

# APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA EÓLICA TRANSFORMADA A ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SAVONIUS EN EL AUTOMÓVIL

## THE USE OF WIND ENERGY TRANSFORMED TO ELECTRICAL ENERGY THROUGH THE IMPLEMENTATION OF A SAVONIUS IN THE AUTOMOBILE

Fabicio Chauca Pozo <sup>1</sup>

### Resumen

La pérdida de potencia del motor para la generación de energía eléctrica en el automóvil es la principal limitación que tienen fabricantes de vehículos para la instalación de nuevos accesorios eléctricos. Se pierde hasta 8 HP de potencia del motor de combustión interna para abastecer a todos los consumidores eléctricos del automóvil. En el presente trabajo se implementó un aerogenerador tipo Savonius en el automóvil para transformar la energía eólica en energía eléctrica y mejorar la eficiencia energética del vehículo. Se aprovecha 1932.52 W de potencia del viento para transformarlos en 79 W de potencia eléctrica, cuando el viento alcanza velocidades de 45 m/s. La corriente alterna que proviene del generador eléctrico es rectificadora y transformada mediante un controlador eólico

de carga, que permite cargar las baterías con un voltaje nominal de 24 V. Para el monitoreo y medición de la energía generada por el Savonius se utiliza el software Network Monitor and Control Center que permite medir valores del Savonius y de las baterías como: voltaje, intensidad de corriente, potencia eléctrica y energía generada. La energía eléctrica generada por el Savonius es utilizada en el funcionamiento de neblineros LED en el automóvil.

**Palabras Clave:** energía eólica, energía eléctrica, Savonius.

### Abstract

The loss of engine power for the generation of electric power in the car is the main limitation that vehicle manufacturers have for the installation of new electrical

<sup>1</sup> Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, Universidad Técnica del Norte – Ibarra  
jfchaucap@utn.edu.ec

accessories. Up to 8 HP of internal combustion engine power is lost to supply all electric consumers of the car. In the present work, a Savonius type wind turbine was implemented in the automobile to transform wind energy into electrical energy and improve the energy efficiency of the vehicle. It takes advantage of 1932.52 W of wind power to transform it into 79 W of electrical power, when the wind reaches speeds of 45 m / s. The alternating current coming from the electric generator is rectified and transformed by a wind power controller, which allows charging the batteries with a nominal voltage of 24 V. For the monitoring and measurement of the energy generated by the Savonius, the Network Monitor software is used and Control Center that allows to measure values of the Savonius and the batteries as: voltage, current intensity, electrical power and energy generated. The electric power generated by the Savonius is used in the operation of LED fog lights in the automobile.

**Keywords:** wind energy, electrical energy, Savonius.

## 1. Introducción

El objetivo general del proyecto es implementar un aerogenerador tipo Savonius en el automóvil para transformar la energía eólica en energía eléctrica, creando una alternativa amigable con el medio ambiente para la generación de electricidad, además de aumentar la eficiencia energética del vehículo.

El proyecto se clasifica en 4 procesos los cuales son: Primero la selección y

adquisición del aerogenerador Savonius idóneo para la implementación en el automóvil. Segundo el diseño de la parrilla del vehículo y la estructura del Savonius utilizando el software Solidworks para determinar el material con las mejores características que resista las fuerzas del viento y el peso. Tercero la medición del voltaje, intensidad y potencia eléctrica generada por el Savonius mediante el software Network Monitor and Control Center. Cuarto la utilización de la energía eléctrica en neblineros LED con el objetivo de determinar la eficiencia energética de las baterías.

Además de se indica los resultados de las pruebas realizadas a distintas velocidades del automóvil empezando desde los 40 km/h hasta alcanzar los 100 km/h, en donde el voltaje, la intensidad eléctrica, la potencia eléctrica y la energía generada por el Savonius son funciones crecientes y proporcionales a la velocidad del vehículo.

## 2. Potencia eólica captada

La relación de velocidad tangencial o TSR, se utiliza para sustituir las revoluciones por minuto (r.p.m) de las turbinas eólicas, ya que es una forma más fácil de determinar la eficiencia de los aerogeneradores.

Los valores altos de  $C_p$  en aerogeneradores rápidos representan el valor máximo de rendimiento aerodinámico. Los valores altos de TSR son los que determinan las características de una elevada velocidad de giro. Para la generación eléctrica se busca un balance entre los dos valores, pero en lo que más se debe fijar es en la velocidad de giro [1].

