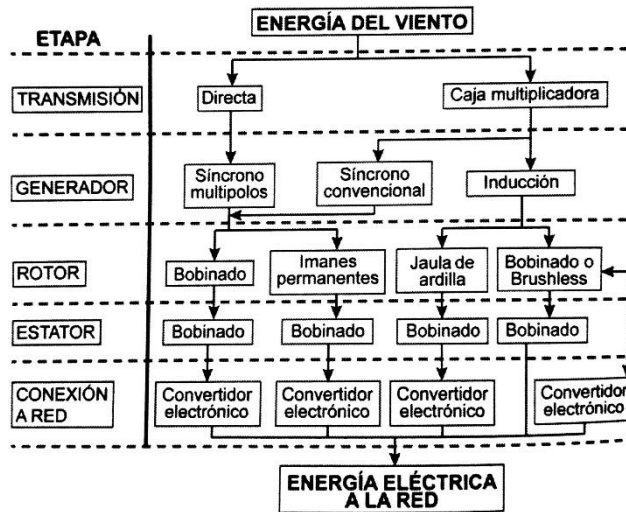


Figura 7: opciones para la conversión de energía eólica en electricidad
Fuente: (Villarrubia López, 2012).

5. METODOLOGIA

Se empleara una modificación a la metodología Merise, puesto que es utilizada para el desarrollo de sistemas de información, es posible tomar como base esta metodología, puesto que, “su objetivo primario es diseñar un método, que permita a los equipos de diseño completar sus proyectos dentro del costo y tiempos planteados” (Reyes Fuentes, 2007); esta metodología tiene como etapas las nombradas a continuación:

5.1 Recolección de información

Durante esta etapa se prevé, recopilar la información pertinente a las condiciones de la empresa, capacidad eléctrica a instalar, condiciones meteorológicas del lugar. Datos que serán de vital importancia para conocer los alcances a los que se verá previsto el proyecto.

5.2 Estudio Preliminar

En esta primera fase se tiene que revisar y analizar los costos, recursos y tiempo necesarios para la realización del proyecto.

Luego de esto, se escogen los recursos y costos más convenientes para el buen desempeño del proyecto.

5.3 Estudio Detallado

En este punto de la metodología, el objetivo es el diseño y cálculo del modelo, tomando como apoyo para el diseño el Software Solid Works 2016 versión estudiantil, y hojas de cálculo de Excel para los respectivos cálculos e iteraciones a que haya lugar.

Las actividades a realizar en esta etapa son: diseño preliminar y diseño detallado.

5.3.1 Diseño Preliminar

En esta fase se realizarán los diseños preliminares del modelo, en los cuales, se definirá el diseño esperado al final de la etapa constructiva, así como una aproximación en cuanto a la relación de transmisión y elementos que compondrán el circuito eléctrico y de control.

5.3.2 Diseño Detallado

En esta fase de diseño, se busca realizar diseño constructivo del rotor, el generador y el armario de control, en esta etapa los cálculos para rendimiento y dimensionamiento se realizarán con base en el atlas de vientos y energía eólica de Colombia.

5.4 Etapa de Fabricación

En esta etapa se da inicio a la fabricación formal desarrollando moldes y aplicando técnicas para la fabricación por separado de todos los elementos que componen el generador eólico, dichos procesos se listan a continuación:

- Molde de termoformado
- Corte y termoformado de poli estireno
- Fabricación de estructura
- Corte y fabricación de generador eléctrico
- Instalación de circuito eléctrico y de control

5.5 Ensamble De Piezas

Una vez fabricados todos los elementos por separado se procede a ensamblarlos en el orden adecuado para finalmente hacer pruebas de funcionamiento y acople, estas pruebas se realizan en vacío o en un banco de pruebas.

