



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
MECÁNICA ELÉCTRICA.**

“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE AEROGENERADORES PARA  
OPTIMIZAR LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA  
PROVINCIA DE CAJAMARCA - 2017”

**Tesis**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICÍSTA.**

**AUTOR:**

WILSON FERNANDO VELARDE BECERRA

**ASESOR:**

Ing. LUIS FERNANDO CHAPOÑAN RIMACHI

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

GENERACIÓN, TRANSMICIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA

CHICLAYO – PERÚ

2017.

## PÁGINA DEL JURADO

---

**Alumno:** Wilson Fernando Velarde Becerra

Presenta a la **Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad César Vallejo – Chiclayo**, para optar el título profesional de **Ingeniero Mecánico electricista**.

**APROBADO POR:**

---

Ing. SALAZAR MENDOZA ANIBAL JESUS.

**PRESIDENTE**

---

Ing. RAMOS MARTINEZ LUIS

**SECRETARIO**

---

Ing. ADANAQUE SANCHEZ JOSÉ

**VOCAL.**

## **DEDICATORIA.**

La presente tesis está dedicada a Dios, ya que gracias él he logrado concluir mi carrera con éxito desarrollándome como persona y profesionalmente.

A mis padres porque siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo con sus consejos para ser de mí una mejor persona, gracias a su apoyo económico que también me ayudó para poder continuar con mis estudios.

A mis hermanos y sobrinos, por sus palabras de aliento en los momentos de dificultades que pasé para continuar adelante con mis sueños.

A la prestigiosa universidad César Vallejo por brindarnos la oportunidad de seguir adquiriendo conocimientos para nuestra formación profesional.

A cada uno de los docentes por brindarnos sus conocimientos y el apoyo necesario para lograr nuestros objetivos.

**Wilson Fernando Velarde Becerra.**

## **AGRADECIMIENTO.**

En primer lugar, agradezco a Dios por haberme dado la sabiduría, entendimiento y fortaleza para poder llegar al final de mi carrera profesional, por no haberme dejado que me rindiera en ningún momento, mi agradecimiento muy especial a mis padres por haberme dado la vida y a ser de mí una persona de bien con sus buenos consejos y apoyo, para desarrollarme como profesional.

También me gustaría expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a todas personas que estuvieron conmigo en momentos difíciles y brindarme su apoyo moral para no rendirme, así mismo agradezco a la Universidad César Vallejo por haberme abierto las puertas para continuar mis estudios, y a los docentes por haberme inculcado buenos valores y conocimientos.

**Wilson Fernando Velarde Becerra.**

## DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, **Wilson Fernando Velarde Becerra**, identificado con DNI N° **46033434**, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el **Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de ingeniería, escuela académico profesional de ingeniería mecánica eléctrica**, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo, declaro también bajo juramento, que todos los datos, información y documentación de ésta tesis que es presentada a la Escuela de Ingeniería mecánica eléctrica, son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la **Universidad César Vallejo**.

**Chiclayo, setiembre del 2017.**

---

**Wilson Fernando Velarde Becerra**

**DNI: 46033434**

## PRESENTACIÓN

Señores integrantes del Jurado:

En cumplimiento del **reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo**, presento ante ustedes la Tesis titulada “**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE AEROGENERADORES PARA OPTIMIZAR LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA PROVINCIA DE CAJAMARCA - 2017**”, la misma que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el Título Profesional de **INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**.

En el Capítulo I, se presenta la realidad problemática considerando la generación de energía eléctrica por medio de aerogeneradores que ha sido y es una práctica muy usada e importante en la generación de energía eléctrica, se hace un resumen de los principales trabajos previos y se menciona las teorías relacionadas a los aerogeneradores, luego se enuncia el problema, posteriormente justificar el trabajo de investigación realizado y presentar la hipótesis, con los objetivos de la investigación.

En el Capítulo II, se presenta el diseño de la investigación, describiendo las variables y su Operacionalización de variables, así como la población y muestra, además de las técnicas e instrumentos de recolección de datos utilizados en la investigación, así como los métodos de análisis de datos.

En el Capítulo III, se presenta los resultados obtenidos de acuerdo con los objetivos generales y específicos definidos.

En el Capítulo IV, se realiza la discusión de los resultados obtenidos.

En el Capítulo V y VI, se presenta las conclusiones y recomendaciones, respectivamente.

Capítulo VII, se muestran las referencias bibliográficas y anexos.

**El Autor.**

# Índice

<b>PÁGINA DEL JURADO</b> .....	<b>II</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>III</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>IV</b>
<b>DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD</b> .....	<b>V</b>
<b>PRESENTACIÓN</b> .....	<b>VI</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>IX</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>X</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>11</b>
<b>1.1 Realidad Problemática</b> .....	<b>11</b>
1.1.1 A Nivel Internacional .....	11
1.1.2 A Nivel Nacional .....	12
1.1.3 A Nivel Local .....	16
<b>1.2 Trabajos previos</b> .....	<b>17</b>
1.2.1 A Nivel Internacional .....	17
1.2.2 A nivel Nacional .....	18
1.2.3 A Nivel Local .....	20
<b>1.3 Teorías relacionadas al tema</b> .....	<b>21</b>
1.3.1 Energía .....	21
1.3.3 Energía eólica .....	23
1.3.4 La energía eólica en Perú .....	23
1.3.5 Parques eólicos .....	24
1.3.6 Aerogenerador .....	24
1.3.7 Clasificación de los aerogeneradores .....	25
1.3.7.1 Aerogeneradores de eje Vertical .....	25
1.3.7.2 Aerogeneradores de eje Horizontal .....	25
1.3.9 Ventajas actuales de la energía eólica .....	28
1.3.9.1 Desventajas de la energía eólica .....	29
1.3.9.2 Diseño de un aerogenerador .....	31
1.3.9.5 Ángulo de ataque .....	39
1.3.9.5 Simulación con SolidWorks Simulation .....	45
1.3.9.6 Norma Técnica EM-090 Instalaciones para energía eólica .....	47
1.3.9.7 Criterios para la elaborar el estudio de vientos .....	48
<b>1.4 Formulación del problema</b> .....	<b>48</b>
<b>1.5 Justificación del estudio</b> .....	<b>48</b>
1.5.1 Justificación científica .....	48
1.5.2 Justificación económica .....	49
1.5.3 Justificación social .....	49
1.5.4 Justificación ambiental .....	49
<b>1.6 Hipótesis</b> .....	<b>49</b>

<b>1.7</b>	<b>Objetivos .....</b>	<b>50</b>
1.7.1	Objetivo general .....	50
1.7.2	Objetivos específicos .....	50
<b>II.</b>	<b>MÉTODO .....</b>	<b>51</b>
<b>2.1</b>	<b>Diseño de la investigación .....</b>	<b>51</b>
2.1.1	Tipo de investigación.....	51
2.1.2	Diseño la investigación .....	51
<b>2.2</b>	<b>Variables, Operacionalización.....</b>	<b>51</b>
2.2.1	Variable Independiente .....	51
2.2.2	Variable dependiente .....	51
2.2.3	Operacionalización de variables. ....	51
<b>2.3</b>	<b>Población y muestra .....</b>	<b>52</b>
2.3.1	Población.....	52
2.3.2	Muestra.....	52
<b>2.4</b>	<b>Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....</b>	<b>53</b>
2.4.1	Técnicas de recolección de datos .....	53
2.4.2	Validez y confiabilidad de recolección de datos .....	55
2.4.2.1	Validez.....	55
2.4.2.2	Confiabilidad.....	55
<b>2.5</b>	<b>Métodos de análisis de datos.....</b>	<b>55</b>
<b>2.6</b>	<b>Aspectos éticos .....</b>	<b>55</b>
2.6.1	Confidencialidad:.....	55
2.6.2	Derechos de autor:.....	55
2.6.3	Respeto:.....	56
2.6.4	Dignidad:.....	56
<b>III.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>57</b>
3.1	Determinación de la velocidad promedio del viento para la provincia de Cajamarca .....	57
3.2	Fuerza del viento .....	61
3.3	Presión del viento .....	61
3.4	Energía Anual Producida (EAP).....	61
3.5	Área de barrido del rotor (A).....	62
3.6	Rendimiento Total (RT) .....	62
3.7	Cálculo de la eficiencia para cada prototipo de aerogeneradores .....	63
3.8	Análisis de movimiento (Motion) .....	63
3.8	Flow Simulation .....	63
3.9	Determinación del análisis económico del proyecto en términos de VAN, TIR y B/C ....	63
<b>IV.</b>	<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>67</b>
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>71</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>73</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>74</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>.....</b>	<b>77</b>

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo principal el diseño y simulación de cuatro prototipos de aerogeneradores, que pueda cubrir la demanda eléctrica de viviendas rurales en las zonas andinas del país, también el objetivo de la investigación fue, realizar el diseño y la simulación mediante SolidWorks 2016, para aerogeneradores capaces de producir energía eléctrica, el algoritmo permite calcular desde la variable aerodinámica hasta los valores de cargas que debe soportar cada uno de los aerogeneradores, en ésta investigación nuestra población está conformada por aerogeneradores que fueron diseñados y simulados en SolidWorks 2016, para la provincia de Cajamarca - 2017, la muestra la constituyen cuatro prototipos de aerogeneradores, diseñados y simulados por SolidWorks 2016, respectivamente en la provincia de Cajamarca.

Es importante aclarar que para la presente investigación se han considerado los factores que han sido motivo de estudio de muchos investigadores y que en sus publicaciones han demostrado teóricamente la importancia de su aplicación, Especialmente, se busca el equilibrio perfecto entre la sencillez y la funcionalidad, buscando en un futuro la viabilidad constructiva de los prototipos diseñados y simulados por SolidWorks 2016, para el cumplimiento de los objetivos planteados.

Palabras Claves: energía eléctrica, prototipo, aerogenerador, SolidWorks.

## **ABSTRACT**

The main objective of this work is the design and simulation of four prototypes of wind turbines with vertical and horizontal axis that can meet the electric demand of rural houses in the Andean zones of the country. The objective of the research was to carry out the design and simulation using SolidWorks 2016 for wind turbines, capable of producing electrical energy. The algorithm allows to calculate from the aerodynamic variable to the values of loads that each of the wind turbines must support. In this research our population consists of wind turbines that were designed and simulated in SolidWorks 2016, for the province of Cajamarca, the sample consists of four prototypes of vertical and horizontal axis wind turbines, designed and simulated by SolidWorks 2016, respectively in the province of Cajamarca.

It is important to clarify that for this research have considered the factors that have been the subject of study of many researchers and that in their publications have theoretically demonstrated its benefits of application. Essentially, we seek the perfect balance between simplicity and functionality, looking in the future for the constructive viability of the prototypes designed and simulated by SolidWorks 2016 to meet the objectives set.

Keywords: electric power, prototype, wind turbine, SolidWorks.

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Realidad Problemática

#### 1.1.1 A Nivel Internacional

La energía eólica nace en Europa, exactamente en Dinamarca, hoy en día, en países como Alemania y España que se sitúan a nivel de Dinamarca, conformando los países europeos más desarrollados en este tema, es la fuente de energía con crecimiento rápido en el mundo, Dinamarca y España genera 25% de su electricidad con turbinas eólicas, en un futuro se espera aprovechar el recurso eólico presente en todo el mundo, la utilización del viento como fuente de energía proporciona electricidad a sus usuarios con un impacto ambiental, sin ningún gasto de combustible constante, esto gracias a la naturaleza (Brendstrup, 2009, p. 8).

Brendstrup (2009, p. 10), la potencia global instalada se incrementó desde de 5.000 MW en 1995 hasta cerca de 62.000 MW en el 2006, de 94.112 MW al 2007, y 120.000 MW en el 2008, Trece países agregaron más de 100 MW de energía eléctrica.

Brendstrup (2009, p. 10), Estados Unidos, Alemania, España, China e India, la suma de la potencia eólica instalada de estos países, Ronda actualmente los 88.000 MW (casi el 75% de la potencia total instalada en el mundo) en el Reino Unido la empresa London Array Limited fue autorizada en diciembre de 2006 para instalar en el estuario de Londres la mayor granja eólica con 1.000 MW de capacidad, la cual será capaz de proveer electricidad a la cuarta parte de la población de esa ciudad.

Brendstrup (2009, p. 10), la generación eólica estuvo enfrentando hasta julio del dos mil ocho, por falta de componentes para las turbinas todo esto estuvo relacionado con el crecimiento de la demanda de parques eólicos en el mundo, en cierta forma la crisis mundial impactó negativamente en este mercado, tuvo un efecto intermedio, y finales de dos mil nueve, a potencia total instalada de los parques eólicos de todo el mundo alcanzó la cifra de

138.500 MW, la industria eólica genera actualmente en el mundo un total de 440.000 puestos de trabajo.

Gonzalo (2014, párr. 02), la energía eólica está ocupando un posicionamiento importante dentro de las energías renovables que existen en el mundo, este uso es muy adecuado con miras a bajar el calentamiento global que está sufriendo el planeta tierra, producto de la contaminación ambiental.

Gonzalo (2014, párr. 03), en el mundo, China es el país con más parques eólicos con las cuales genera 75.564 MW, el crecimiento de China ha tenido lugar de forma espectacular en los últimos 10 años, Le sigue Estados Unidos y a mayor distancia, Alemania y España.

### **1.1.2 A Nivel Nacional**

El Perú enfrenta todo un estado de crisis ambiental, actualmente se está enfrentando a, problemas de fortaleza institucional que limitan su posibilidad de respuesta y gestión eficiente frente a la contaminación y deterioro creciente de sus ecosistemas, se tiene trabajar mucho en torno disminuir cambio climático, los cuales se calcula un 4.5% de pérdida de PBI al 2025, en Perú y en el mundo se ha visto la necesidad de buscar fuentes alternas de energía, primordialmente las razones se fundamentan en bajar el consumo de los combustibles fósiles, logrando en el tiempo la disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> que se disipan día a día en la atmosfera de nuestro país, en adición a los factores ambientales, se puede mencionar que en algunos países el costo de los combustibles fósiles es bastante elevado (Ferrero, 2007, p. 5).

Ferrero (2007, p. 8), la motivación principal es cambiar los aspectos tanto económicos como ambientales para crear una conciencia colectiva frente al uso de tecnologías de generación de energía, generalmente en recursos limitados que generan consecuencias ambientales y económicas, la implementación de energías renovables en Perú traería innumerables beneficios dentro del campo ambiental y económico.

Ferrero (2007, p. 8), las energías alternativas toman como fuente energética elementos naturales que se clasifican como virtualmente inagotables, a que son

capaces de regenerarse mediante proceso de la naturaleza, entre la fuente más importantes de energías renovables tenemos: el sol, el agua, el calor de la tierra y el viento, la energía eólica o energía proveniente del viento, se encuentra dentro de las alternativas, como una de las ciencias más desarrolladas e investigadas en la actualidad, el objetivo principal de este trabajo es el diseño y simulación de aerogeneradores mediante SolidWorks 2016, destinados al suministro de energía eléctrica a poblaciones alejadas de la red eléctrica peruana, entre las ubicaciones tentativas de las maquinas se encuentran las zonas andinas, debido principalmente a que los vientos en estos lugares son más elevados en nuestro país, debemos ser conscientes entonces de la gran y creciente vulnerabilidad del país, ignorar la necesidad de la mitigación significa el riesgo que los impactos que el país padece, y no puedan ser manejados a largo plazo, y los que sufran serán principalmente, los sectores más pobres del país, como es la provincia de Cajamarca, una de las estrategias de mitigación debe apoyarse en co-beneficios locales y sinergias con el crecimiento económico, la gestión de los recursos renovables y no renovables, sus impactos sobre la calidad del medio ambiente.

Ferrero (2007, p. 8), en 2007 y 2008 se dieron diversas medidas promotoras, el Mapa Eólico del País, que estima un potencial eólico de 22,000 MW, gracias a ello se aprobaron más de 60 concesiones para la ejecución de estudios relacionados al desarrollo de centrales eólicas, principalmente en la costa del país, Se culminó, además, el plan maestro de energías renovables en zonas rurales y se fijaron los porcentajes obligatorios para los biocombustibles, solo el 5% de éstos son utilizados y requiere de un proceso de actualización, es decir una versión moderna y en tiempo real del mapa hidroenergético, además estamos en la obligación de armar un nuevo portafolio de proyectos, lo expuesto nos lleva a reiterar la necesidad de una política de Estado en materia de energía para el desarrollo sostenible del país, es necesario trabajar un planeamiento estratégico vinculante de mediano y largo plazo, hoy todavía inexistente, una primera política es la diversificación de la matriz energética, resumiendo, las energías renovables son intensivas en mano de obra, sirven para estimular la economía del país, nos ayudan a ser competitivos y sostenibles, contribuyen a mitigar los efectos del cambio climático, contribuyen

a diversificar la matriz energética del país y a la seguridad energética, son inagotables, además optimizan y permiten completar el Plan de Electrificación Rural para 40,000 pueblos aislados.

Bañuelos (2011, párr. 17), la situación previa a la privatización de empresas del servicio eléctrico en el Perú presentaba serios problemas en lo referente al acceso limitado al servicio y la baja calidad del mismo, de otro lado con la Ley de Concesiones Eléctricas (1992), se creó el marco jurídico adecuado a fin de ejecutar el proceso de privatización en el sector, posteriormente con la creación del Organismo Supervisor de la Inversión en Energía, Osinerg (1996), se consolidó la serie de reformas que se venían efectuando.

Bañuelos (2011, párr. 17), es importante señalar que, desde la época de la reforma, la cobertura de electrificación en el Perú subió de un 48 %, en 1992, a aproximadamente un 80% actualmente; es decir, el coeficiente de electrificación se ha incrementado considerablemente, teniendo un efecto significativo en la calidad de vida de la población a través de un mayor acceso a la electricidad, si bien todavía en el sector rural falta una cobertura importante, yo diría que aproximadamente se ha avanzado en un 50%, en relación a la capacidad de generación existente respecto a la actual demanda.

Bañuelos (2011, párr. 17), entonces, se necesitan dos temas para que se den condiciones competitivas en dicho mercado: en primer lugar, es que el diseño del mercado eléctrico debe ser el adecuado para que ésta competencia pueda darse, y en segundo lugar, tiene que haber suficiente número de empresas generadoras como para que compitan entre ellas, generalmente para que un mercado sea competitivo se requieren 7 diferentes empresas, para que haya un nivel de competencia bastante aceptable, en nuestro mercado se observa sólo 3 o 4 empresas de igual tamaño por lo que se requiere promover nuevas inversiones, sin embargo, a pesar de que muchos piensan que es fácil que vengan nuevos inversionistas, no hay tantas empresas en el mundo que quieran invertir en nuestro país, son relativamente pocas, y entonces lo que se tiene que hacer es generar las condiciones adecuadas para hacer atractivo nuestro mercado, en ese sentido, OSINERG, junto con el Ministerio de Energía y Minas ha promovido una ley que tiene que ser vista en el Congreso y cuyas

propuestas se encuentran plasmadas en el Libro Blanco, uno de los principales problemas en el ámbito de la distribución es el de la dificultad de garantizar el servicio universal, especialmente en aquellas zonas en las que resulta poco rentable invertir en infraestructura adecuada a fin de garantizar el servicio.

La asociación de energía eólica (2013, párr. 01), el aumento geométrico de la población motiva a la búsqueda de fuentes de energía alternativas, que satisfagan las necesidades de energía eléctrica que se proyectan para años futuros en Perú y el mundo, si se observa a detalle a Perú, se evidencia la división del país en dos mundos, el primero corresponde al grupo de personas que disfrutan de una calidad de vida digna con todas las necesidades elementales cubiertas. Pero el segundo, representa una gran cantidad de personas que viven al margen de la sociedad, se hace referencia a esta realidad ya que hoy en día un gran porcentaje de peruanos no tienen acceso a la energía eléctrica.

Ferrero (2007, p. 12), es importante mencionar que este tipo de energías han contribuido en gran parte al desarrollo de la humanidad, sin embargo es necesario seguir el proceso evolutivo pero con una conciencia ambiental de manera de preservar el lugar donde habitan los seres humanos, la energía eólica es una alternativa que implementa al desarrollo sostenible como primicia, logrando el término de la distancia, la mejora de calidad de vida, tanto en la humanidad, como la del planeta.

### 1.1.3 A Nivel Local

El progreso económico de Cajamarca supone el desarrollo del sector energético como base, sin embargo, algunos indicios sugieren que la energía no crece al ritmo que requiere la economía, y que existe una delgada línea que separa la oportunidad de un crecimiento sostenido para la región de una crisis energética.

Ferrero (2007, p. 12), la electrificación rural es un pendiente en muchas zonas de la provincia de Cajamarca, además de los cortes de energía eléctrica que sufrió Cajamarca hace un par de meses responden más a circunstancias medioambientales que a un indicio de crisis, los expertos coinciden en que no existe planificación acorde al rápido crecimiento de la economía y la industria. A partir de los apagones registrados en nuestra ciudad, el gobierno ha adelantado estadísticas de uso, producción y consumo de energía eléctrica durante el 2013, según este informe del Ministerio de Energía y Minas, la producción total en enero de este año fue de 3,613 GWh, un 7.2% más que en enero del 2012, sin embargo, también se señala que la venta de energía a usuarios finales aumentó a 2,959 GWh, lo que equivale a 7.3%, es decir, se incrementó en 1%.

Bañuelos (2011, p. 17), últimamente los apagones son más constantes, como alternativa nuestra provincia está siendo abastecida por la central hidroeléctrica el chicche ubicado en el distrito de combayo – Cajamarca, pero esta por la falta de agua no puede operar con la suficiente capacidad para generar energía para toda la población usuaria, el problema de la luz se une a los daños que los diversos artefactos eléctricos sufren, como consecuencia de los cortes de energía intempestivos la cual está motivando a buscar nuevas fuentes de energía.

## 1.2 Trabajos previos

### 1.2 .1 A Nivel Internacional

Fragoso (2012, p. 68), en su investigación titulada “simulación numérica del rotor de un aerogenerador de eje vertical” concluye afirmando que el rotor Windside es una propuesta muy interesante para aprovechar la energía eólica, su uso es principalmente doméstico, algo muy adecuado a las pequeñas poblaciones de la península de Baja California, dentro de las características de esta turbina se encuentra el bajo costo de instalación y operación, aprovecha el viento en cualquier dirección, no necesita de grandes alturas ni de grandes velocidades de viento para producir energía y puede funcionar con vientos turbulentos, algo que la hace adecuada para usarse en ciudades.

Arbeloa (2012, p. 128), en su tesis titulada “Diseño de un aerogenerador de eje vertical tipo Savonius para electrificación rural” concluye afirmando que el éste proyecto puede servir de ayuda al problema sobre la generación de energía eléctrica en las zonas rurales que hay en la región Cajamarca, una región que cuenta con muchos recursos naturales y que además posee el inconveniente de tener una población muy dispersa para poder ampliar la red de electrificación, por tanto, es un avance y una puerta abierta hacia las posibilidades para la utilización de las energías renovables en este campo de aplicación, el diseño del aerogeneradores llevados a cabo intentara dar solución al problema mencionado de una manera sencilla y aunque, desde el punto de vista profesional, todavía quedan muchos detalles por fijar, mediante este proyecto se quiere dar un primer paso que serviría para la construcción de un prototipo inicial fiable, si en algún momento, este proyecto comienza a realizarse, sería conveniente que antes de fabricar el prototipo real, se hicieran diferentes modelos con distinta forma de las palas, para comprobar que realmente el propuesto aquí es el que consigue una extracción de energía eléctrica.

Avellaneda (2012, p. 128), en su tesis titulada, “estudio del potencial de generación de energía eólica en la zona del Páramo de Chontales, municipios de Paipa y Sotaquirá, departamento de Boyacá” nos dice que

cada 100 metros de altura la temperatura disminuye en 0.5°C y la velocidad del viento aumenta, así mismo manifiesta que la mayor cantidad de potencia eólica se encuentra contenida en velocidades entre 5 y 10 m/s con un pico máximo de 19 W a 7 m/s.

### 1.2.2 A nivel Nacional

Yépez (2014, p. 98), en la tesis denominada “Análisis de los componentes estructurales de un aerogenerador de 3kW mediante simulación numérica” concluye afirmando que Se determinaron las distintas cargas que actúan sobre el aerogenerador, así como su influencia, dichas cargas son el peso de los diversos componentes, el empuje del viento sobre las palas, el empuje del viento sobre la estructura y la carga sísmica, las cuales son responsables de casi el 95% de la intensidad de los esfuerzos sobre la estructura, mediante la comparación de los resultados por simulación con respecto a los resultados analíticos de la torre, se obtuvo un error porcentual de 2.79% y 0.17% para el modelo lineal y sólido respectivamente, quedando de esta manera validados los modelos utilizados, mientras que los resultados del chasis, tornamesa, eje principal y cola, mostraron un mayor error porcentual de hasta 6%. En las simulaciones realizadas, se emplearon modelos sencillos y simplificados con los cuales, al igual que con los métodos analíticos, se logró conocer el comportamiento global del sistema.

Coaquera (2013, p. 94), en su tesis titulada “Diseño, Construcción y Evaluación de un Aerogenerador”, concluye afirmando que se ha diseñado, construido y evaluado el aerogenerador y se ha encontrado que la configuración más eficiente de rotor bajo condiciones de velocidad de viento en laboratorio y en campo corresponde a un diámetro de rotor de 4 m, tres aspas y ángulo de ataque de 25°, la velocidad para arrancar los aerogeneradores sera 3,48 m/s, este dato es importante porque indica la velocidad mínima requerida para que empiece a funcionar el sistema, la energía aprovechable por este aerogenerador depende de la velocidad de arranque, el diámetro del rotor, y por consiguiente, la longitud de las aspas y de la velocidad incidente del viento, en la evaluación en campo se ha determinado que la velocidad promedio de viento en Tacna, durante el mes de octubre del 2012, es de 1,69 m/s, y la

temperatura ambiente promedio es de 14,67 °C, bajo estas condiciones se ha generado un promedio diario de 1,152 KW-h, la eficiencia promedio del aerogenerador es de 3,45%, baja pero apreciable si se tiene en cuenta que el micro aerogenerador fue construido con materiales reciclables.

Hualpa (2011, p. 88 ), en su investigación plantea, “estudio de factibilidad de sistemas híbridos eólico solar en el departamento de Moquegua”, manifestando que los costos de energía para el caso de un sistema híbrido (1.61 S/kW-h) son drásticamente inferiores frente al uso de grupos electrógenos (4.765 S/kW-h), el costo del aerogenerador, incluyendo la torre de 13 m, es de 4780.37 kW, el costo de los paneles fotovoltaicos, incluyendo sus estructuras de soporte, es de s/ 4041.89, el consumo de combustible del grupo electrógeno es de 432 Gal por año, dado que 1 Gal = 3,785 l, entonces este consumo es de 1635,12 l por año, se conoce que 1L de gasolina de 84 oct. genera 0,68 kg CO<sub>2</sub>, por lo tanto, el uso de un grupo electrógeno genera una emisión anual de 1122 kg de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, el uso de energías alternativas, además de ser más rentable, representa en 20 años 22,44 Ton, de CO<sub>2</sub> que se dejan de emitir a la atmósfera.

Bernabé (2013, p.94), en su tesis denominada “Planteo del diseño, construcción y evaluación de un micro aerogenerador usando materiales reciclables”, concluye afirmando que se ha diseñado, construido y evaluado el micro aerogenerador usando materiales reciclables y se ha encontrado que la configuración más eficiente de rotor bajo condiciones de velocidad de viento en laboratorio y en campo corresponde a un diámetro de rotación de 400 mm, tres aspas y ángulo de ataque de 25°C, la velocidad de arranque del micro aerogenerador es de 1,48 m/s, éste dato es importante porque indica la velocidad mínima requerida para que empiece a funcionar el sistema, la energía aprovechable por este aerogenerador depende de la velocidad de arranque, el diámetro del rotación, y por consiguiente, la longitud de las aspas y de la velocidad incidente del viento, la eficiencia promedio del aerogenerador es de 3,45%, baja pero apreciable si se tiene en cuenta que el micro aerogenerador fue construido con materiales reciclables.

Bernabé (2013, p.98), Perú tiene un importante recurso eólico pero requiere una planificación inteligente que permita diversificar

nuestra matriz energética disminuyendo el riesgo inherente a cada una de las fuentes, las energías renovables son ya una realidad comercial, el cambio climático nos presenta ciertos retos, la disminución de lluvias en la sierra, el retroceso glaciar son realidades ante las cuales debemos prepararnos disminuyendo nuestras vulnerabilidades de contaminación ambiental.

### **1.2.3 A Nivel Local**

En Cajamarca existe una gran cantidad de zonas rurales que no cuentan con el servicio de energía eléctrica, por lo tanto, se debe buscar fuentes de energía alternativas, para solucionar a este problema que enfrentan sobre todo las zonas rurales de la provincia de Cajamarca.

La generación energía eléctrica sin que exista un proceso de combustión o una etapa de transformación térmica es, una conservación medioambiental, es un proyecto muy favorable por ser limpio, evita problemas de contaminación, se suprimen radicalmente los impactos originados por los combustibles durante su extracción, transformación, transporte y combustión, lo que beneficia a la atmosfera, el suelo, el agua, la fauna y la vegetación.

La energía eléctrica producida por un aerogenerador evitara quemarse miles de litros de petróleo y miles de kilogramos de carbón en las centrales térmicas que se imanan día a día al medio ambiente.

Chiroque (2009, p. 124), en su tesis denominada “Construcción y monitoreo de prototipo aerogenerador de 500 W para aplicación en micro redes domiciliarias y servicios comunitarios del sector rural”, manifiesta: que en consecuencia, el costo es cinco veces mayor, además de tener una producción a gran escala, la producción de este desarrollo tecnológico es incipiente y tiene otras ventajas, disponibilidad en el mercado nacional, asistencia técnica local, las pruebas de campo se realizaron en Cajamarca y Huacho Teorías relacionadas al tema.

## 1.3 Teorías relacionadas al tema

### 1.3.1 Energía

Bañuelos (2011, p. 45), es la capacidad que tiene un cuerpo o sistema para realizar un trabajo o producir algún cambio o transformación, debemos tener clara la diferencia entre energía y potencia, la potencia es la transferencia de energía por unidad de tiempo.

La energía se puede manifestar de diversas formas:

- ✓ **Energía mecánica**, está formada por la suma de la energía cinética, asociada al movimiento.
- ✓ **Energía térmica**, se relaciona con el movimiento de las moléculas que conforma la materia, mientras más caliente está la materia, tendrá mayor movimiento de las moléculas.
- ✓ **Energía química**, está asociada a reacciones químicas, como la combustión de gas, son exotérmicas y liberan calor.
- ✓ **Energía nuclear**, energía almacenada en el núcleo de los átomos, que se libera en las reacciones de fisión y fusión.

- **Las energías mencionadas se clasifican en dos tipos:**

- ✓ **Energía primaria**, la energía disponible en la naturaleza sin necesidad de ser transformada (gas, carbón).
- ✓ **Energía secundaria**, es el resultado de la transformación de las energías primarias (energía eléctrica), todas las formas de energía se encuentran en un constante proceso de transformación.

Bañuelos (2011, p. 49), la energía eléctrica se transforma en energía radiante a través de una bombilla; la energía cinética del viento se convierte en energía eléctrica gracias a un aerogenerador.

Bernabé (2013, p.51), el consumo energético (por persona) fue incrementándose exponencialmente en estos trescientos años, a la vez que lo hacía la población mundial, la consecuencia ya la conocemos: las fuentes

tradicionales de energía, que necesitaron millones de años para formarse (proveniente en su mayor parte de la descomposición de materia orgánica) se están agotando, debido a esto, también se aumentó la construcción de centrales basadas en energía convencional: hidroeléctrica, petróleo, carbón, gas natural, nuclear, y a la par se ha desarrollado también centrales basadas en energías renovables: eólica, solar, biomasa, biogás, geotérmica mareomotriz, siendo estas últimas las menos contaminantes.

### **1.3.2 Energía eléctrica**

Bernabé (2013, p. 47), manifiesta que se denomina energía eléctrica a la forma de energía que resulta de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos, lo que permite establecer una corriente eléctrica entre ambos cuando se los pone en contacto por medio de un conductor eléctrico, la energía eléctrica puede transformarse en muchas otras formas de energía, tales como la energía lumínica o luz, la energía mecánica y la energía térmica.

Avellaneda (2012, p. 86), la energía eléctrica se manifiesta como corriente eléctrica, es decir, como el movimiento de cargas eléctricas negativas, o electrones, a través de un cable conductor metálico como consecuencia de la diferencia de potencial, las cargas que se desplazan forman parte de los átomos de la sustancia del cable, que suele ser metálica, ya que los metales al disponer de mayor cantidad de electrones libres que otras sustancias son los mejores conductores de la electricidad. La mayor parte de la energía eléctrica que se consume en la vida diaria proviene de la red eléctrica a través de las tomas llamadas enchufes, a través de los que llega la energía suministrada por las compañías eléctricas a los distintos aparatos eléctricos lavadora, radio, televisor, que se desea utilizar, mediante las correspondientes transformaciones.

Cervantes (2009, p. 55), menciona la generación de energía eléctrica se lleva a cabo mediante técnicas muy diferentes, las que suministran las mayores cantidades y potencias de electricidad aprovechan un movimiento rotatorio para generar corriente continua en una dinamo o corriente alterna en un

alternador, el movimiento rotatorio resulta a su vez de una fuente de energía mecánica directa, como puede ser la corriente de un salto de agua o la producida por el viento.

### **1.3.3 Energía eólica**

Avellaneda (2012, p. 55), manifiesta que sus primeras aplicaciones fueron las velas de los barcos, de las que se tiene noticias en el año 5.000 a.C. en Egipto y Mesopotamia, otra aplicación clásica fueron los molinos de viento en Persia (actualmente en Irán), usados para moler granos, durante el siglo VII, Charles F. Brush poco después en Dinamarca, descubrió que las turbinas de viento con movimiento rápido y con rotores de pocas paletas eran más eficientes, las turbinas eólicas modernas hacen uso de muy pocas paletas pero muy largas, estas máquinas son lentas pero en generan grandes cantidades de energía eléctrica.

Chauncey (2015, p. 55), ésta energía se encuentra en desarrollo, actualmente se calcula unos 30 000 generadores eólicos, existiendo unas 30 empresas para la fabricación de estos, también menciona que para el futuro se hará mayor uso de la eólica marítima, pues en el mar la velocidad del viento es mayor, por ende la producción de electricidad es un 20% más que en suelo firme, lo que se calcula que para el 2020 se podría dar electricidad a 15 millones de habitantes en Europa, en la actualidad se cuentan con sistemas muy desarrollados que consisten en agrupaciones de varias turbinas eólicas con el objetivo de generar más energía eléctrica y así abastecer a la población, expertos de la industria predicen que si este ritmo de crecimiento continúa, para el año 2050 la respuesta a un tercio de las necesidades de electricidad del mundo se encuentra en el viento.

### **1.3.4 La energía eólica en Perú**

Chauncey (2015, p. 37), el desarrollo de la energía eólica, para generación eléctrica se puede considerar como incipiente, hay algunos proyectos ya en operación, sin embargo, el conocimiento de la tecnología y sus oportunidades, es limitado, así como la capacidad institucional para acelerar el desarrollo de proyectos eólicos.

### 1.3.5 Parques eólicos

Cervantes (2009, p. 77), es un conjunto de aerogeneradores que aprovecha la energía cinética del viento para la generación energía eléctrica, la potencia de un aerogenerador depende de la velocidad del viento, área de barrido de las aspas y del coeficiente propio de cada uno de éstos, existen una gran variedad de modelos, pero los que se utilizan para producción de energía eléctrica, generalmente son de eje horizontal.

### 1.3.6 Aerogenerador

Chauncey (2015, p. 44), es un dispositivo que está diseñado para convertir, la energía cinética del viento en energía mecánica rotacional en un eje, y éste a su vez se acopla a un generador eléctrico y se produce energía eléctrica, bien sea para alimentar a una carga especifica o para conectar al sistema interconectado nacional.

Bracken (2013, p. 55), los sistemas de electrificación basados en fuentes de energía renovables han demostrado ser adecuados para proveer de energía eléctrica a comunidades aisladas de forma autónoma.

Hirematha (2007, p. 37), En concreto, la electrificación mediante energía eólica es una de las opciones técnicas que se ha utilizado recientemente en proyectos implementados en la sierra norte de Perú.

Coello y Chiroque (2008, p.38), Debido a la característica dispersión entre domicilios en las comunidades, hasta el momento estos proyectos han tendido a instalar aerogeneradores individuales por punto de consumo.

**Figura N° 1**



Recuperado De  
<http://www.uv.es>,

Modelos de Aerogeneradores.

## 1.3.7 Clasificación de los aerogeneradores

### 1.3.7.1 Aerogeneradores de eje Vertical

Guipe (2014, p. 48), las características principales de los aerogeneradores de eje vertical no requieren de sistemas de orientación, evitan mecanismos de direccionamiento y elimina los esfuerzos a que se ven sometidas las palas ante los cambios de orientación del rotor, por su disposición permite colocar los sistemas de conversión prácticamente a nivel de suelo, evitando pesadas cargas en las torres, como ocurre en los de eje horizontal.

**Figura N° 2**



Aerogenerador de eje vertical

### 1.3.7.2 Aerogeneradores de eje Horizontal

Guipe (2014, p. 52), menciona que son los más difundidos y los que han permitido obtener las mayores eficiencias de conversión; los diseños más utilizados en su gran mayoría, la conversión de la energía disponible en el eje del rotor en otra forma de energía, se realiza mediante dispositivos ubicados sobre la torre, tal es el caso de las turbinas eólicas destinadas a la producción de electricidad donde el generador eléctrico, acoplado al eje del rotor a través de un multiplicador, está localizado en la navecilla, las denominas máquinas rápidas, con palas de perfil aerodinámico y casi exclusivamente empleadas para generación de electricidad, tiene rotores de 1 a 3 palas, su alto par de arranque y su relativo bajo costo los hace muy aptos para accionar bombas de

pistón, se estima que en el mundo existen más de 1.000.000 de molinos de este tipo en operación.

**Figura N°3**



Aerogenerador de eje horizontal.

Recuperado de  
[https://www.google.com.pe/search?q=aerogeneradores&rlz=1C1AVNE\\_en\\_\\_PE692&source=lnms&tbn=isch&sa=X&v](https://www.google.com.pe/search?q=aerogeneradores&rlz=1C1AVNE_en__PE692&source=lnms&tbn=isch&sa=X&v)

### **1.3.8 Componentes principales de un aerogenerador**

Martínez (2015, p. 26), debido a que el proyecto se basa en el diseño y simulación de aerogeneradores se debe mencionar los componentes principales de este tipo de máquina, a continuación, se describen las partes más importantes de un aerogenerador:

#### **1.3.8.1 Las palas o álabes**

Martínez (2015, p. 29), son las estructuras más importantes de la turbina, debido a ellas se transmite eficientemente la energía cinética del viento al eje principal de potencia, debido a su perfil aerodinámico, crean zonas de baja y alta presión que inducen fuerzas en la cara de la pala que da contra el viento, la pala determina las cargas que se transmiten en toda la máquina.

Martínez (2015, p. 21), es la parte de la turbina a la cual va acoplada las palas gracias a esta pieza la energía cinética captada por las palas se transmite al eje principal de la turbina para poder producir energía eléctrica, el buje está sometido constantemente a cargas aerodinámicas que se transmiten por las palas, el diseño de la pieza debe satisfacer condiciones extremas del viento.

#### **1.3.8.2 Multiplicador**

Martínez (2015, p. 41), es simplemente una caja aumentadora de velocidad de giro que permite al aerogenerador lograr la velocidad de giro necesaria para acoplarse al generador eléctrico, debido a que el rotor gira a una velocidad mucho más lenta que la velocidad de giro del generador eléctrico

#### **1.3.8.3 Góndola**

Bernabé (2013, p. 13), es el componente que sostiene todos los elementos de la turbina, que unida a la torre proporciona la protección de todas las partes de la misma ante los elementos de la naturaleza.

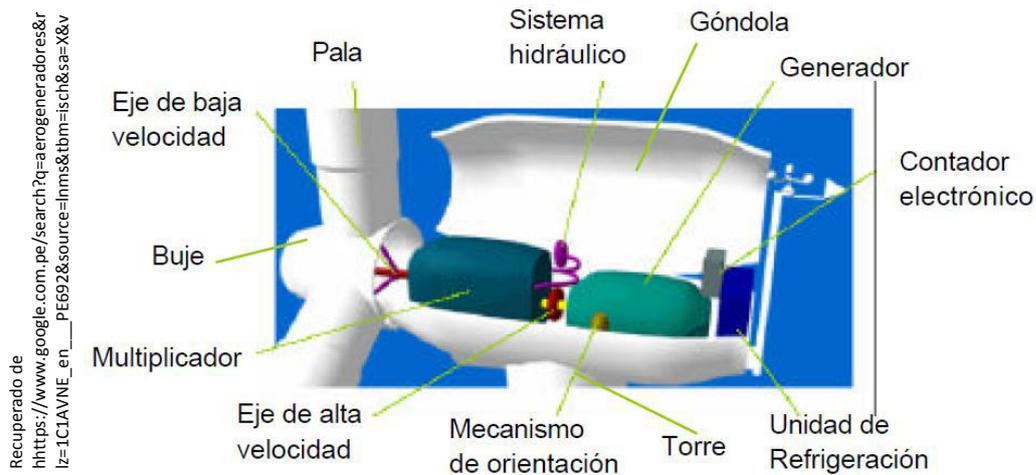
#### **1.3.8.4 Generador eléctrico**

Huallpa (2011, p.38), es la máquina que genera la electricidad que va a alimentar una carga específica o que puede conectarse a la red eléctrica, las innovaciones continuas sobre generadores eléctricos han hecho evolucionar algunos diseños particulares de aerogeneradores.

#### **1.3.8.5 La torre.**

Martínez (2015, p. 56), es la estructura más grande de toda la máquina, el asentamiento de la misma conlleva la aplicación de la ingeniería civil debido a las funciones que cumplirá, en las turbinas de eje horizontal la altura de la torre debe ser lo suficientemente alta para que las palas no choquen con el piso, una vez elevada la maquina es muy importante aprovechar el recurso eólico eficientemente ya que las velocidades aumenten proporcionalmente en función a la altura respecto al suelo, a medida que la torre más alta, los vientos serán más veloces.

**Figura. 04**



Componentes de un aerogenerador de eje horizontal.

### 1.3.9 Ventajas actuales de la energía eólica

Samani (2004, p. 52), la energía eólica no contamina, es inagotable y retrasa el agotamiento de combustibles fósiles contribuyendo a evitar el cambio climático, es una de las fuentes más baratas, puede competir en rentabilidad con otras fuentes energéticas tradicionales como las hidroeléctricas, centrales térmicas, el generar energía eléctrica sin que exista un proceso de combustión o una etapa de transformación térmica supone, desde el punto de vista medioambiental, un procedimiento muy favorable por ser limpio, evita problemas de contaminación.