En la figura 1 se observa que el coeficiente de potencia para captar viento ( $C_p$ ) en rotores Savonius es de 18%, es decir que son máquinas de baja potencia, pero su arranque es a bajas velocidades tangenciales o TSR, el límite de Betz dice que una máquina no puede aprovechar más del 59% de potencia del viento [1].

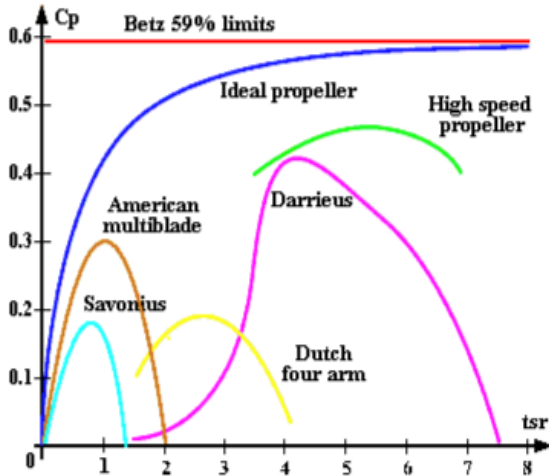


Figura 1. Diagrama de coeficiente de potencia vs TSR [2].

Según Muñoz Gonzalo Anzaldo la potencia captada por el Savonius se calcula con la siguiente ecuación:

$$P_c = C_p \cdot P_d = C_p \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \quad (1)$$

Donde:

$P_c$ : potencia captada (W).

$C_p$ : coeficiente de potencia de la hélice para captar viento.

$P_d$ : potencia disponible (W).

$\rho$ : densidad del aire ( $\text{kg/m}^3$ ).

$A$ : área de la sección por donde atraviesa el viento ( $\text{m}^2$ ).

$V$ : velocidad del viento sin perturbar ( $\text{m/s}$ ).

Remplazando los datos en la ecuación 1, se obtiene la potencia captada del Savonius a 2000 metros de altura sobre el nivel del

mar. Tomando el coeficiente de captación del Savonius de 0.18 de la figura 1, la densidad del aire de  $1.007 \text{ Kg/m}^3$  a 2000 metros sobre el nivel del mar, el área de barrido de aerogenerador Savonius de  $0.234 \text{ m}^2$  y la velocidad del viento medida con un anemómetro en función de la velocidad del automóvil.

Tabla 1: Potencia eólica captada por el savonius

Velocidad del viento (m/s)	Potencia captada (W)
22	225.81
29	517.22
33	762.13
35	909.26
38	1163.69
42	1571.21
45	1932.52

### 3. Velocidad angular del Savonius

Con un anemómetro digital se obtuvo las velocidades del viento en función de la velocidad del automóvil partiendo desde los 40 km/h hasta los 100km/h. Para la obtención de la velocidad angular se tomó el TSR de 1.3 de la figura 1. El radio del rotor Savonius es de 0.18 m. Según Muñoz Gonzalo Anzaldo la velocidad angular del Savonius se calcula con la siguiente ecuación [2]:

$$W = \frac{\lambda \cdot v}{R} \quad (2)$$

Donde:

$\lambda$ : es la velocidad tangencial o TSR.

$R$ : es el radio del rotor (m).

$W$ : velocidad angular (rad/s).

$V$ : es la velocidad del viento ( $\text{m/s}$ ).

Con la velocidad del viento de 22 m/s medido con el anemómetro a una velocidad

de avance del automóvil de 40 km/h, se obtiene una velocidad angular de 167.98 rad/s que es la mínima para accionar el Savonius; con una velocidad del viento máxima de 45 m/s se obtiene una velocidad angular de 343.61 rad/s.

Tabla 2: Velocidad del viento vs velocidad angular

Velocidad del viento (m/s)	Velocidad angular (rad/s)
22	167.98
29	221.43
33	251.98
35	267.25
38	290.16
42	320.70
45	343.61

#### 4. Revoluciones por minuto del rotor Savonius

Las r.p.m del Savonius se obtienen a partir de la velocidad angular en (rad/s) y la velocidad del viento (V) en m/s. La ecuación que permite determinar las revoluciones por minuto del aerogenerador tipo Savonius es la siguiente [2].

$$n = \frac{W \cdot V}{2 \cdot \pi} \quad (3)$$

Donde:

*W*: la velocidad angular (rad/s).