5.6 Instalación y puesta en marcha

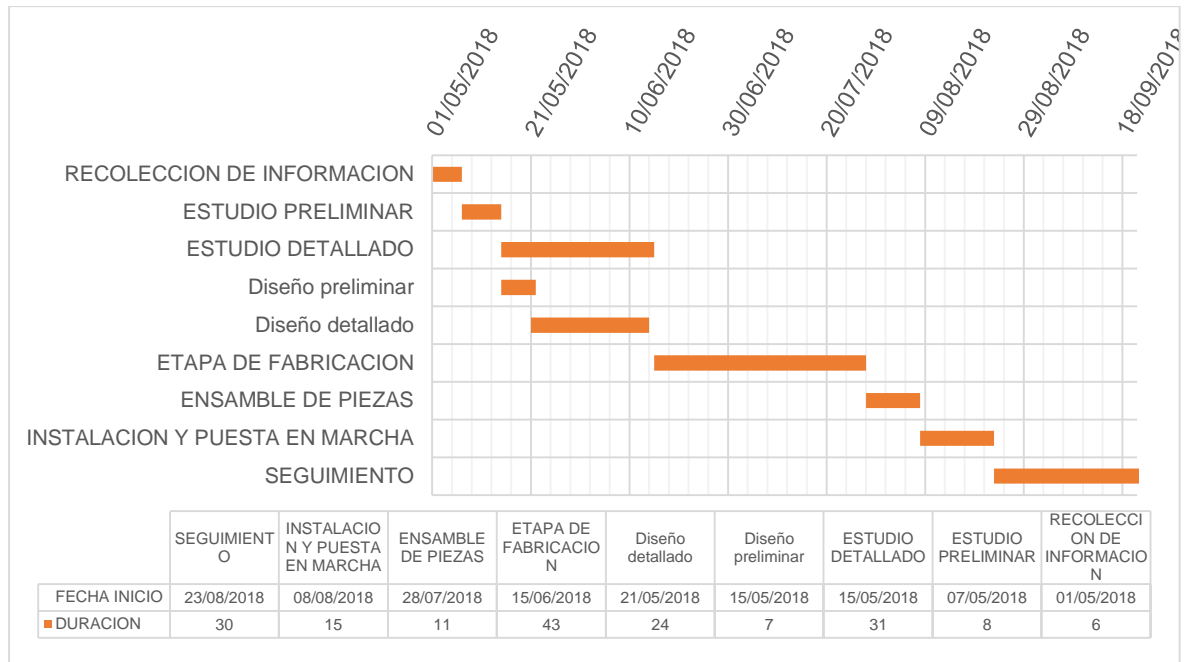
Posterior a la toma de velocidades como termino de referencia y para realizar comparaciones con los valores consignados en el atlas de vientos y energía eólica de Colombia se procederá con la instalación y puesta en marcha del generador.

5.7 Seguimiento

Una vez puesto en marcha, se realizarán tomas periódicas de rendimientos y perfiles de velocidad y generación, esto con el fin de garantizar los requerimientos planteados para la generación eléctrica, para con esto finalizar el proyecto.

6. CRONOGRAMA

Las actividades descritas en la metodología se ordenan de manera cronológica mediante un diagrama de Gantt (Figura 6) en el cual se propone una duración estimada de 20 semanas.



*Figura 8: Diagrama de Gantt, Actividades a realizar
Fuente: Propia.*

7. PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACION

Para el desarrollo del proyecto se destinarán recursos tanto por parte de CYGNI Ingeniería SAS, así como recursos propios, además servicios propios del proyecto como lo es el corte laser específicamente será asumido por la empresa CYGNI Ingeniería SAS, puesto que son ellos quienes cuentan con la infraestructura y los medios necesarios para tal fin. En la tabla 2 se relacionan los costos aproximados del proyecto discriminados por materiales sin tener en cuenta los servicios que se requieran, y en la tabla 3 se relacionan las horas hombre dedicadas a cada actividad presente en la metodología para el desarrollo del proyecto y tasadas respecto al valor de una hora ordinaria del SMLV.

Material	Cantidad	Valor unitario	Valor Total
Masilla Automotriz	250 Gramos	14000	14000
MDF de 10 mm	2 Laminas	75000	150000
Poliestireno calibre 80	2 laminas	95200	190400
Rodamientos Axiales	2 unidades	35000	70000
Imanes de neodimio	30 unidades	9000	270000
Lamina Acero inoxidable 430 Calibre 16	media lamina	230000	115000
Alambre de cobre Cal. 12	1 caja	200000	200000
PE-HD 3" para rodamientos	30 cm	1800	54000
Batería seca de respaldo	1	86000	86000
Inversor de Voltaje	1	150000	150000
Controlador	1	52000	52000
		TOTAL	1216400