Samani (2004, p. 55), se suprimen radicalmente los impactos originados por los combustibles durante su extracción, transformación, transporte y combustión, lo que beneficia a la atmosfera, el suelo, el agua, la fauna y la vegetación, evita la contaminación que conlleva el transporte de los combustibles; gas, petróleo, gasoil, carbón, se reduce el intenso tráfico marítimo y terrestre cerca de las centrales. Suprime los riesgos de accidentes durante estos transportes.

Martínez (2015, p. 49), en cuanto a interacción con el medio ambiente, la utilización de energía eólica para la generación de electricidad presenta una

incidencia nula sobre las características fisicoquímicas del suelo o su erosionabilidad, es decir, no produce ningún tipo de contaminación sobre el medio ambiente, ni tampoco vertidos o grandes movimientos de tierras, además la energía eólica no produce tampoco ningún tipo de alteración sobre los acuíferos.

Martínez (2015, p. 18), la electricidad producida por un aerogenerador evita que se quemem diariamente miles de litros de petróleo y miles de kilogramos de carbón en las centrales térmicas.

#### **1.3.9.1 Desventajas de la energía eólica.**

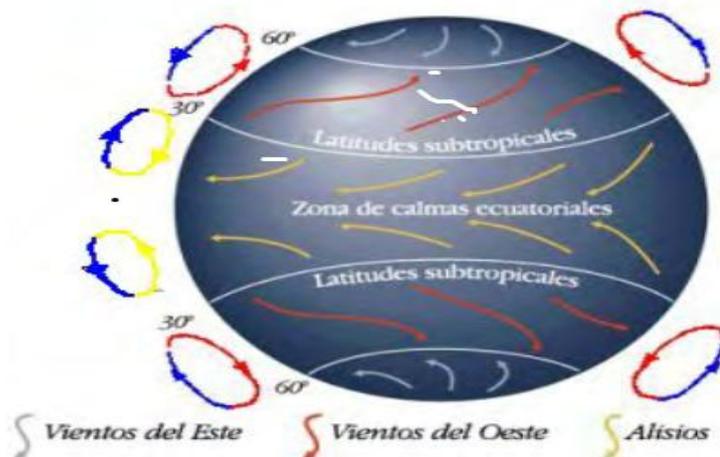
Twenergy (2013, p. 26), menciona que el aire es un fluido de peso específico muy simple, esto conlleva a fabricar maquinas grandes y con elevados costos, en tanto que la envergadura total de sus aspas alcanza los veinte metros de diámetro, por ello la fabricación de estas máquinas es elevada, un impacto negativo es el ruido producido por el giro de rotor, también ha de tenerse especial cuidado a la hora de seleccionar un parque si en las inmediaciones habitan aves, por el riesgo de mortandad al impactar con las palas, un que existe soluciones al respecto como, pintar en colores llamativos las palas, solo en Perú, de acuerdo a las cifras del Balance Nacional de Energía, se liberan alrededor de 2,550 Ton/hora de CO<sub>2</sub> por el consumo de energía de combustibles fósiles.

#### **El viento**

Samani (2004, p. 47), se genera por el movimiento de las masas de aire e dependencia a la irradiación solar y el movimiento de rotación de la tierra, como resultado se reciben las corrientes de viento, siendo aprovechadas por los fabricantes de turbinas eólicas.

https://www.google.com.pe/search?q=aerogeneradores&rlz=1C1AVNE\_en\_\_PE692&source=lmms&tbid=0ahUKewjpxq7RmabQA

Figura. 05

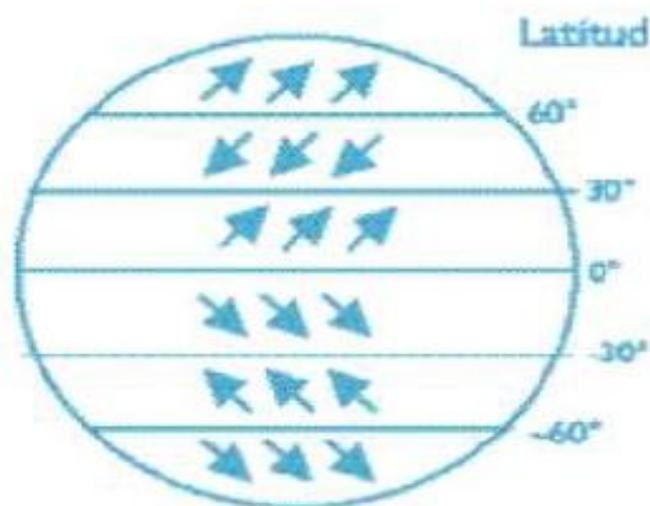


Circulación de vientos a nivel mundial.

Twenergy (2013, p. 37), el viento tiene su origen debido a que las temperaturas se tornan de manera diferente, al igual que la presión que se genera cuando el aire caliente atraviesa la zona ecuatorial y se mueven hacia los trópicos donde se encuentra con el aire que estará a una temperatura inferior, estos fenómenos meteorológicos se producen a los once mil metros de altura sobre el nivel del mar.

Figura. 06

Recuperado de https://www.google.com.pe/search?q=aerogeneradores&rlz=1C1AVNE\_en\_\_PE692&source=lmms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKewjpxq7RmabQA



Dirección del viento en la tierra

### **1.3.9.2 Diseño de un aerogenerador**

Aenews (2014, p. 30), el objetivo de un aerogenerador es tomar energía del viento reduciendo su velocidad, en este proceso se logra una extracción de energía cinética, es por esta razón que el aerogenerador también recibe el nombre de “turbina eólica”, debido a que el principio de aprovechamiento del viento es el mismo, se puede considerar a un aerogenerador como un molino de viento tradicional, aunque el aerogenerador produce energía eléctrica y el molino de viento produce energía mecánica, si bien los conceptos básicos se mantienen, la introducción de nuevos materiales y tecnologías sumado a un mayor conocimiento e investigación del recurso, han permitido desarrollar aerogeneradores eficientes y que producen electricidad a costos competitivos comparados con otro tipo de plantas.

**Cuadro n° 1**

<b>ESPECIFICACIONES PARA EL CÁLCULO DE UN AEROGENERADOR DE 4000W</b>			
<b>DATOS</b>			
<b>variable</b>	<b>Valor</b>	<b>unidad</b>	<b>descripción</b>
Vv	7	m/s	velocidad del viento
Pa	0.240	kg/m <sup>3</sup>	Densidad del aire a p=1atm. 15°C
μ	18 E-6	kg/ms	viscosidad dinámica del aire
YM	1.50E-05	m/s	mod. Elasticidad
TYS	4,E-10	Pa	resistencia a la elasticidad
ρ	2650	kg/m <sup>3</sup>	densidad de composición
Esp	0.05	m	espesor de la pared de la pala
Vpamd	63	rpm	velocidad de la pala máxima admisible por reglamento
TSR Max=	6		TSR máximo
TSR op=	6		relación de velocidad periférica optima
NP=	3	und	N° de palas
α	25	°	Ángulo de ataque de la pala.
α	0.02	rds	tolerancia de ángulo de ataque de la pala
Rmi =	1.7	m	radio mínimo dela pala
Rma =	6	m	Radio máximo de la pala.

Fuente: Elaboración propia

Cálculo de aerogenerador de eje horizontal

**Cuadro n° 2**

<b>CAJA DE CAMBIOS MULTIPLICADORA - REDUCTORA</b>		
<b>variable</b>	<b>valor</b>	<b>descripción</b>
nt	92%	potencia del generador
Rc1=	5	Relación de cambio máxima
Nc=	3	numero de cambios
Rctmax=	125 (5*5*5)	Relación de cambio total máxima
Rct=	105 (4*4*4)	relación de cambios total

Fuente: Elaboración propia

Especificaciones técnicas para caja de cambios multiplicadora.

**Cuadro n° 3**

<b>ESPECIFICACIONES PARA EL AEROGENERADOR</b>			
<b>variable</b>	<b>valor</b>	<b>und</b>	<b>descripción</b>
Wgen=	1.00E+07	w	potencia de generador 10MW
Npp Max=	3		numero de pares de polos del generador máximo
ng=	90%		rendimiento del generador eléctrico
f=	50	ciclos/s	frecuencia de la luz
f=	50	rd/s	frecuencia de la luz
f=	50	rev/s	frecuencia de la luz
f=	3000	rpm	frecuencia de la luz
Npp TRS=	314	rd/s	frecuencia de la luz
1Max TRS=	3	und	Numero de palas
Npp Min=	3	und	Numero de palas
TRS -Min	3	und	Numero de palas
Npp=	3	und	numero de pares de polos del generador
wa=	104.5	rd/s	velocidad angular del eje del generador
wa=	1000	rpm	velocidad angular del eje del generador

Fuente: Elaboración propia

Especificaciones técnicas para generador eléctrico.

**Cuadro n° 4**

<b>ROTOR</b>			
<b>variable</b>	<b>valor</b>	<b>und</b>	<b>descripción</b>
$\eta_r$ =	95	%	Rendimiento del generador
w=	1	rd/s	rendimiento de rodamiento
$\dot{\omega}$ =	25	rpm	velocidad angular del rotor y de las palas

Fuente: Elaboración propia

Especificaciones técnicas para el rotor

### 1.3.9.3 Densidad del viento

Martínez (2015, p. 38), los aerogeneradores reciben la fuerza que proviene del aire; a mayor peso específico mayor será la fuerza que reciban los aerogeneradores, la densidad del aire cambia en torno a la temperatura y presión según la relación (Ver anexo n°1).

$$\rho = \frac{P}{RT}$$

$$p = \frac{30pa}{8.31 \cdot 15^{\circ}c} = 0.240kg/m^3$$

Donde:

$\rho$  = Densidad del aire en kg/m<sup>3</sup>

R = Constante del gas = 8,31 [J K<sup>-1</sup> mol<sup>-1</sup>]

T = Temperatura absoluta en °C

P = Presión en Pascal [Pa]

#### Energía cinética del viento.

En condiciones de nivel del mar, el aire tiene la siguiente masa por metro cubico.

**Cuadro n°7**

Temperatura en °C	Densidad kg/m <sup>3</sup>
0	1.290
15	1.225
20	1.185
50	1.09
100	0.946

Fuente: Elaboración propia

Comparación de temperatura y densidad del viento a 1m<sup>3</sup> de aire a 1 m/s

**Cuadro n°8**

Comparación de velocidad y energía en joules.

Fuente: Elaboración propia

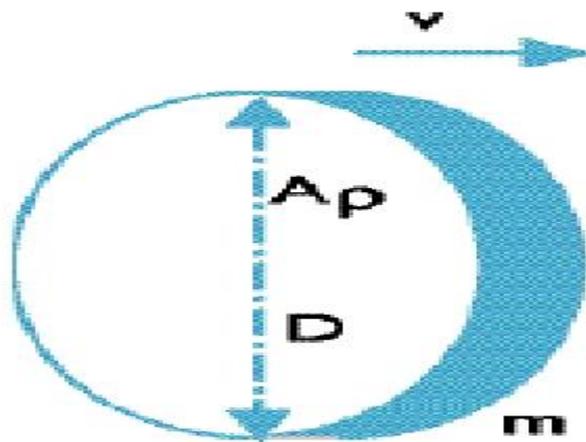
m/s	Km/h	Energía en joule
1 m/s	3.6	0.6J
2 m/s	7.2	2.4J
3 m/s	10.8	5.4J
4 m/s	14.4	9.6J
5m/s	18	15J
6 m/s	21.6	21.6J
7m/s	25.2	28.2J

Fórmula para calcular la energía cinética

$$E_c = \frac{m v^2}{2}$$

Figura. 07

Recuperado De  
<https://es.wikipedia.org/wiki/Aerogenerador>



La energía cinética del aire.

La potencia total extraíble del viento es:

$$P_v = \frac{1}{2} (\rho A v^2)$$

$$P_v = \frac{1}{2}(0.460 \cdot 36 \cdot 7^2) = 811.44 \text{ W/m}^2$$

Donde:

$P_v$  = Potencia extraíble del viento en W.

$\rho$  = Densidad del aire en  $\text{kg/m}^3$

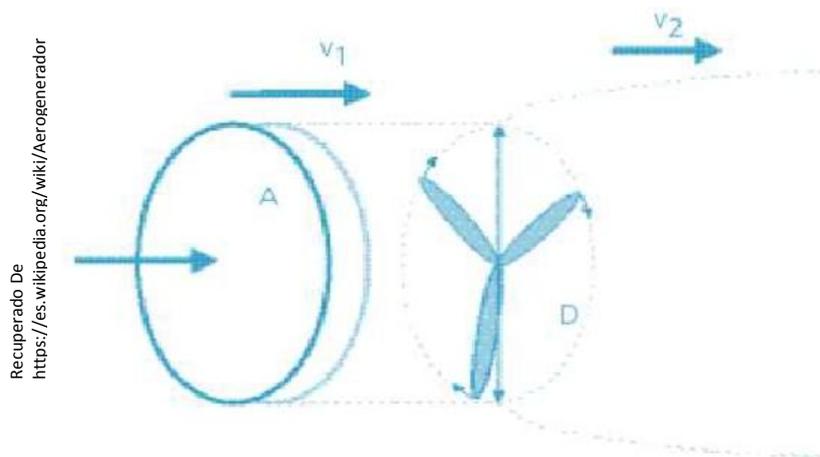
$A$  = Área en  $\text{m}^2$

$V$  = Velocidad del viento en m/s.

### Interpretación

Observamos que la potencia del viento es una función del cubo de la velocidad; es decir, que, si la velocidad se duplica, la potencia es ocho veces más ( $2 \times 2 \times 2 = 8$ ), al igual que el área,  $A = \pi D^2/4$ , observamos que la potencia es proporcional al cuadrado del diámetro, si duplicamos el diámetro, la potencia es cuatro veces mayor, la velocidad del viento y el diámetro del rotor son los principales parámetros que se manejan en la producción de energía de un aerogenerador.

**Figura. 08**



Cambio de velocidad de aire en el rotor.

### Área de barrido del rotor

las áreas de barrido para los aerogeneradores, es las áreas del círculo que ocupa

dichos rotores.

$$A = p R^2$$

Donde:

R = radio del rotor

P = densidad del viento en  $\text{kg/m}^3$

Cuando se trata de un rotor de eje horizontal, y para un rotor de eje vertical el área de barrido es, aproximadamente, el de una elipse.

Por ejemplo, en un aerogenerador cuyo rotor posee un diámetro de 6 m, el área de barrido de ese rotor es:

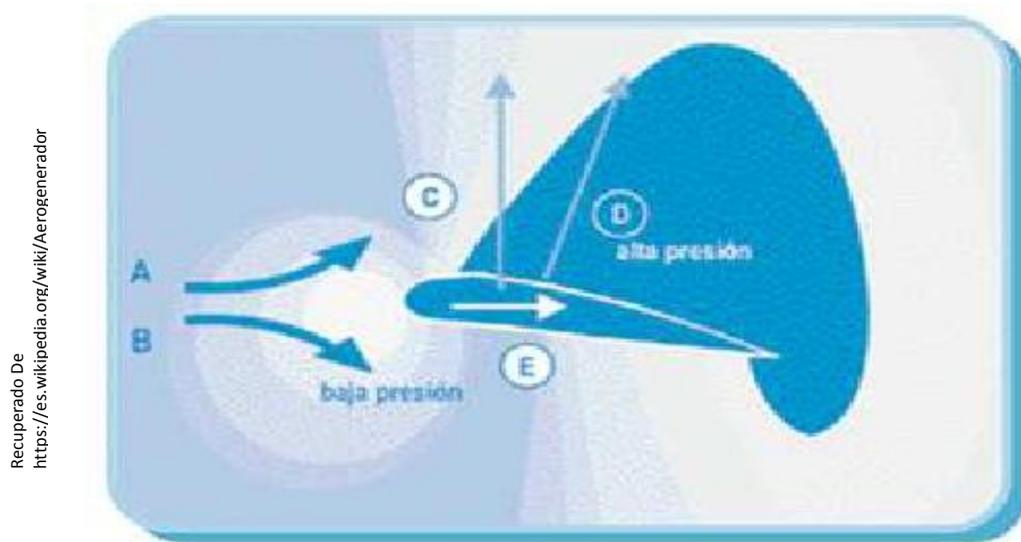
$$A = p R^2 = p (D/2)^2 = p (6)^2$$

$$A = p (6)^2 \sim 36 \text{ m}^2$$

#### 1.3.9.4 Fuerza sobre la pala

Aenews (2014, p. 29), se puede comparar las aspas de los aerogeneradores con el funcionamiento del alerón de un avión, el alerón funciona como un objeto resistivo al flujo del viento que circula en su entorno, lo que genera un cambio de velocidad y presión, el diseño del alerón tiene una forma pequeña de su área inferior que su área superior, permitiendo la diferencia de presión que se produce, lleve a dicho objeto a elevarse, este efecto causa que se generen dos tipos de fuerzas: una fuerza de arrastre en la misma dirección que el movimiento del viento y la otra fuerza de sustentación perpendicular a la dirección del viento, lo que permite la formación de una componente resultante de la suma vectorial de las fuerzas mencionadas.

**Figura. 09**



Fuerzas que actúan sobre el ala

Sustentación, (E) Resistencia, (D) resultante

Aenews (2014, p. 31), la fuerza de sustentación está basada en el movimiento de rotación de un aerogenerador, esta fuerza es vectorialmente dirigida hacia arriba, y como las palas estas unidas al rotor, la fuerza de sustentación aplicadas a las palas y por ende al rotor originan que las alavesas se mueven y hacer girar el rotor.

**Fuerza de sustentación:**  $FL = \frac{1}{2} C_l \rho v^2 A$

Donde:

$C_l$  y  $C_d$  = coeficientes aerodinámicos.

$v$  = velocidad del viento en m/s

$A$  = área de la pala en  $m^2$

$\rho$  = densidad del aire en  $kg/m^3$

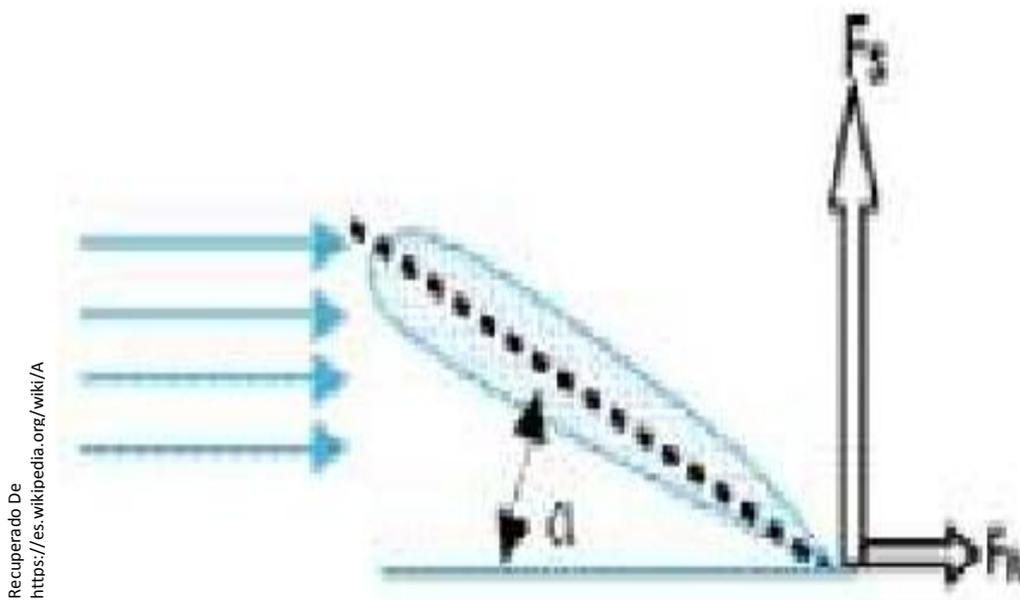
$F$  = fuerza

### 1.3.9.5 Ángulo de ataque

Aenews (2014, p. 33), hay una infinidad de formas en las que pueden dirigidas las palas con respecto a los vientos para que el rendimiento del sistema sea el óptimo, el ángulo que se colocara al as es fundamental para el funcionamiento del aerogenerador debido a palas que de esto depende la magnitud de las fuerzas de resistencia y de sustentación para la generación de energía eléctrica.

A) Fuerza de sustentación ( $F_s$ ) es mayor a la fuerza resistiva ( $F_r$ )

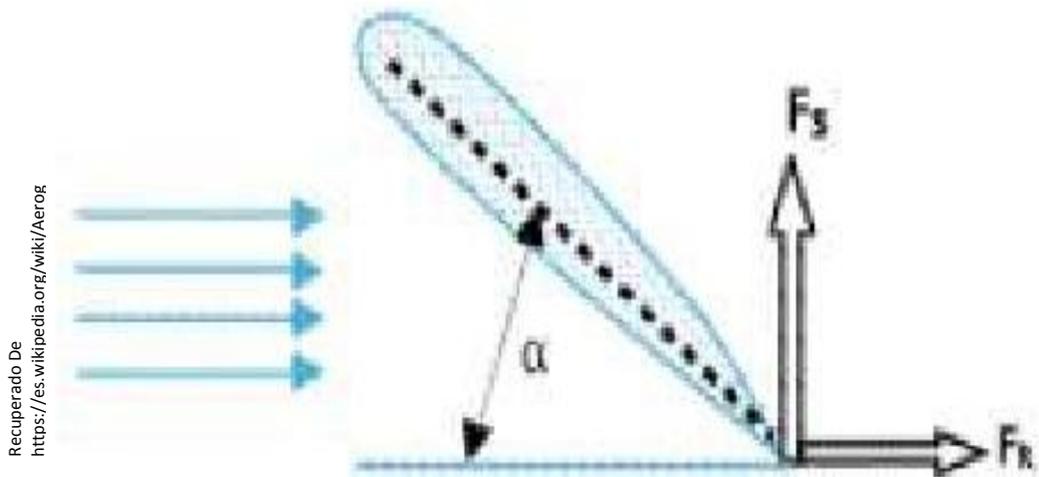
Figura. 10



FS Máxima, FR mínima

B) Fuerza de sustentación ( $F_s$ ) es semejante a la fuerza resistiva ( $F_r$ )

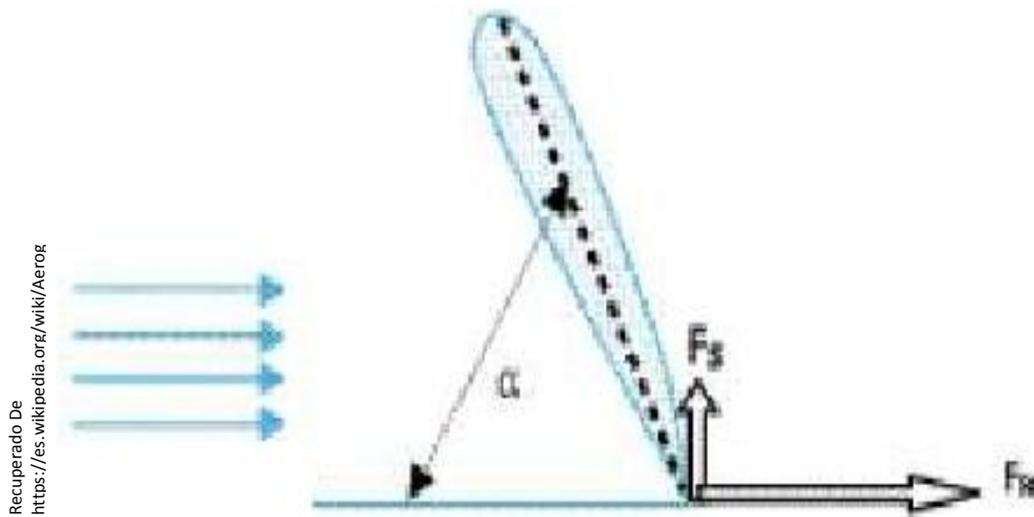
Figura. 11



FS media, FR media

C) Fuerza de sustentación ( $F_s$ ) es menor a la fuerza resistiva ( $F_R$ )

Figura. 12

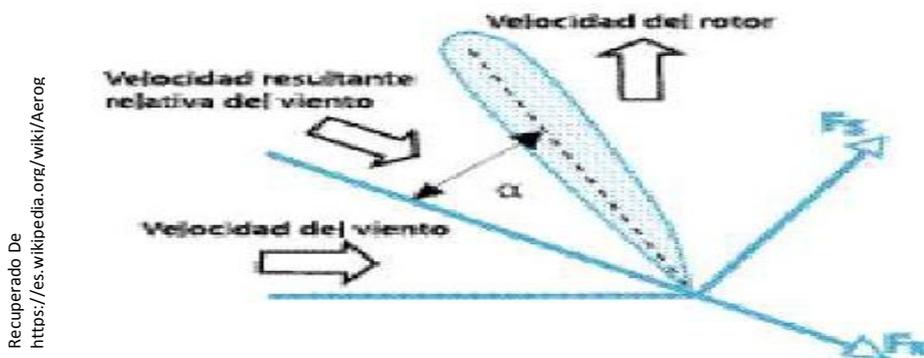


FS mínima, FR máxima

Aenews (2014, p. 34), las aspas de los aerogeneradores aprovechan este principio relacionado con el ángulo de ataque para obtener un óptimo rendimiento.

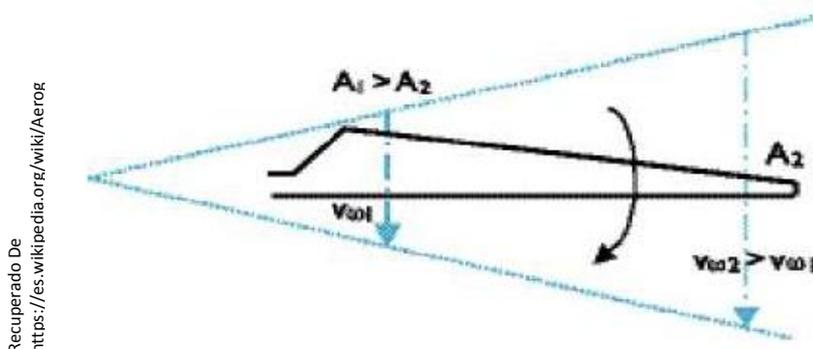
Aenews (2014, p. 35), lo que se busca para un aerogenerador es que el ángulo de ataque que tenga las aspas, sea el adecuado para que la fuerza resistiva sea mínima hacia el viento y que la fuerza de sustentación sea mayor para que el rotor pueda girar, el ángulo de ataque tiene que ser el adecuado para que la fuerza de sustentación sea mayor a la fuerza de resistencia.

Figura. 13



Velocidades actuantes en la pala del rotor de un aerogenerador.

Figura. 14



Cambios de velocidad rotacional y área a lo largo de la pala de un aerogenerador.

## Densidad de potencia del aerogenerador

para obtener mediciones detalladas nos genera un costo elevado, sin embargo, existen diferentes técnicas que podemos emplear y obtener una estimación de sus características del viento.

Esta técnica tiene lugar cuando se tiene acceso a un mapa eólico de la región de estudio, los mapas eólicos nos brindan los valores de la densidad de potencia, por lo general por regiones, para ello podemos emplear estos valores para calcular la energía producida por año de un aerogenerador, también se puede desarrollar mediante software profesionales que realizan la extrapolación, o mediante fórmulas aproximadas.

Otra forma de calcular la densidad de potencia es usando la velocidad media del viento, y un adecuado factor de energía, o factor cúbico (FC).

$$P/A = \frac{1}{2} \times (\text{densidad del aire}) \times (\text{FC}) \times V^3$$

Donde:

V = velocidad media anual.

FC = factor cúbico (depende de la distribución de frecuencias de velocidades)

**NOTA: FC = 1,91.**

**Encontrando una velocidad media en Cajamarca es de 7m/s a 15,5 °C, y que la densidad de aire a es aproximadamente 1,225 kg/m<sup>3</sup>, entonces:**

$$P/A = \frac{1}{2} \times (\text{densidad del aire}) \times (\text{FC}) \times V^3$$

$$P/A = \frac{1}{2} \times (1,225\text{kg/m}^3) \times (1,91) \times 7^3$$

$$P/A = \frac{1}{2} \times 1,225 \times 1,91 \times 343 \sim 401.26\text{W/m}^2.$$

Contando con la densidad de potencia anual, nos posibilita calcular la densidad de energía anual en kilowatt-hora en el año por metro cuadrado (kWh/año/m<sup>2</sup>), multiplicamos la densidad de potencia anual, por las 8 760 horas al año.

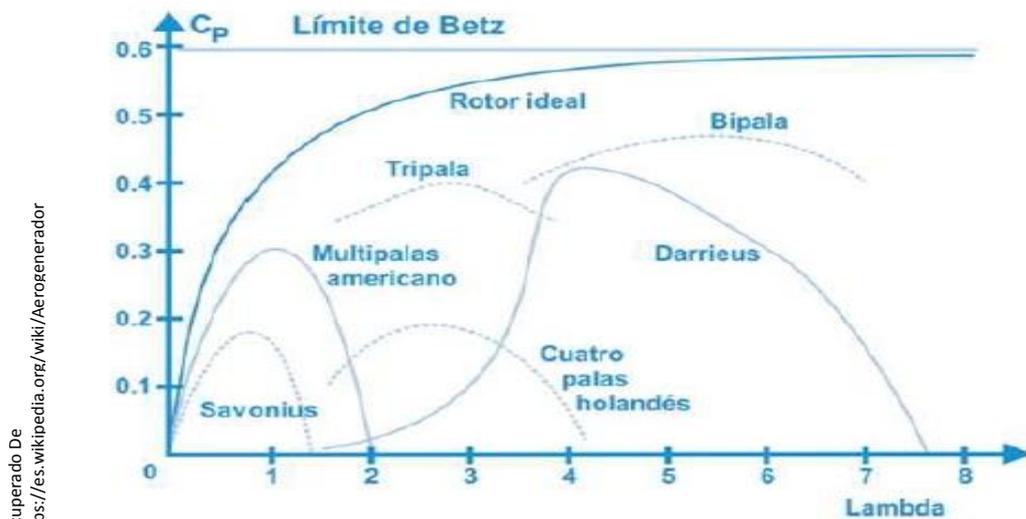
Cuadro n°6

Velocidad media anual del viento, m/s	Velocidad media anual, km/h	Densidad de potencia anual, W/m <sup>2</sup>	Densidad de energía anual del viento, kWh/m <sup>2</sup>
3	10,8	30,9	270,7
4	15,2	73,3	642,1
5	18,0	143,2	1 254,4
6	21,6	247,5	2 168,1
7	25,2	393,1	3 443,5
8	28,8	586,7	5 139,5
9	32,4	835,4	7 318,1
10	36,0	1 146,0	10 039,0

Comparación de velocidad y densidad del viento.

Aenews (2014, p. 39), en la figura se observa la curva de eficiencia de los diferentes tipos de aerogeneradores, comparadas con la curva ideal en relación a los valores del coeficiente de potencia ( $C_p$ ) y la relación de la velocidad de punta ( $\lambda$ ).

Figura. 15



Recuperado De <https://es.wikipedia.org/wiki/Aerogenerador>

Coefficientes de potencia en función de la velocidad Relativa de punta para diferentes tipos de aerogeneradores.

Aenews (2014, p. 40), se puede ver en la imagen que los aerogeneradores de eje vertical como el Savonius es el menos eficiente y funciona a velocidades de viento muy bajas; mientras que, la curva del aerogenerador con una configuración de tres palas es la que más se aproxima al comportamiento de la curva idealizada y por ende es el más eficiente, por esta razón, este tipo de aerogenerador de tres palas va a ser la base y el que se va a utilizar para la realización de este proyecto para tratar de que la eficiencia del sistema a escala propuesto, sea la más óptima.

### 1.3.9.4 Curva de potencia del aerogenerador

Samani (2004, p. 36), la curva de potencia de un aerogenerador es muy útil y necesaria al momento de elegir la turbina eólica más óptima para un propósito específico, esta curva relaciona la salida de potencia que entrega el aerogenerador en función de la velocidad del viento.

$$P_v = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

Donde:

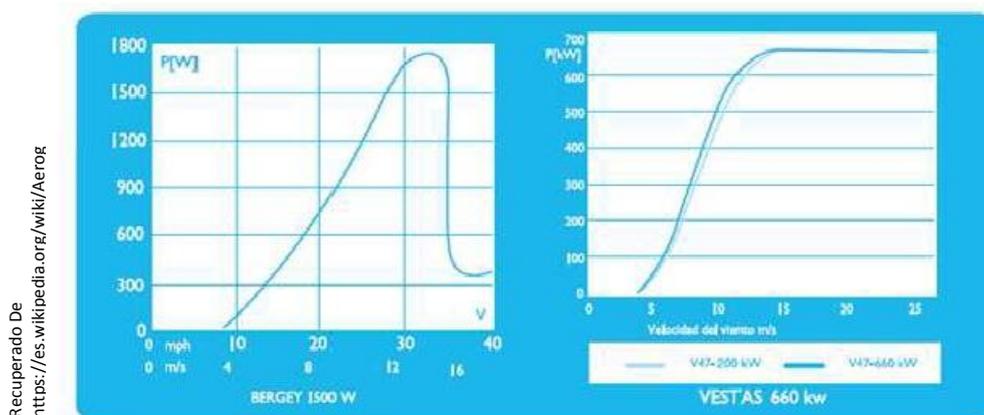
$P_v$  = potencia extraíble del viento en W.

$\rho$  = densidad del aire en  $\text{kg/m}^3$ .

$A$  = área en  $\text{m}^2$ .

$v$  = velocidad del viento en m/s.

**Figura. 16**



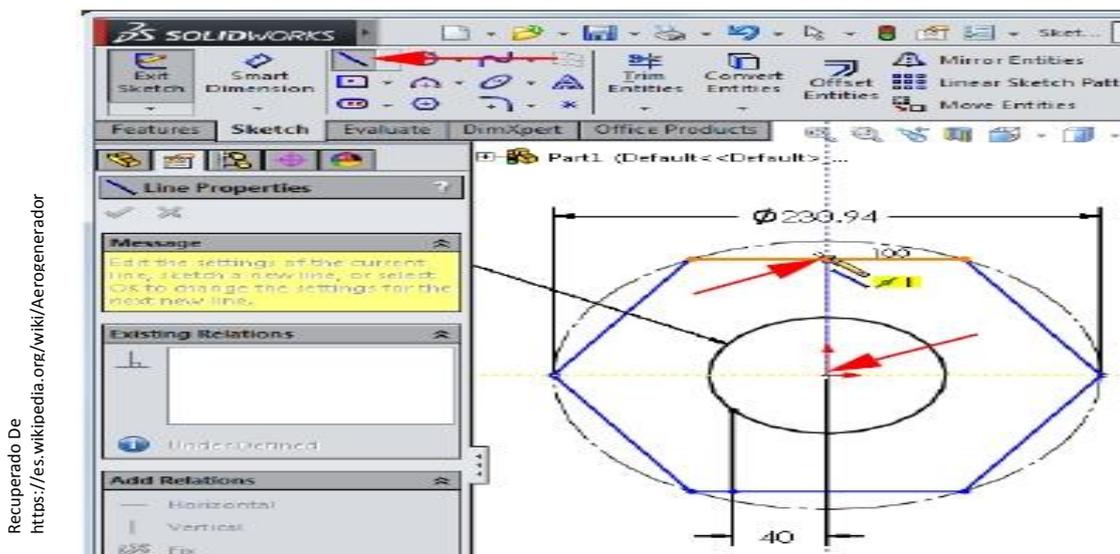
Curvas de potencia de aerogeneradores comerciales.

### 1.3.9.5 Simulación con SolidWorks Simulation

SolidWorks (2016, p. 38), las sesiones prácticas de SolidWorks Simulation le permite conocer las funciones y los beneficios de utilizar el software de análisis SolidWorks Simulation para realizar un potente análisis desde su escritorio, sólo las herramientas de validación de SolidWorks Simulation brindan una perfecta integración con el software de CAD en 3D SolidWorks, con el beneficio de contar con la sencilla interfaz de usuario de Windows, aprenda cómo puede utilizar SolidWorks Simulation para realizar análisis de tensiones en su diseño, SolidWorks Simulation Professional para realizar análisis térmicos, de tensión, optimización y fatiga, SolidWorks Motion para realizar simulaciones de movimiento y SolidWorks Flow Simulation para realizar análisis de flujo de fluidos en sus diseños.

SolidWorks (2016, p. 39), este programa nos permitirá interactuar de manera virtual entrando en entornos de trabajo de diseños de piezas tal como lo demostramos a continuación (Ver anexo 1).

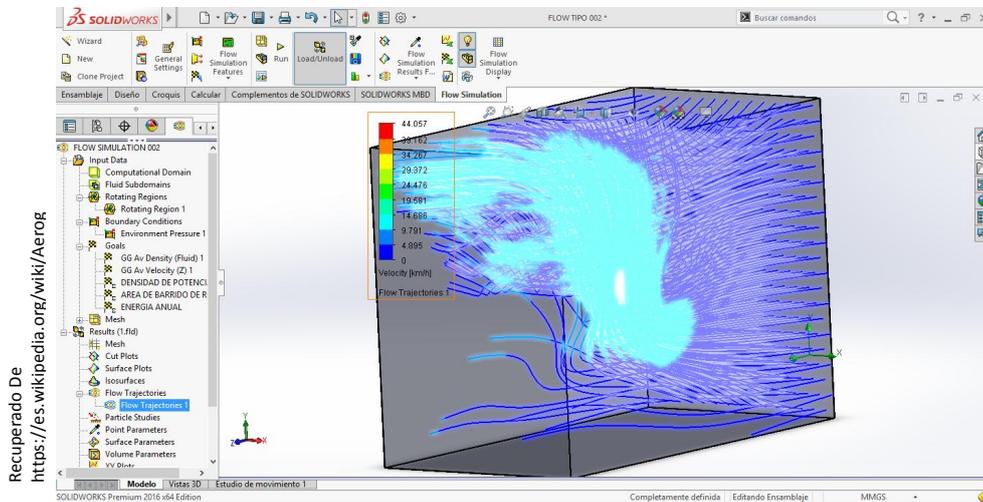
Figura. 17



Pantalla de trabajo del software SolidWork Simulation.

Para SolidWorks (2016, p.40), finalmente se podrá realizar la simulación en tiempo real, tal como se muestra a continuación (Ver anexo n°1).

**Figura. 18**



Prototipo final realizado con el software SolidWok Simulation

La energía producida por año (EAP) por los aerogeneradores es:

$$EAP = (P/A) \times (A) \times (\text{rendimiento total}) \times (8\,760 \text{ h/año}) / (1\,000 \text{ W/kW})$$

$$R = D/2 = 6/2 = 3\text{m}$$

$$A = \pi R^2 = \pi (D/2)^2 = 1.225 \times (3)^2 \sim 11.02 \text{ m}^2$$

$P/A = 401.26 \text{ W/m}^2$  para una velocidad media anual de  $7\text{m/s}$ , considerando unas distribuciones de frecuencia de velocidad de ralenti, el rendimiento es de 28%.

$$EAP = (P/A) \times (A) \times (\text{rendimiento total}) \times (8\,760 \text{ h/año}) / (1\,000 \text{ W/kW})$$

$$EAP = 401.26 \times 11.02 \times 0,280 \times 8\,760 / 1\,000 = 984.21\text{kWh/año.}$$

Mediante este método podemos determinar valores, pero no con exactitud, no se tiene que realizar costosas inversiones puesto que la energía es producida por un aerogenerador.

### **1.3.9.6 Norma Técnica EM-090 Instalaciones para energía eólica**

#### **a. Generalidades**

N.T.-EM.090 (2012, p. 1), el cambio climático y la inestabilidad económica de los combustibles fósiles han dirigido la atención hacia el uso de energía renovable, como lo producido por el viento, por otro lado, el conveniente potencial eólico y las nuevas tecnologías que posee el país, han generado oportunidades para el desarrollo de este tipo de energía.

#### **b. Objetivo**

N.T.-EM.090, (2012, p. 1), establecer las condiciones técnicas mínimas que debe cumplir un sistema de energía eólica.

#### **c. Referencia normativa**

#### **d. Reglamento Nacional de edificaciones.**

Código Nacional de Electricidad – utilización (resolución ministerial N° 037-2006-MEM-DM).

Reglamento de estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido (DS N° 085-2003-PCM) (N.T.-EM.090, 2012, p. 4).

Condiciones técnicas para instalar un sistema de energía eólica.

#### **e. Lugar de Instalación**

N.T.-EM.090, (2012, p. 5), el diseño estructural que soportará el sistema de energía eólica debe aplicar las normas necesarias, previendo los efectos que pueda ocasionar los elementos de este sistema.

#### **f. Aerogenerador**

N.T.-EM.090, (2012, p. 6), el diseño de su sistema de fijación debe de garantizar en todo momento su estabilidad ante posible caída, desprendimiento de elementos, debe de cumplir con la normativa establecida por el Gobierno local a fin de que el impacto visual sea mínimo.

N.T.-EM.090, (2012, p. 6), debe colocarse dentro de un ambiente especial aislado o en su defecto en cajas o armarios debidamente asegurados y con ventilación adecuada

#### **1.3.9.7 Criterios para la elaborar el estudio de vientos**

N.T.-EM.090, (2012, p. 6), para elaborar un estudio de vientos de la zona para un óptimo funcionamiento del sistema, se deberá contar con la siguiente información: Medición periódica de la velocidad y dirección de viento, revisión de datos existentes de viento en la zona, características del suelo donde se ubicará el aerogenerador (datos de rugosidad), medición de parámetros ambientales principales (temperatura, humedad).

#### **1.3.9.8 Información complementaria para los proyectos de instalación con energía eólica**

N.T.-EM.090, (2012, p. 7), instalar el aerogenerador en un lugar libre de obstáculos para garantizar el libre flujo del viento, procurando localizarlo en cúspides o zonas altas como lomas o cerros con el fin de captar el viento más fuerte.

### **1.4 Formulación del problema**

¿Es factible el diseño y simulación de aerogeneradores para optimizar la generación de energía eléctrica en la provincia de Cajamarca - 2017?

### **1.5 Justificación del estudio**

#### **1.5.1 Justificación científica**

La investigación permitirá presentar a la comunidad científica y/o población una propuesta de diseño de aerogenerador, así como una evaluación sobre los costos en que pueden incurrir frente a su implementación.

### **1.5.2 Justificación económica**

Se debe tener claro que toda actividad industrial y más aún en los procesos de generación de energía eléctrica, van a existir ahorro económico por la aplicación de energía renovable, los mismos que deben ser identificados y evaluados, lo que ha de conllevar a mantener un sistema de costos en beneficio de la población, pues la presencia de energía eléctrica en algunos lugares alejados de la ciudad conlleva a elevar los gastos de instalación en lugares alejados.

### **1.5.3 Justificación social**

Contar con un sistema de energía renovable conlleva a elevar la calidad de vida de los pobladores al contar con energía de bajo costo y un alto rendimiento técnico.

### **1.5.4 Justificación ambiental**

En muchos países del mundo el factor energético, los combustibles y sus derivados tiene un valor predominante para el desarrollo de la sociedad, y cada día estos recursos se van agotando. Estos factores obligan de manera urgente a buscar alternativas que pueda reemplazar las fuentes fósiles de energía, que sean amigables con el medio ambiente para preservar el ecosistema, debido a esta problemática, se debe investigar técnicas alternativas que sea sustentable en el tiempo, es así que con la presente investigación se plantea dar solución a la dificultad de generación de energía con una materia prima inagotable como es la energía eólica, usando un aerogenerador.