*n*: revoluciones por minuto (r.p.m).

*V*: velocidad del viento (m/s).

En la tabla 3 se muestra los valores medidos con el anemómetro a determinadas velocidades del automóvil, partiendo desde 40 km/h con una velocidad del viento de 22 m/s y con 588,19 r.p.m; hasta alcanzar los 100 km/h con velocidades del viento de 45 m/s y 2460,94 r.p.m.

Tabla 3: Revoluciones por minuto del rotor Savonius vs velocidad del viento

Velocidad del automóvil (km/h)	Velocidad del viento (m/s)	r.p.m del Savonius
40	22	588.19
50	29	1022.05
60	33	1323.43
70	35	1488.71
80	38	1754.86
90	42	2143.75
100	45	2460.94

### 5. Fuerzas generadas por el viento

#### 5.1. Presión del viento

La presión del viento o también llamada presión eólica es la presión que ejerce el viento sobre una superficie [3]. Para realizar el cálculo de la presión del viento sobre un objeto es necesario conocer la densidad del aire, la velocidad del viento y el coeficiente de resistencia aerodinámica. Según Mayorga Galo la ecuación que permite conocer la presión del viento es la siguiente [3]:

$$P = \frac{c_x \cdot \rho \cdot V^2}{2} \quad (4)$$

Donde:

*P*: presión del viento (N/m<sup>2</sup>).

*C<sub>x</sub>*: coeficiente de resistencia aerodinámica.

*ρ*: densidad del aire (kg/m<sup>3</sup>).

*V*: es la velocidad del viento (m/s).

#### 5.2. Fuerzas generadas por el viento

Al igual que el aire ejerce una poderosa resistencia al avance de los cuerpos, también el viento ejerce una presión extraordinaria sobre los objetos que se encuentran a su paso. En ambos casos la

fuerza aumenta con el cuadrado de la velocidad del viento o del objeto [3].

Según Mayorga Galo el cálculo de la fuerza del viento sobre los objetos reduce o incrementa el valor y se obtiene con la siguiente ecuación:

$$F = P \cdot A \quad (5)$$

Donde:

*F*: fuerza del viento o resistencia al avance (N)

*P*: presión del viento (N/m<sup>2</sup>)

*A*: proyección del área de ataque (m<sup>2</sup>)

### 5.1. Presión en el área convexa

Remplazando los valores en la ecuación 4 se tiene la presión que genera el viento en el área convexa del Savonius.

Datos:

*C<sub>x</sub>* = 0.12 obtenido de (Rojas, s/f).

*ρ* = 1.007 kg/m<sup>3</sup>

*V* = 45.7 m/s

$$P = \frac{(0.12) \cdot (1.007 \text{ kg/m}^3) \cdot (45.7 \text{ m/s})^2}{2}$$

$$P = 126.18 \text{ N/m}^2$$

### 5.2. Fuerza producida por el viento en el área convexa del Savonius

Remplazando los datos en la ecuación 5 se obtiene la fuerza generada por el viento en el álabe de forma convexa, tomando la presión del viento de 126.18 N/m<sup>2</sup>, calculado anteriormente y el área de contacto del álabe de 0.1007 m<sup>2</sup>.

$$F = (126.18 \text{ N/m}^2) \cdot (0.1007 \text{ m}^2)$$

$$F = 12.70 \text{ N}$$

La fuerza del viento que actúa en el álabe es de 12.70 N. Como el Savonius está formado de 4 álabes dos de forma convexa y dos de

forma cóncava, se multiplica por dos la fuerza. Obteniendo una fuerza total en los álabes convexos de 25.40 N.

### 5.3. Presión en el área cóncava

Remplazando los valores en la ecuación 4 se tiene la presión que genera el viento en el área cóncava del Savonius.