Tabla 2: Costos asociados a los materiales

Costos asociados a los materiales

Fuente: Propia

ACTIVIDAD	HORAS HOMBRE	VALOR NETO
<i>Recoleccion de información</i>	20	65100
<i>Estudio preliminar</i>	10	32550
<i>Estudio detallado</i>	30	97650
diseño preliminar	10	32550
diseño detallado	20	65100
<i>Etapa de fabricación</i>	50	162750
<i>Ensamble de piezas</i>	10	32550
<i>Instalacion y puesta en marcha</i>	15	48825
<i>Seguimiento</i>	20	65100
Total	155	504525

Valor hora SMLV	3255
-----------------	------

*Tabla 3: Costos asociados a la mano de obra por etapas
Fuente: Propia*

8. BIBLIOGRAFÍA

ACIEM, Autogeneración a pequeña escala y generación distribuida. Disponible en: <http://www.aciem.org/home/index.php/prensa/noticias-aciem/33-aciem/prensa/noticias-diarias/energia/22983-autogeneracion-a-pequena-escala-y-generacion-distribuida>

ANTESANA NUÑEZ, Juan Cristóbal: Diseño y Construcción de un Prototipo de Generador Eólico de Eje Vertical. Santiago de Chile, 2004. 120 h. Memoria para optar al título de (ingeniero civil electricista), universidad de Chile, Facultad de ciencias físicas y matemáticas, departamento de ingeniería eléctrica. Disponible en: <https://www.uv.es/~navasqui/OtrosAerogeneradores/Aerogen-vertical.pdf>

BANCO MUNDIAL, producción de electricidad. Disponible en: <https://datos.bancomundial.org/indicador/>

CORREA DELGADO, José Fabricio: Guía para Diseño de Generadores Eólicos Verticales Tipo Savonius, Guayaquil, 1996, 115 h, trabajo de grado (Ingeniero Mecánico), Escuela politécnica Superior del Litoral, facultad de ingeniería en mecánica. Disponible en: http://www.cib.espol.edu.ec/Digipath/D_Tesis_PDF/D-28499.pdf

CORREA ESPINOZA, Erik: Termo formado de geometrías complejas, 80 h. Trabajo fin de master. (Ingeniería de los materiales y fabricación). Universidad Pública de Navarra. Disponible en: http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/18751/TERMOFORMADO%20DE%20GEO%20METRIAS%20COMPLEJAS_ERIK.pdf?sequence=1

GÜESGUAN CERPA, Óscar. Para 2018 Colombia estará generando energía eólica. En El Espectador. Bogotá D.C (05 de Noviembre de 2015). Disponible en: <https://www.elespectador.com/noticias/economia/2018-colombia-estara-generando-energia-eolica-articulo-597377>

INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, Atlas de vientos y energía eólica de Colombia. IDEAM 2016

ORDUZ BERDUGO, Oscar Iván y SUÁREZ PÉREZ, Julián Edgardo: Diseño y construcción de un prototipo de turbina eólica de eje vertical para generación a baja potencia, Bucaramanga, 2011, 172 h, trabajo de grado (Ingeniero Mecánico), Universidad Industrial de Santander, Facultad de ingenierías físico – mecánicas, escuela de ingeniería mecánica. Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2011/137798.pdf>

PORTAFOLIO, artículo: energías renovables la apuesta que debe hacer el país, 5 de diciembre del 2016. Disponible en: <http://www.portafolio.co/innovacion/energias-renovables-en-colombia-502061>

REN 21, informe: avanzando en la transición mundial hacia la energía renovable, 2017. Disponible en: http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/07/17-8399_GSR_2017_KEY-FINDINGS_Spanish_lowres.pdf

REYES FUENTES, Matilde: Metodologías para el desarrollo de software educativo, Pachuca de Soto, 2007, 142 h, monografía (licenciado en sistemas computacionales), instituto de ciencias básicas e ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Disponible en: <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/231104/322/1/Metodologias%20software%20educativo.pdf>

ROCA, José. Los 10 mayores parques terrestres del mundo para EL PERIÓDICO DE LA ENERGIA (20 de Octubre de 2015). Disponible en: <https://elperiodicodelaenergia.com/los-10-mayores-parques-eolicos-terrestres-del-mundo/>

SMITH William F: Fundamentos de la ciencia e ingeniería de los materiales. Tercera Edición. Madrid España. Editorial: Mc Grau Hill 1998. Páginas 356 y 357.

VILLARRUBIA LÓPEZ Miguel: Ingeniería de la energía eólica. Nuevas Energías. Barcelona España. Editorial: Marcombo. 2012. Página 134.