## **1.6 Hipótesis**

Si se realiza el diseño y simulación de aerogeneradores entonces se posibilitará optimizar la generación de energía eléctrica en la provincia de Cajamarca - 2017.

## **1.7 Objetivos**

### **1.7.1 Objetivo general**

Realizar el diseño y simulación de aerogeneradores, que posibilite optimizar la generación de energía eléctrica en la provincia de Cajamarca.

### **1.7.2 Objetivos específicos**

- a)** Determinar la velocidad, presión y potencia promedio del viento, con la que cuenta la provincia de Cajamarca.
- b)** Diseñar cuatro prototipos de aerogeneradores de eje horizontal y vertical con el software SolidWorks 2016.
- c)** Calcular la eficiencia y energía eléctrica para cada prototipo de aerogeneradores determinada por software SolidWorks 2016.
- d)** Determinar el prototipo en condiciones óptimas para la generación de energía eléctrica para la fabricación de una futura planta eólica en la provincia de Cajamarca.
- e)** Realizar un análisis económico que permita identificar la viabilidad del proyecto en términos de VAN, TIR y B/C.

## II. MÉTODO

### 2.1 Diseño de la investigación

#### 2.1.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación es descriptiva - aplicada

**Descriptiva**, porque se van a detallar las actividades que se llevan a cabo en cada uno de los procesos, **aplicada** porque se va aplicar conocimientos científicos para resolver un problema que se viene suscitando en un determinado lugar.

#### 2.1.2 Diseño la investigación

El diseño de investigación es **no experimental** (transversal), no se va a manipular las variables de estudio, la información a recolectar será de hechos pasados, de las experiencias de los pobladores, para conocer la real situación del sistema en un tiempo único, su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado.

### 2.2 Variables, Operacionalización

#### 2.2.1 Variable Independiente

Diseño y simulación de aerogeneradores.

#### 2.2.2 Variable dependiente

Generación de energía eléctrica.

#### 2.2.3 Operacionalización de variables.

**Cuadro N°2.1**

Variable	Definición conceptual	Definición Operacional	Indicadores	Escala de medición
<b>Variable Independiente:</b>  Diseño y simulación de aerogeneradores	Proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a cabo experiencias con él, con la finalidad de aprender el comportamiento del sistema o de evaluar diversas estrategias para el funcionamiento del sistema (CERVANTES, 2009, p. 7).	Utilización de un software como el SolidWork para predecir un posible funcionamiento en la parte real.	Fuerza del viento  Potencial eólica	Ordinal  Ordinal
<b>Variable Dependiente:</b>  Generación de energía eléctrica.	Conjunto de dispositivos capaces de aportar, de forma artificial y ordenada, la energía eléctrica necesaria, con la finalidad de obtener un adecuado suministro energético (CERVANTES, 2009, p. 8).	Producir electricidad	1.Eficiencia del aerogenerador. 2.Potencia del aerogenerador.	Ordinal  ordinal

Fuente: Elaboración propia

Cuadro de Operacionalización de variables.

## 2.3 Población y muestra

### 2.3.1 Población

Es el conjunto de todos los elementos que concuerdan con una serie de ciertas características (Hernández, Fernández y Baptista, 2006, p. 239).

La población a ser objeto de estudio serán aerogeneradores diseñados y simulados mediante el software SolidWorks 2016, en la provincia de Cajamarca.

### 2.3.2 Muestra

Es un subconjunto o parte de la población (Hernández, Fernández y Baptista, 2006, p. 236).

Para éste estudio se tomó como muestra el diseño y simulación de cuatro aerogeneradores realizados y simulados con SolidWorks - 2016.

## **2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad**

Según Hernández, Fernández y Baptista, (2006, p.125), una técnica de recolección de datos es el conjunto de procedimientos, mecanismos que nos llevan a reunir datos con un fin específico”

Para conocer las técnicas e instrumentos de recolección que se tomaron en cuenta para el presente proyecto de investigación serán:

### **2.4.1 Técnicas de recolección de datos**

Las principales técnicas de recolección de datos se detallan a continuación:

**Cuadro 2.2**

Fase de Estudio	Fuente de Información e Informantes	Técnicas	Herramientas / instrumentos	Resultado Esperado
<p><b>FASE 1:</b></p> <p>Determinar la fuerza del viento para el lugar donde se desea realizar el diseño.</p>	El autor	Observación- Medición directa con anemómetro	Ficha de recolección de datos.	Determinar la velocidad promedio del viento
<p><b>FASE 2:</b></p> <p>Determinar la potencia eólica para la generación energía eléctrica.</p>	El autor	Observación- Medición directa con multitester.	Ficha de recolección de datos.	Determinar la potencia promedio en Cajamarca
<p><b>FASE 3:</b></p> <p>Manejo de datos establecidos de velocidades de viento según atlas solar SENAMHI a nivel de provincias del departamento de Cajamarca</p>	SENAMHI	Revisión de documentales	Libro, revistas, fotos, artículos.	Identificación de velocidades promedio del viento
<p><b>FASE 4:</b></p> <p>Seleccionar los componentes del Sistema del aerogenerador</p>	El autor	Revisión documental	Ficha de recolección de datos (Formato Excel)	Encontrar datos de trabajo.
<p><b>FASE 5:</b></p> <p>Simular el sistema de aerogenerador</p>	El autor	Simulación	Software SolidWork 2016	Corrida secuencial apropiada.
<p><b>FASE FINAL:</b></p> <p>Diseño por modelamiento de un aerogenerador para generación de energía eléctrica en la ciudad de Cajamarca - 2017.</p>	El autor	Simulación	Software SolidWork 2016	Diseñar por modelamiento el sistema de Aero generación para producir energía eléctrica.

Fuente: Elaboración propia

**Técnicas de recolección de datos.**

## **2.4.2 Validez y confiabilidad de recolección de datos**

### **2.4.2.1 Validez**

Para dar validación la presente investigación se hizo mediante un especialista, el cual validó el presente diseño, como fue la hoja de encuestas y la ficha de recolección de datos de los instrumentos de medición, teniendo la obtención de datos y teorías, que permitieron que se afirme la pertinencia y la suficiencia de las interpretaciones basadas en los resultados de éste trabajo.

### **2.4.2.2 Confiabilidad**

El presente estudio dio la confiabilidad necesaria, la obtención de la información mencionada fue tomada por diversos autores debidamente referenciados.

La confiabilidad de los instrumentos será dada por el llenado de las fichas con registros gráficos.

## **2.5 Métodos de análisis de datos**

Para analizar los datos cuantitativos, el análisis se realizó a partir de matrices de datos, tablas y gráficos almacenados y generados en Microsoft Excel.

## **2.6 Aspectos éticos**

**2.6.1 Confidencialidad:** Todos los datos conseguidos para la presente investigación, serán tratados en absoluta confidencialidad y usados expresamente para éste trabajo, no se está autorizado a difundir ni transferir por ningún medio.

**2.6.2 Derechos de autor:** Toda vez que la investigación se basa en búsqueda de información y conocimiento para construir uno propio que se reflejará en la presente tesis, en todos los casos se respetará los principios de Derechos de Autor, procurando conseguir los permisos correspondientes para usar el material que sea transcrito en la presente investigación.

**2.6.3 Respeto:** Para los casos de observaciones en talleres se respetó todas las reglas y procedimientos de acceso y permisos correspondientes, incluyendo uso de equipo de protección personal adecuado según sea el caso.

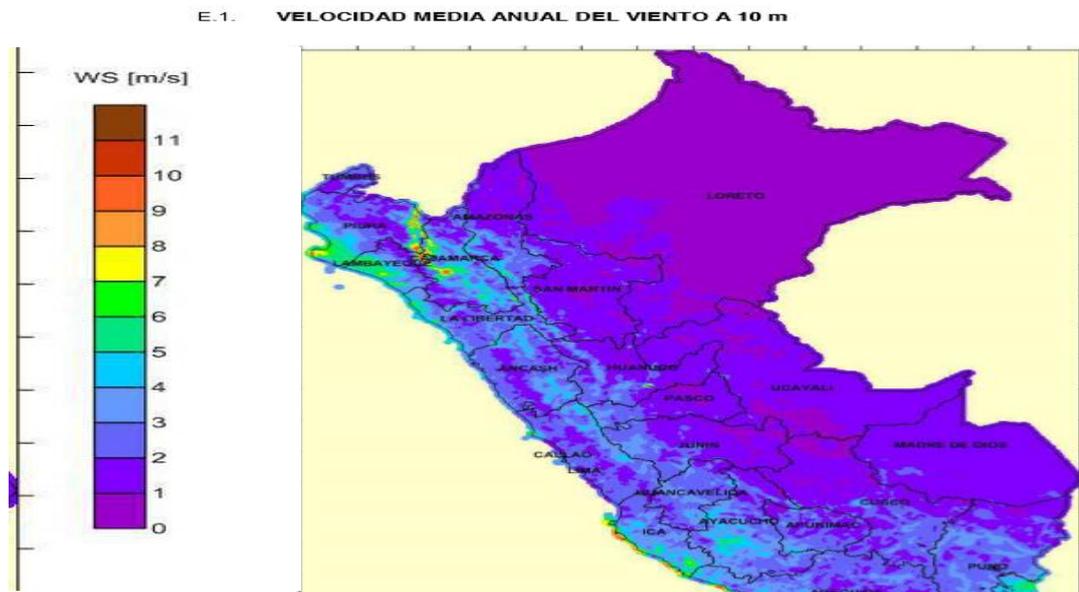
**2.6.4 Dignidad:** En los casos de entrevistas personales se hizo con total respeto a la dignidad y derechos de las personas, sin vulnerar sus derechos como persona o profesional.

### III. RESULTADOS

#### 3.1 Determinación de la velocidad promedio del viento para la provincia de Cajamarca

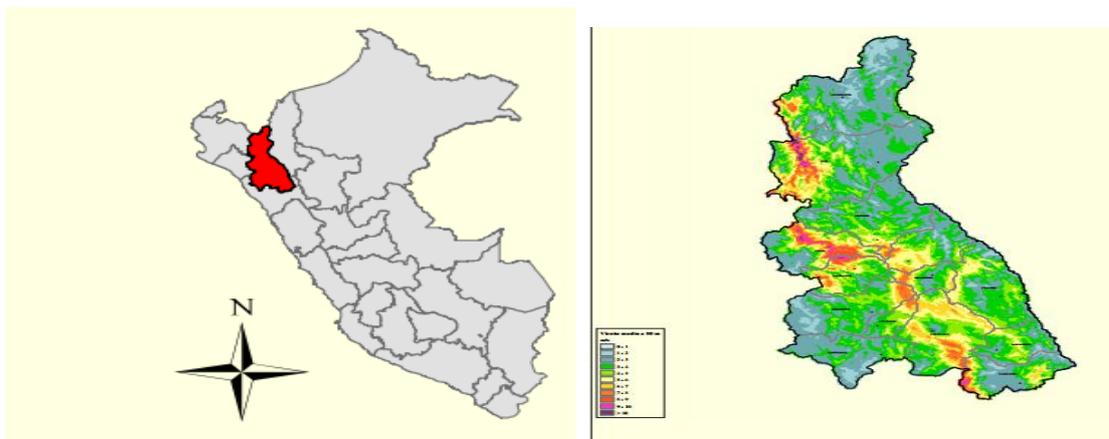
Los parámetros obtenidos se detallan a continuación: (ver anexo 4)

Figura n°18

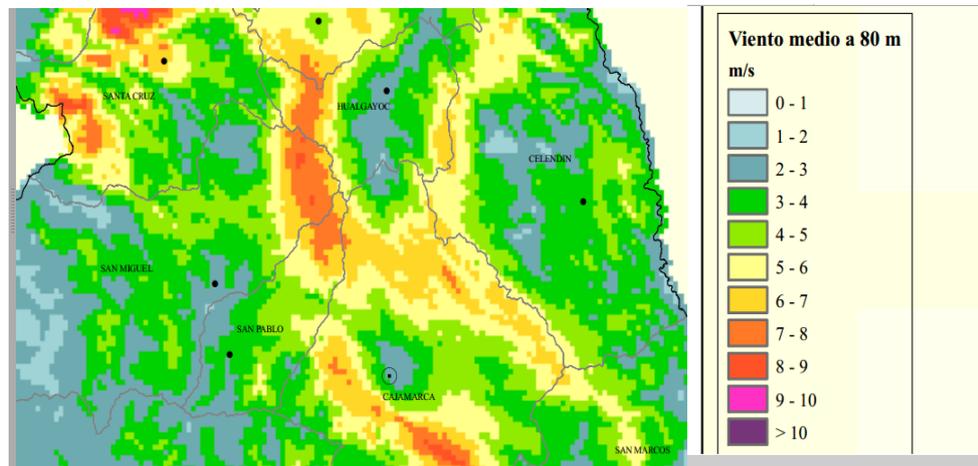


Velocidad del viento media anual a 10 metros de altura

Figura. 19



**Figura 20**



Velocidad del viento promedio en la provincia de Cajamarca, 2017.

**Tabla n°7**

Velocidad media anual del viento, m/s	Velocidad media anual, km/h	Densidad de potencia anual, W/m <sup>2</sup>	Densidad de energía anual del viento, kWh/m <sup>2</sup>
3	10,8	30,9	270,7
4	15,2	73,3	642,1
5	18,0	143,2	1 254,4
6	21,6	247,5	2 168,1
7	25,2	393,1	3 443,5
8	28,8	586,7	5 139,5
9	32,4	835,4	7 318,1
10	36,0	1 146,0	10 039,0

Densidades de potencia y energía anuales por metro cuadrado

Se calculó el promedio de la velocidad del viento en Cajamarca, con una velocidad máxima de 10 km/h y una mínima de 3 km/h.

El viento al chocar con las palas, genera una fuerza que viene dada por la expresión (ver anexo 4)

$$P_{\text{viento}} = \frac{1}{2} \rho v^2$$

$$P_{\text{viento}} = \frac{1}{2} \rho v^2 = \frac{1}{2} (1.225 \text{ kg/m}^3) (7 \text{ m/s})^2$$

$$Pv = \frac{1(1.225 \text{ kg/m}^3)(7 \text{ m/s})^2}{2}$$

$$PV = \frac{60.025 \text{ kg/m s}^2}{2}$$

$$P_{\text{viento}} = 30 \text{ Pa}$$

Donde:

$\rho$  = densidad del viento (1.225 kg/m<sup>3</sup>)

$v$  = velocidad del viento m/s

Los cálculos se van a realizar para las condiciones más desfavorables, en éste aspecto se consideró una velocidad de viento de 25 km/h (7m/s) para la realización del cálculo.

Determinación de la velocidad promedio del viento para la provincia de Cajamarca.

$$V_{\text{promedio}} = 25 \text{ km/h} * (1 \text{ km}/1000 \text{ m}) = 25200 \text{ m/h}$$

$$= 25200 \text{ m/h} * (1 \text{ h}/3600 \text{ s}) = 7 \text{ m/s.}$$

Hay que indicar que la velocidad será eventual, ya que será probable que se generen pequeños huracanes de viento que deberá soportar el aerogenerador.

la presión generada por el viento es:

$$P_{\text{viento}} = \frac{1}{2} \rho v^2$$

$$P_{\text{viento}} = \frac{1}{2} (1.225 \text{ kg/m}^3) (7 \text{ m/s})^2$$

$$Pv = \frac{1(1.225 \text{ kg/m}^3)(7 \text{ m/s})^2}{2} = \frac{60.025 \text{ kg/m s}^2}{2} = 30 \text{ Pa}$$

Determinación de la potencia eólica para la ciudad de Cajamarca

$$Potencia = \frac{\frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot d \cdot v^2}{t}$$

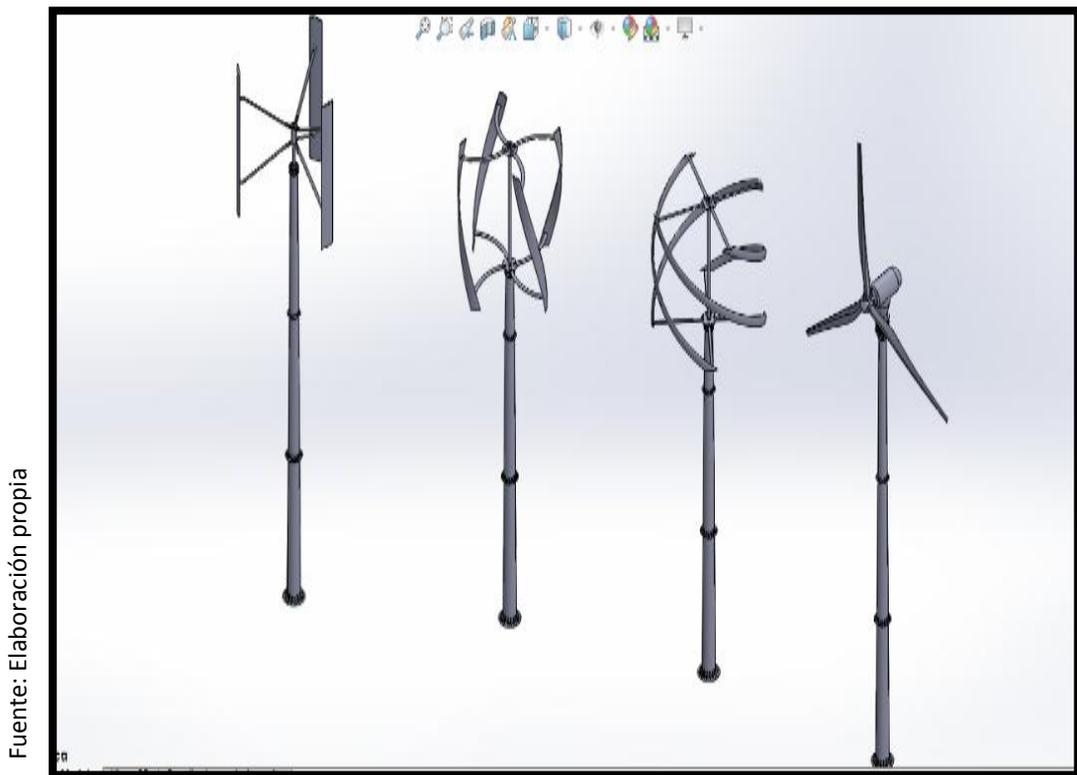
Siendo:  $v = \frac{d}{t}$

Por tanto:

$$Potencia = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3$$

Resulta muy costoso llevar a cabo mediciones detalladas, pero también existen otras formas de obtener las características del viento. (ver anexo 4)

Figura. 19



Prototipos diseñados en el programa Solidworks 2016

## Parámetros que se manejaron

### 3.2 Fuerza del viento

Cuando el viento impacta contra los alabes, se generan fuerzas que vienen expresadas (ver anexo 4).

$$P_{viento} = \frac{1}{2} \rho v^2 \qquad P_{viento} = \frac{1 * 1.225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 72 \text{ m/s}}{2} = 30.01 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$$

Donde:

P: 1.225 kg/m<sup>3</sup>

V : velocidad del viento (m/s)

Los cálculos se van a realizar para las condiciones más desfavorables, se trabajará con una velocidad de viento de 25km/h (7m/s) para determinar los cálculos.

$$\begin{aligned} V_{\text{promedio}} &= 25\text{km/h} * (1\text{km}/1000\text{m}) = 25000 \text{ m/h} \\ &= 25200\text{m/h} * (1\text{h}/3600\text{s}) = 7\text{m/s}. \end{aligned}$$

Ésta será una velocidad máxima que pueda llegar en ciertas ocasiones a la que soportaran el aerogenerador.

### 3.3 Presión del viento

$$P_{viento} = \frac{1}{2} \rho v^2$$
$$P_{viento} = \frac{1 * 1.225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 7.2 \text{ m/s}}{2} = 30.01 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$$

### 3.4 Energía Anual Producida (EAP)

(ver anexo 4)

La Energía Anual producida (EAP) en kWh/año.

$$EAP = (P/A) \times (A) \times (\text{rendimiento total}) \times (8\,760 \text{ h/año}) / (1000 \text{ W/kW})$$

Donde:

Densidad de potencia (P/A)

$$P/A = \frac{1}{2} \times (\text{densidad del aire}) \times (FC) \times V^3 \quad FC = 1,91$$

$$P/A = \frac{1}{2} \times (1,225) \times (1,91) \times V^3$$

$$P/A = \frac{1}{2} \times (1,225) \times (1,91) \times 7^3 = 423,09 \text{ W/m}^2$$

### 3.5 Área de barrido del rotor (A)

El área de barrido del aerogenerador, es el área del círculo desarrollado por dicho rotor (ver anexo 4)

$$A = \pi R^2$$

Donde:

R = radio del rotor

Cuando es un rotor de eje horizontal y para rotor vertical, el área de barrido es, por lo general, el de una elipse.

un aerogenerador cuyo rotor posee un diámetro de 6m, el área de barrido de ese rotor es:

$$A = \pi R^2 = \pi (D/2)^2 = \pi (3)^2$$

$$A = \pi (3)^2 \sim 11,02 \text{ m}^2$$

### 3.6 Rendimiento Total (RT)

El tipo de aerogenerador escogido nos determina el rendimiento y lugares con velocidades bajas (4 m/s) puede llegar a casi 30%, con altas velocidades (7 m/s) sólo convierte entre 23 y 29%, para valores intermedios, como 5-6 m/s, puede ser alcanzable un valor de 25 y 21%, respectivamente (ver anexo 4).

### **3.7 Cálculo de la eficiencia para cada prototipo de aerogeneradores**

Para el análisis estático los 4 prototipos respondieron de manera óptima, ya que la deformación producida por acción de la fuerza del viento no es significativa (ver anexo 5).

### **3.8 Análisis de movimiento (Motion)**

Con los resultados obtenidos (gráficas) se puede comprobar que hay un buen funcionamiento de los aerogeneradores a lo largo del tiempo.

Se usa en el contexto de las teorías de fallo como indicador de un buen diseño, donde el límite elástico es de  $2.75 \times 10^7$  N/m<sup>2</sup>, los 4 prototipos superan el valor de Von Mises, lo que nos dice que no sufrirá deformación y soportará las fuerzas ejercidas sobre el eje de rotación (ver anexo 6).

### **3.8 Flow Simulation**

Se obtuvieron resultados de la Energía Anual Producida por cada aerogenerador, a partir de esto se calcula el n° de familias que abastecerá de energía eléctrica cada prototipo (sabiendo que cada familia consume 7 kWh).

Determinación del prototipo en condiciones óptimas para la fabricación de una futura planta eólica en la provincia de Cajamarca – 2017(ver anexo 6).

### **3.9 Determinación del análisis económico que permita identificar la viabilidad del proyecto en términos de VAN, TIR y B/C**

Los gastos para la implementación del aerogenerador ascienden a \$/. 12 227.75 dólares (Ver anexo n°6).

Con los datos obtenidos se procedió a determinar el VAN, TIR y B/C del proyecto, para ello, con todos estos datos se realizó el respectivo flujo de caja proyectado a cinco años, que mostrará las Inversiones posteriores a la inicial para el desarrollo de la implementación del aerogenerador; todo esto nos permitirá hallar los indicadores económicos como el Valor Actual Neto (VAN),

la Tasa Interna de Retorno (TIR) que nos ayudarán a visualizar si la inversión, en la implementación del aerogenerador, es aceptable o no.

**Cuadro 3.4**

Fuente: Elaboración propia

VAN	S/. 33,261.69	SE ACEPTA
TIR	10.5%	SE ACEPTA
B/C	1.982612962	SE ACEPTA

Análisis de VAN, TIR y B/C

**CRITERIOS:**

Si  $VAN \geq 0$ : se acepta la propuesta, de lo contrario se rechaza

Si  $TIR \geq 10\%$ : se acepta la propuesta, de lo contrario se rechaza

Si  $B/C > 1$ : se acepta la propuesta, de lo contrario se rechaza, para más detalles ver anexo n° 6.

**Cuadro 3.2.**

Fuente: Elaboración propia

Prototipos	EAP (kW)	Energía mensual producida (kW)	N° de familias
Tipo 1	604	50	7
Tipo 2	922	76	10
Tipo 3	312	26	3
Tipo 4	1903	158	22

Datos de Energía Anual Promedio para cada aerogenerador

Según el cuadro 3.2 podemos observar que el prototipo N°4 nos demuestra un óptimo rendimiento y con una energía producida al año, de 1903 kW la cual nos indica que abastera con energía eléctrica a 22 familias aproximadamente.

El viento como recurso renovable, inagotable, no contaminante y de libre disponibilidad, hace que se convierta en una de las fuentes más baratas para producir electricidad y sin destruir nuestro planeta.

Los aerogeneradores de eje horizontal son los que aprovechan más el viento, la altura que se consigue situar el eje que mueve el generador muy superior a la de otros modelos y esto se nos garantiza para que estas turbinas eólicas sean las más utilizadas en la actualidad, su tecnología sigue creciendo no sólo por la altura sino por la calidad y medios mejorados de los componentes que se utilizan en la generación de electricidad, por lo que son más eficaces.

**Justificación.** La necesidad de realizar el análisis técnico-económico del suministro de electricidad a través de energía eólica surge a partir de varios factores, por ejemplo: **ambiental**, ya que la fuente de energía es renovable e inagotable (viento) y no produce contaminación al ambiente; lo **económico** puesto que los materiales utilizados para realizar un sistema, no son muy elevados y se los puede encontrar en el mercado nacional, además esto serviría para disminuir el costo de recibos de electricidad ya que podría ser utilizada para poner en funcionamiento varios artefactos eléctricos, para más detalles ver anexo 6.

**Tecnología existente.** La mayoría de los aerogeneradores modernos son de 3 palas, de eje horizontal y con mecanismos eléctricos y grandes potencias, el aerogenerador tiene como finalidad satisfacer la potencia consumida para el funcionamiento de artefactos eléctricos usados en los hogares que estén dentro del área correspondiente, y de esta manera atenuar el problema que se viene dando en la provincia de Cajamarca.

**análisis de costos.** Costos asociados con diseño del sistema eólico, el empleo de energías renovables a medida que mejora su eficiencia, aumenta su rentabilidad económica frente al uso de energías tradicionales, basadas principalmente en el uso de energías fósiles, con la instalación de un sistema eólico para la cocción de alimentos y duchado se contribuye al ahorro de consumo de Gas Licuado de Petróleo GLP y electricidad convencional éste ahorro se produce una vez amortizada la inversión inicial, el inconveniente

principal que se enfrenta el consumidor a la hora de ejecutar un proyecto de éste tipo es el alto costo de la inversión inicial, el mismo que es muy superior a la necesaria para instalar un calefón y una cocina de gas, es importante por tanto, demostrar que la implantación de un aerogenerador es una buena inversión reflejada en el ahorro económico pero sobre todo en la reducción de emisiones toxicas, cada vez éstas instalaciones son más fiables y solamente requieren de un mantenimiento rutinario, llegando a funcionar satisfactoriamente por un período de 20 a 25 años.

**Costos directos.** Son los costos que se identifican con productos específicos, o identificables con departamentos u entidades particulares, en cuanto a la ejecución del proyecto se entenderán como todos los costos que están directamente asociados con la implementación del sistema eólico, correspondiente a materiales, mano de obra y equipos comprometidos directamente con su ejecución.

**Costos indirectos.** Son aquellos costos que no intervienen directamente en el desarrollo del proyecto, Por ejemplo: los salarios de dirección técnica, gastos administrativos, electricidad, interés de préstamo, materiales de limpieza, arrendamiento, imprevistos y utilidad, entre otros, se considera un 25 % del total de costos directos, como costo indirecto

Rentabilidad ambiental del proyecto, es la reducción de lo que realmente sustenta éste tipo de tecnologías y lo que las hace realmente rentables desde el punto de vista medioambiental, consiguiendo un consumo de energías tradicionales más tolerante con la atmósfera y el entorno general.

#### IV. DISCUSIÓN

Cervantes (2009, p. 48), en su estudio de sistemas eólicos, nos termina detallando que obtuvo una presión de 28Pa, de igual manera nos indica Gonzalo (2014, p. 79), en su investigación concluye determinando una presión ejercida por el viento de 31Pa, y finalmente en éste estudio realizado llega a la conclusión de que en la provincia de Cajamarca la presión ejercida por el viento es de 30 Pa, Según estos estudios realizados sobre aerogeneradores se puede apreciar que los datos encontrados se asemejan a lo estipulado por otros autores como son Cervantes y Gonzalo, teniendo en cuenta las fórmulas de aplicación para tal fin, por tal sentido estoy de acuerdo con la presión encontrada por los autores mencionados, ya que los valores encontrados sobre la presión del viento son muy parecidos, no estoy de acuerdo con el tipo de material que utilizaron para la estructura porque se corroe muy rápido al igual que el software que utilizaron no es tan complejo como SolidWorks 2016.

Los prototipos diseñados cuya función fue suministrar energía eléctrica a un cierto número de familias, debe tener una serie de características específicas: un peso bastante reducido para que la estructura que lo soporta no sufra daños o desperfectos, que decepcione el viento necesario, también debe ser de bajo coste y bajos niveles de ruido, todos los datos encontrados se asemejan a lo estipulado por otros autores como son Cervantes (2009) y Gonzalo (2014), teniendo en cuenta que el mejor prototipo es el aerogenerador de eje horizontal con tres palas, el cual nos dotara de mucha energía para nuestras zonas rurales por su excelente corriente de aire que existe en estos lugares, los autores emplearon para tal fin el software Inventor con cuyos resultados se asemejaron a los presentados en la presente investigación, en la misma que se utilizó el software SolidWorks 2016, por su excelente base de datos que contiene cargado, la cual nos permite realizar

una serie de análisis y simulaciones para que el resultado de los objetos estudiados sea más confiable y preciso.

Para la optimización se obtuvo lo siguiente: según Gonzalo (2014, p. 96), en su prototipo n° 1 nos dice que alcanzó 650kW producidos en un año mientras que Cervantes (2009, p. 77), alcanzó 710 kW en comparación con el estudio realizado que se alcanzó 604kW al año, en la cual podemos afirmar que tiene rangos muy similares en la producción de energía eléctrica con respecto a estudios ya realizados, tenemos un parecido muy similar con respecto a los prototipos 2 y 3, finalmente se obtuvieron resultados con respecto al prototipo n°4 de 3 palas que es el que más nos interesa por su excelente diseño y producción de energía, según el estudio realizado por Gonzalo (2014, p. 98), nos dice que obtuvo una producción de energía de 998kW por año mientras que Cervantes (2009, p. 77), logró 1050kW, y por último se hace referencia a lo realizado en el presente estudio, en donde se logró obtener 1903 kW lo cual proporciona adecuados datos técnicos comparativos, puesto que este aerogenerador alimentará con energía eléctrica a un cierto número de familias en la provincia de Cajamarca. Así mismo, se afirma que el prototipo N°4 con un EAP de 1903 kW abastecerá con energía eléctrica a 22 familias aproximadamente. Este mismo esquema es corroborado por Cervantes (2009) y Gonzalo (2014) los cuales concluyeron que el prototipo n°4 (de tres aspas) es el más óptimo, el cual rinde las condiciones sobre todo para el tipo de clima y región geográfica.

Con respecto a la eficiencia de cada prototipo de aerogeneradores Cervantes (2009) y Gonzalo (2014), encontrándose tensiones \* 106N/m<sup>2</sup> de con una eficiencia de 1.74 para el prototipo n° 1), 3.66 para el prototipo n°2, 6.34 para el prototipo n° 3, 0.71 y para el prototipo n°4. Así mismo se determinó la energía eléctrica de cada prototipo de aerogenerador, encontrándose una energía mensual producida equivalente a 50kW: prototipo n°2 genera 76 kW, Prototipo n°3, genera 136 kW, y el prototipo n°4 genera 158 kW de energía eléctrica.

Los datos obtenidos del VAN en la presente investigación fueron de S/. 33,261.69  $\geq 0$ : por lo tanto se acepta la propuesta; así mismo, el proyecto es rentable, pues no solo estamos satisfaciendo la tasa esperada, sino que también estamos obteniendo un beneficio o ganancia extra, de otra forma se puede decir que el proyecto es rentable, ello es corroborado por Avellaneda (2012, p. 125), el cual en su investigación “Estudio del potencial de generación de energía eólica en la zona del Páramo de Chontales, municipios de Paipa y Sotaquirá. Departamento de Boyacá. Bogotá” encontró un VAN de S/. 20,586.12, mientras que Gonzalo (2014, p. 112), obtuvo un VAN de S/. 25,344.68, ambos con un VAN mayor a uno, entonces la aplicación del proyecto es aceptable, se nota una diferencia de precios considerable por motivo del material que se utiliza según los autores mencionados nos dicen que su diseño de aerogeneradores será para una vida útil de 15 años mientras que el diseño desarrollado en éste proyecto es proyectado a 20 años de vida útil, por lo tanto, se determina desde mi punto de vista, una propuesta mejorada en cuestión de uso de materiales.

Los datos obtenidos del TIR en la presente investigación fue de 10.5%  $> 10\%$ : se acepta la propuesta, este valor nos indica la tasa de interés máxima a la que se puede comprometer la empresa para un préstamo sin que incurra en futuros fracasos financieros, ello es corroborado por Avellaneda (2012, p. 130), el cual en su investigación “Estudio del potencial de generación de energía eólica en la zona del Páramo de Chontales, municipios de Paipa y Sotaquirá. Departamento de Boyacá. Bogota” encontró un TIR de 45 %, mientras que Gonzalo (2014, p. 115), obtuvo un TIR de 48%, ambos con un TIR mayor al “10%”, entonces se puede comprometer la empresa para un préstamo sin que incurra en futuros fracasos financieros, por lo tanto, determinamos que el presente estudio es rentable y se puede ejecutar sin ningún problema desde cualquier punto de vista.

Los datos obtenidos del B/C en la presente investigación fue de 1.98  $> 1$ , entonces se acepta la propuesta. En este sentido muestra la cantidad de dinero actualizado que recibirá el proyecto por cada unidad monetaria invertida. El proyecto, también se puede decir que es rentable, ello es

corroborado por Avellaneda (2012, p. 130), el cual en su investigación “Estudio del potencial de generación de energía eólica en la zona del Páramo de Chontales, municipios de Paipa y Sotaquirá. Departamento de Boyacá. Bogota” encontró un B/C de 1.33, mientras que Gonzalo (2014, p. 115), obtuvo un B/C de 1.23, ambos con un TIR mayor a uno, entonces la aplicación del proyecto es aceptable, podemos observar que el B/C encontrado es mayor a los demás estudios lo que nos garantiza que no habrá riesgo de pérdida alguno.

## V. CONCLUSIONES

Se concluyó que en el país la generación de energía a partir del viento no está explotada y son muy escasas las empresas que se dedican a la importación de equipos eólicos, además el desconocimiento del mapa eólico y el no contar con suficientes datos de presencia de viento en las estaciones meteorológicas, es un limitante ya que no se conoce las horas de viento, por lo que se debe realizar un estudio propio en cada emplazamiento donde se vaya a realizar un proyecto eólico.

El estudio de la gran variedad de modelos, tipos y diseños de aerogeneradores permitió preseleccionar el posible modelo de generación con mayor eficiencia y al realizar un estudio técnico-económico se determinó la opción más apropiada para satisfacer la necesidad.

Según los cálculos realizados se concluye que, la velocidad promedio del viento en la provincia de Cajamarca es de 7 m/s, así mismo se determinó la presión ejercida por el viento con la que cuenta la provincia de Cajamarca, la cual es 30 Pa.

Se concluyó que para el diseño de cuatro prototipos de aerogeneradores de eje horizontal y vertical con el programa SolidWorks 2016, establecidos según el presente proyecto, se obtiene que los prototipo debe tener un generador trifásico magnético permanente, con una potencia nominal de 5kW y una máxima potencia de salida de 6kW, éste equipo tendrá una eficiencia de 86%, dicho generador nos brindara un voltaje de salida de 216v, tendrá 3 palas construidas de aluminio 1345, con un diámetro de 6m, la velocidad de arranque será de 2.5m/s, velocidad nominal de viento de 7m/s, producirá un ruido de 45db, trabajara a una temperatura entre -20°C y 50°C y su vida útil del diseño será 20 a 25 años, todos los prototipos estarán equipados con el generador eléctrico con las especificaciones técnicas ya mencionadas, solo variara la posición en la que será instalada cada uno de los generadores y el número de palas, cabe mencionar que la altura de la torre o mástil será de 8m para todos.

Al emplear la energía eólica como fuente principal para el consumo de electricidad en un domicilio se concluye que es, probablemente el método más bondadoso de generación de energía que se conoce, ya que no existe un proceso de combustión o una etapa de transformación térmica quienes son los causantes del efecto

invernadero y en consecuencia el calentamiento global, por lo que este tipo de energía es limpia, inagotable y renovable.

Se concluyó según los cálculos realizados, que el costo de implementación del aerogenerador es s/ 39,128.83, cuyo gasto deberá ser asumida por cada una de las empresas metalmecánicas destinadas al rubro de soldadura, así mismo se concluyó que el VAN = S/. 33, 261.69, TIR = 10.5% y B/C = 1.98.

## VI. RECOMENDACIONES

Realizar en la provincia de Cajamarca y en todo el país un estudio del potencial energético eólico en los lugares reconocidos de interés para la producción de este tipo de energía.

Para la realización de este tipo de proyectos en nuestro país, se debe considerar realizarlos a gran escala o en lugares donde el acceso de la red eléctrica no exista, ya que solo así el proyecto es justificable desde el punto de vista económico.

Se recomienda prestar más interés e invertir en tecnologías de energías alternativas y reconocer las ventajas ambientales de las fuentes renovables, en comparación con las tecnologías convencionales.

Se recomienda implementar sistemas de generación de energía eléctrica mediante aerogeneradores en la provincia de Cajamarca y de esta manera atenuar el impacto negativo de las familias sin fluido eléctrico en las zonas rurales.

Recomendamos, brindar a la colectividad en general, capacitaciones, charlas informativas y motivacionales sobre el correcto uso de energías renovables y sostenibles que permitan extraer el máximo provecho.

Recomendamos a los futuros profesionales a orientarse en este sector productivo en pro del desarrollo del país, generando nuevas fuentes de trabajo, pero sobre todo ayudar a contrarrestar la contaminación ambiental.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**BAÑUELOS, francisco.** *impacto de la generación eléctrica usando fuentes de energía eólica en la red eléctrica nacional.* México : Tesis (Doctor en Ingeniería), 2011.

**AVELLANEDA, José.** *Estudio del potencial de generación de energía eólica en la zona del Páramo de Chontales, municipios de Paipa y Sotaquirá. Departamento de Boyacá.* Bogota : Tesis ( Maestría en Ingeniería con énfasis en energías alternativas), 2012.

**AEE. Asociación Empresarial Eólica.** La Eólica en el mundo. [En línea] s.f. [Citado el: 20 de agosto de 2016.] <http://www.aeeolica.org/es/sobre-la-eolica/la-eolica-en-el-mundo/>.

**GONZALO, Prieto.** La energía eólica en el mundo. Europa y España. [En línea] 29 de enero de 2014. [Citado el: 28 de agosto de 2016.] <http://www.geografiainfinita.com/2014/01/la-energia-eolica-en-el-mundo-europa-y-espana/>.

**SAMANI, Zohrab.** *Generación de energía y fertilizantes orgánicos a partir de residuos agrícolas.* Estados Unidos : Universidad del Estado de Nuevo México, 2004.

**FRAGOSO, Omar.** *Simulación numérica del rotor de un aerogenerador de eje vertical.* México : Universidad Nacional Autónoma de México (Tesis: Ingeniero Mecánico), 2012.

**ARBELOA, Lorena y ZURITA, Jesús.** *Diseño de un aerogenerador de eje vertical tipo Savonius para electrificación rural.* Pamplona : Escuela técnica superior de Ingenieros Industrisles y Telecomunicación (Tesis: Ingeniero Industrial, 2012.

**COAQUERA, Rigoberto.** *Diseño, Construcción y Evaluación de un Micro Aerogenerador usando Materiales Reciclables.* Tacna : UNIVERSIDAD NACIONAL "JORGE BASADRE GROHMANN", 2013.

**HUALPA, Maimer.** *Estudio de factibilidad de sistemas híbridos - eólicos.* Lima. Pontificia Universidad Católica del Perú : Tesis (Ingeniero Mecánico, 2011.

**BERNABÉ, Rigoberto.** *Diseño, construcción y evaluación de un microaerogenerador usando materiales reciclables.* Tacna : Tesis (Licenciado en física aplicada), 2013.

**ENERGIADOBLECERO.** Componentes de un aerogenerador. [En línea] s.f. [Citado el: 16 de agosto de 2016.] <http://energiadoblecero.com/energias-renovables/energia-eolica/componentes-de-un-aerogenerador>.

**CHIROQUE, José.** *Construcción y minitreo de prototipo aerogenerador de 500 w para aplicación en microrredes domiciliarias y servicios comunitarios en el sector rural.* Lima : Universidad Nacional de Ingeniería, 2009.

**PRIMER Parque Eólico.** Diario La República. [En línea] 27 de marzo de 2016. [Citado el: 25 de agosto de 2016.] <http://larepublica.pe/impres/economia/751529-primer-parque-eolico-de-cajamarca-estara-ubicado-en-el-districto-de-huambos>.

**CERVANTES, José.** Estudio de sistemas de bombeo fotovoltaicos, Cuervanaca Morelos, Mexico, 2009. 5 pp. [En línea] 25 de Setiembre de 2009. [http://www.cenidet.edu.mx/subaca/web-elec/tesis\\_mc/233MC\\_jch.pdf](http://www.cenidet.edu.mx/subaca/web-elec/tesis_mc/233MC_jch.pdf).

**CHAUNCEY, Davis.** LA energía eólica crece a nivel mundial. Revista de United Nations Framework Convention on Climate. [En línea] 28 de agosto de 2015. [Citado el: 15 de agosto de 2016.] <http://newsroom.unfccc.int/es/energ%C3%ADa-limpia/la-energia-eolica-crece-en-el-mundo/>.

**NATIONAL Geographic.** Wind Power. Estados Unidos. [En línea] 2016. [Citado el: 15 de agosto de 2016.] <http://environment.nationalgeographic.com/environment/global-warming/wind-power-profile/>.

**MARTINEZ, Alberto.** Unidades de potencia y energía ¿Qué son los Megavatios (MW) y los kilovatios.hora (kwh)? [En línea] 2015. [Citado el: 20 de agosto de 2016.] <http://desenchufados.net/unidades-de-potencia-y-energia-que-son-los-megavatios-mw-y-los-kilovatiohora-kwh/>.

**TWENERGY.** Energía eólica. [En línea] 2013. [Citado el: 10 de agosto de 2016.] <https://twenergy.com/energia/energia-eolica>.

**BRACKEN, Meyers.** Types of wind turbines. [En línea] 09 de diciembre de 2013. [Citado el: 25 de agosto de 2016.] <http://www.alternative-energy-news.info/technology/wind-power/wind-turbines/>.