Datos:

*C<sub>x</sub>* = 0.25

*ρ* = 1.007 kg/m<sup>3</sup>

*V* = 45.7 m/s

$$P = \frac{(0.25) \cdot (1.007 \text{ kg/m}^3) \cdot (45.7 \text{ m/s})^2}{2}$$

$$P = 262.88 \text{ N/m}^2$$

### 5.4. Fuerza producida por el viento en el área cóncava del Savonius

Remplazando los datos en la ecuación 5 se obtiene la fuerza generada por el viento en el álabe de forma cóncava, tomando la presión del viento de 262.88 N/m<sup>2</sup>, calculado anteriormente y el área de contacto del álabe de 0.1007 m<sup>2</sup>.

$$F = (262.88 \text{ N/m}^2) \cdot (0.1007 \text{ m}^2)$$

$$F = 26.47 \text{ N}$$

Debido al que el rotor Savonius está formado de 2 álabes con forma cóncava, se multiplica por 2 la fuerza de 26.47 N. Obteniendo una fuerza total de 52.94 N.

## 6. Fuerzas en la parrilla del automóvil

### 6.1. Presión producida por el viento en la parrilla del automóvil

Para el cálculo de la presión generada por el viento en los elementos estructurales de forma cilíndrica se utiliza la ecuación 4,

donde se toma los valores de la densidad del aire a una altura de 2000 metros sobre el nivel del mar, la velocidad aparente máxima del viento y el coeficiente aerodinámico para superficies cilíndricas.

Datos:

$$C_x = 0.9$$

$$\rho = 1.007 \text{ kg/m}^3$$

$$V = 45.7$$

$$P = \frac{(0.9) \cdot (1.007 \text{ kg/m}^3) \cdot (45.7 \text{ m/s})^2}{2}$$

$$P = 946.39 \text{ N/m}^2$$

NOTA: La presión máxima del viento a la que está expuesta la parrilla es de 946.39 N/m<sup>2</sup>, tomando la velocidad máxima del viento como referencia y el valor del coeficiente aerodinámico para superficies cilíndricas.

## 6.2. Fuerza producida por el viento en la parrilla del automóvil

Remplazando los datos en la ecuación 5 se obtiene la fuerza generada por el viento que actúa en la parrilla, tomando la presión del viento de 946.39 N/m<sup>2</sup>, calculado anteriormente y el área de contacto de la parrilla del automóvil de 0.51 m<sup>2</sup>.

$$F = (946.39 \text{ N/m}^2) \cdot (0.51 \text{ m}^2)$$

$$F = 482.65 \text{ N}$$

La fuerza generada por el viento sobre la parrilla de automóvil es de 482.65 N, que es calculada con la velocidad máxima del viento de 45,7 m/s y con la densidad del aire a 2000 m.s.n.m.

## 6.3. Presión producida por el viento en la estructura del Savonius

Para el cálculo de la presión generada por el viento en la estructura del Savonius se tomó la ecuación 4, donde se toma la densidad del aire a una altura de 2000 metros sobre el nivel del mar, la velocidad aparente máxima del viento y el coeficiente aerodinámico para superficies planas.

Datos:

$$C_x = 1.15$$

$$\rho = 1.007 \text{ kg/m}^3$$

$$V = 45.7 \text{ m/s}$$

$$P = \frac{(1.15) \cdot (1.007 \text{ kg/m}^3) \cdot (45.7 \text{ m/s})^2}{2}$$

$$P = 1209.28 \text{ N/m}^2$$

NOTA: La presión máxima a la que está expuesta la estructura del Savonius es de 1209.28 N/m<sup>2</sup>, tomando la velocidad máxima del viento de 45.7 m/s como referencia y el valor de coeficiente aerodinámico para superficies planas de 1.15.

## 6.4. Fuerza producida por el viento en la estructura del Savonius

Remplazando los datos en la ecuación 5 se obtiene la fuerza generada por el viento que actúa en la estructura, tomando la presión del viento de 1209.28 N/m<sup>2</sup>, calculado anteriormente y el área de contacto de la estructura de 0.5712 m<sup>2</sup>.

$$F = (1209.28 \text{ N/m}^2) \cdot (0.5712 \text{ m}^2)$$

$$F = 690.69 \text{ N}$$

La fuerza generada por el viento sobre la estructura de la parrilla es de 690.69 N, que es calculada con la velocidad máxima del viento de 45.7 m/s, y la densidad del aire a

2000 metros de altura sobre el nivel del mar.

## 7. Resultados

### 7.1. Voltaje generado por el Savonius

En la tabla 4, se muestran los valores obtenidos en las pruebas realizadas, donde la velocidad del automóvil es proporcional al voltaje generado por el Savonius. Partiendo desde los 40 km/h de velocidad con un voltaje de 5.1 voltios hasta alcanzar los 100 km/h con un voltaje de 20.3 V.

