

# Modelado, Simulación y Desarrollo de un Sistema Eólico de Baja Potencia.

A. Linares-Enríquez<sup>1</sup>, J. Gervacio-De Jesus<sup>1</sup>.

**Resumen**—En la actualidad el uso de energías renovables es una alternativa eficiente, como apoyo a la reducción de contaminación generada por la utilización de combustibles fósiles, que nos ha traído como consecuencia el aumento de temperatura en el planeta o calentamiento global, por lo cual se propone el modelado y la simulación para generar un sistema renovable a partir de un mecanismo que transforme a energía eléctrica, aprovechando las corrientes del viento, determinando la potencia útil, con base al modelado se analiza el sistema multiplicador, la velocidad angular y el torque, convirtiendo la energía mecánica en energía eléctrica a través de un generador de imanes permanentes, un sistema electrónico de control para el monitoreo de parámetros eléctricos a entregar y la conversión de energía eléctrica, para su aprovechamiento en un inmueble, tomando como beneficio las condiciones en las que fluye el viento en intervalos de hasta 12 m/s, por ende se desarrolla la simulación para analizar un prototipo de un sistema eólico de baja potencia, considerando la parte mecánica, eléctrica y hasta el control, sin embargo se deben monitorear, controlar y analizar los parámetros, para cuando excedan los valores preestablecidos se cuente con instrumentos para su estabilización, monitoreo y control.

**Palabras claves**—Eléctrica, Energía, Eólica, Multiplicador, Renovables.

**Abstract**— The present use of renewable energy It is an efficient alternative, as support at reduction of the pollution generated for the use of fossil fuels, what has brought us as a consequence the increase in temperature on the planet or the heating global, so modeling is proposed and the simulation to generate a renewable system based on a mechanism that transforms electrical energy, taking advantage of the currents of the wind, determining the useful power, with based on modeling, the multiplier system is analyzed, angular velocity and torque, converting mechanical energy into electrical energy through a permanent magnet generator, an electronic control system for the monitoring of electrical parameters to be delivered and the conversion of electric power, for its use in a building, taking as a benefit the conditions in which the wind flows at intervals of up to 12 m / s, therefore is developed the simulation to analyze a prototype of a low power wind system, considering the mechanical part, electrical and up to control, however they must be monitored, control and analyze the parameters, for when they exceed pre-established values there are instruments for their stabilization, monitoring and control.

**Keywords**— Electric, Energy, Wind, Multiplier, Renewable.

## I. INTRODUCCIÓN

La energía eólica es hoy en día una de las tecnologías renovables más competitivas y nos brinda los mayores beneficios y posibilidades. Su empleo produce impactos en el medio ambiente y a su vez tiene poca afectación por los cambios que provoca a su entorno. Un aerogenerador convierte la energía mecánica en energía eléctrica a través de la energía cinética del sistema. Los parámetros a seleccionar dependerán de la potencia que es necesaria en el lugar de la instalación y el consumo de energía kWh.

Actualmente cerca del 82% del total de la energía eléctrica se genera por medio de combustibles fósiles, 6% se genera en plantas nucleares y el 12% restante se genera por medio de fuentes renovables como hidroeléctricas, eólicas, biomasa, fotovoltaica, geotérmica y termo solar. Para el caso de México la energía eléctrica se produce en un 93% mediante combustibles fósiles, 3% mediante fuentes nucleares y el 4% restante mediante fuentes alternativas de energía tales como la eólica.

De acuerdo al estudio sobre el potencial eólico, México cuenta con un potencial eólico superior a los 50GW. Esto de acuerdo a lo que comenta el estudio de la Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE) y otras entidades, en el plan integral de desarrollo de las energías renovables en México 2013-2018 [1].

La producción de energía eléctrica generada por el viento en un determinado sitio depende de diferentes variables como la velocidad del viento, por lo que la propuesta del sistema eólico es para bajas velocidades de viento con un valor máximo de 12 m/s, que es un viento moderado, además de las características de las aspas y el sistema mecánico para transformar a energía eléctrica, se cuenta dentro del diseño el análisis en el tren de engranajes para la relación de velocidades y las características de funcionamiento entre potencia, velocidad angular y torque. Los parámetros a seleccionar dependerán de la potencia eléctrica que es necesaria en el lugar de la instalación y el consumo de energía kWh que se establezca, por lo que es

<sup>1</sup> Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco, Departamento de Ingeniería Mecánica, Carretera Tenango-La Marquesa km 22, Santiago Tlalapa, C.P. 52650, Santiago Tianguistenco, Estado de México, México.