**GUIPE, Paúl.** Energía eólica. [En línea] 2014. [Citado el: 15 de agosto de 2016.] <http://deltavolt.pe/energia-renovable/eolica>.

**AENEWS.** Wind Turbines. [En línea] 2014. [Citado el: 07 de setiembre de 2016.] <http://www.alternative-energy-news.info/technology/wind-power/wind-turbines/>.

**SOLIDWORKS.** Proyecto de un aerogenerador. [En línea] 02 de abril de 2016. [Citado el: 05 de mayo de 2017.] [http://files.solidworks.com/education/curriculum/EDU\\_Windmill\\_Project\\_2015\\_ES\\_P.pdf](http://files.solidworks.com/education/curriculum/EDU_Windmill_Project_2015_ES_P.pdf).

**ENERGIA Eólica en el Perú.** Alternativa de generación de recurso natural renovable. Diario La República. [En línea] 04 de diciembre de 2015. [Citado el: 10 de agosto de 2016.] <http://larepublica.pe/04-12-2014/energia-eolica-en-el-peru-una-alternativa-de-generacion-de-recurso-natural-renovable>.

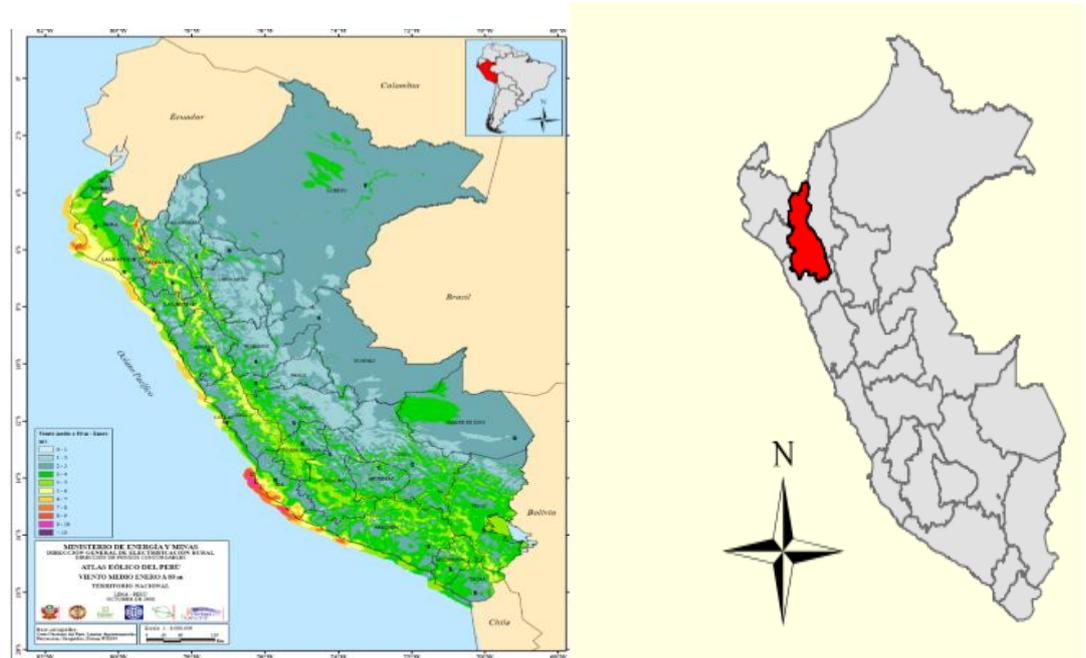
**YEPEZ, Herbert y RODRIGUEZ, Rosendo.** *Análisis de los componentes estructurales de un aerogenerador de 3kw mediante simulación numérica*. Lima : Pontificia Universidad Católica del Perú (Ingeniero Mecánico), 2014.

# ANEXOS

## Anexo 1. Localización

### Figura A.1.1

<http://www.granjaborcon.org.pe/granjaborcon/es/contacto-y-ubicacion>



Macro-localización de la provincia de Cajamarca

### Figura A.1.1

Mapa de ubicación de a provincia Cajamarca

La ciudad de Cajamarca se encuentra geo-referenciado entre los límites de



17m, E: 7779765.23 m, S: 9209988.23 m y a 2706 msnm.

## ANEXO 2. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

### FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

#### DATOS GENERALES DEL EXPERTO.

- **Apellidos y Nombres:**

Reyes Tassara Pedro Demetrio

- **Profesión:**

Ingeniero Mecánico Electricista.

- **Grado académico:**

Maestría en Ingeniería Mecánica Eléctrica con Mención en Energía.

- **Actividad laboral actual:**

Supervisor Regional de Osinergmin en Distribución de Energía Eléctrica y  
Docente de la Universidad César Vallejo.

## INDICACIONES AL EXPERTO.

En la tabla siguiente, se propone una escala del 1 al 5, que va en orden ascendente del desconocimiento al conocimiento profundo. Marque con una "X" conforme considere su conocimiento sobre el tema de la tesis evaluada.

1	2	3	4	5
Ninguno	Poco	Regular	Alto	Muy alto
			X	

1. Sírvase marcar con una "X" las fuentes que considere han influenciado en su conocimiento sobre el tema, en un grado alto, medio o bajo.

FUENTES DE ARGUMENTACIÓN	GRADO DE INFLUENCIA DE CADA UNA DE LAS FUENTES EN SUS CRITERIOS		
	A (ALTO)	M (MEDIO)	B (BAJO)
a) Análisis teóricos realizados. (AT)	X		
b) Experiencia como profesional. (EP)	X		
c) Trabajos estudiados de autores nacionales. (AN)	X		
d) Trabajos estudiados de autores extranjeros. (AE)	X		
e) Conocimientos personales sobre el estado del problema de investigación. (CP)	X		



*Firma del entrevistado*

**Ing. Pedro Demetrio Reyes Tassara**  
**Msc CIP 88259**

**Estimado(a) experto(a):**

El instrumento de recolección de datos a validar es un Cuestionario, cuyo objetivo (indicar el objetivo de la tesis).

Con el objetivo de corroborar la validación del instrumento de recolección de datos, por favor le pedimos responda a las siguientes interrogantes:

1. ¿Considera pertinente la aplicación de este cuestionario para los fines establecidos en la investigación?

Es pertinente:  Poco pertinente: \_\_\_ No es pertinente: \_\_\_

Por favor, indique las razones:

*Porque nos garantiza que la investigación es confiable mediante la firma de un experto, de ésta manera se sustenta que la investigación ha sido bien planteada.*

2. ¿Considera que el cuestionario formula las preguntas suficientes para los fines establecidos en la investigación?

Son suficientes:  Insuficientes: \_\_\_

Por favor, indique las razones:

*Sí: porque nos hace preguntas bien planteadas y justificadas por la cual se dice que es un cuestionario que sí cumple con los requisitos pertinentes.*

3. ¿Considera que las preguntas están adecuadamente formuladas de manera tal que el entrevistado no tenga dudas en la elección y/o redacción de sus respuestas?

Son adecuadas:  Poco adecuadas: \_\_\_ Inadecuadas: \_\_\_

Por favor, indique las razones:

*Sí: porque son preguntas que están planteadas con la claridad y precisión correspondiente.*

4. Califique los items según un criterio de precisión y relevancia para el objetivo del instrumento de recolección de datos.

Item	Precisión			Relevancia			Sugerencias
	Muy precisa	precisa	No es precisa	Muy relevante	Poco Relevante	Irrelevante	
I		X		X			
II		X		X			
III		X		X			
IV		X		X			

5. ¿Qué sugerencias haría Ud. para mejorar el instrumento de recolección de datos?

*Se podría hacer una mayor correlación, un mayor número de interrogantes con una interpretación en absoluto y una mayor investigación.*

Le agradecemos por su colaboración.

Fecha de evaluación: *12 de julio del 2017*



Firma del Experto

### CUADRO.A.3.1

FICHA DE OBSERVACIÓN								
Nombre: del observador..... Lugar: ..... Fecha: .....							Codificación	
							Si = Si tiene No = No tiene NA = No aplica B = Bien R = Regular M = Mal	
Ítem	Descripción de aspectos observados	Disponen		Estado		Observación		
		Si	No	NA	B	R	M	
1	Los pobladores están satisfechos con el servicio de energía							
2	Los pobladores comprarían un equipo para producir energía por medio del viento							
3	Energía eólica							
4	Clima templado y apropiado para fabricar y colocar aerogeneradores							
5	Uso de energía alternativa a la convencional							
6	Las autoridades proponen alternativas de generación de energías alternativas							

Fuente: Elaboración propia

Diseño de ficha de observación

### ANEXO 3: ENCUESTA A POBLADORES DE LA PROVINCIA DE CAJAMARCA SOBRE LA IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA EOLICO

#### CUADRO A.3.2.

ENCUESTA A POBLADORES EN LA PROVINCIA DE CAJAMARCA SOBRE LA IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA MEDIANTE AEROGENERADORES	
Datos de la persona entrevistada:	
I. Datos Generales	
Nombre	
Domicilio	
Ocupación	
¿Cómo describiría el viento de la zona?	
<input type="radio"/> Débil <input type="radio"/> Moderado <input type="radio"/> Fuerte	
¿En qué horas del día y meses del año percibe los vientos más intensos?	
<input type="radio"/> Mañana <input type="radio"/> Tarde <input type="radio"/> Noche	
¿De cuánto son sus ingresos familiares promedios mensuales:	
S/. _____	
¿Cuál es el valor promedio de su recibo, por concepto de energía eléctrica consumida?	
S/. _____	
¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por un equipo generador de electricidad?	
S/. _____	

Fuente: Elaboración propia

Diseño de la hoja de encuesta para los pobladores de la provincia de Cajamarca

**Cuadro 3.1**

Eficiencia de cada prototipo de aerogeneradores

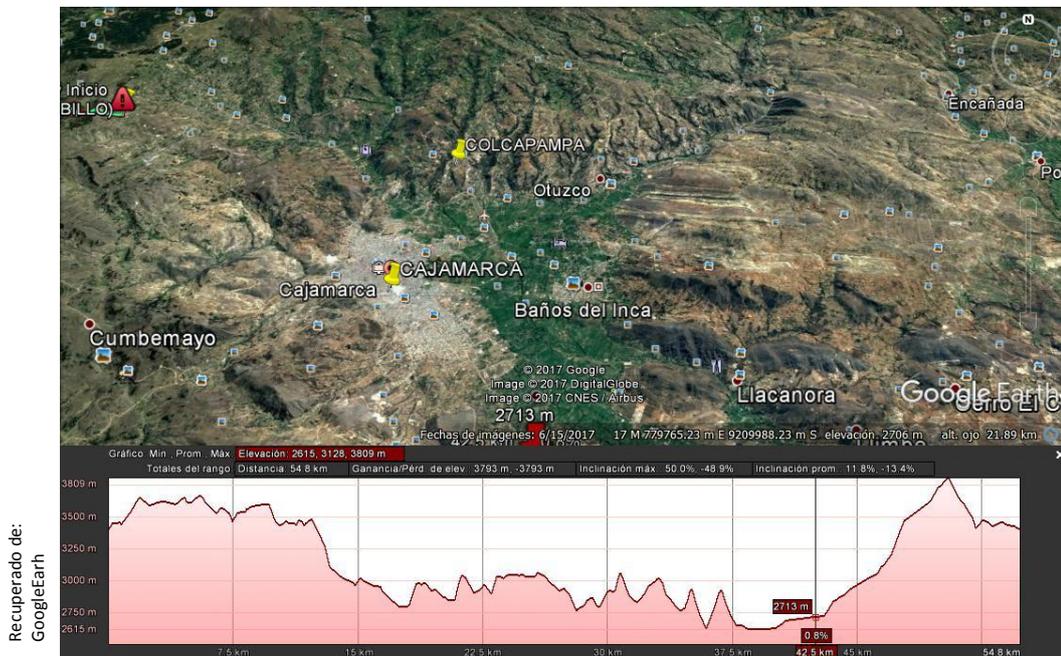
Fuente: Elaboración propia

prototipos	Masa actual(g)	Masa óptima(g)	Disminución de masa(g)	% Disminución de masa	Tensión x105 (N/m2)
Tipo 1	957569	728116	229453	23.96	1.74
Tipo 2	525780	377412	148368	28.22	3.66
Tipo 3	750614	433971	316643	42.18	6.34
Tipo 4	264214	259815	4399	1.66	0.71

Para la optimización de los cuatro prototipos el mejor resultado es para el PROTOTIPO N° 3 con una disminución de masa de 42% y una resistencia a la tensión de 6.34x105. El PROTOTIPO 4 es el más ligero.

**ANEXO 4. Determinación de la velocidad promedio del viento para la provincia de Cajamarca.**

**Figura. 18**



Plano de ubicación de Cajamarca Geo-referenciado.

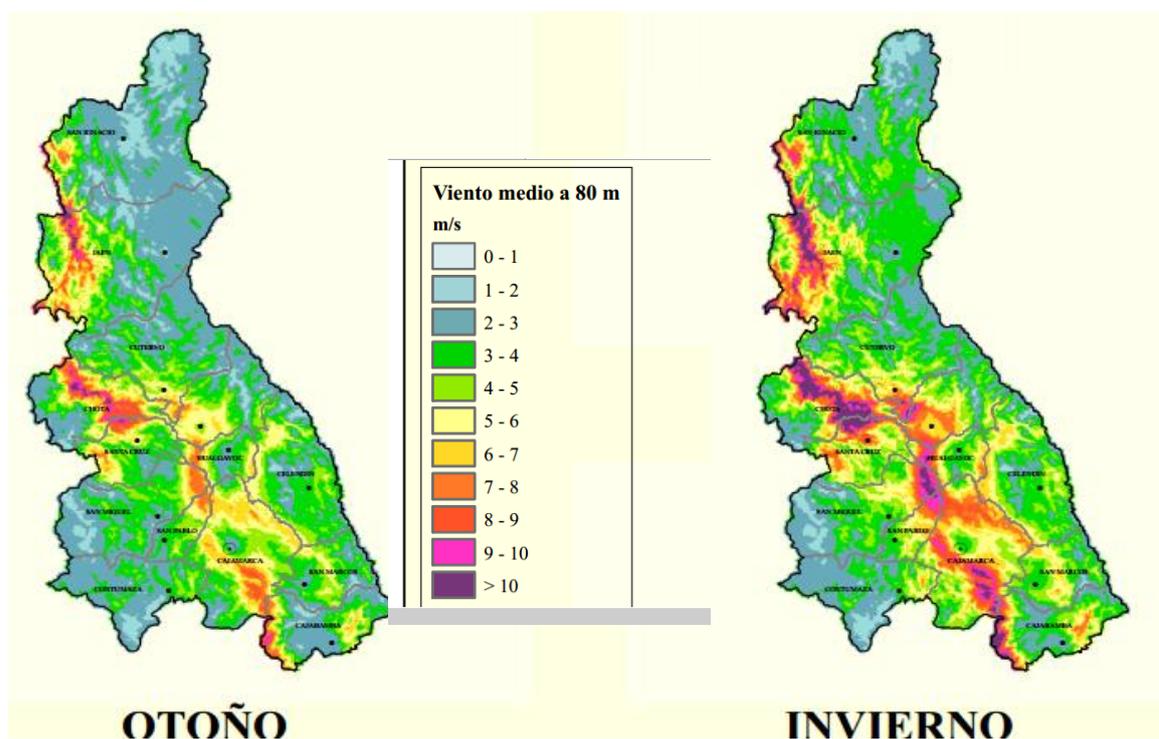
En el plano se puede apreciar que la ciudad de Cajamarca se encuentra geo referenciado entre los límites de 17M, E: 7779765.23 m, S:9209988.23 m y a 2706 msnm.

Los datos de la velocidad promedio son originales y solo son comparados por los proporcionados por el Senhami.

Estos datos son originales y solo son comparados por los proporcionados por el Senhami.

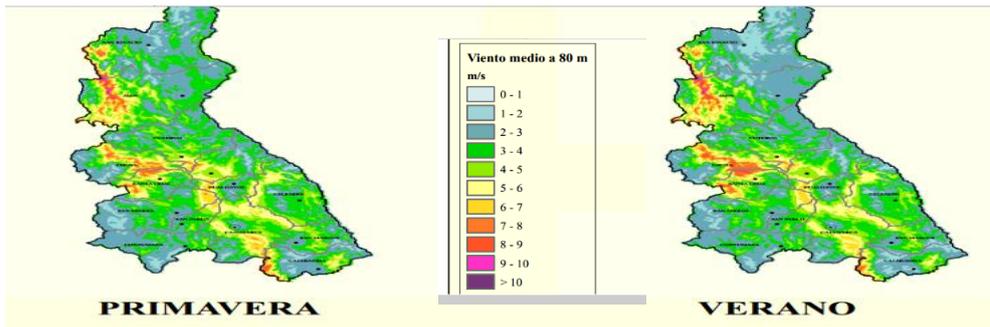
### Densidad de potencia media del viento a diez metros

Figura 19



Determinación de la velocidad promedio del viento para según la estación del año.

**Figura 20**



Determinación de la velocidad promedio del viento para según la estación del año.

**Cuadro 2.1.**

Nombre	Característica
Rotor	Diámetro: Variante
	Área de barrido: Variante
	Velocidad de giro: 19.44 a 30.8 RPM
	Velocidad máxima de viento con que opera: m/s
Hélices	Cantidad: Variante
	Longitud: Variante
	Material: aluminio 1345
	Masa: variable
Soporte	Tipo tubular troncocónico de acero estructural
	Material: Acero A36
	Diámetro de la base: 2 m
	Diámetro en la punta: 1.1 m
Góndola y rotor	Masa: variante
Generador	Doblemente alimentado
	Potencia nominal (kW): variante
	Tensión (VAC): variante
	Factor de potencia: 0.95

Fuente: Elaboración propia

Características que se manejan para el diseño de aerogenerador

Figura. 18

Recuperado de:  
[https://www.meteoblue.com/es/tiempo/pronostico/semana/cajamarca\\_per%C3%BA\\_3699088](https://www.meteoblue.com/es/tiempo/pronostico/semana/cajamarca_per%C3%BA_3699088)



Datos climatológicos de la ciudad de Cajamarca, 2017.

Los parámetros obtenidos se detallan a continuación:

A partir de los datos de la figura nº18 se calculó el promedio de la velocidad del viento en Cajamarca, la cual fue de 10.86 km/h, con una velocidad máxima de 13 km/h y una mínima de 5 km/h.

Cuando las palas reciben la fuerza del viento, nos resulta una fuerza que viene dada por la expresión

$$P_{viento} = \frac{1}{2} \rho v^2$$

$$P_{viento} = \frac{1}{2} \rho v^2 = \frac{1}{2} (1.225 \text{ kg/m}^3) (7 \text{ m/s})^2$$

$$P_{v} = \frac{1(1.225\text{kg/m}^3)(7\text{m/s})^2}{2}$$

$$P_{V} = \frac{60.025\text{kg/m s}^2}{2}$$

$$P_{viento} = 30 \text{ Pa}$$

Donde:  $\rho$  = densidad del viento (1.225 kg/m<sup>3</sup>).

$v$  = velocidad del viento m/s.

Los cálculos se van a realizar para las condiciones más desfavorables, por lo que se considera una velocidad de viento de 25 km/h (7m/s) para realizar el cálculo.

Cabe indicar que ésta no será una velocidad constante, se darán eventualmente, para ello el aerogenerador está diseñado tomando en cuenta dicha velocidad de viento.

Así la presión ejercida por el viento será:

$$P_{viento} = \frac{1}{2} \rho v^2 = \frac{1}{2} (1.225 \text{ kg/m}^3) (7 \text{ m/s})^2$$

$$P_v = \frac{1(1.225\text{kg/m}^3)(7\text{m/s})^2}{2}$$

$$PV = \frac{60.025\text{kg/m s}^2}{2}$$

$$P_{viento} = 30 \text{ Pa}$$

#### **Anexo 4.1 Determinación de la potencia eólica para la provincia de Cajamarca**

Los datos de potencia eólica en la provincia de Cajamarca se detallan a continuación:

$$P_{viento} = \frac{1}{2} \rho v^2 = \frac{1}{2} (1.225 \text{ kg/m}^3) (7 \text{ m/s})^2$$

$$P_v = \frac{1(1.225\text{kg/m}^3)(7\text{m/s})^2}{2} = \frac{60.025\text{kg/m s}^2}{2} = 30 \text{ Pa.}$$

**Cuadro 4.2.**

Fuente: Elaboración propia

autor	Velarde
Presión ejercida por el viento	30 Pa

Comparación de la presión ejercida por el viento

## **Anexo 4.2 Diseño de atreves de modelamiento de cuatro prototipos de aerogeneradores de eje horizontal y vertical con el programa SolidWorks 2016.**

Los prototipos diseñados cuya función fue suministrar energía eléctrica a un cierto número de casas. Por ello, debe tener una serie de características específicas: un peso reducido para que la torre que lo soporte no sufra deformaciones, que reciba viento suficiente lo más importante un bajo coste y bajos niveles de ruido.

Según el cuadro se puede apreciar que los datos encontrados se asemejan a lo estipulado por otros autores como son Cervantes y Gonzalo, teniendo en cuenta que el mejor prototipo es el aerogenerador de eje horizontal con tres palas en su fabricación.

Cálculo de la eficiencia para cada prototipo de aerogeneradores

Para la optimización se obtuvo los siguientes datos:

**Cuadro 4.4**

Fuente: Elaboración propia

prototipos	Tensión x105 (N/m2)	
	Velarde	SolidWork
Tipo 1	1.74	1.74
Tipo 2	3.66	3.66
Tipo 3	6.34	6.34
Tipo 4	0.71	

Eficiencia de cada prototipo de aerogeneradores.

Interpretación: para la optimización de los cuatro prototipos el mejor resultado es para el PROTOTIPO 3 con una disminución de masa de 42% y una resistencia a la tensión de  $6.34 \times 10^5$ . El PROTOTIPO 4 es el más ligero y estos datos también son corroborados por el SolidWorks.

**Cuadro 4.5**

Fuente: Elaboración propia

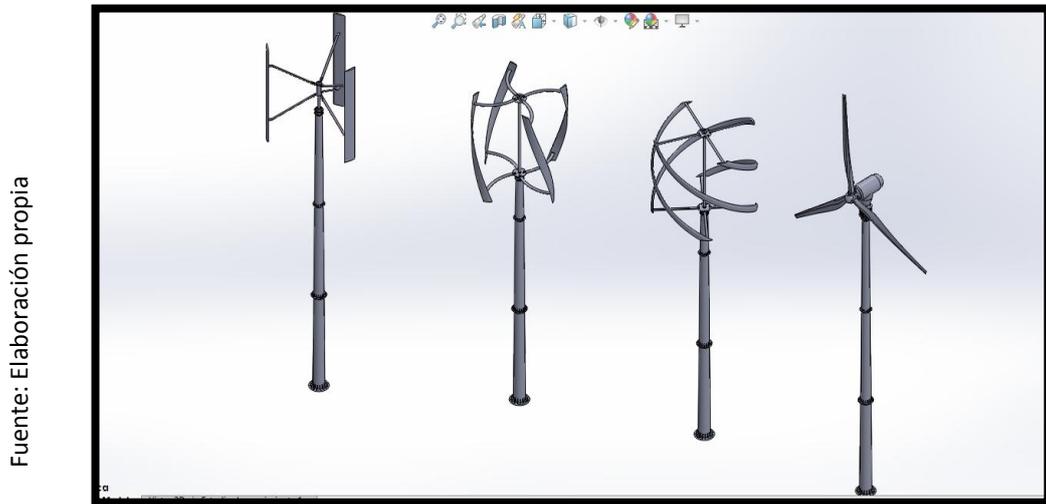
Prototipos	EAP (kW)		
	Velarde	Cervantes	Gonzalo
Tipo 1	604	710	650
Tipo 2	922	1050	998
Tipo 3	312	410	360
Tipo 4	1903	2232	2050

Datos de Energía Anual Promedio para cada aerogenerador.

El mejor dato que se obtuvo fue para el PROTOTIPO N°4 con un EAP de 1903 kW abasteciendo con energía eléctrica a 22 familias aproximadamente.

Este mismo esquema es corroborado por Cervantes y Gonzalo los cuales concluyeron que el prototipo 4 es el más óptimo.

**Figura. 19**



Prototipos diseñados en el programa Solidworks 2016.

**Cuadro 3.1**

prototipos	Masa actual(g)	Masa óptima(g)	Disminución de masa(g)	% Disminución de masa	Tensión x105 (N/m2)
Tipo 1	957569	728116	229453	23.96	1.74
Tipo 2	525780	377412	148368	28.22	3.66
Tipo 3	750614	433971	316643	42.18	6.34
Tipo 4	264214	259815	4399	1.66	0.71

Eficiencia de cada prototipo de aerogeneradores

Para la optimización de los cuatro prototipos el mejor resultado es para el PROTOTIPO N° 3 con una disminución de masa de 42% y una resistencia a la tensión de 6.34x105. El PROTOTIPO 4 es el más ligero.

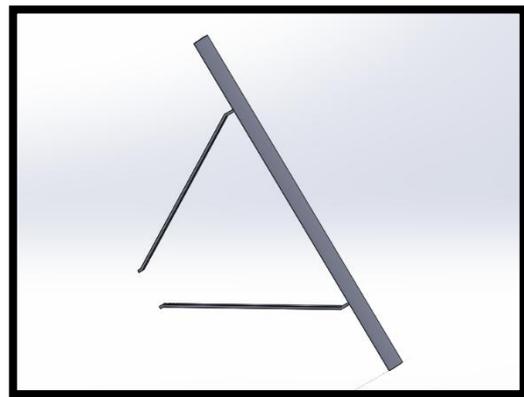
## **ANEXO 5. DESARROLLO COMPUTACIONAL DEL AEROGENERADORES PARA EL ANÁLISIS ESTÁTICO Y OPTIMIZACIÓN DE MASA PARA CADA UNO DE LOS PROTOTIPOS.**

Con este análisis podremos ver la deformación que se produce en el alabe cuando se ejerce la fuerza del viento sobre esta. Las imágenes que se verán a en adelante son los procedimientos desarrollados para el análisis estático de cada uno de los alabes.

### **PARA EL PROTOTIPO N° 001**

Material: aleación de aluminio 1345.

A causa de la fuerza del viento se genera una presión en los alabes de 30Pa.

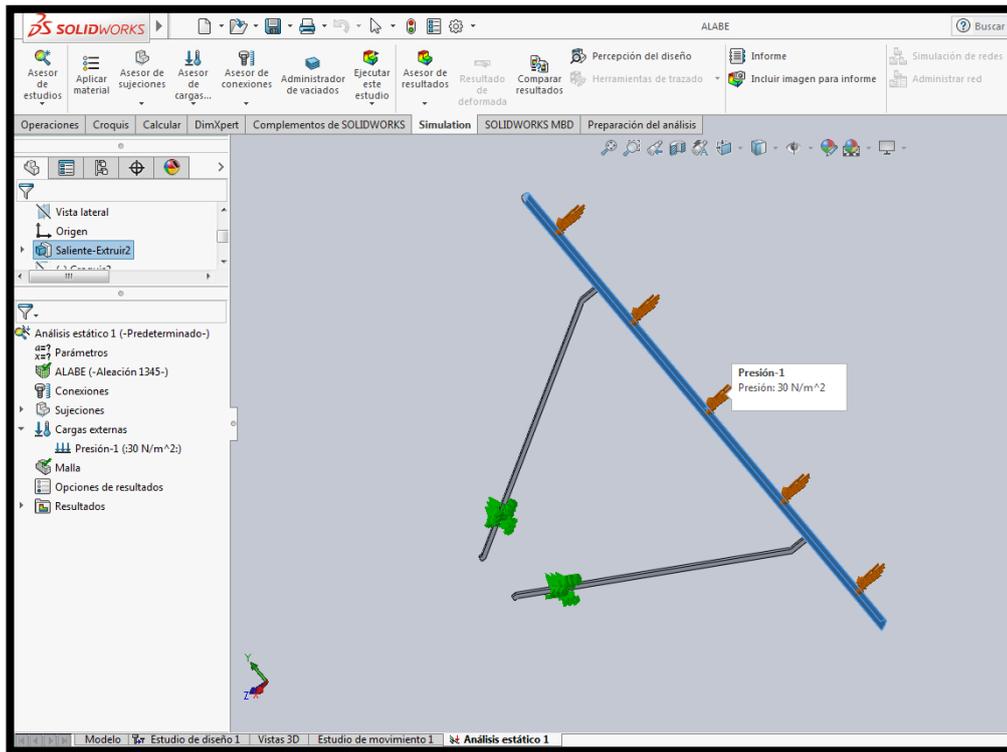
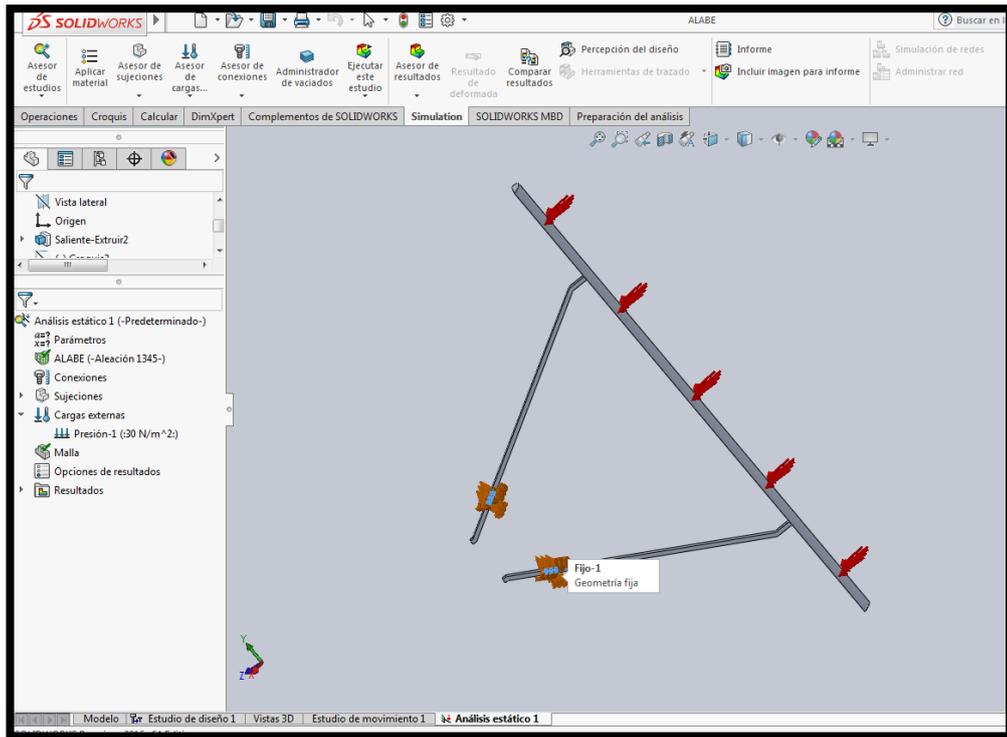


Se realizó un estudio de simulación con un análisis estático.

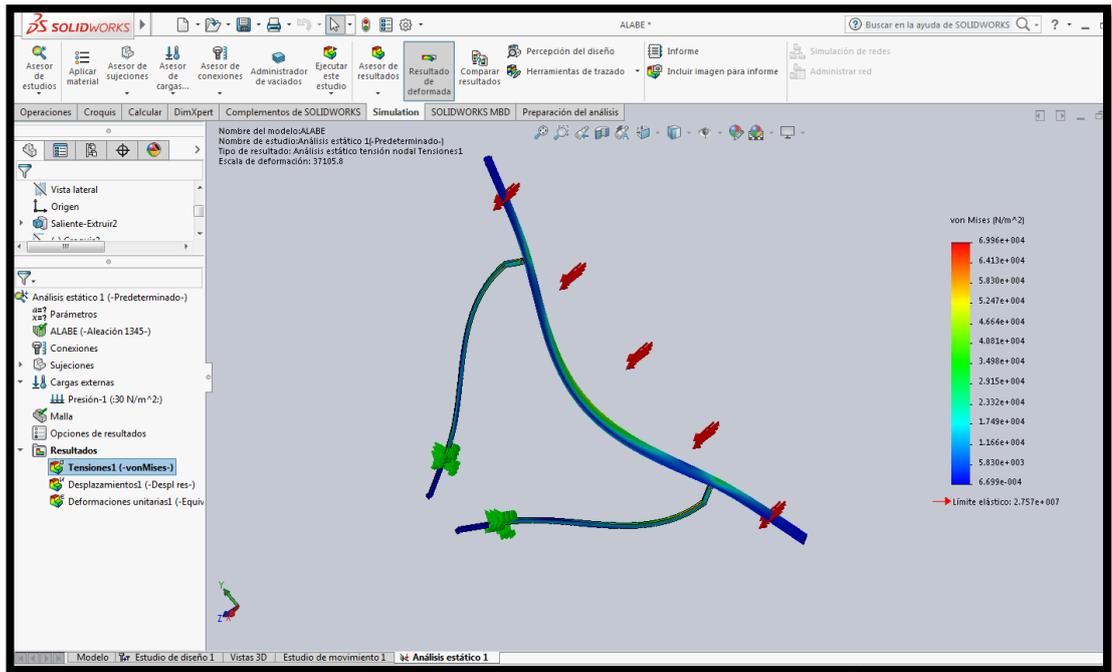
En la opción de sujeciones elegimos la opción de “geometría fija”.

En la opción de “cargas externas” se elige “presión”, luego seleccionamos en la pieza el alabe y en el valor de la presión le colocamos 30 Pa.

Luego se crea una malla y finalmente obtenemos los resultados.



Se deformó el material en las zonas donde se le aplicó una presión de 30 Pa.



Estudio de optimización donde se busca minimizar la masa del alabe:

VARIABLE:

Vista de variable		Vista de tabla	Vista de resultados	Total de escenarios activos: 16		
Ejecutar <input checked="" type="checkbox"/> Optimización						
Variables						
LONGITUD DE ALABE	Intervalo con		Mín: 4500mm	Máx: 7000mm	Paso: 3000mm	
ANCHO DE PALA	Intervalo con		Mín: 125mm	Máx: 165mm	Paso: 63.5mm	
ESPESOR DE PALA	Intervalo con		Mín: 35mm	Máx: 55mm	Paso: 20mm	
RADIO DE ALABE	Intervalo con		Mín: 2900mm	Máx: 3500mm	Paso: 1500mm	
Haga clic aquí para agregar Variables						

Restricciones					
Tensión1	es mayor que		Mín: 6.88 N/m²	Análisis estático	
Haga clic aquí para agregar Restricción					
Objetivos					
Masa1	Minimizar				
Haga clic aquí para agregar Objetivos					

Vista de variable		Vista de tabla		Vista de resultados						
Se ejecutaron correctamente 18 de 18 escenarios. Calidad del estudio de diseño: Alta										
		Actual	Inicial	Óptimo (1)	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6
LONGITUD DE ALABE		6000mm	6000mm	4500mm	4500mm	7000mm	4500mm	7000mm	4500mm	7000mm
ANCHO DE PALA		127mm	127mm	125mm	125mm	125mm	165mm	165mm	125mm	125mm
ESPESOR DE PALA		38.1mm	38.1mm	35mm	35mm	35mm	35mm	35mm	55mm	55mm
RADIO DE ALABE		3000mm	3000mm	2900mm	2900mm	2900mm	2900mm	2900mm	2900mm	2900mm
Tensión1	> 6.88 N/m <sup>2</sup>	2.0102e+005 N/m <sup>2</sup>	2.0102e+005 N/m <sup>2</sup>	1.7458e+005 N/m <sup>2</sup>	1.7458e+005 N/m <sup>2</sup>	3.076e+005 N/m <sup>2</sup>	1.2649e+005 N/m <sup>2</sup>	2.282e+005 N/m <sup>2</sup>	57893.1015625 N/m <sup>2</sup>	1.3602e+005 N/m <sup>2</sup>
Masa1	Minimizar	957569 g	957569 g	728116 g	728116 g	1.093e+006 g	751218 g	1.11611e+006 g	768568 g	1.13345e+006 g

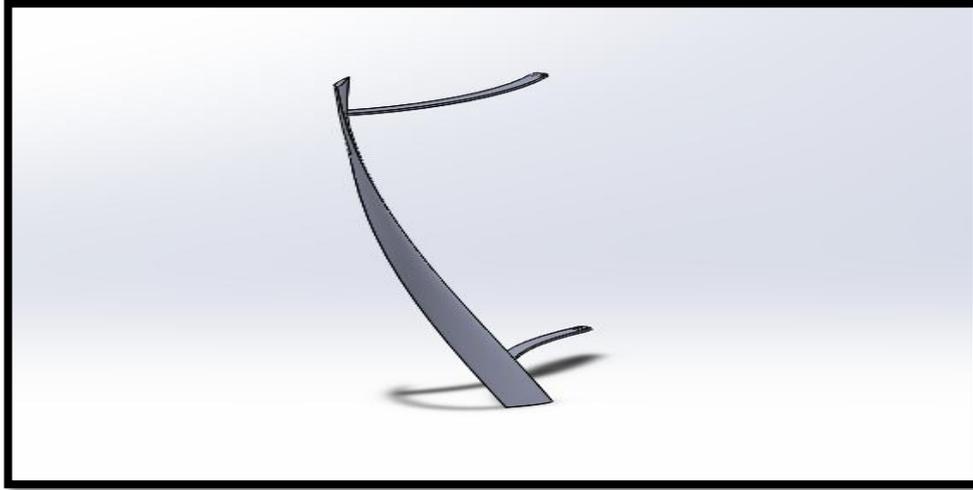
		Actual	Inicial	Óptimo (1)
LONGITUD DE ALABE		6000mm	6000mm	4500mm
ANCHO DE PALA		127mm	127mm	125mm
ESPESOR DE PALA		38.1mm	38.1mm	35mm
RADIO DE ALABE		3000mm	3000mm	2900mm
Tensión1	> 6.88 N/m <sup>2</sup>	2.0102e+005 N/m <sup>2</sup>	2.0102e+005 N/m <sup>2</sup>	1.7458e+005 N/m <sup>2</sup>
Masa1	Minimizar	957569 g	957569 g	728116 g

EL MEJOR DATO:

**PARA EL PROTOTIPO N° 002:**

Material: aleación de aluminio 1345.

A causa de la presión del viento se genera una presión en los alabes de 30Pa.

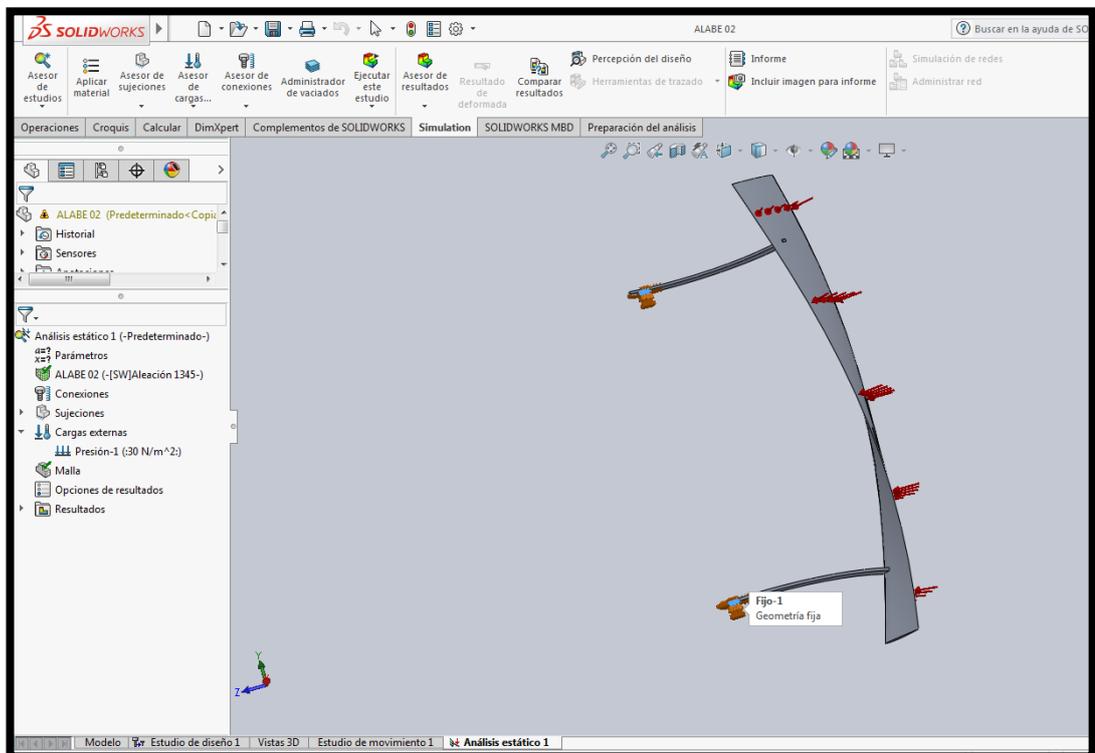


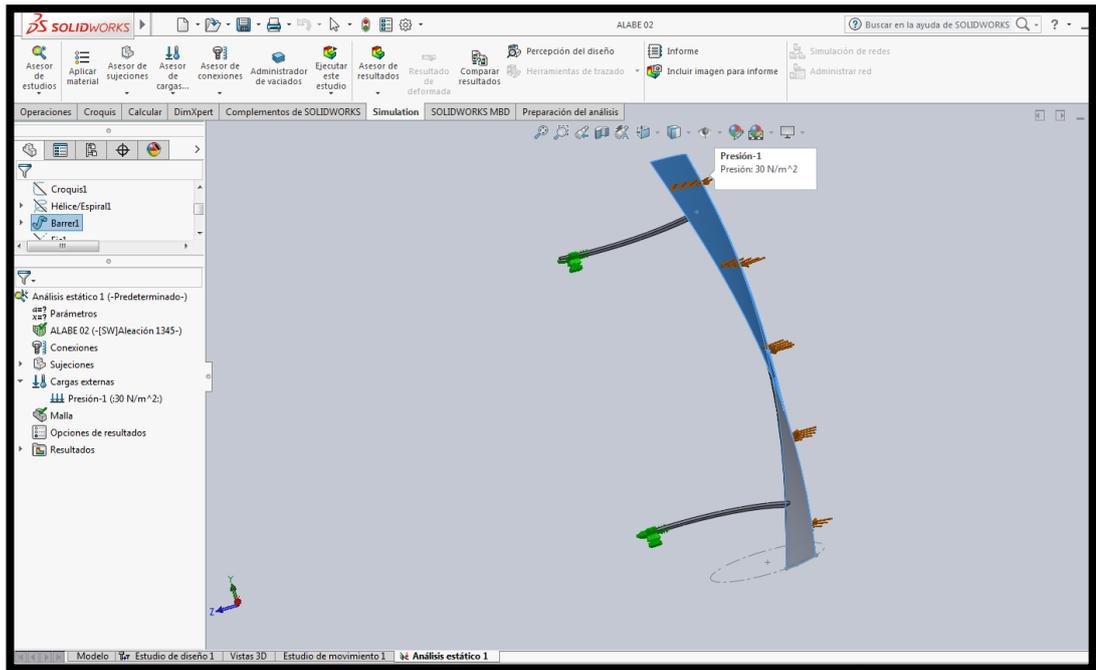
Se realizó un estudio de simulación con un análisis estático.