Tabla 4: Voltaje generado por el Savonius

Velocidad del automóvil (km/h)	Voltaje del Savonius (V)
40	5.1
50	8.3
60	10.7
70	12.4
80	16.1
90	17
100	20.3

En el automóvil el voltaje es utilizado para accionar los distintos consumidores eléctricos conectados a la batería, determina la cantidad de voltios que requiere un sistema eléctrico para poder funcionar. Se establece mediante un contacto de flujo de corriente eléctrica en donde los electrones con carga negativa son atraídos por los protones con carga positiva.

En la figura 2, se muestra los datos recopilados en la prueba, donde a 40 km/h de velocidad del automóvil se tiene un valor de voltaje de 5.1 V; y con una velocidad máxima del automóvil de 100 km/h se tiene un voltaje de 20.3 V. Formando una función creciente ya que el voltaje del

Savonius es proporcional a la velocidad del automóvil.

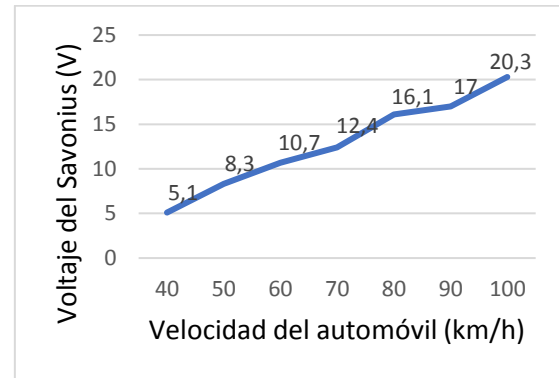


Figura 2. Voltaje generado por el Savonius

### 7.2. Amperaje generado por el Savonius

En la tabla 5, se muestra los valores de intensidad de corriente que van desde los 0 amperios hasta los 3.9 amperios en las pruebas realizadas con velocidades del automóvil desde los 40 km/h hasta los 100 km/h.

Tabla 5: Amperaje generado por el Savonius

Velocidad del automóvil (km/h)	Amperaje del Savonius (A)
40	0
50	0.2
60	0.3
70	0.7
80	1.4
90	1.7
100	3.9

En el automóvil los amperios representan el flujo de carga eléctrica que atraviesa un conductor de corriente, permiten conocer el consumo de la energía eléctrica en la batería o el ingreso de la misma en el proceso de carga. Para determinar el gasto energético se utiliza la unidad de amperios hora (Ah). En la figura 3, se muestra el amperaje en función de la velocidad del automóvil, en

donde a velocidades iguales o inferiores a 40 km/h se tiene 0 amperios y a una velocidad de 100 km/h se tiene un amperaje máximo de 3.9 A. Creando una función creciente debido a que el amperaje generado por el Savonius es proporcional a la velocidad del automóvil.

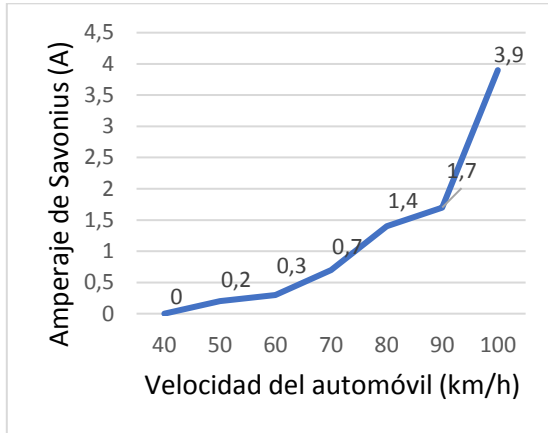


Figura 3. Amperaje generado por el Savonius

### 7.3. Potencia eléctrica generada por el Savonius

En la tabla 6, se muestra los valores de la potencia eléctrica en función de la velocidad del automóvil. A una velocidad del auto igual o inferior a los 40 km/h no se tiene potencia eléctrica por la ausencia de amperaje. Circulando en carretera y con una velocidad de 100 km/h la potencia máxima obtenida es de 79.9 W.