En la opción de sujeciones elegimos la opción de “geometría fija”.

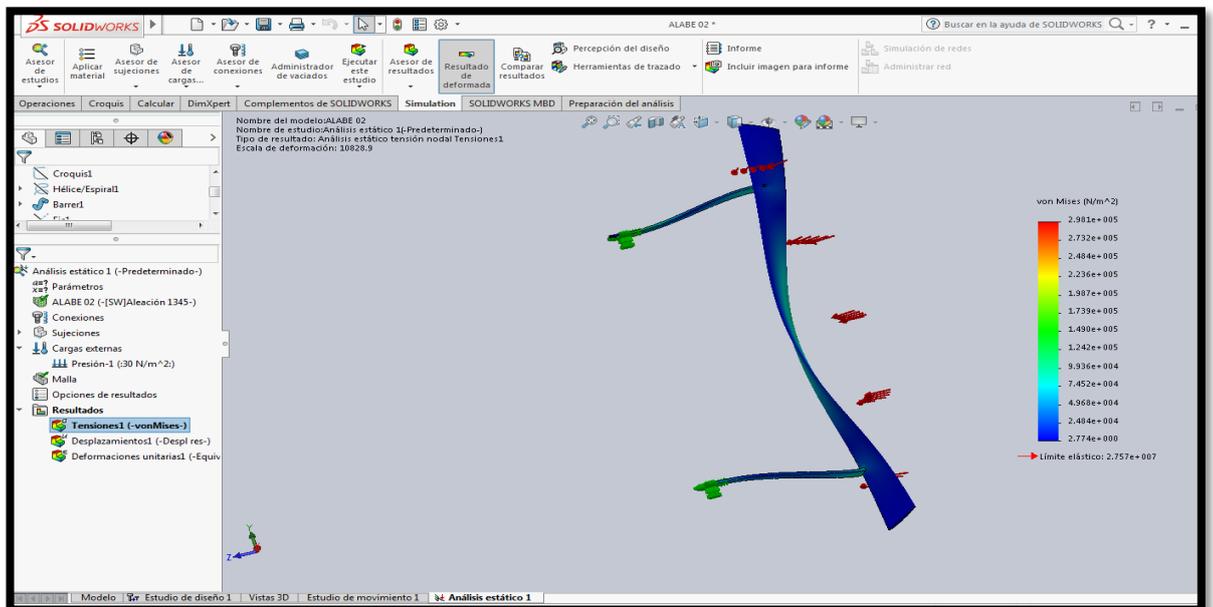
En la opción de “cargas externas” se elige “presión”, luego seleccionamos en la pieza la pala y en el valor de la presión le colocamos 30 Pa.

Luego se crea una malla y finalmente obtenemos los resultados.





Se deformó el material en las zonas donde se le aplicó una presión de 30 Pa



Optimización: donde se busca minimizar la masa.

## VARIABLES:

Vista de variable	Vista de tabla	Vista de resultados	Total de escenarios activos: 16	
LONGITUD DEL ALABE	Intervalo con	Mín: 5000mm	Máx: 7000mm	
ESPEJOR DE ALABE	Intervalo con	Mín: 170mm	Máx: 230mm	
ANCHO DE ALABE	Intervalo con	Mín: 450mm	Máx: 650mm	
ESPEJOR DE PALANCA	Intervalo con	Mín: 38mm	Máx: 45mm	
Haga clic aquí para agregar Variables				

Restricciones	
Tensión1	es mayor que
Mín: 8 N/m <sup>2</sup> Análisis estático	
Haga clic aquí para agregar Restricciones	
Objetivos	
Masa1	Minimizar
Haga clic aquí para agregar Objetivos	

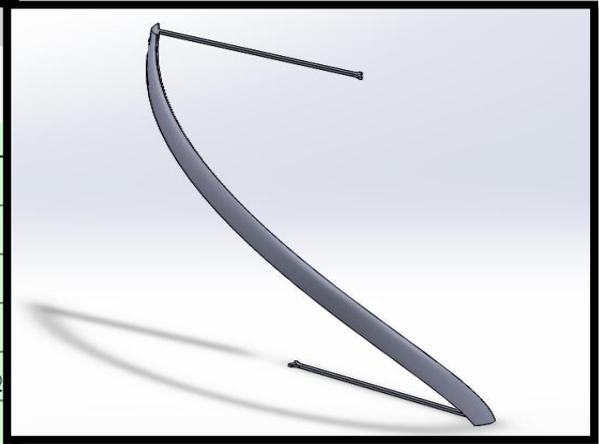
## ANALISIS DE OPTIMISACION DE MASA PARA EL PROTOTIPO N°3:

Material: aleación de aluminio 1345.

Vista de variable	Vista de tabla	Vista de resultados	Se ejecutaron correctamente 18 de 18 escenarios. Calidad del estudio de diseño: Alta						
		Actual	Inicial	Óptimo (1)	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escena
LONGITUD DEL ALABE		6000mm	6000mm	5000mm	5000mm	7000mm	5000mm	7000mm	5000mm
ESPEJOR DE ALABE		177.8mm	177.8mm	170mm	170mm	170mm	230mm	230mm	170mm
ANCHO DE ALABE		506.87388mm	506.87388mm	450mm	450mm	450mm	450mm	450mm	650mm
ESPEJOR DE PALANCA		38.1mm	38.1mm	38mm	38mm	38mm	38mm	38mm	38mm
Tensión1	> 8 N/m <sup>2</sup>	3.1813e+005 N/m <sup>2</sup>	3.1813e+005 N/m <sup>2</sup>	3.6563e+005 N/m <sup>2</sup>	3.6563e+005 N/m <sup>2</sup>	3.8848e+005 N/m <sup>2</sup>	3.8523e+005 N/m <sup>2</sup>	3.2131e+005 N/m <sup>2</sup>	2.6481e+005 N/m <sup>2</sup>
Masa1	Minimizar	525780 g	525780 g	377412 g	377412 g	489939 g	393891 g	506673 g	682243 g

A causa de la presión del viento se genera una presión en los alabes de 30Pa.

		Actual	Inicial	Óptimo (1)
LONGITUD DEL ALABE		6000mm	6000mm	5000mm
ESPESOR DE ALABE		177.8mm	177.8mm	170mm
ANCHO DE ALABE		506.87388mm	506.87388mm	450mm
ESPESOR DE PALANCA		38.1mm	38.1mm	38mm
Tensión1	> 8 N/m <sup>2</sup>	3.1813e+005 N/m <sup>2</sup>	3.1813e+005 N/m <sup>2</sup>	3.6563e+005 N/m <sup>2</sup>
Masa1	Minimizar	525780 g	525780 g	377412 g



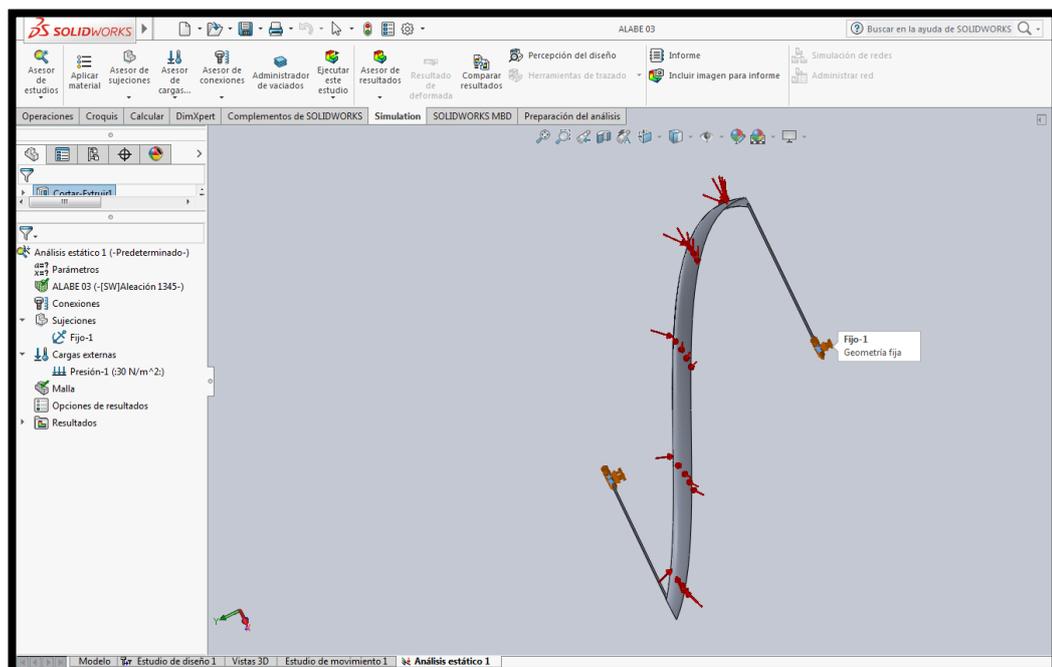
Se realizó un estudio de sin

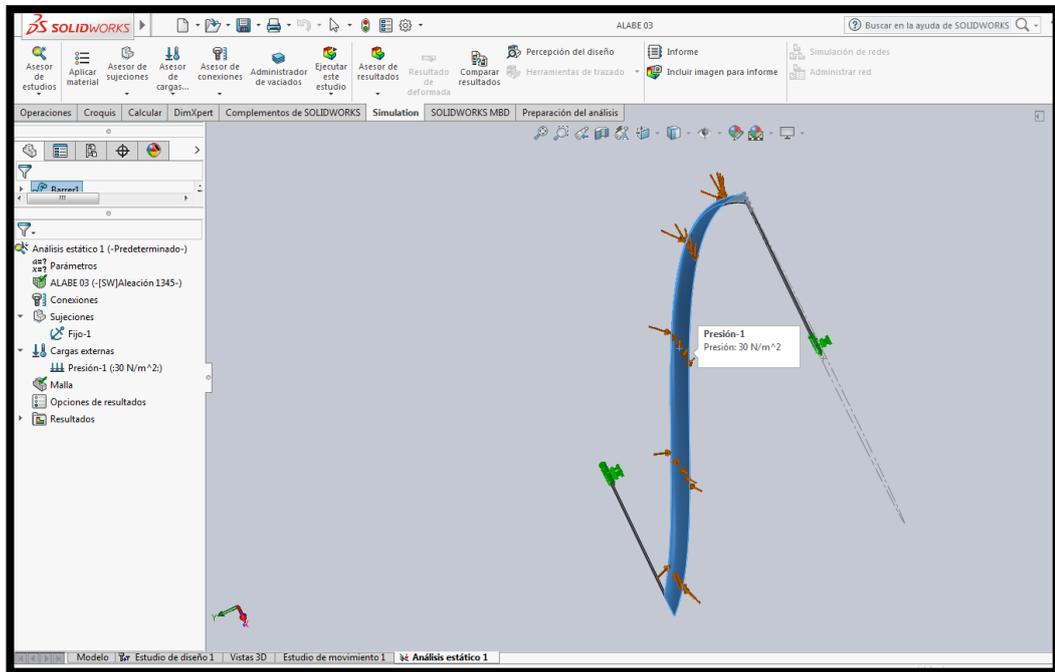
ubicación con un análisis estático.

En la opción de sujeciones elegimos la opción de “geometría fija”.

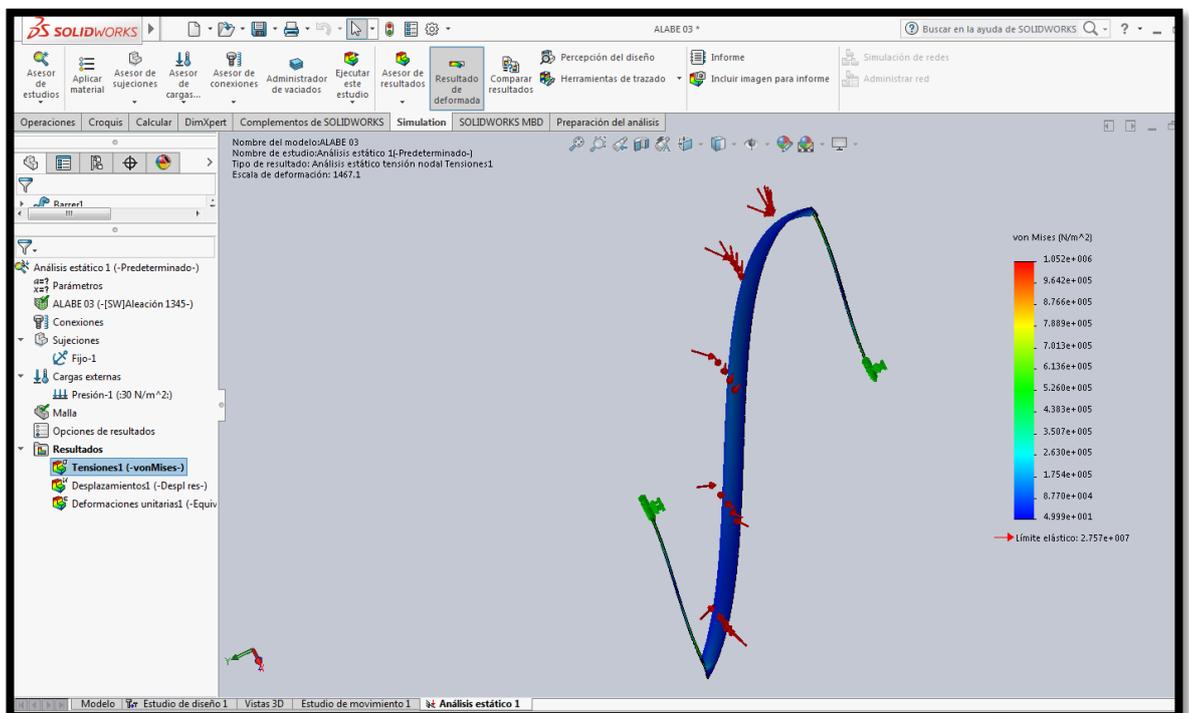
En la opción de “cargas externas” se elige “presión”, luego seleccionamos en la pieza la pala y en el valor de la presión le colocamos 30 Pa.

Luego se crea una malla y finalmente obtenemos los resultados.





Se deformó el material en las zonas donde se le aplicó una presión de 30 Pa.



Optimización: donde se busca minimizar la masa.

## VARIABLES:

Vista de variable   Vista de tabla   Vista de resultados      

Optimización      Total de escenarios activos: 6

Variables

LONGITUD DE ALABE	Valores discretos	▼	5000mm						
DIAMETRO DEL ALABE	Intervalo con paso	▼	Mín: 4500mm	▲▼	Máx: 7500mm	▲▼	Paso: 3000mm	▲▼	
RADIO DEL ALABE	Intervalo con paso	▼	Mín: 25°	▲▼	Máx: 45°	▲▼	Paso: 15°	▲▼	
<i>Haga clic aquí para agregar Variables</i>									

Restricciones

Tensión1	es mayor que	▼	Mín: 12.33 N/m <sup>2</sup>	▲▼	Análisis estático	▼
<i>Haga clic aquí para agregar Restricción</i>						

Objetivos

Masa1	Minimizar	▼
<i>Haga clic aquí para agregar Objetivos</i>		

## EL MEJOR DATO:

Vista de variable   Vista de tabla   Vista de resultados      

Se ejecutaron correctamente 8 de 8 escenarios   **Vista de resultados**   de diseño: Alta

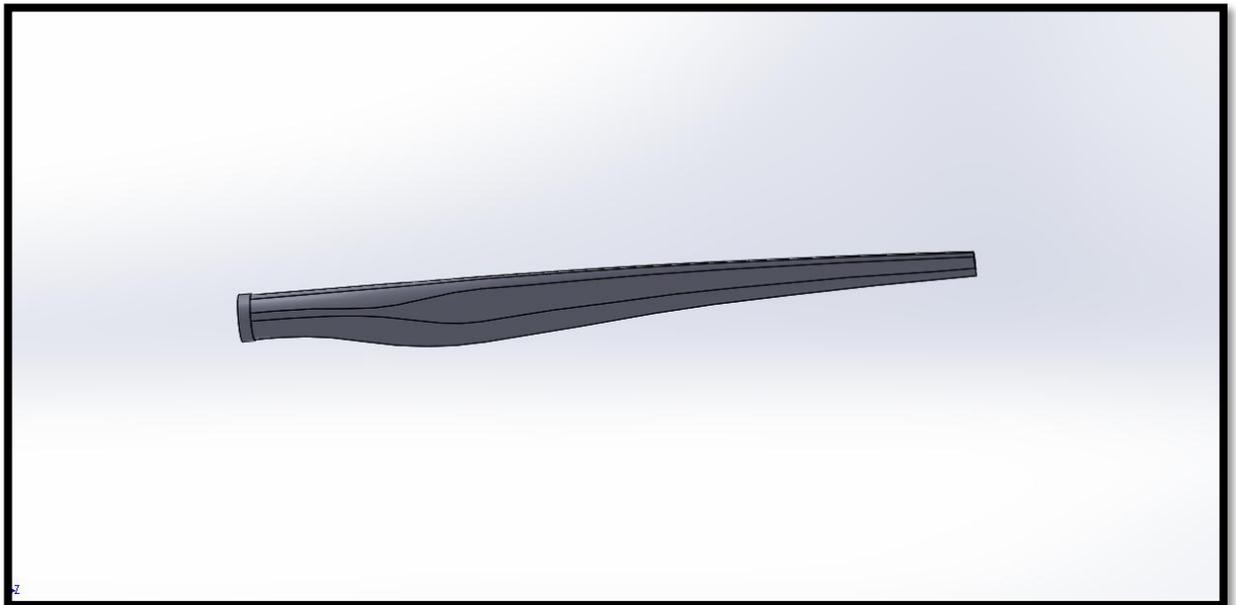
		Actual	Inicial	Óptimo (5)	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6
LONGITUD DE ALABE		5000mm								
DIAMETRO DEL ALABE		6000mm	6000mm	4500mm	4500mm	7500mm	4500mm	7500mm	4500mm	7500mm
RADIO DEL ALABE		30°	30°	45°	25°	25°	40°	40°	45°	45°
Tensión1	> 12.33 N/m <sup>2</sup>	7.8147e+005 N/m <sup>2</sup>	7.8147e+005 N/m <sup>2</sup>	6.3451e+005 N/m <sup>2</sup>	6.3451e+005 N/m <sup>2</sup>	1.0519e+006 N/m <sup>2</sup>	6.3451e+005 N/m <sup>2</sup>	1.0519e+006 N/m <sup>2</sup>	6.3451e+005 N/m <sup>2</sup>	1.0519e+006 N/m <sup>2</sup>
Masa1	Minimizar	750614 g	750614 g	433971 g	433971 g	1.15187e+006 g	433971 g	1.15187e+006 g	433971 g	1.15187e+006 g

Vista de variable		Vista de tabla		Vista de resultados	
Se ejecutaron correctamente 8 de 8 escenarios. Calidad del estudio de diseño: Alta					
		Actual	Inicial	Óptimo (5)	
LONGITUD DE ALABE		5000mm	5000mm	5000mm	
DIAMETRO DEL ALABE		6000mm	6000mm	4500mm	
RADIO DEL ALABE		30°	30°	45°	
Tensión1	> 12.33 N/m <sup>2</sup>	7.8147e+005 N/m <sup>2</sup>	7.8147e+005 N/m <sup>2</sup>	6.3451e+005 N/m <sup>2</sup>	
Masa1	Minimizar	750614 g	750614 g	433971 g	

## SIDEÑO Y OPTIMISACION DE MASA PARA EL PROTOTIPO N° 4:

Material: aleación de aluminio 1345.

A causa de la presión del viento se genera una presión en los alabes de 30Pa.

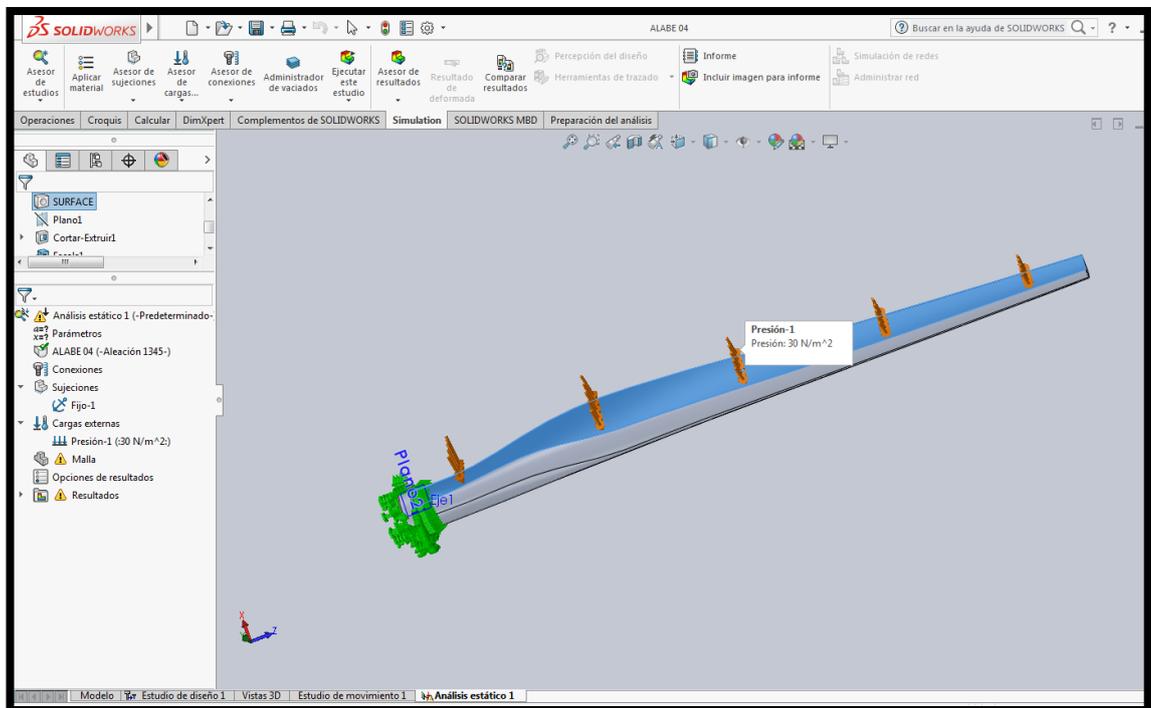
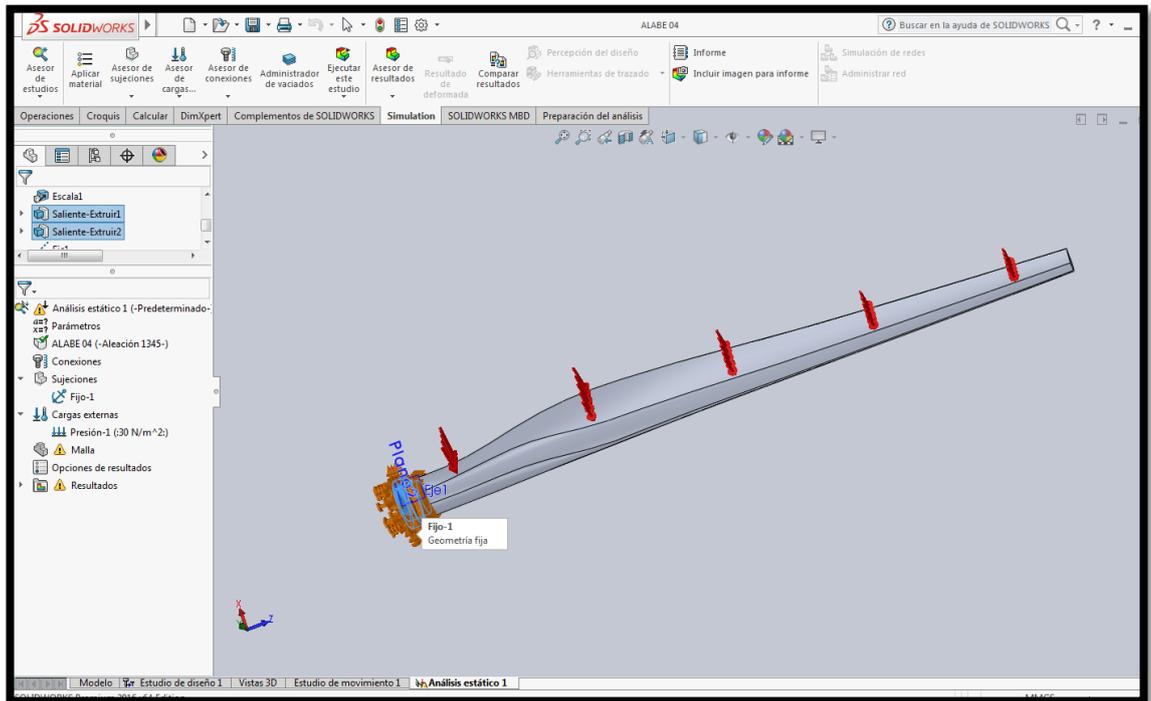


Se realizó un estudio de simulación con un análisis estático.

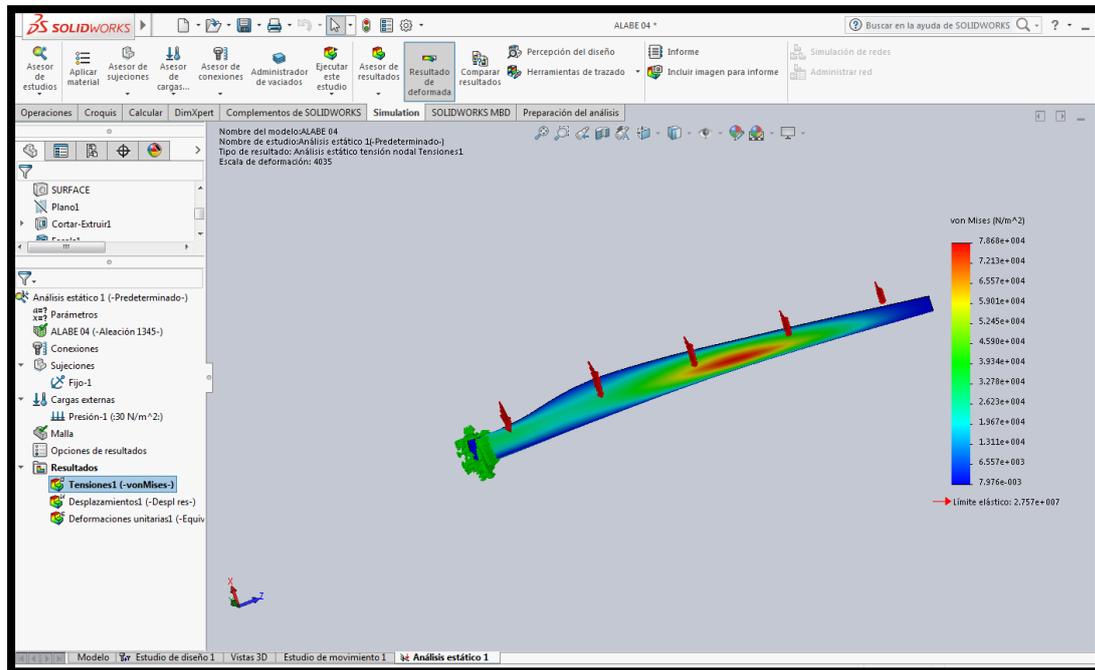
En la opción de sujeciones elegimos la opción de “geometría fija”.

En la opción de “cargas externas” se elige “presión”, luego seleccionamos en la pieza la pala y en el valor de la presión le colocamos 30 Pa.

Luego se crea una malla y finalmente obtenemos los resultados.



Se deformó el material en las zonas donde se le aplicó una presión de 30 Pa



Estudio de optimización donde vamos a minimizar la masa:

### VARIABLES:

Vista de variable		Vista de tabla		Vista de resultados	
Ejecutar <input checked="" type="checkbox"/> Optimización		Total de escenarios activos: 18			
Variables					
LONGITUD EN ALABE	Intervalo con <input type="text" value="0.000"/>	Mín: 50000mm	Máx: 65000mm	Paso: 26875mm	
DIAMETRO INT. BASE	Intervalo con <input type="text" value="0.000"/>	Mín: 250mm	Máx: 450mm	Paso: 150mm	
DIAMETRO EXT. BASE	Intervalo con <input type="text" value="0.000"/>	Mín: 350mm	Máx: 650mm	Paso: 215mm	
Haga clic aquí para agregar Variables					

**Restricciones**

Tensión1	es mayor que	Mín: 9.799 N/m <sup>2</sup>	Análisis estático
<i>Haga clic aquí para agregar Restricción</i>			

**Objetivos**

Masa1	Minimizar
<i>Haga clic aquí para agregar Objetivos</i>	

## EL MEJOR DATO:

Vista de variable | Vista de tabla | Vista de resultados |    

Se ejecutaron correctamente 11 de 20 escenarios. Calidad del estudio de diseño: Alta

		Actual	Inicial	Óptimo (3)	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6	Esce
LONGITUD EN ALABE		53750mm	53750mm	50000mm	50000mm	65000mm	50000mm	65000mm	50000mm	65000mm	50000mm
DIAMETRO INT. BASE		300mm	300mm	400mm	250mm	250mm	400mm	400mm	450mm	450mm	250mm
DIAMETRO EXT. BASE		430mm	430mm	350mm	350mm	350mm	350mm	350mm	350mm	350mm	565mm
Tensión1	> 9.799 N/m <sup>2</sup>	78681.9140625 N/m <sup>2</sup>	78681.9140625 N/m <sup>2</sup>	70835.3125 N/m <sup>2</sup>	58823.9453125 N/m <sup>2</sup>		70835.3125 N/m <sup>2</sup>		70380.6796875 N/m <sup>2</sup>		58815.976
Masa1	Minimizar	264214 g	264214 g	259815 g	261245 g		259815 g		266150 g		275068 g

Vista de variable | Vista de tabla | Vista de resultados |    

Se ejecutaron correctamente 11 de 20 escenarios. Calidad del estudio de diseño: Alta

		Actual	Inicial	Óptimo (3)
LONGITUD EN ALABE		53750mm	53750mm	50000mm
DIAMETRO INT. BASE		300mm	300mm	400mm
DIAMETRO EXT. BASE		430mm	430mm	350mm
Tensión1	> 9.799 N/m <sup>2</sup>	78681.9140625 N/m <sup>2</sup>	78681.9140625 N/m <sup>2</sup>	70835.3125 N/m <sup>2</sup>
Masa1	Minimizar	264214 g	264214 g	259815 g

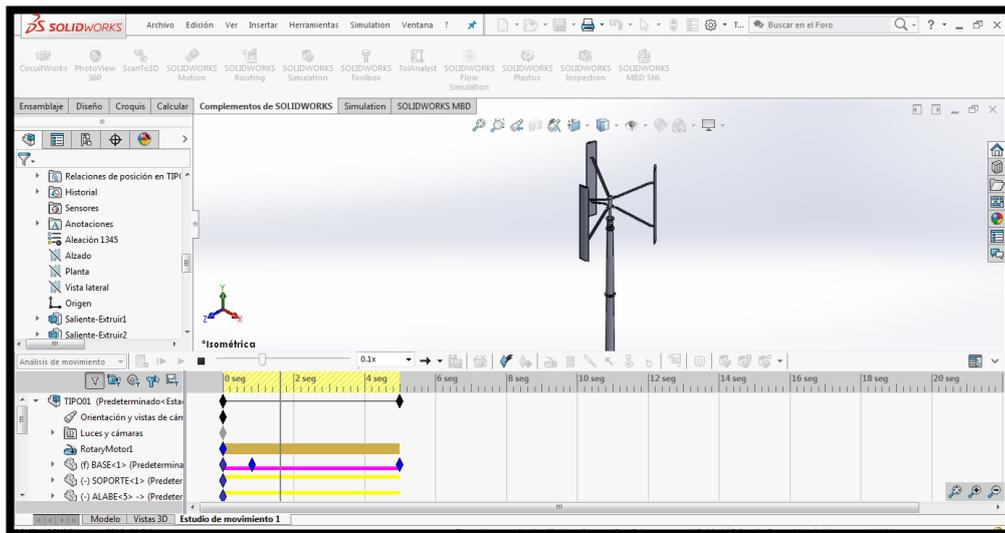
## ANEXO 2.5 - ESTUDIO DE MOVIMIENTO (MOTION) PARA CADA UNO DE LOS PROTOTIPOS DISEÑADOS.

### PARA EL PROTOTIPO N°1

Seleccionamos un motor rotatorio y le daremos 25 RPM

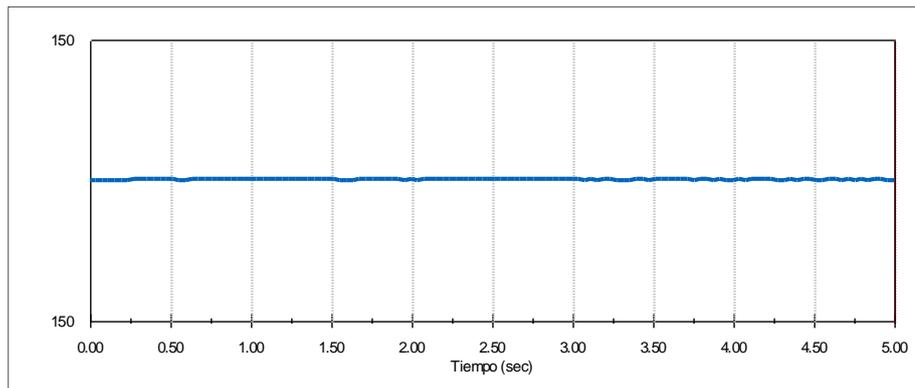


Luego le damos a calcular y le damos 5 segundos de recorrido.



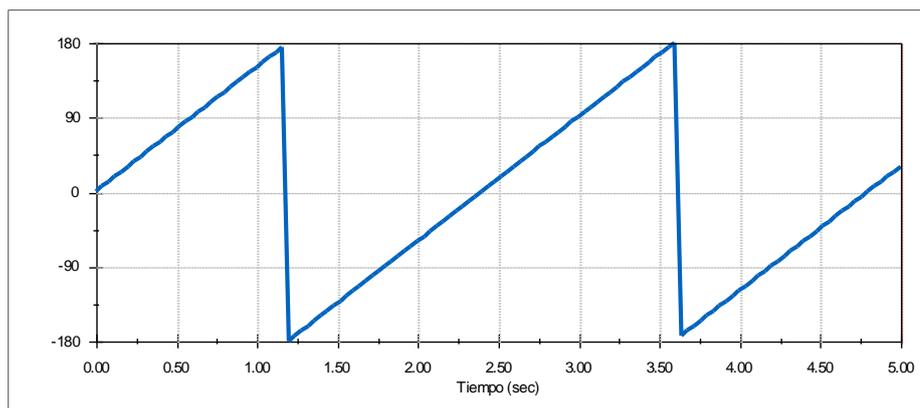
## Resultados:

La velocidad angular con respecto al tiempo:



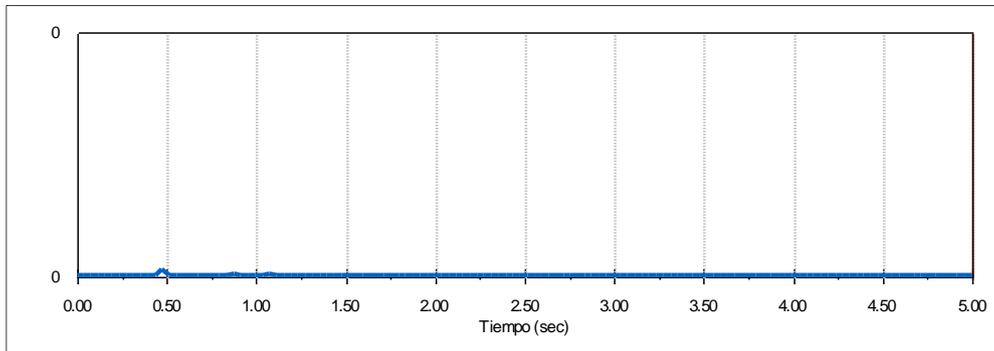
**Interpretación:** La velocidad angular, es decir la velocidad de rotación será constante con el paso del tiempo. Tiene que ser constante para que su rendimiento sea eficiente durante el tiempo de trabajo. El valor de la velocidad angular es de 150 rad/s.

El desplazamiento angular con respecto al tiempo:



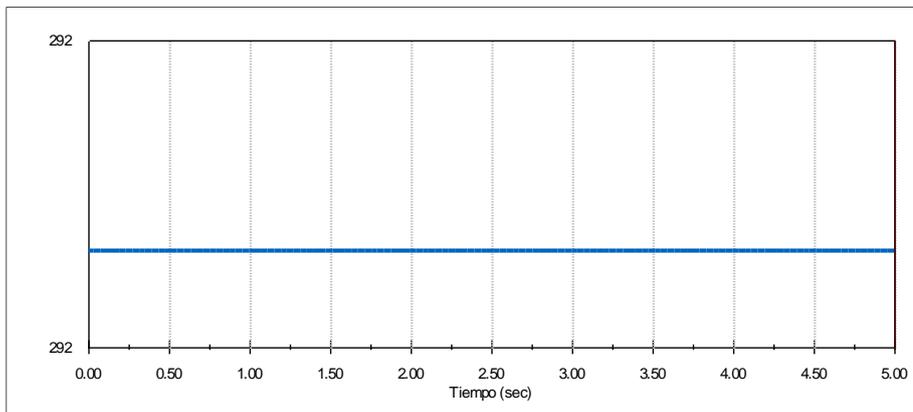
**Interpretación:** Se puede ver representado el tiempo que demora en dar un giro en torno a al eje del aerogenerador, un aproximado de 2.3 segundos.

### La aceleración angular con respecto al tiempo:



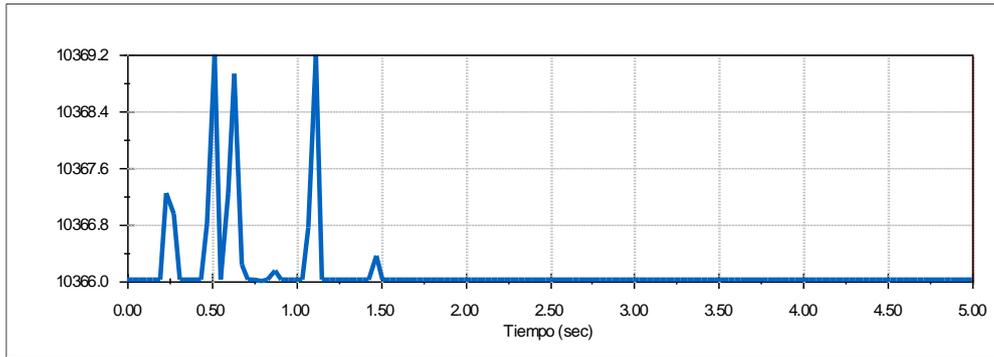
La aceleración angular es el cambio que experimenta la velocidad angular.

### La energía cinética angular con respecto al tiempo:



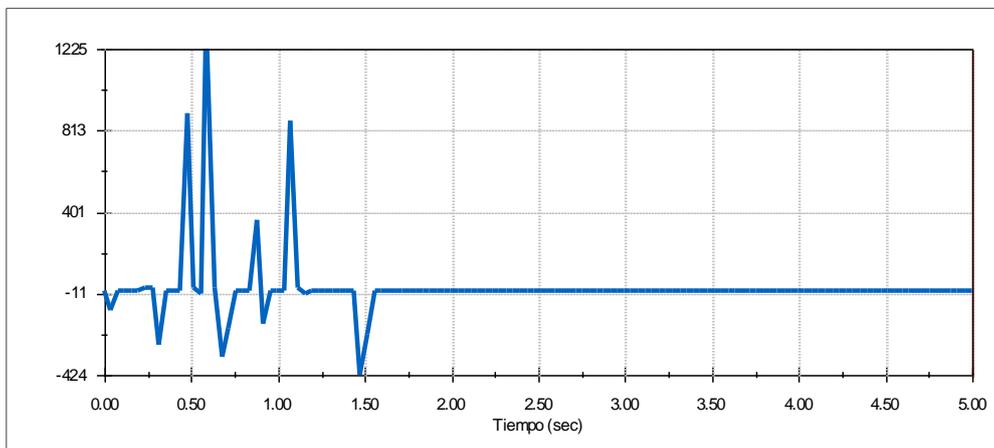
**Interpretación:** La energía rotacional es la [energía cinética](#) de un [cuerpo rígido](#) (alabes), que gira en torno a un eje fijo. Esta energía depende del momento de inercia y de la velocidad angular de los alabes. La energía cinética angular será constante con respecto al tiempo de trabajo, con un valor de 292 J.

### La energía total cinética con respecto al tiempo:



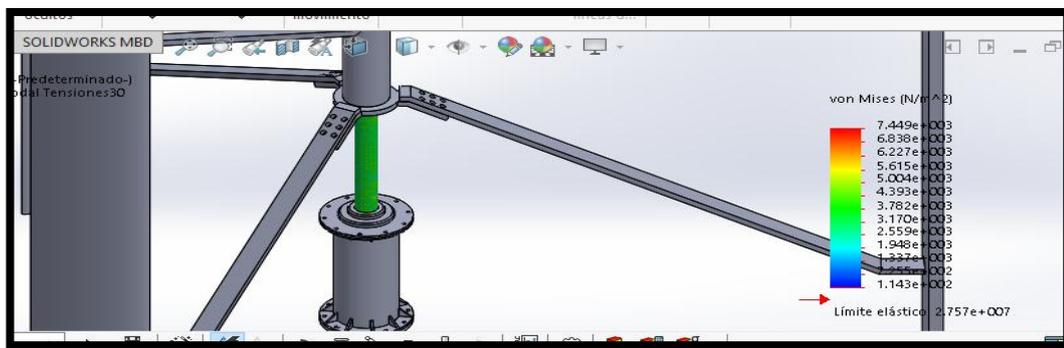
**Interpretación:** La energía cinética es mayor en los primeros segundos ya que al momento del arranque se empleará mayor energía para que comience a girar, luego mantiene su energía cinética salvo que cambie su velocidad.

El consumo de energía con respecto al tiempo:



**Interpretación:** Se observa que al momento de arrancar (empezar a girar) habrá un mayor consumo de energía del aerogenerador, será al 1.5 segundos donde se estabilizará y habrá un consumo de energía constante.

Tensión:

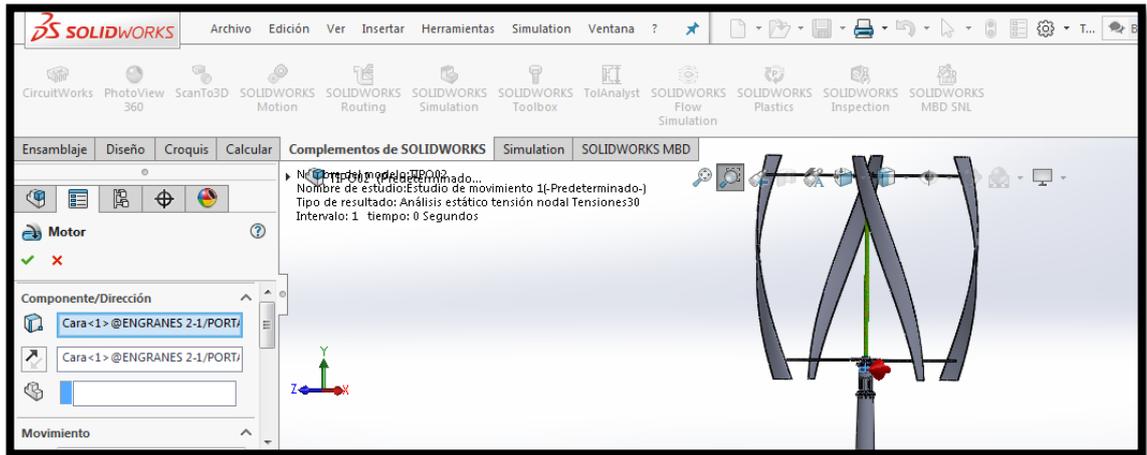


**Interpretación:** Se usa en el contexto de las teorías de fallo como indicador de un buen diseño, en este prototipo se ve que el límite elástico es de  $2.75 \times 10^7$  N/m<sup>2</sup>, superando el valor de Von Mises, lo que nos dice que no sufrirá deformación y soportará las fuerzas ejercidas sobre el eje.

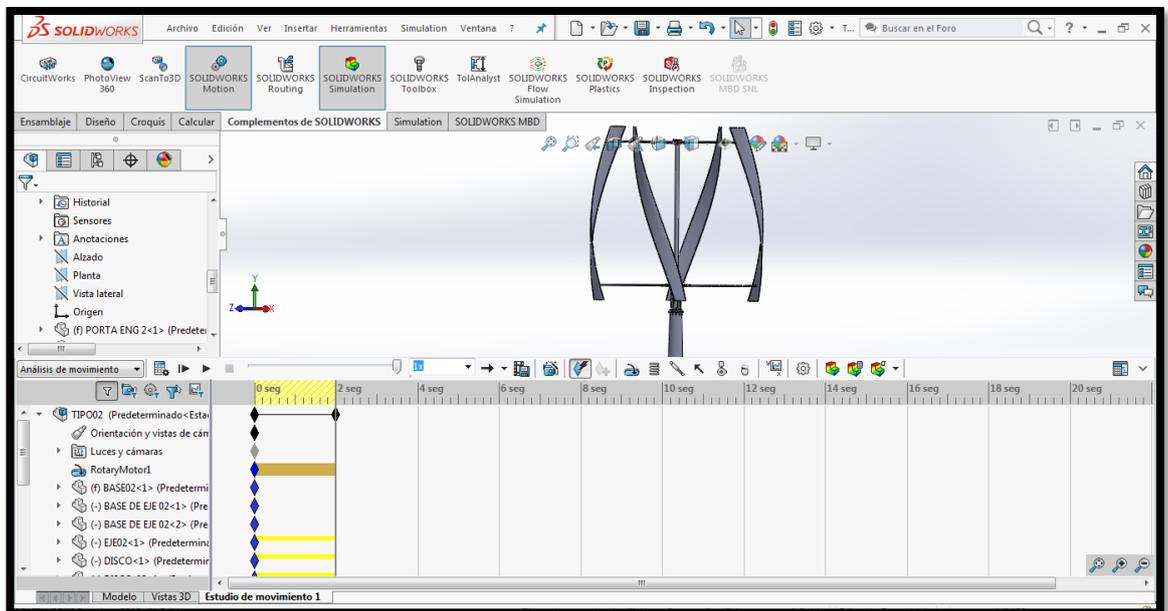
## ESTUDIO DE MOVIMIENTO (MOTION) PARA CADA UNO DE LOS PROTOTIPOS DISEÑADOS:

### PARA EL PROTOTIPO N°2

Seleccionamos un motor rotatorio y le daremos 25 RPM

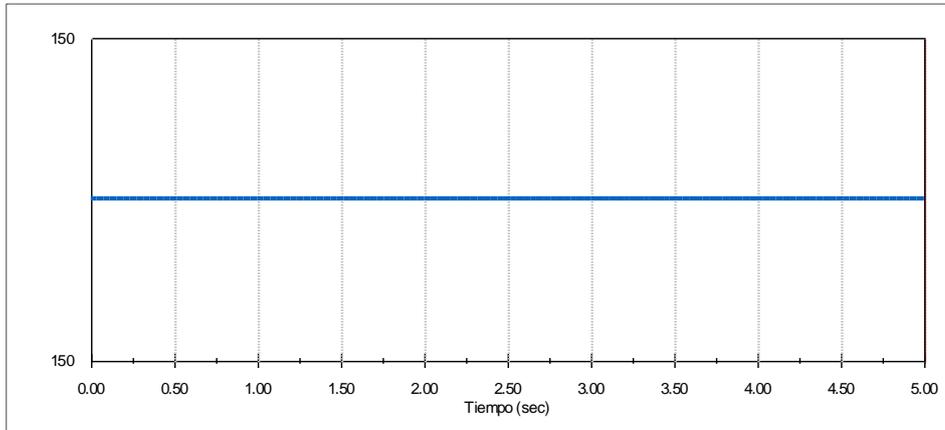


Luego le damos a calcular y 5 segundos de recorrido



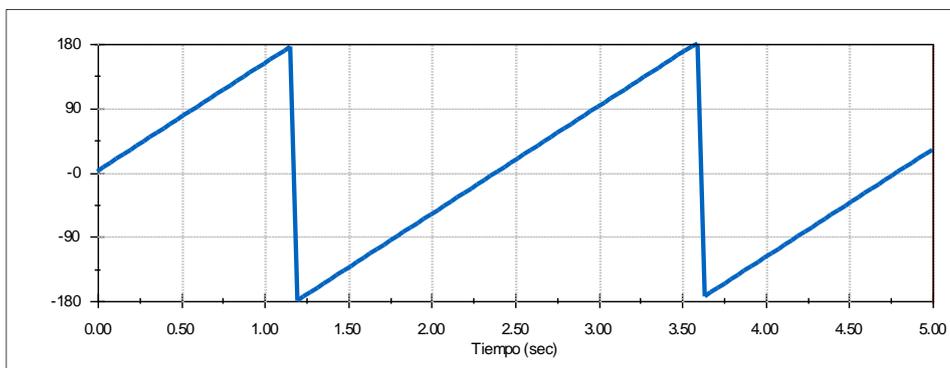
## Resultados:

La velocidad angular con respecto al tiempo:



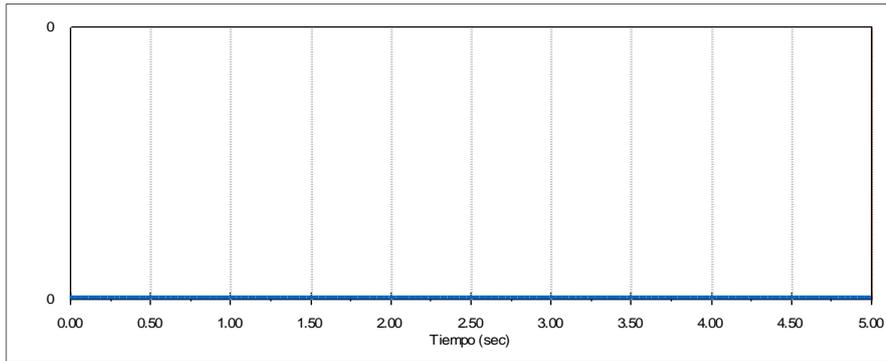
**Interpretación:** El valor de la velocidad angular es de 150 rad/s, el mismo valor que en el primer prototipo.

El desplazamiento angular con respecto al tiempo:



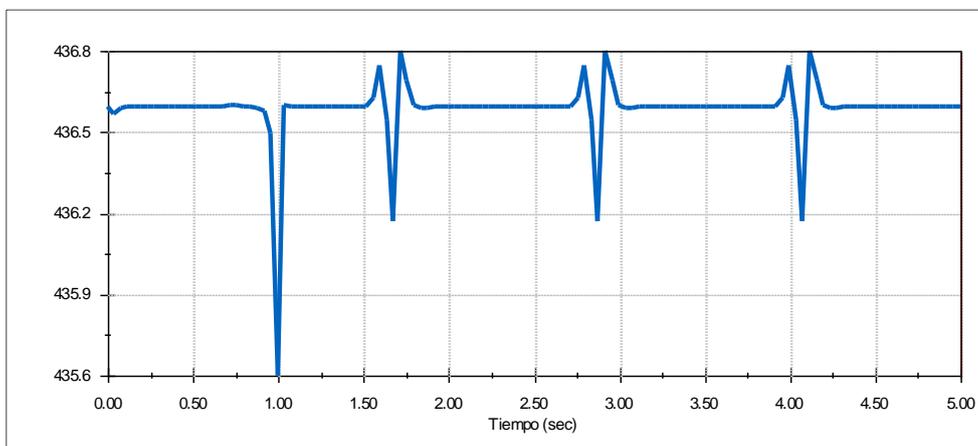
**Interpretación:** Se puede ver representado el tiempo que demora en dar un giro en torno a al eje del aerogenerador, un aproximado de 2.3 segundos.

La aceleración angular con respecto al tiempo:



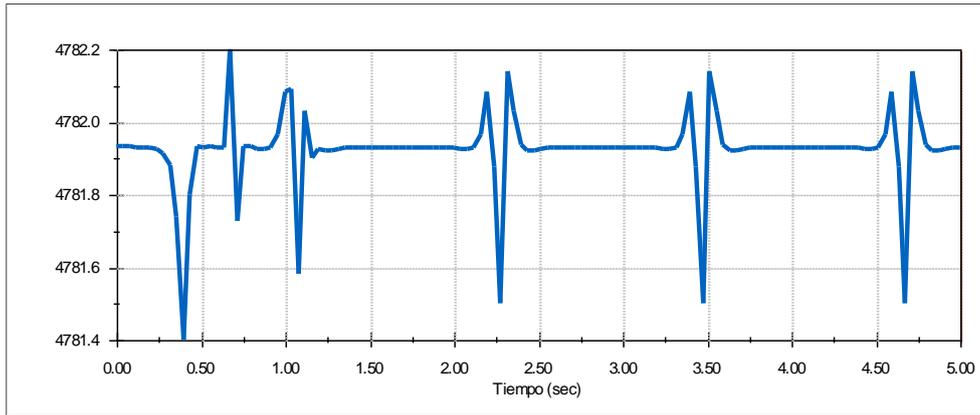
La aceleración angular es el cambio que experimenta la velocidad angular.

La energía cinética angular con respecto al tiempo:



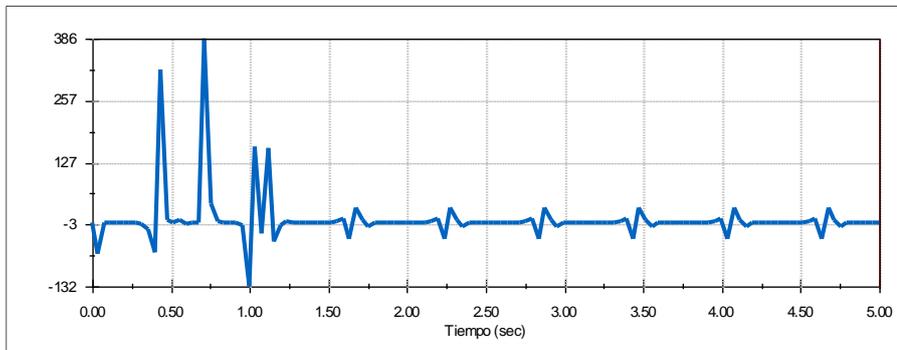
**Interpretación:** La energía rotacional es la [energía cinética](#) de un [cuerpo rígido](#) (alabes), que gira en torno a un eje fijo. Esta energía depende del momento de inercia y de la velocidad angular de los alabes. La energía cinética angular en este caso será un poco variable con respecto al tiempo de trabajo, con un valor entre 435.6 y 436.8 J.

La energía total cinética con respecto al tiempo:



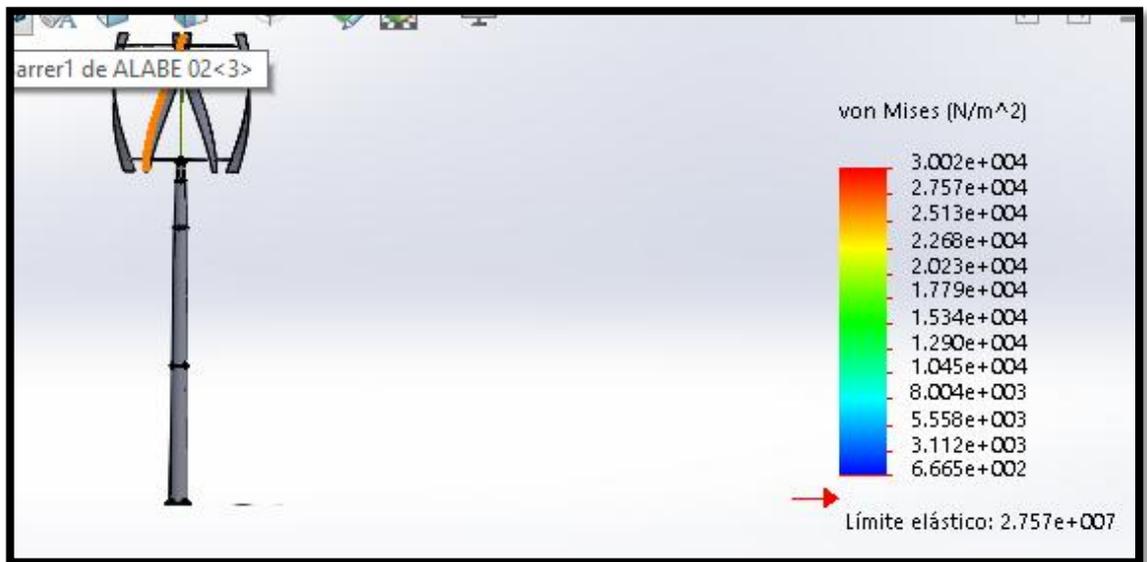
**Interpretación:** En comparación al prototipo 1, aquí se ve que la energía cinética es mucho menor, y no hay una elevación brusca de energía al momento de empezar a girar el aerogenerador. Las variaciones de energía cinética se deben a los cambios de velocidad (aunque no son grandes estas variaciones).

El consumo de energía con respecto al tiempo:

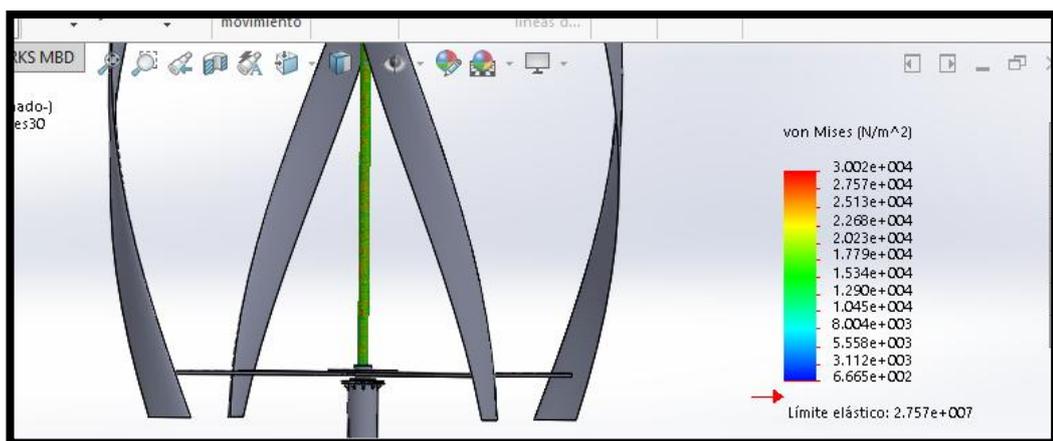


**Interpretación:** Se observa que al momento de arrancar (empezar a girar) habrá un mayor consumo de energía del aerogenerador, será al 1.2 segundos donde se estabilizará y habrá un consumo de energía casi constante, ya que vemos ligeros aumentos de consumo de energía. Este prototipo necesita menos consumo de energía para que empiece a trabajar en comparación con el prototipo 1.

## Tensión



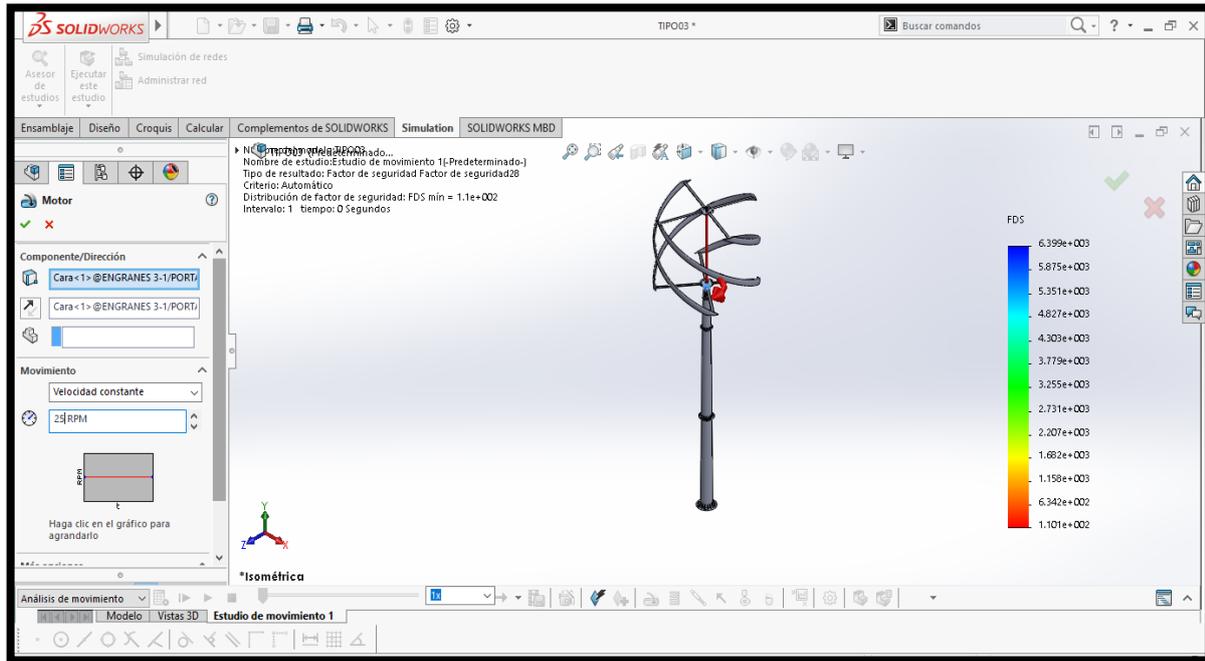
**Interpretación:** Se usa en el contexto de las teorías de fallo como indicador de un buen diseño, en este prototipo se ve que el límite elástico es de  $2.75 \times 10^7$  N/m<sup>2</sup>, superando el valor de Von Mises, lo que nos dice que no sufrirá deformación y soportará las fuerzas ejercidas sobre el eje.



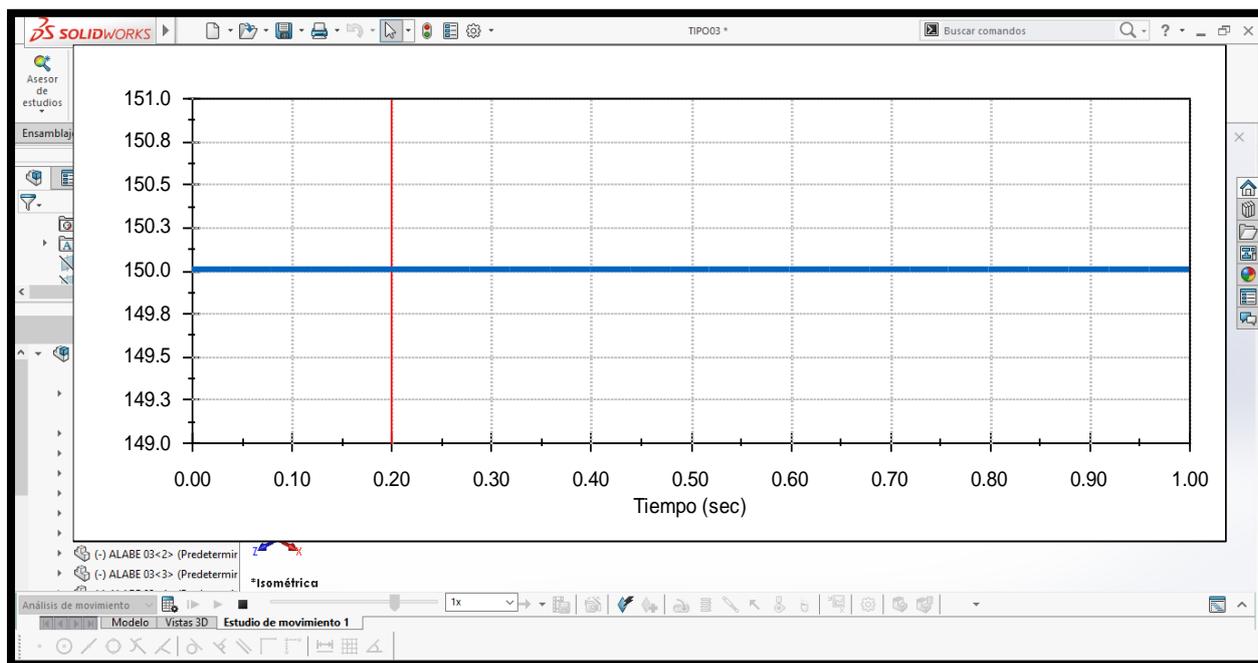
## ANEXO 2.6 ESTUDIO DE MOVIMIENTO (MOTION) PARA CADA UNO DE LOS PROTOTIPOS DISEÑADOS.

### PARA EL PROTOTIPO N° 3

Seleccionamos un motor rotatorio y le daremos 25 RPM

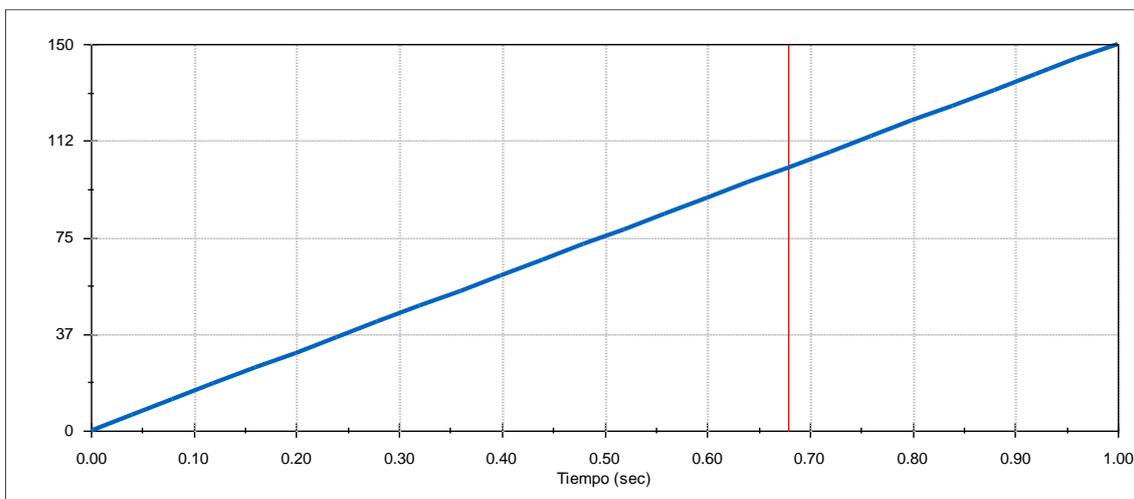


Luego le damos a calcular y le damos 5 segundos de recorrido



**Resultados:**

El desplazamiento angular con respecto al tiempo:

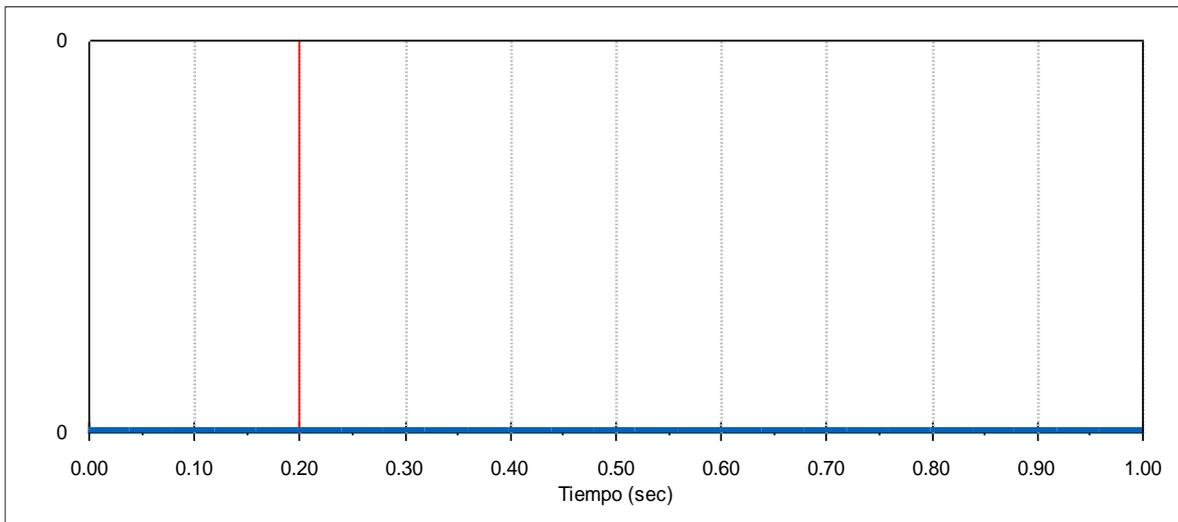


**Interpretación:** Se puede ver representado el tiempo que demora en dar un giro en torno al eje del aerogenerador. El desplazamiento angular varía directamente proporcional con respecto al tiempo.

La velocidad angular con respecto al tiempo:

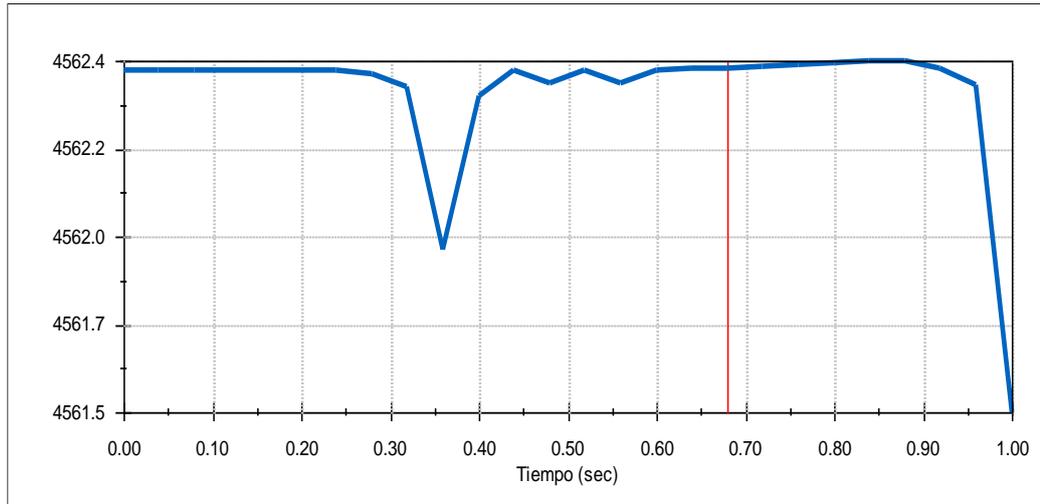
**Interpretación:** La velocidad angular, es decir la velocidad de rotación será constante con el paso del tiempo. Tiene que ser constante para que su rendimiento sea eficiente durante el tiempo de trabajo. El valor de la velocidad angular es de 151 rad/s.

La aceleración angular con respecto al tiempo



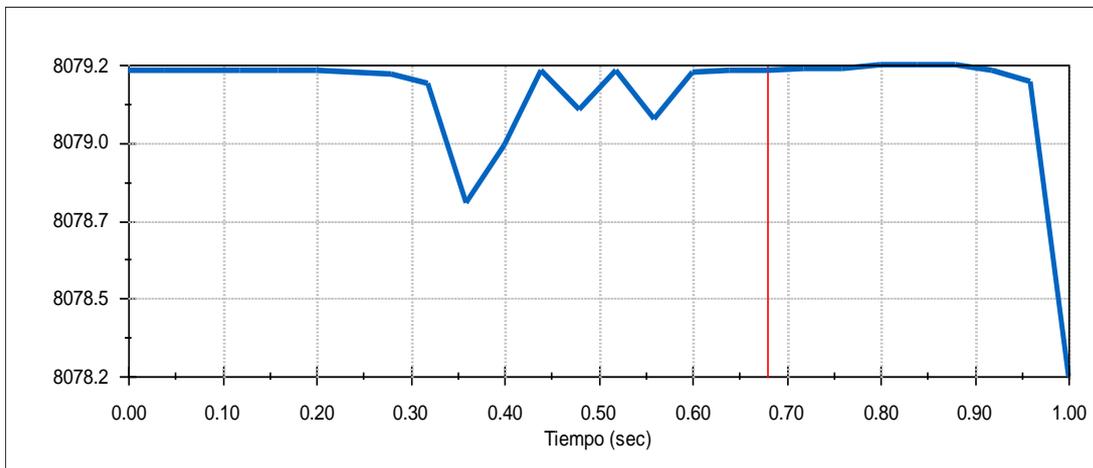
**Interpretación:** La aceleración angular es el cambio que experimenta la velocidad angular, es decir permanece constante.

La Energía cinética angular con respecto al tiempo



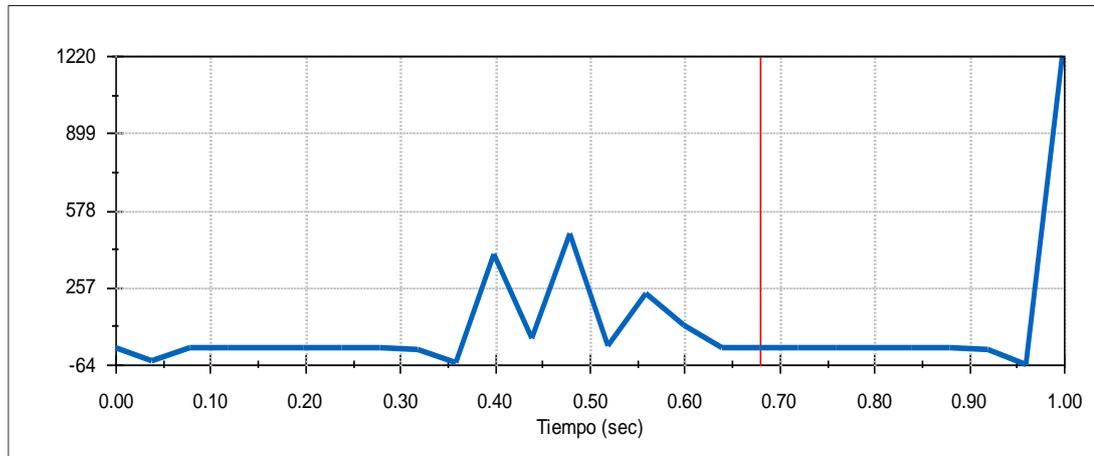
**Interpretación:** La energía rotacional es la energía cinética de un cuerpo rígido (alabes), que gira en torno a un eje fijo. Esta energía depende del momento de inercia y de la velocidad angular de los alabes. La energía cinética angular será constante con un valor de 4562.4 J pero tiene picos de caída a los 0.30 segundos y a 4561 Joule. Después de ello se torna constante hasta que llega a su mínima energía cinética angular a 1.00 segundo.

La Total Energía cinética (Joule) con respecto al tiempo



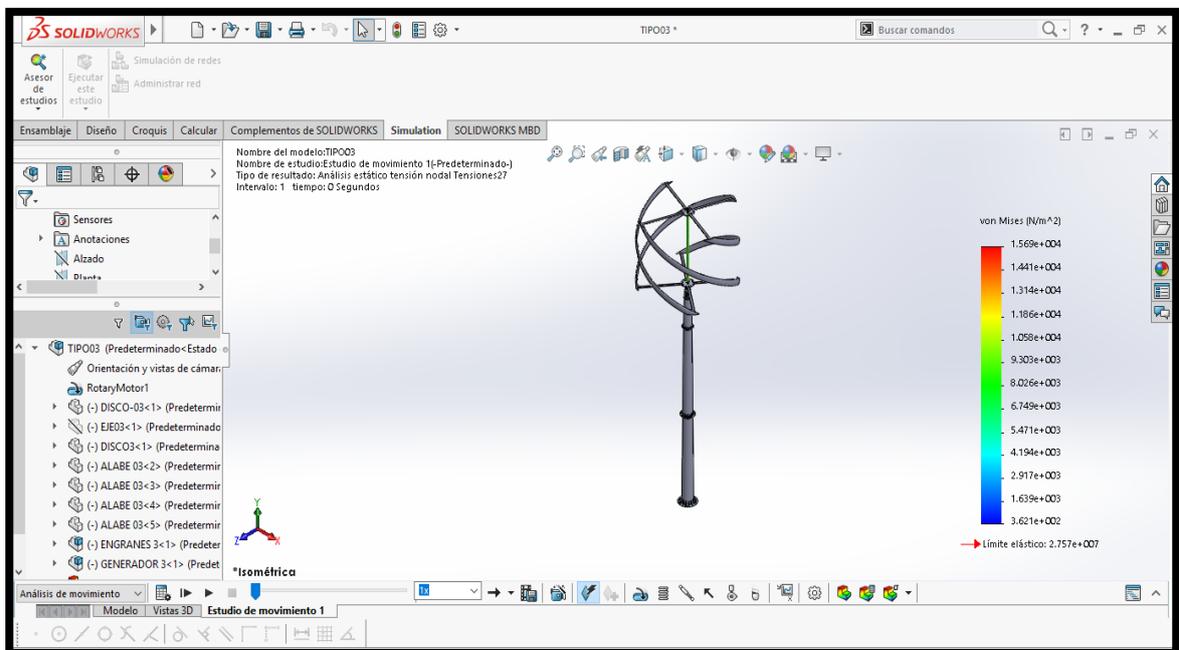
**Interpretación:** La energía cinética es mayor en los primeros segundos ya que al momento del arranque se empleará mayor energía para que comience a girar, luego presenta ciertos declives y su energía cinética se ve afectada, hasta que nuevamente permanece constante y tiene un pico de caída a 8078.2 Joule a 1.00 segundo.

## Consumo de Energía (Vatio) con respecto al tiempo



**Interpretación:** Se observa que al momento de arrancar (empezar a girar) habrá un constante consumo de energía del aerogenerador hasta llegar a 0.35 segundos, luego de este tiempo hay un consumo súbito de energía, luego permanece constante para dar su pico final máximo a 1.00 segundo siendo su consumo de energía máximo a 1220 Vatios.

## Tensión

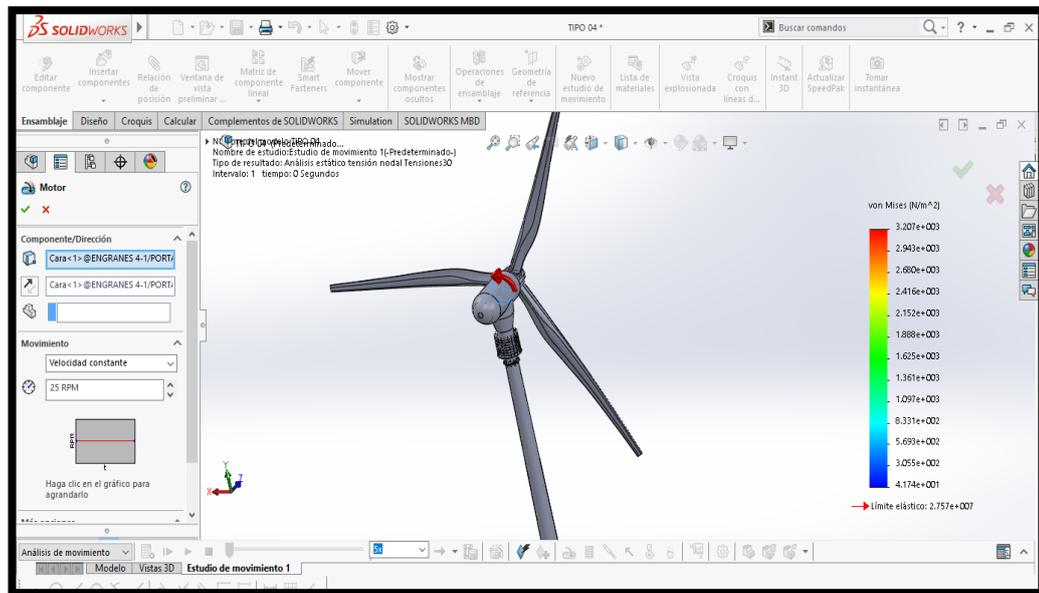


**Interpretación:** Se usa en el contexto de las teorías de fallo como indicador de un buen diseño, en este prototipo se ve que el límite elástico es de

2.75x10<sup>7</sup> N/m<sup>2</sup>, superando el valor de Von Mises, lo que nos dice que no sufrirá deformación y soportará las fuerzas ejercidas sobre el eje.

## ESTUDIO DE MOVIMIENTO (MOTION) PARA EL PROTOTIPO N°4

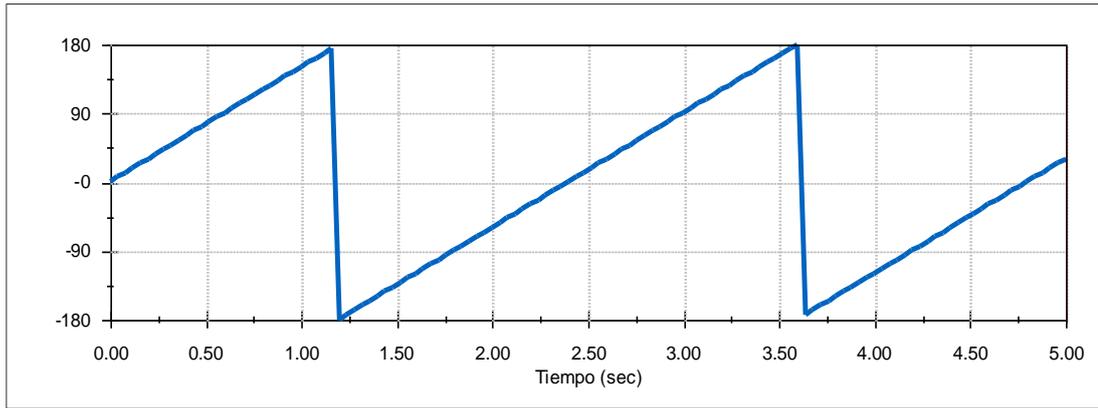
Seleccionamos un motor rotatorio y le daremos 25 RPM



Luego le damos a calcular y 5 segundos de recorrido.

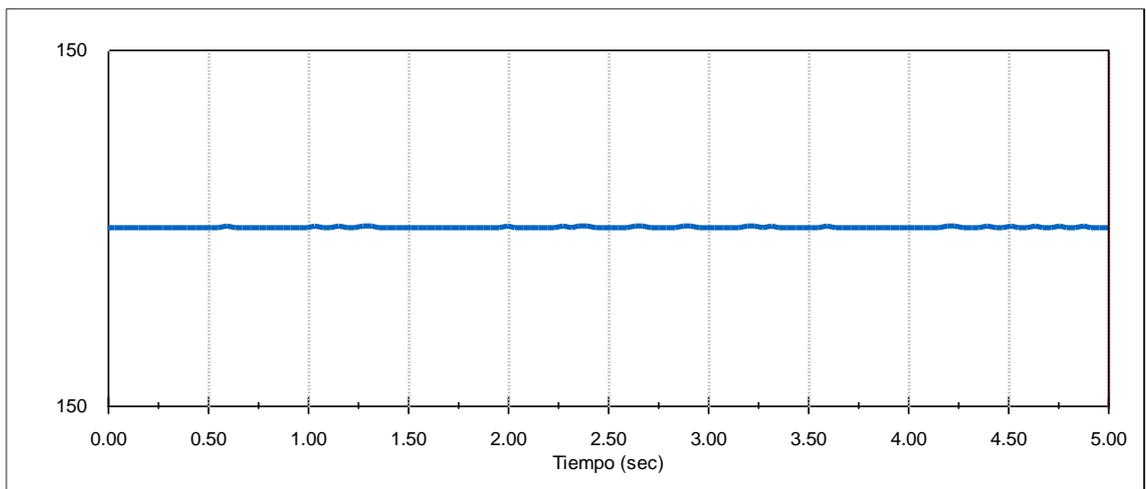
## ANEXO 2.6 RESULTADOS OBTENIDOS LUEGO DE LOS DIFERENTES ESTUDIOS REALIZADOS:

El desplazamiento angular con respecto al tiempo:



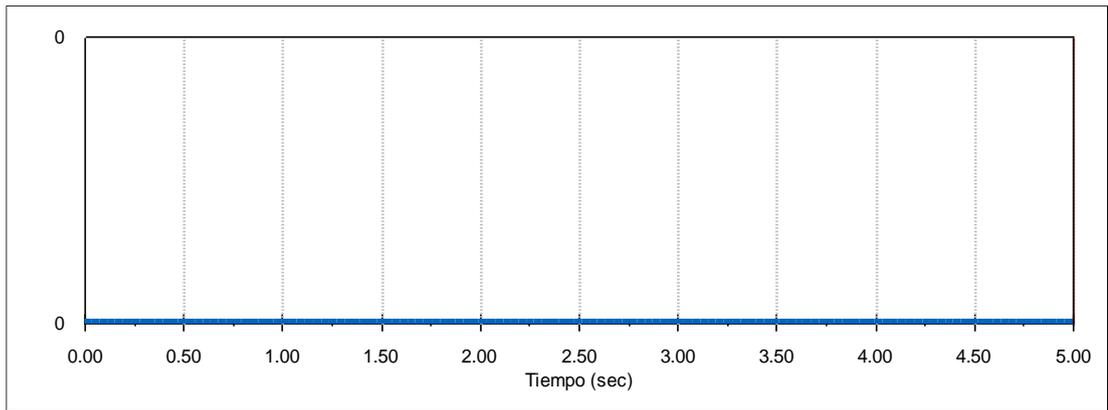
**Interpretación:** Se puede ver representado el tiempo que demora en dar un giro en torno a al eje del aerogenerador, un aproximado de 2.3 segundos.