Tabla 6: Potencia eléctrica generada por el Savonius

Velocidad del automóvil (km/h)	Potencia eléctrica del Savonius (W)
40	0
50	1.6
60	4.2
70	9.9
80	22.5
90	28.7
100	79.9

En la figura 4, se muestra la potencia eléctrica en función de la velocidad del automóvil, formando una función creciente que parte desde 0 W a una velocidad del automóvil de 40 km/h y llega hasta los 79.9 W a una velocidad de 100 km/h.

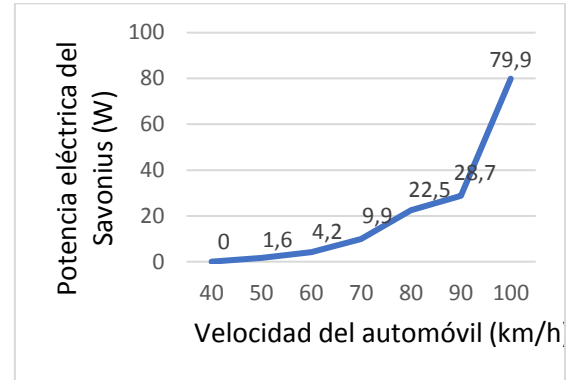


Figura 4. Potencia eléctrica generada por el Savonius

### 7.4. Capacidad en amperios- hora de las baterías Bosch NS40 FE

La potencia eléctrica de la barra LED es de 120 W con una alimentación de corriente eléctrica de 12 V. Según la Ley de Ohm la intensidad que necesita el neblinero para su funcionamiento es de 10 amperios.

$$Q = A \cdot h \quad (6)$$

Donde:

*Q*: Capacidad de la batería (Ah).

*A*: Amperios de la batería (A).

*h*: tiempo en horas (h).

Remplazando los datos en la ecuación 6 se tiene:

$$Q = 10A \cdot 1h$$

$$Q = 10Ah$$

El consumo de intensidad eléctrica de la barra LED es de 10 Ah. Las baterías automotrices utilizadas tienen una autonomía de 42 Ah, sí se divide la capacidad de las baterías para el consumo



del LED, se obtiene un tiempo de 4 h 12 min de energía, sin que haya ingreso de corriente eléctrica del Savonius hacia los acumuladores.

#### 4. Conclusiones

- El Savonius ZONHAN VZH-500 es ideal para la implementación en el automóvil, pues aprovecha 1932.52 W de potencia del viento para convertirlos en 20.3 V de tensión, 3.9 A de intensidad y 79 W de potencia eléctrica, cuando el automóvil alcanza velocidades de 100 km/h.
- El Savonius tiene una generación máxima de 3.9 Ah, cuando el viento alcanza velocidades de 45.7 m/s, por lo que el tiempo de carga en las baterías es de 10 h 42 min, cuando la energía acumulada es del 0%.
- Para prolongar la vida útil de las baterías y evitar sobrecargas, el controlador eólico del Savonius solo carga las baterías al 90%, es decir cuando el voltaje medido en las baterías llega a un máximo de 24.8 V y sin que exista ingreso de corriente eléctrica.
- La velocidad mínima del viento requerida para romper la inercia del Savonius es de 29 m/s y se logra cuando el automóvil supera los 50 km/h.
- El funcionamiento del Savonius es óptimo en carreteras, debido a que se alcanzan velocidades del viento de 45.7 m/s, que hacen girar al Savonius a 2460.94 r.p.m y generar 79,9 W de potencia eléctrica.

#### Referencias

- [1] Muñoz, G. A. (2013). Análisis aerodinámico y estructural de un aerogenerador de eje horizontal. Obtenido de [https://www.academia.edu/4472261/Trabajo\\_en\\_extenso\\_Aerogenerador\\_Savonius](https://www.academia.edu/4472261/Trabajo_en_extenso_Aerogenerador_Savonius)
- [2] Villarrubia, M. (Abril de 2012). Ingeniería de la Energía Eólica. Barcelona : Marcombo, S.A. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10538/1/CD-6238.pdf>
- [3] Mayorga, G. (2014). Fuerza del viento / presión del viento / resistencia al avance / resistencia aerodinámica. Obtenido de <http://www.fullmecanica.com/definiciones/f/1214-fuerza-del-viento-presion-del-viento>

#### BIBLIOGRAFÍA

**Chauca Pozo Jose Fabricio**, estudios secundarios Colegio Particular San Luis, obtuvo el título de Ingeniero en Mantenimiento Automotriz en la Universidad Técnica del Norte.