La velocidad angular con respecto al tiempo:



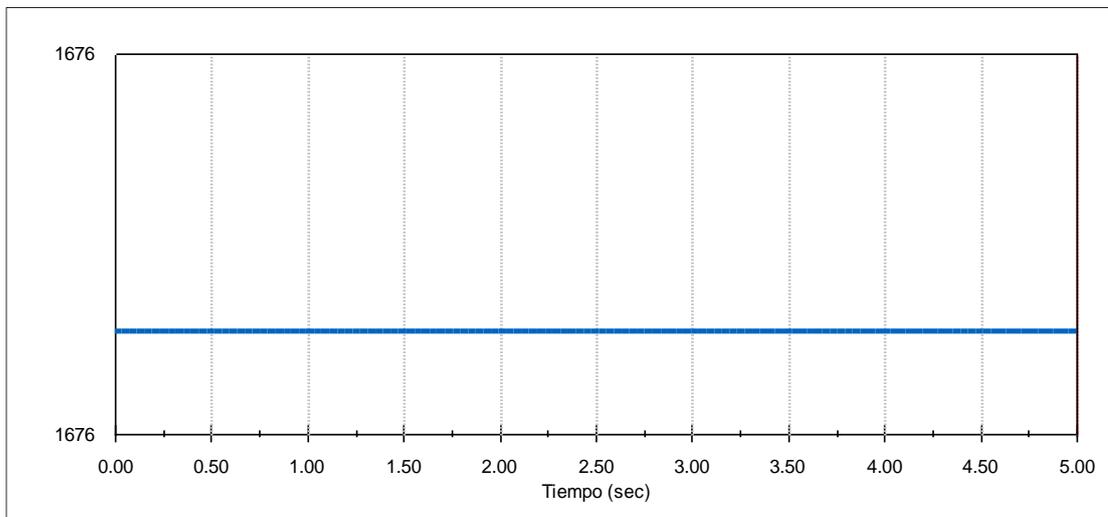
**Interpretación:** El valor de la velocidad angular es de 150 rad/s, el mismo valor que en el primer y tercer prototipo.

La aceleración angular con respecto al tiempo:



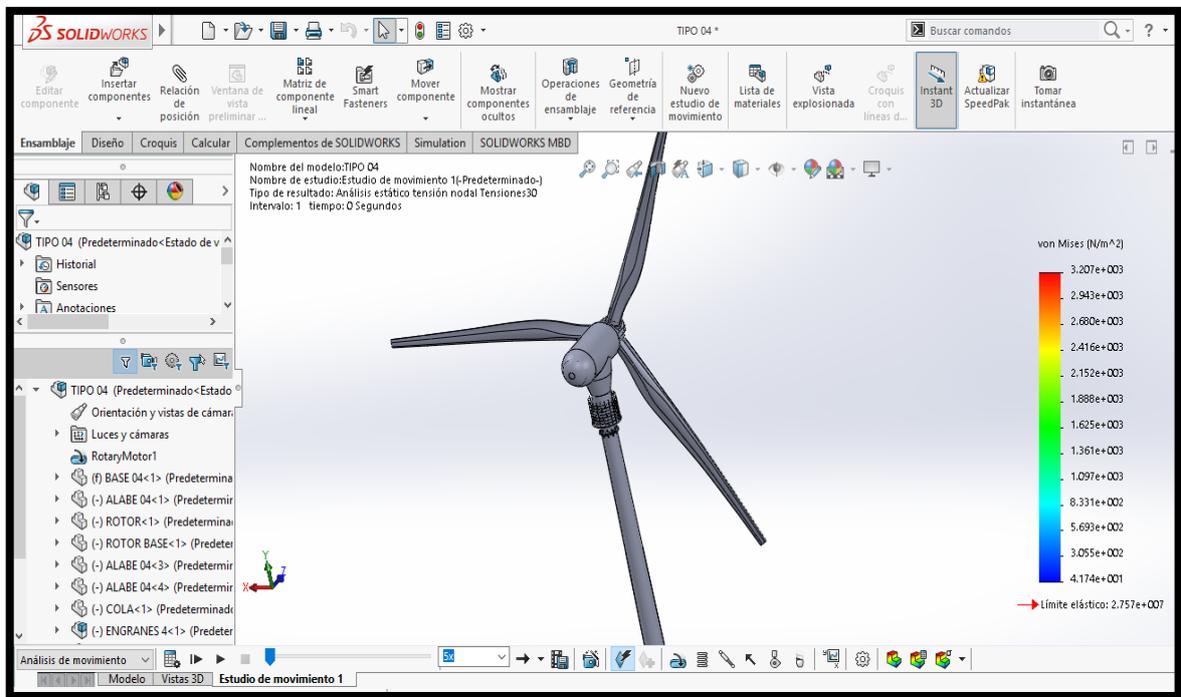
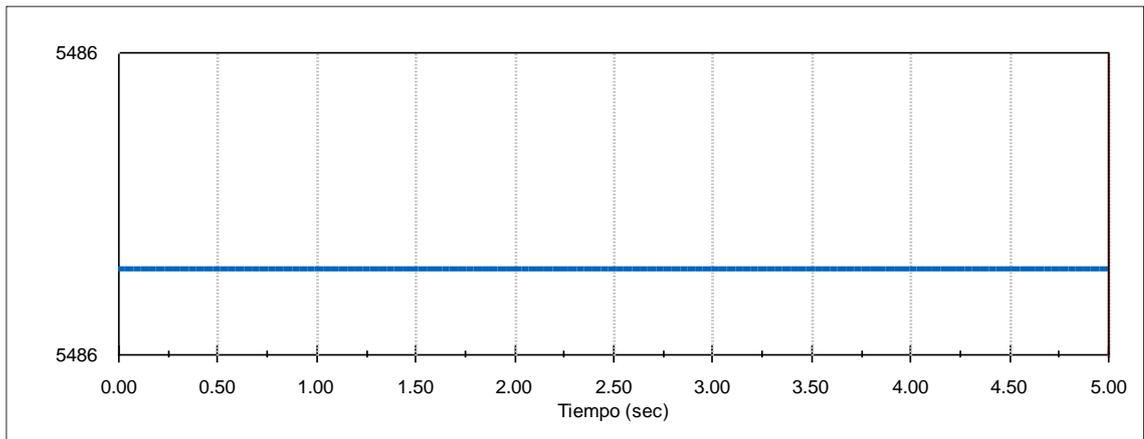
**Interpretación:** La aceleración angular es el cambio que experimenta la velocidad angular y esta permanece constante en los 5 segundos.

La energía cinética angular con respecto al tiempo:



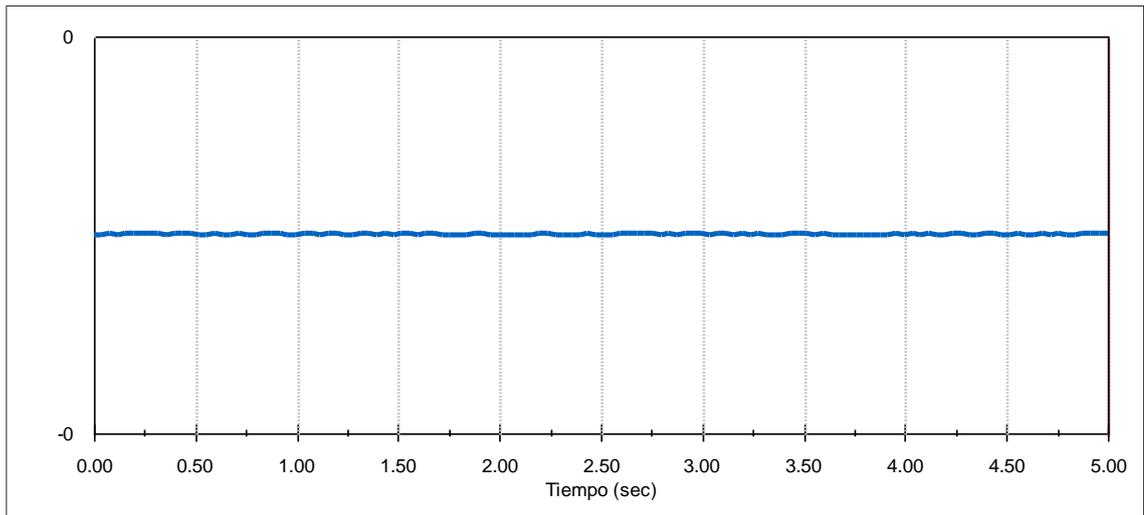
**Interpretación:** La energía rotacional es la energía cinética de un cuerpo rígido (alabes), que gira en torno a un eje fijo. Esta energía depende del momento de inercia y de la velocidad angular de los alabes. La energía cinética angular en este caso será constante y alcanza los 1676 Joule.

La Total energía cinética con respecto al tiempo:



**Interpretación:** En comparación al prototipo 3, aquí se ve que la energía cinética es mucho menor, y no hay una elevación brusca de energía al momento de empezar a girar el aerogenerador. Las variaciones de energía cinética se deben a los cambios de velocidad, en este caso permanece constante y presenta un Total de Energía de 54.86 Joule.

El consumo de energía con respecto al tiempo:



**Interpretación:** Se observa que el consumo de energía es estable y habrá un consumo de energía constante. Este prototipo no necesita ningún consumo de energía para iniciar su movimiento.

**Tensión:**

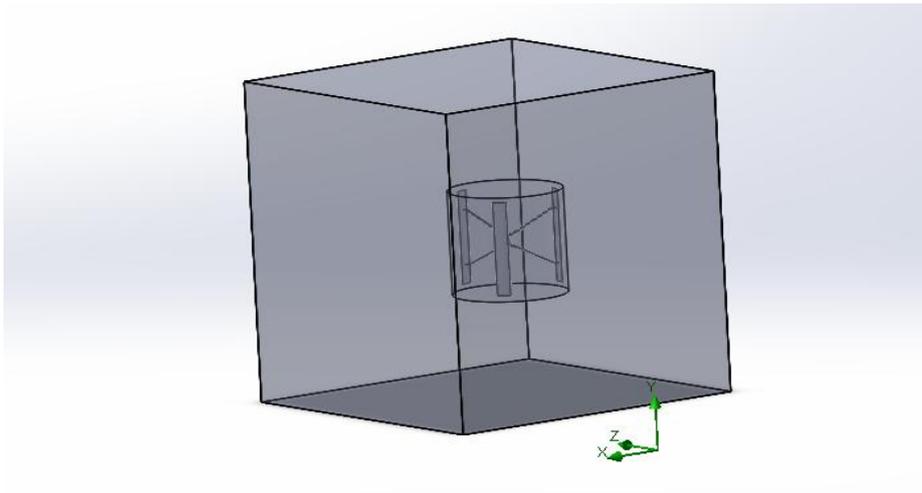
Se usa en el contexto de las teorías de fallo como indicador de un buen diseño, en este prototipo se ve que el límite elástico es de  $2.75 \times 10^7$  N/m<sup>2</sup>, superando el valor de Von Mises, lo que nos dice que no sufrirá deformación y soportará las fuerzas ejercidas sobre el eje.

**ANEXO 2.7 SIMULACION DE FLUJO (FLOW SIMULATION) PARA CADA UNO DE LOS PROTOTIPOS DISEÑADOS EN SOLIDWORKS 2016**

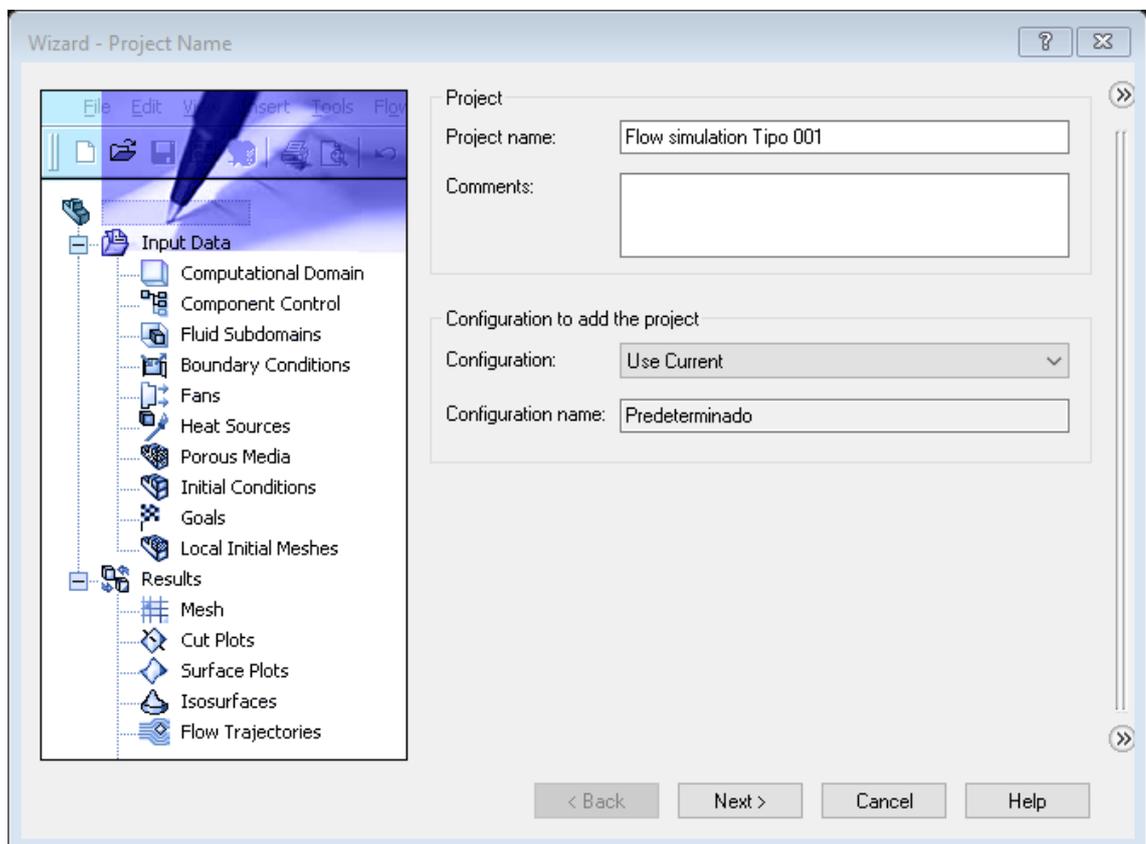
Con el Flow Simulation se podrá simular fácilmente el flujo de fluidos y las fuerzas de fluidos fundamentales para el éxito del diseño. La herramienta de dinámica de fluidos computacional de SOLIDWORKS, permite simular el flujo de aire en condiciones reales, ejecutar casos hipotéticos y analizar de forma eficaz los efectos del flujo de aire. Se podrá comparar variaciones de diseño para tomar mejores decisiones y crear productos de mayor rendimiento.

**SIMULACION DE FLUJO PARA EL PROTOTIPO N°1**

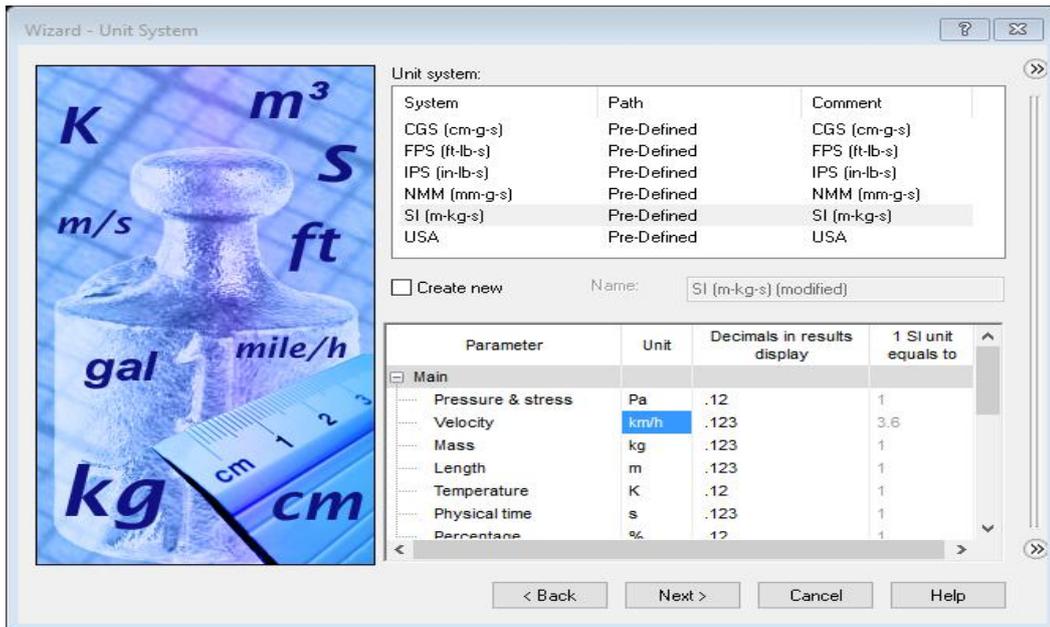
Primero se crea un rango giratorio y un rango general para hacer el Flow Simulation.



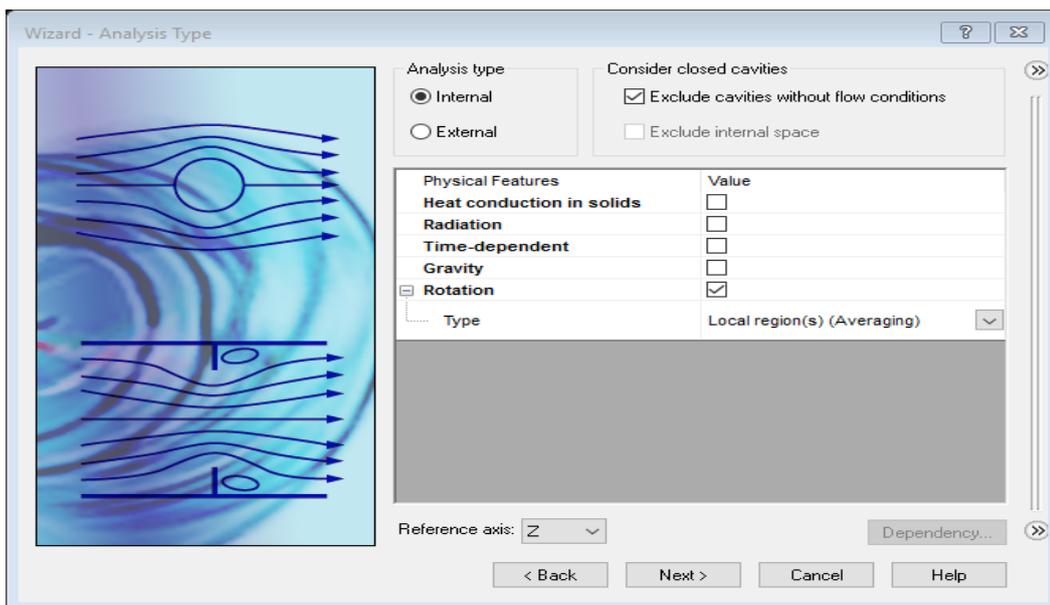
**ANEXO 5.2 Se crea un nuevo proyecto aplicando condiciones específicas, seleccionando wizard.**



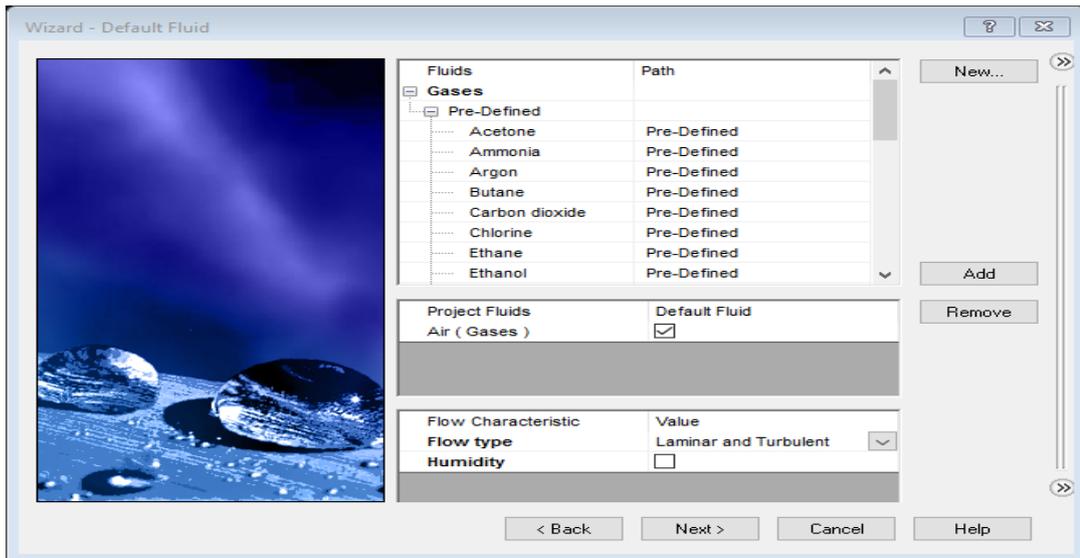
Se selecciona en SI (m-kg-s) en “Unit system” y modificamos en “Parameter” las unidades de velocidad angular a RPM y la velocidad a km/h



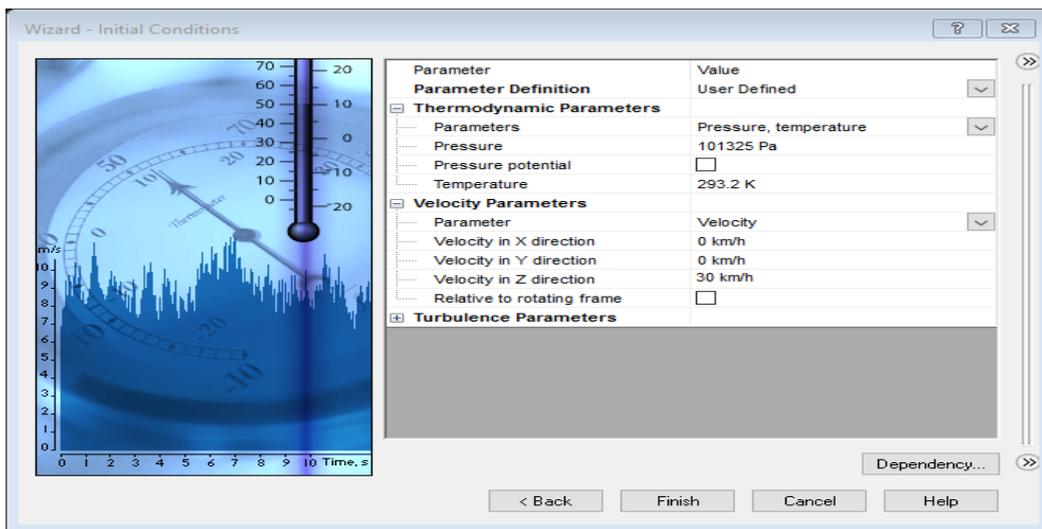
Se selecciona el eje de rotación en Z.



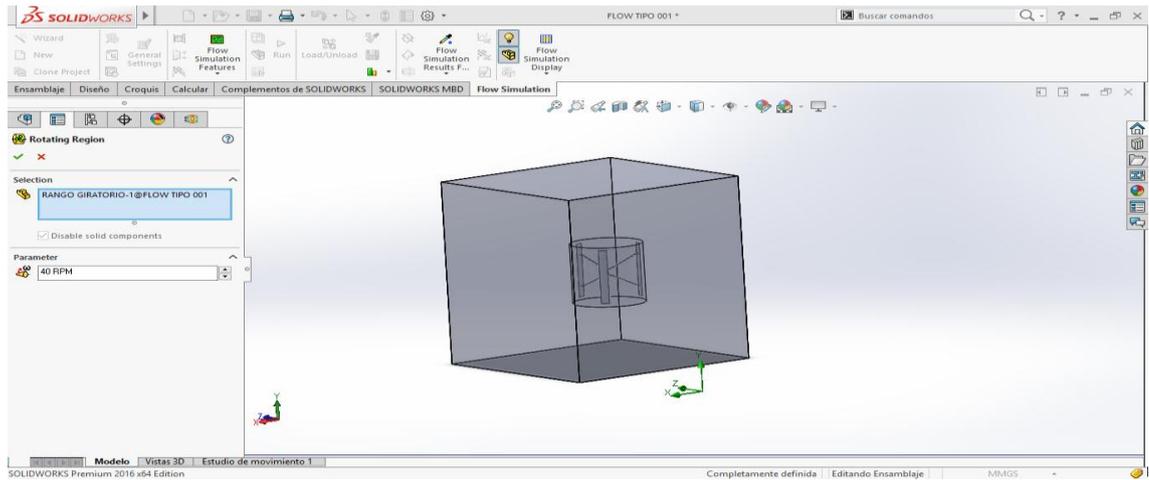
En "Fluids" se selecciona en gases: AIRE.



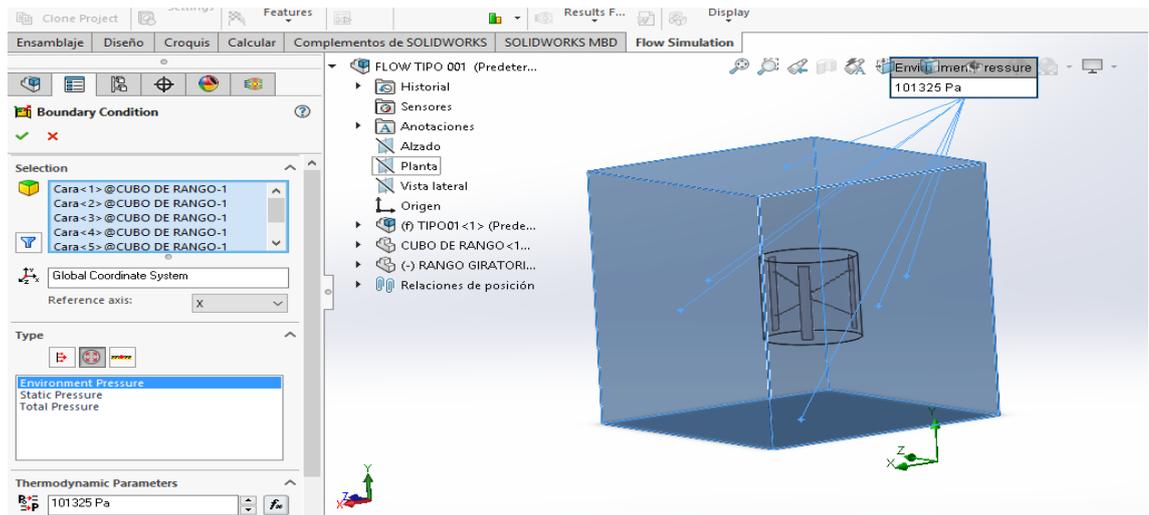
Se edita las condiciones para nuestro generador en "Velocity in Z direction" se colocan los 30Km/h y por último se da click Finish



Se edita la definición "Rotating Region", se selecciona el rotor giratorio y se da un valor de 40 RPM.



Se edita la definición “Boundary Condition”, se edita las condiciones de contorno, dando un valor de presión ambiental en todas las caras internas del cubo de rango.



Se edita la definición “Global Goals” para seleccionar objetivos globales en este caso la velocidad en el eje Z y la densidad del aire.

Global Goals				
Static Pressure	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Total Pressure	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Dynamic Pressure	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Temperature (Fluid)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Mean Radiant Temp	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Operative Temperat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Draught Rate	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Density (Fluid)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Mass (Fluid)		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>
Mass Flow Rate		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>
Velocity	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Velocity (X)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Velocity (Y)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Velocity (Z)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Velocity RRF	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Velocity RRF (X)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Velocity RRF (Y)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Velocity RRF (Z)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Mesh Number	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Se edita la definición “global goals” para crear ecuaciones que calcularan la Densidad de Potencia, el Área de barrido del rotor y la Energía Anual Producida en Kw/año.




Expression

$$0.5*\{GG\ Av\ Density\ (Fluid)\ 1\}*1.91*\{GG\ Av\ Velocity\ (Z)\ 1\}^3$$




Expression

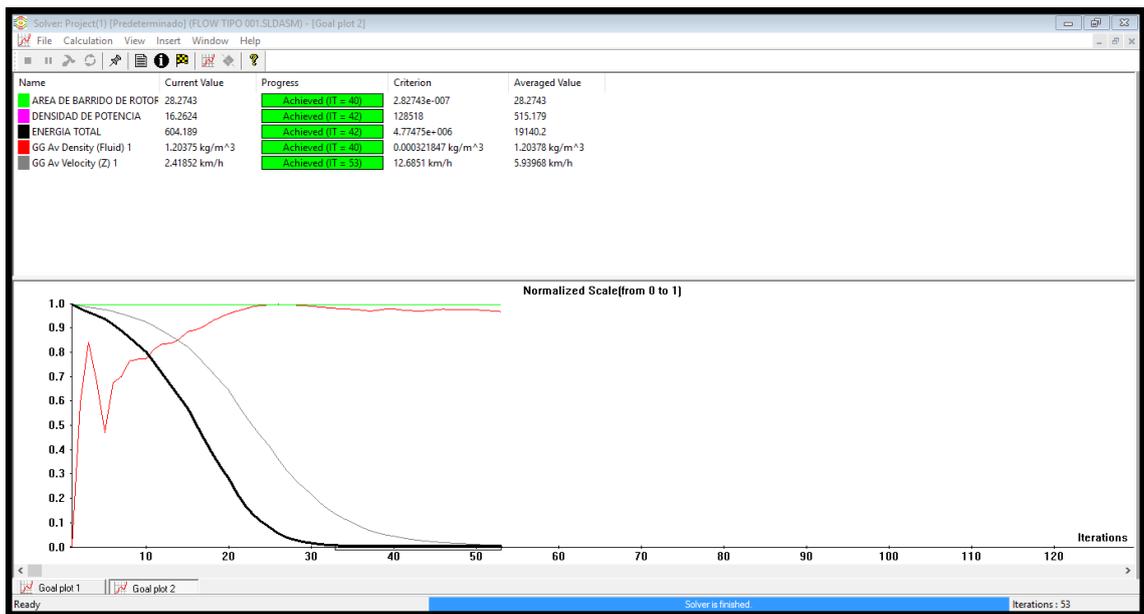
$$9*\pi$$




Expression

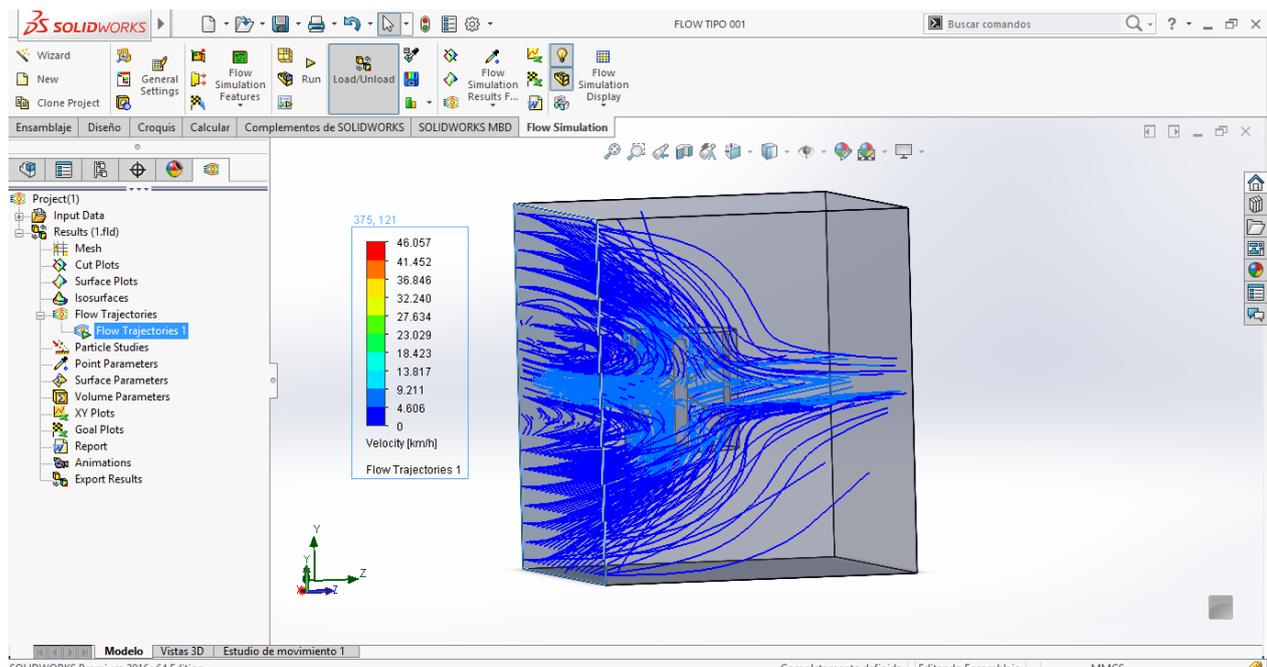
$$\{DENSIDAD\ DE\ POTENCIA\}*\{AREA\ DE\ BARRIDO\ DE\ ROTOR\}*0.15*8760/1000$$

Y le damos a “Run” para que realice los cálculos:



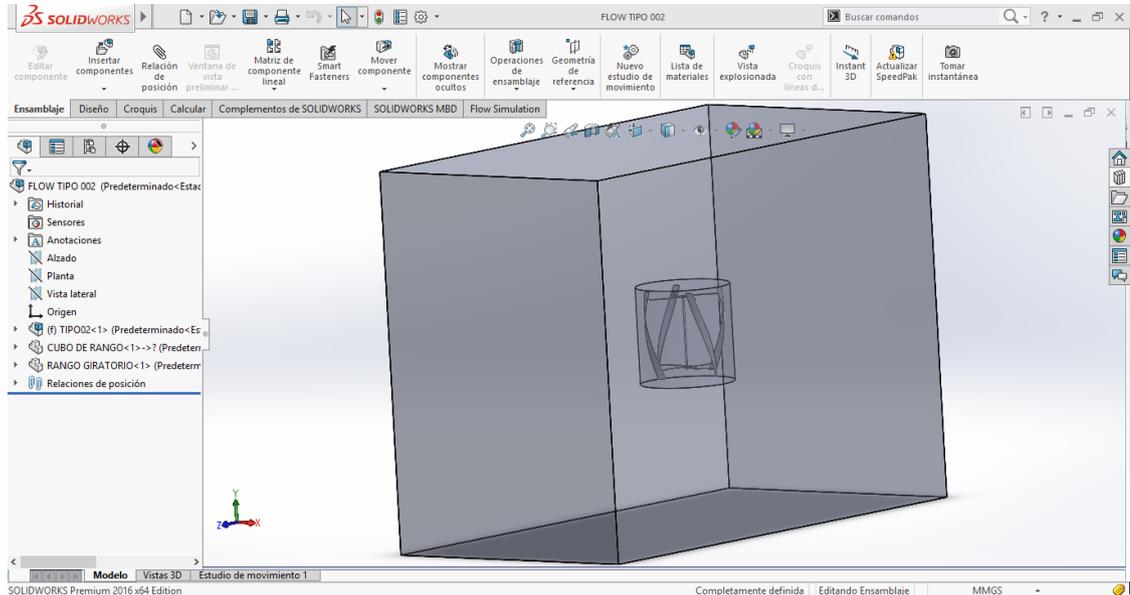
**Interpretación:** Donde se obtiene que la Energía Anual Producida es de 604kW/año. Lo que nos da 50.3333 kW/mes. Este modelo serviría para 7 familias aproximadamente, sabiendo que su consumo mensual es el de 7kW/mes.

## Flow Simulation



## SIMULACION DE FLUJO PARA EL PROTOTIPO N°2

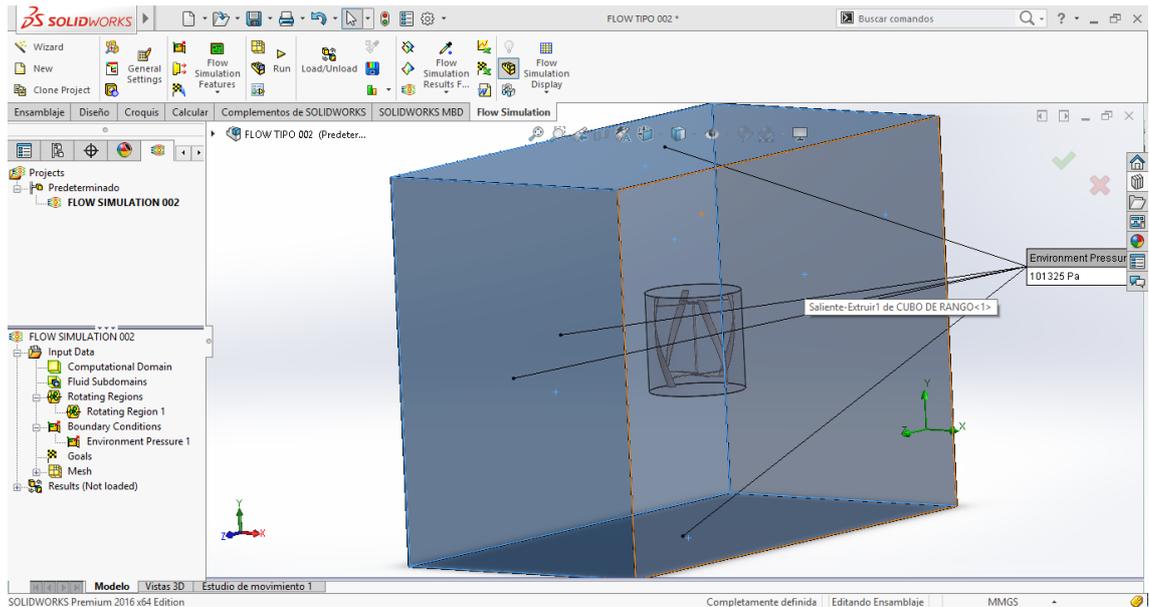
Primero se crea un rango giratorio y un rango general para hacer el Flow Simulation.



Se crea un nuevo proyecto aplicando condiciones específicas, seleccionando wizard (lo mismo que en el tipo 1)

Se edita la definición “Rotating Region”, se selecciona el rotor giratorio y se da un valor de 40 RPM.

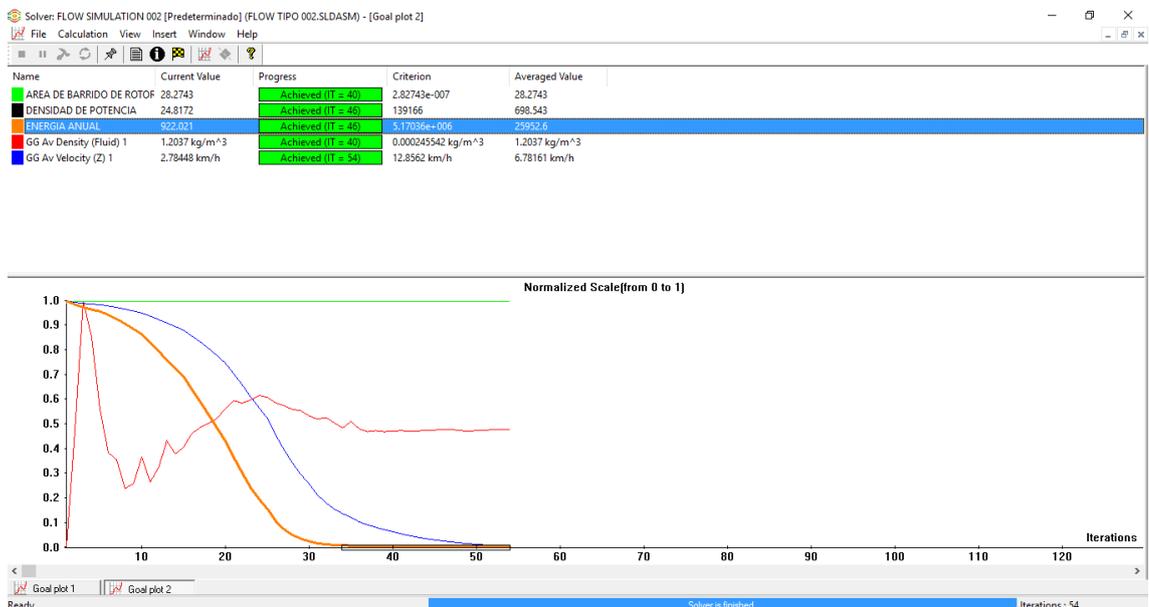
Se edita la definición “Boundary Condition”, se edita las condiciones de contorno, dando un valor de presión ambiental en todas las caras internas del cubo de rango.



Se edita la definición “Global Goals” para seleccionar objetivos globales en este caso la velocidad en el eje Z y la densidad del aire.

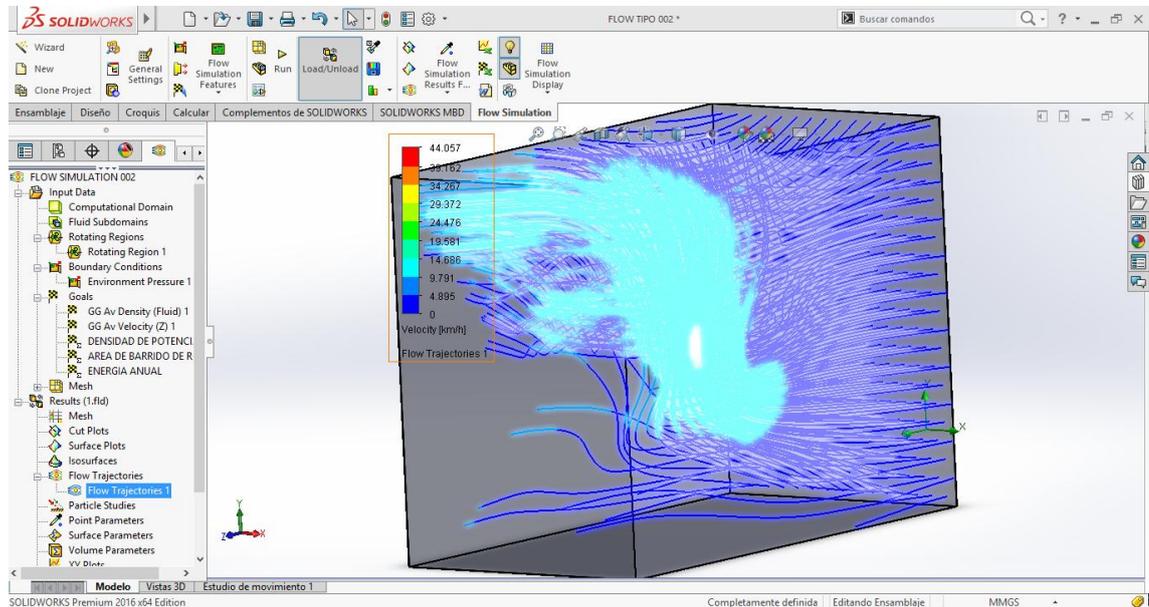
Se edita la definición “global goals” para crear ecuaciones que calcularan la Densidad de Potencia, el Área de barrido del rotor y la Energía Anual Producida en Kw/año.

Y le damos a “Run” para que realice los cálculos:



**Interpretación:** Donde se obtiene que la Energía Anual Producida es de 922kW/año. Lo que nos da 76 kW/mes. Este modelo serviría para 10 familias aproximadamente, sabiendo que su consumo mensual es el de 7kW/mes.

## Flow Simulation



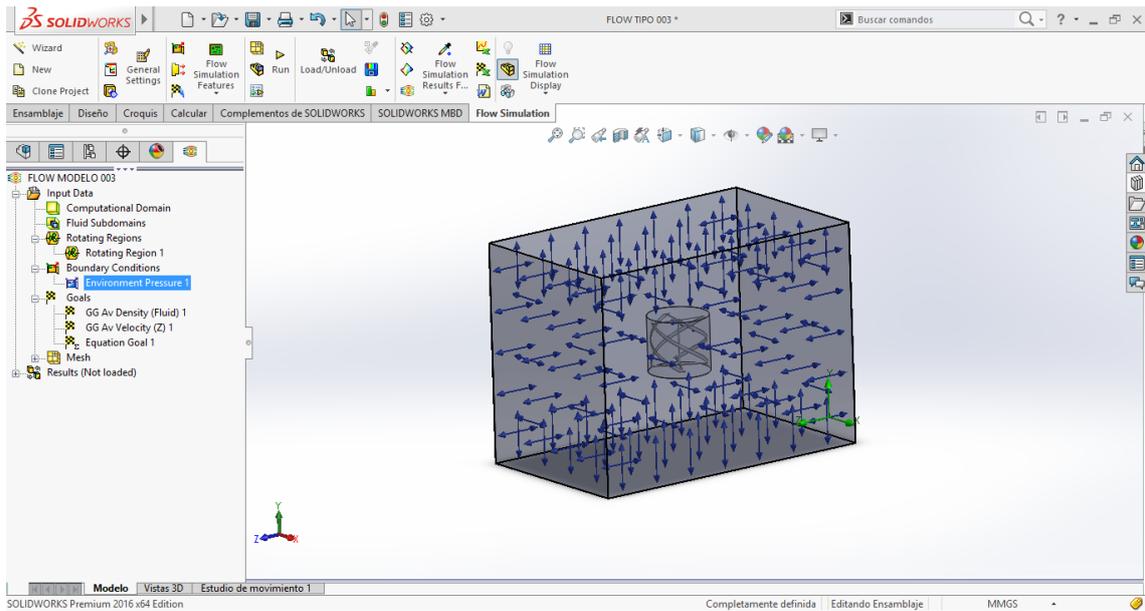
## SIMULACION DE FLUJO PARA EL PROTOTIPO N°3

Primero se crea un rango giratorio y un rango general para hacer el Flow Simulation.

Se crea un nuevo proyecto aplicando condiciones específicas, seleccionando wizard (lo mismo que en el tipo 1)

Se edita la definición "Rotating Region", se selecciona el rotor giratorio y se da un valor de 40 RPM.

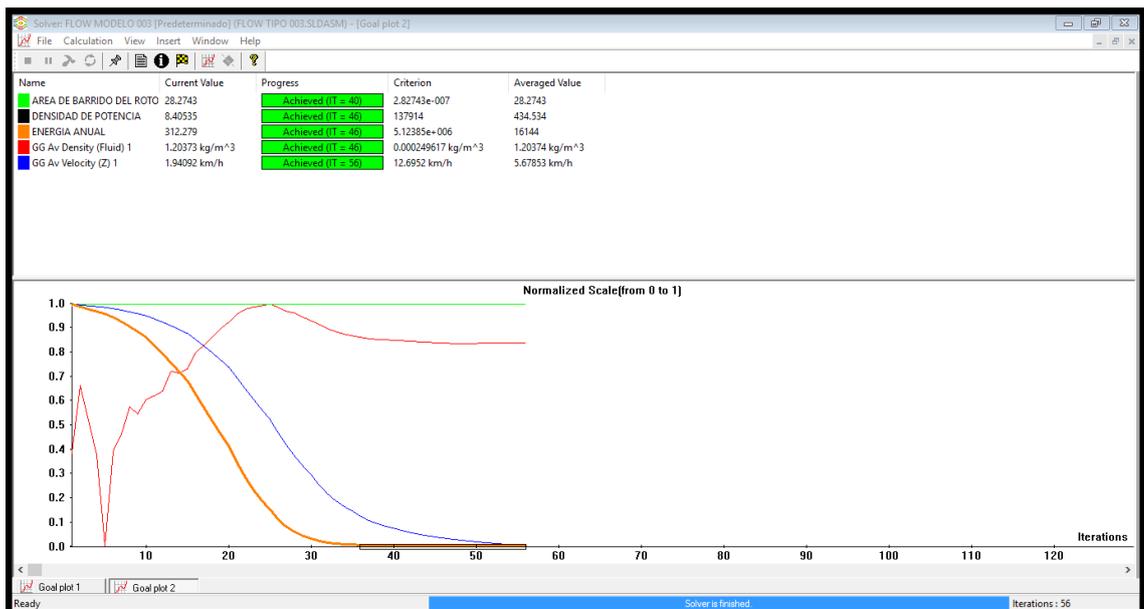
Se edita la definición "Boundary Condition", se edita las condiciones de contorno, dando un valor de presión ambiental en todas las caras internas del cubo de rango.



Se edita la definición “Global Goals” para seleccionar objetivos globales en este caso la velocidad en el eje Z y la densidad del aire.

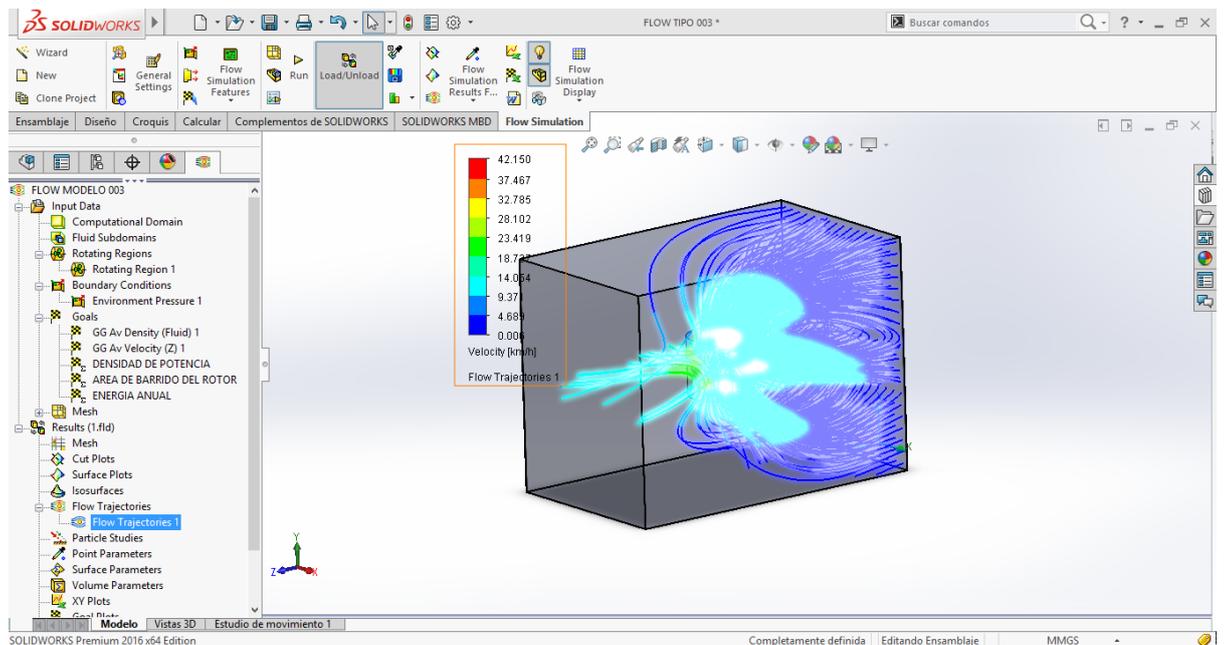
Se edita la definición “global goals” para crear ecuaciones que calcularan la Densidad de Potencia, el Área de barrido del rotor y la Energía Anual Producida en Kw/año.

Y le damos a “Run” para que realice los cálculos:



**Interpretación:** Donde se obtiene que la Energía Anual Producida es de 312kW/año. Lo que nos da 26 kW/mes. Este modelo serviría para 3 familias aproximadamente, sabiendo que su consumo mensual es el de 7kW/mes.

## Flow Simulation

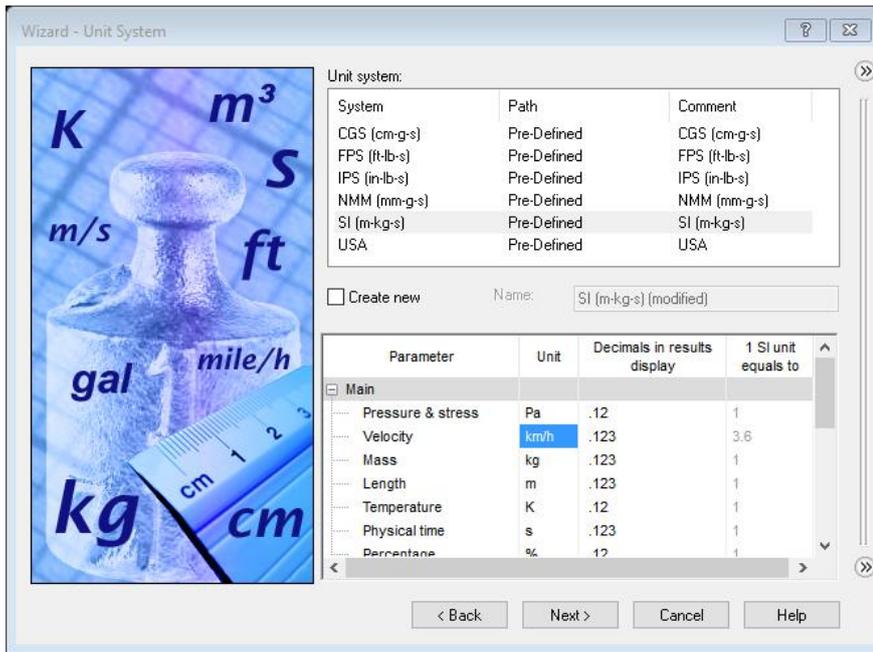


## SIMULACION DE FLUJO PARA EL PROTOTIPO N°4

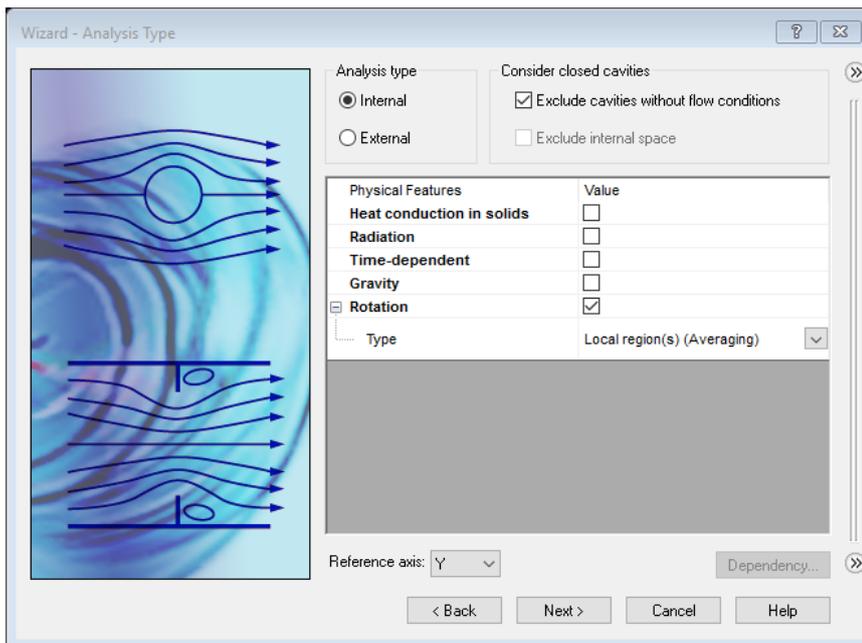
Primero se crea un rango giratorio y un rango general para hacer el Flow Simulation.

Se crea un nuevo proyecto aplicando condiciones específicas, seleccionando wizard.

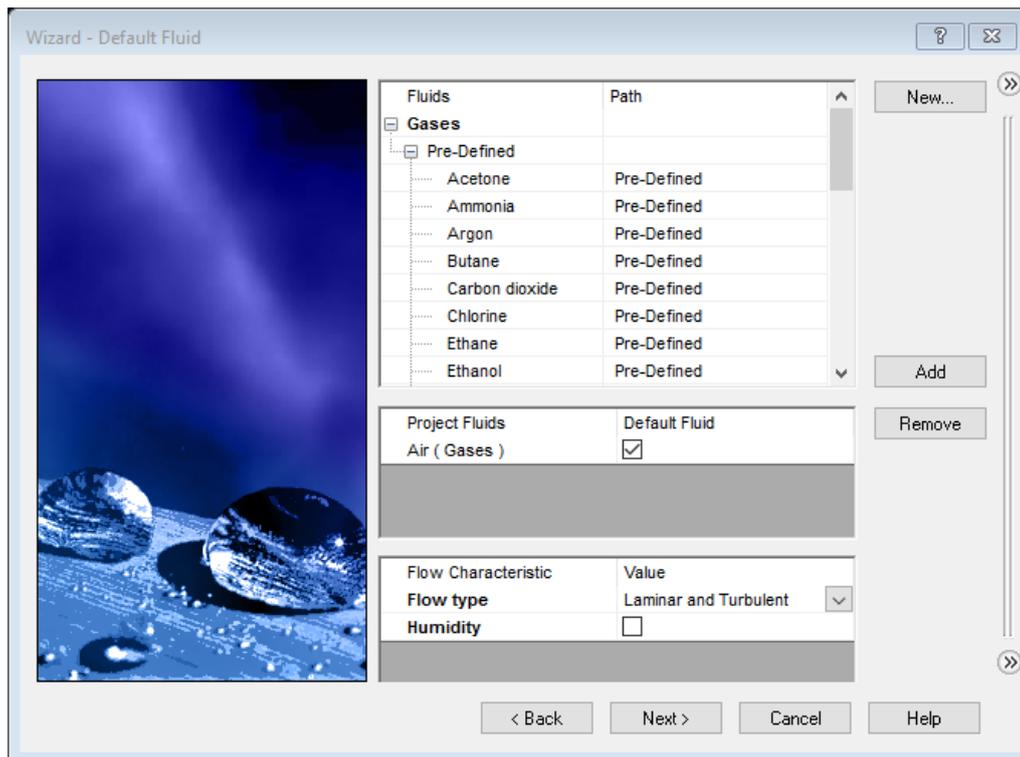
Se selecciona en SI (m-kg-seg) en “Unit system” y modificamos en “Parameter” las unidades de velocidad angular a RPM y la velocidad a km/h.



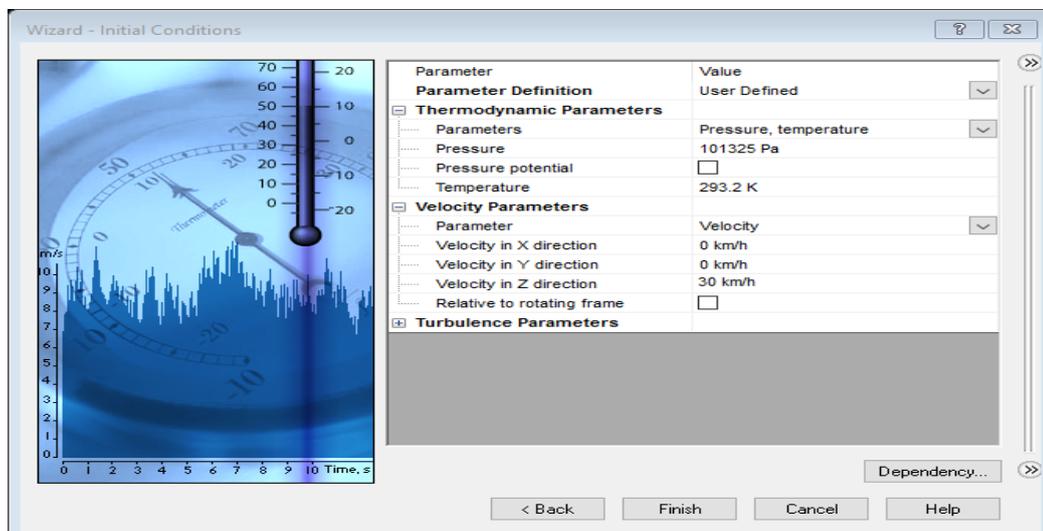
Se selecciona el eje de rotación en Y



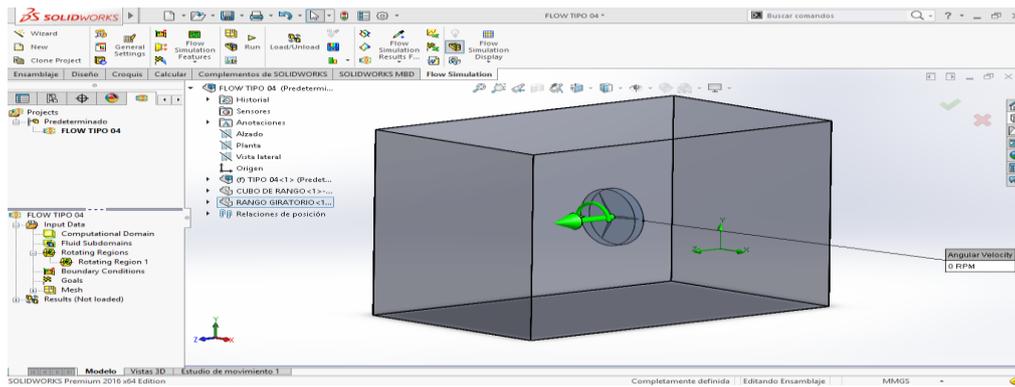
En "Fluids" se selecciona en gases: AIRE.



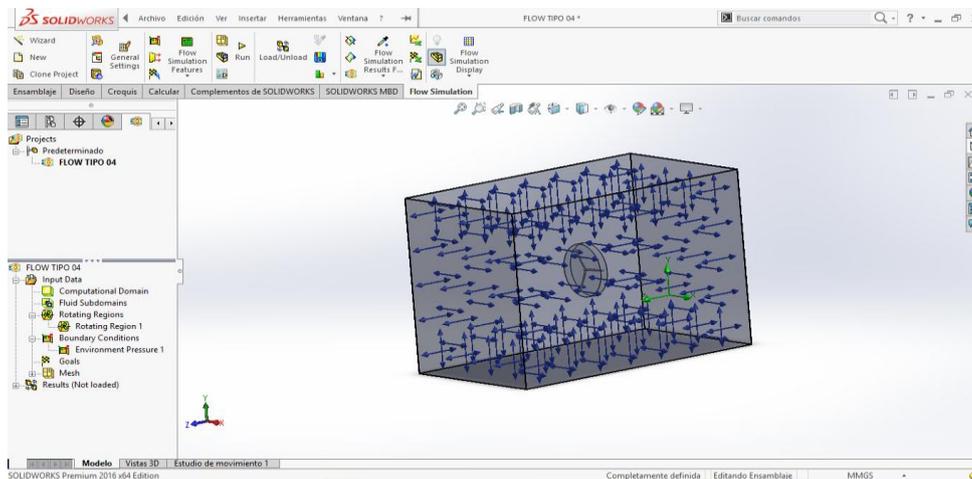
Se edita las condiciones para nuestro generador en “Velocity in Z direction” se colocan los 30Km/h y por último se da click Finish



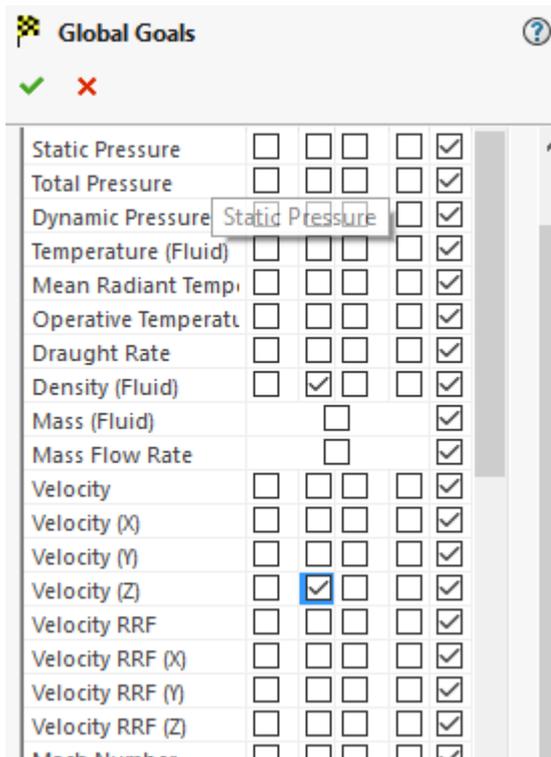
Se edita la definición “Rotating Region”, se selecciona el rotor giratorio y se da un valor de 40 RPM.



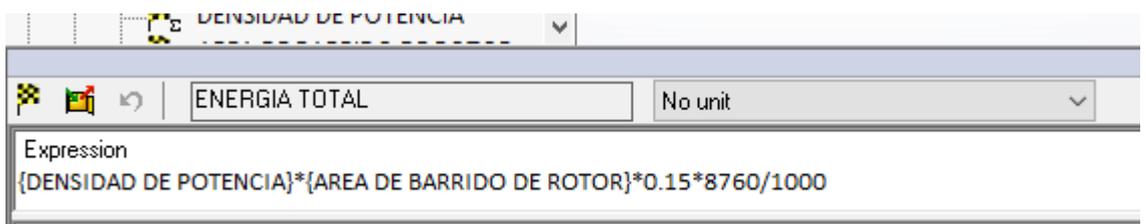
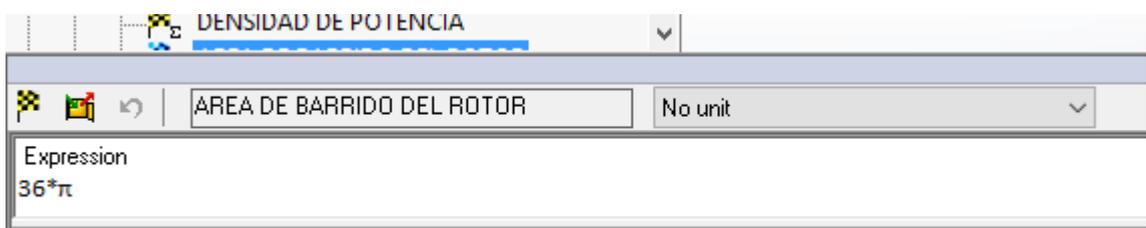
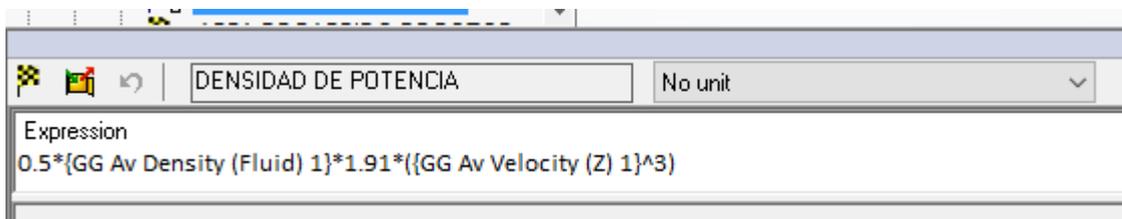
Se edita la definición “Boundary Condition”, se edita las condiciones de contorno, dando un valor de presión ambiental en todas las caras internas del cubo de rango.



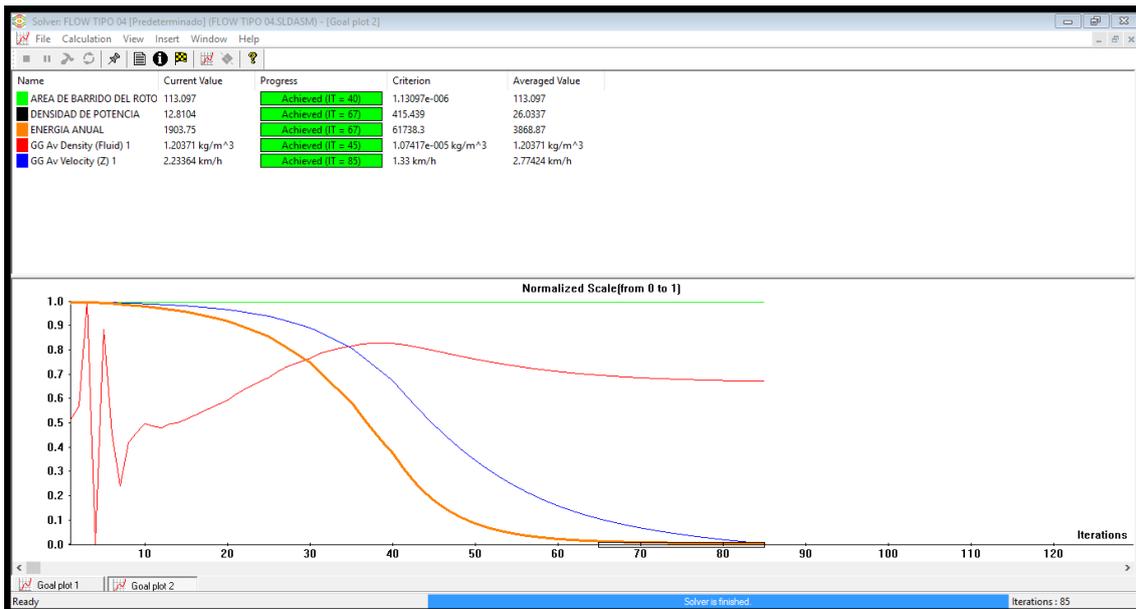
Se edita la definición “Global Goals” para seleccionar objetivos globales en este caso la velocidad en el eje Z y la densidad del aire.



Se edita la definición “global goals” para crear ecuaciones que calcularan la Densidad de Potencia, el Área de barrido del rotor y la Energía Anual Producida en Kw/año.

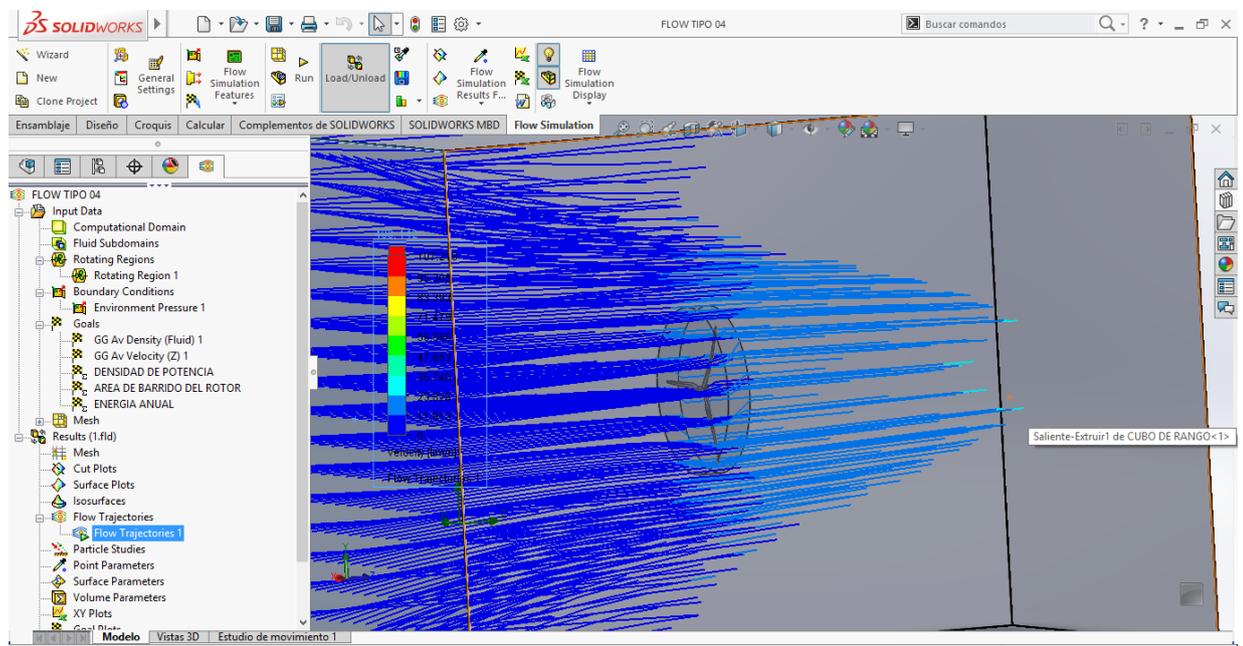


Y le damos a “Run” para que realice los cálculos:



Interpretación: Donde se obtiene que la Energía Anual Producida es de 1903kW/año. Lo que nos da 158 kW/mes. Este modelo serviría para 22 familias aproximadamente, sabiendo que su consumo mensual es el de 7kW/mes por familia.

## Flow Simulation



**aluminio 1345**, resiste el tipo de corrosión progresiva, la superficie expuesta del aluminio se combina con el oxígeno de aire para formar una película de

óxido de aluminio que bloquea la oxidación adicional, es un aluminio que contiene 99.00% pureza tiene muchas aplicaciones, especialmente en los campos eléctricos y químicos. Estos grados de aluminio se caracterizan por una excelente resistencia a la corrosión, alta conductividad térmica y eléctrica, bajas propiedades mecánicas, y excelente trabajabilidad.

Cálculo de la eficiencia para cada prototipo de aerogeneradores

Para el análisis estático los 4 prototipos respondieron de manera óptima, ya que la deformación producida por acción de la fuerza del viento no es significativa.

Para la optimización se obtuvieron los siguientes datos:

**Cuadro 3.1.**

Prototipos	Masa actual(g)	Masa óptima(g)	Disminución de masa(g)	% Disminución de masa	Tensión x10 <sup>5</sup> (N/m <sup>2</sup> )
Tipo 1	957569	728116	229453	23.96	1.74
Tipo 2	525780	377412	148368	28.22	3.66
Tipo 3	750614	433971	316643	42.18	6.34
Tipo 4	264214	259815	4399	1.66	0.71

Fuente: Elaboración propia

Eficiencia de cada prototipo de aerogeneradores.

Para la optimización de los cuatro prototipos el mejor resultado es para el PROTOTIPO N° 3 con una disminución de masa de 42% y una resistencia a la tensión de 6.34x10<sup>5</sup>. El PROTOTIPO 4 es el más ligero.

### **Análisis de movimiento (Motion)**

Con los resultados obtenidos (gráficas) se puede comprobar que hay un buen funcionamiento de los aerogeneradores a lo largo del tiempo.

Se usa en el contexto de las teorías de fallo como indicador de un buen diseño, donde el límite elástico es de 2.75x10<sup>7</sup> N/m<sup>2</sup>, los 4 prototipos superan el valor de Von Mises, lo que nos dice que no sufrirá deformación y soportará las fuerzas ejercidas sobre el eje de rotación.

**Cuadro 3.2.**

Fuente: Elaboración propia

Prototipos	EAP (kW)	Energía mensual producida (kW)	N° de familias
Tipo 1	604	50	7
Tipo 2	922	76	10
Tipo 3	312	26	3
Tipo 4	1903	158	22

Datos de Energía Anual Promedio para cada aerogenerador

El mejor dato que se obtuvo fue para el PROTOTIPO 4 con un EAP de 1903 kW abasteciendo con energía eléctrica a 22 familias aproximadamente.

#### **ANEXO 6 DETERMINACIÓN DEL ANÁLISIS ECONÓMICO QUE PERMITA IDENTIFICAR LA VIABILIDAD DEL PROYECTO EN TÉRMINOS DE VAN, TIR Y B/C**

A continuación, se presenta el presupuesto estimativo del costo de fabricación del aerogenerador.

### Cuadro A.4.1

N°	Designación	Unidad	Cantidad	Precio (\$)	
				Unitario	Total
1	Torre soportante cónica de 8 m de altura	unidad	1	2000	2000.00
2	Palas del rotor de 6 m hechas de aleación de aluminio	unidad	3	40	1200.00
3	Buge o centro del rotor de hierro fundido	unidad	1	220	220.00
4	Cojinete	unidad	1	50	100.00
5	Buje central	unidad	1	100	200.00
6	Bastidor o chasis de acero	m2	4	50	200.00
7	Caja multiplicadora	unidad	1	300	300.00
8	Generador eléctrico	unidad	1	1500	1500.00
9	Sistema de orientación	unidad	1	300	300.00
10	Sistema de variación del paso de las palas	unidad	1	200	200.00
11	Convertidor de potencia	unidad	1	1200	1200.00
12	Transformador	unidad	1	1300	1300.00
13	Sistema de frenado	unidad	1	500	500.00
14	Góndola	unidad	1	300	300.00
<b>TOTAL DEL COSTO DIRECTO (\$)</b>					<b>8, 290.00</b>
<b>GASTOS GENERALES, IMPREVISTOS (25%)</b>					<b>2, 072.50</b>
<b>TOTAL SIN IGV</b>					<b>10, 362.50</b>
<b>IGV (18%)</b>					<b>1, 865.25</b>
<b>TOTAL</b>					<b>12, 227.75 USD</b>

Presupuesto detallado del costo de fabricación de un aerogenerador para optimizar la generación de energía eléctrica en la provincia de Cajamarca

Con los datos obtenidos se procedió a determinar el VAN, TIR y B/C del proyecto, para ello, como se puede apreciar el costo para la implementación del aerogenerador asciende a \$/. 12,227.75. Con todos estos datos se realizará el respectivo flujo de Caja Proyecto a cinco años, que mostrará las Inversiones posteriores a la inicial para el desarrollo del diseño del aerogenerador; todo esto nos permitirá hallar los indicadores económicos como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) que nos ayudarán a visualizar si la inversión, en la implementación de la máquina, es aceptable.

**Cuadro A.4.2.**

FLUJO DE EFECTIVO						
CONCEPTOS/AN O	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
(=) INGRESOS POR AHORRO DE ENERGÍA		13200.00	13200.00	13200.00	13200.00	13200.00
MANTENIMIENTO DE EQUIPO		1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00
(=) COSTO DE MANO DE OBRA Y MANTENIMIENTO		1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00
IMPLEMENTACIO N DE LA MAQUINA	12227.75					
(=) SALDO FINAL	-12227.75	12000.00	12000.00	12000.00	12000.00	12000.00
TASA DE ACTUALIZACION 10% (t) =						
ANALISIS DE RENTABILIDAD (VAN, TIR, B/C)						
AÑO	INGRESOS	COSTOS	FLUJO DE EFECTIVO	TASA (1+t) <sup>-n</sup>	INGRESOS ACTUALIZA DOS	EGRESOS ACTUALIZADOS
0	0.00	12227.75	-12227.75	1.00	0.00	12227.75
1	13200.00	1200.00	12000.00	0.91	12000.00	1090.91
2	13200.00	1200.00	12000.00	0.83	10909.09	991.74
3	13200.00	1200.00	12000.00	0.75	9917.36	901.58
4	13200.00	1200.00	12000.00	0.68	9015.78	819.62
5	13200.00	1200.00	12000.00	0.62	8196.16	745.11
TOTAL	66000.00	18227.75	47772.25		50038.39	16776.69

Flujo de efectivo

Se llenó de la siguiente manera:

Ingresos = Ingresos totales

Costos = costos totales + implementación del sistema de aerogeneradores

Flujo de efectivo = Ingresos – costos

Tasa =  $(1+t)^{-n}$ , donde  $t=10\%$ ,  $n = \#$  de años

Ingreso actualizado = Ingreso \* tasa

Egreso actualizado = Ingreso \* tasa

VAN = Total de ingresos actualizados – Total de egresos actualizados

TIR = [formula Excel: = TIR (Flujo de efectivo celda por celda)]

B/C = Ingreso actualizado / Egreso actualizado.

**Cuadro A.4.3**

<b>Periodo de Recuperación Económica</b>				
Periodo	Año	Flujo	VAN	VAN Acumulado
0	Año 0	-12227.75	-12227.75	-12227.75
1	Año 1	12000.00	10909.09	-1318.66
2	Año 2	12000.00	9917.36	8598.70
3	Año 3	12000.00	9015.78	17614.47
4	Año 4	12000.00	8196.16	25810.64
5	Año 5	12000.00	7451.06	33261.69
VAN			33261.69	-

Fuente: Elaboración propia

Periodo de recuperación de la inversión

**Cuadro A.4.4**

Fuente: Elaboración propia	PERIODO DE RECUPERACIÓN		
	AÑO	MES	DIAS
	1	0.15	25
	1	1	25

Periodo de recuperación de la inversión

Donde el periodo se obtiene de la siguiente forma:

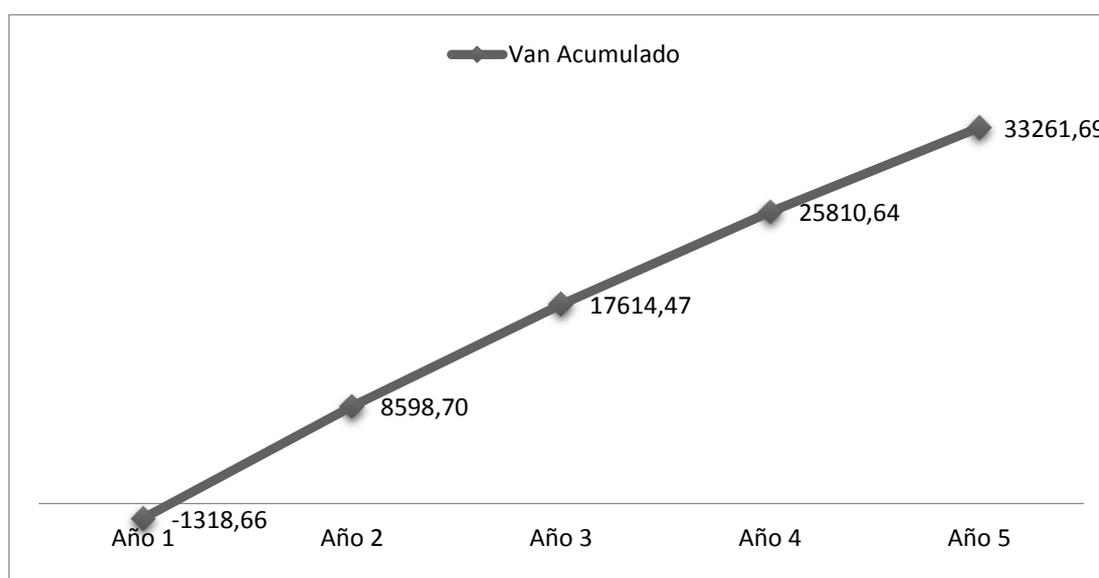
Número de años es 1

Número de meses es  $1318.66/8598.70 = 0.15$  años, este valor se multiplica \* 12, obteniéndose 1.8 entonces solo se considera la parte entera, obteniéndose finalmente 1 meses.

Número de días, se obtiene de la parte decimal de los meses (0.8) multiplicado por 30, quedando finalmente 25 días

Entonces PRI = 1 año, 1 mes, 25 días.

**Figura A.4.4.**



Fuente: Elaboración propia

Periodo de Recuperación de la inversión (PRI)

**Cuadro A.4.5.**

Fuente: Elaboración propia	VAN	S/. 33,261.69	SE ACEPTA
	TIR	10.5%	SE ACEPTA
	B/C	1.982	SE ACEPTA

Análisis de VAN, TIR y B/C

**Criterios:**

Si  $VAN \geq 0$  : se acepta la propuesta, de lo contrario se rechaza

Si  $TIR \geq 10\%$ : se acepta la propuesta, de lo contrario se rechaza

Si  $B/C > 1$  : se acepta la propuesta, de lo contrario se rechaza

**Determinación del análisis técnico – económico que permita identificar la viabilidad del proyecto en términos de VAN, TIR y B/C**

**Decisión:**

Como  $VAN = 33\,261.69 \geq 0$ : se acepta la propuesta; así mismo, el proyecto es rentable, pues no solo estamos satisfaciendo la tasa esperada, sino que también estamos obteniendo un beneficio o ganancia extra. De otra forma se puede decir que el proyecto es rentable.

Como  $TIR = 10.5\% > t = 10\%$ : se acepta la propuesta. Este valor nos indica la tasa de interés máxima a la que se puede comprometer la empresa para un préstamo sin que incurra en futuros fracasos financieros.

Como el  $B/C = 1.98 > 1$ : se acepta la propuesta. En este sentido muestra la cantidad de dinero actualizado que recibirá el proyecto por cada unidad monetaria invertida. El proyecto, también se puede decir que es rentable.

Todos estos datos también son corroborados por los investigadores Luciano y Pajuelo.

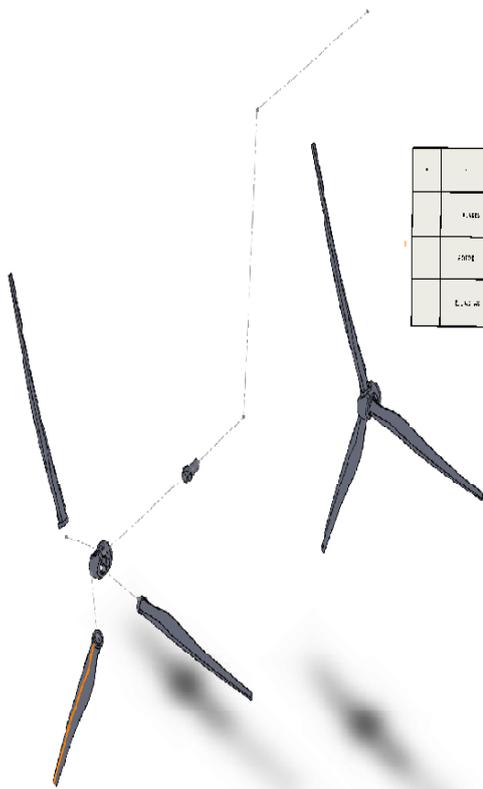
**Cuadro 4.5.2**

N°	Designación	Unidad	Cantidad	Precio (S/)	
				Unitario	Total
1	Torre soportante cónica de 8 m de altura por 2m x 1m de diámetro	unidad	1	4480.00	4480.00
2	Palas del rotor de 3 m hechas de aluminio 1345	unidad	3	890	2670.00
3	Buge o centro del rotor de hierro fundido	unidad	1	620	620.00
4	Cojinete	unidad	2	50	100.00
5	Buje central	unidad	1	324	324.00
6	Bastidor o chasis de acero	m <sup>2</sup>	4	120	480.00
7	Caja multiplicadora	unidad	1	930	930.00
8	Generador eléctrico aeolos-H de 5 kW Generador Trifásico Magnético Permanente	unidad	1	4890	4890.00
9	Sistema de orientación	unidad	1	800	800.00
10	Sistema de variación del paso de las palas	unidad	1	640	640.00
11	Convertidor de potencia	unidad	1	2670	2670.00
12	Transformador de 5kva	unidad	1	4200	4200.00
13	Sistema de frenado	unidad	1	1500	1500.00
14	Góndola	unidad	1	1830	1830.00
<b>TOTAL, DEL COSTO DIRECTO (\$)</b>					<b>25,108.68</b>
<b>GASTOS GENERALES, IMPREVISTOS (25%)</b>					<b>2, 072.50</b>
<b>TOTAL, SIN IGV</b>					<b>25,108.68</b>
<b>IGV (18%)</b>					<b>6,080.715</b>
<b>TOTAL, EN S/</b>					<b>33,261.00</b>

Fuente: Elaboración propia

Cotización para determinar el precio de construcción de un aerogenerador.

# Lista de despiece del aerogenerador



Ref.	Descripción	Cantidad
1.100	Asa de despiece del rotor	1
1.101	Asa de despiece del rotor	1
1.102	Asa de despiece del rotor	1