\* [alejandro.linares@test.edu.mx](mailto:alejandro.linares@test.edu.mx).

importante obtener el máximo rendimiento de la potencia en los sistemas eléctricos.

En el desarrollo del proyecto se realiza el análisis de los componentes del aerogenerador dentro del diseño, se realiza la simulación del comportamiento mecánico, para pasar al modelo eléctrico, con el desarrollo se obtiene el modelo del sistema a través de la simulación Lab-Volt y el equipo para la realización de pruebas del generador de imanes permanentes, donde se establecen las variables que intervienen en la transformación de parámetros, para establecer las características del sistema eólico.

Los sistemas aislados de generación de energía eléctrica a través de la eólica, se utilizan para alimentar cargas específicas como puede ser una carga para el sector residencial o comercial de ahí la importancia del desarrollo del proyecto.

## II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

El presente trabajo desarrolla el diseño y modelado de los elementos de un aerogenerador de baja potencia, está basado en la parte de innovación tecnológica en el campo de la energía eólica aprovechando los vientos moderados en la región, particularmente en el desarrollar sistemas de energía eólica para la obtención de energía eléctrica.

Estos sistemas por lo general están compuestos por el rotor, multiplicador, freno, generador, cola, torre, cableado, controladores y las baterías, como se muestra en la simulación que permite predecir el comportamiento del sistema de acuerdo a la figura 1. Donde a través del giro de los alabes la turbina convierte la energía cinética del viento en un movimiento rotatorio que acciona el generador. La energía disponible del viento es básicamente la energía cinética de las masas de aire moviéndose sobre la superficie de la tierra.

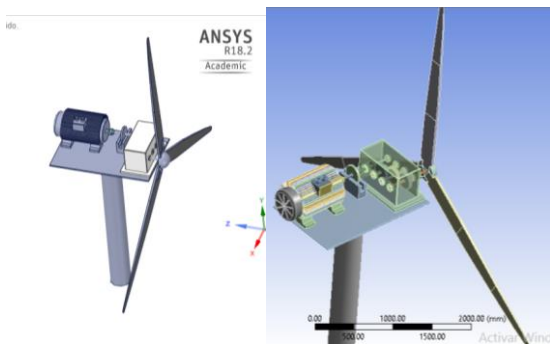


Figura 1. Componentes de un Aerogenerador. Elaboración propia.

Se analiza el diseño del sistema para transmitir la potencia requerida con la selección de cada uno de los componentes, con la finalidad de diseñar los elementos para soportar los esfuerzos y las deformaciones, donde es necesario saber las fuerzas aplicadas. Si estas se transmiten mediante engranes, considerando los requisitos de potencia y par de torsión, las

especificaciones de los engranes, el diseño de ejes, la selección de cojinetes, tren de engranes, entre otros elementos para el análisis final del sistema.

Para determinar el modelado y simulación del sistema de energía eólica de baja potencia establecemos la capacidad del sistema de tal forma que se comporte de la manera que se desea, al diseñar se debe tener la capacidad de predecir su comportamiento a partir del conocimiento de los componentes y las características de funcionamiento [2].

### Modelo y Simulación del Sistema Aerodinámico.

La energía cinética del aire moviéndose a una velocidad  $v$  está dada por la ecuación (1):

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1)$$

Considerando un rotor con un área seccional  $A$  expuesta a una ráfaga de aire, la energía cinética para una turbina será:

$$E_c = \frac{1}{2}\rho_a v^2 \quad (2)$$

La potencia disponible de aire está dada por la ecuación (2), donde una turbina no puede extraer esta potencia completamente del viento. Esta eficiencia es llamada comúnmente como coeficiente de potencia  $C_p$ , dando:

$$C_p = \frac{2P_T}{\rho_a A_T v^3} \quad (3)$$

Una turbina eólica no es capaz de extraer la potencia total que se encuentra en una masa de aire, sino que solo es capaz de extraer una fracción de está. Mediante la ley de la conservación de la masa, el flujo de la masa de aire debe ser igual en todo el tubo de flujo y el gasto másico constante, por lo cual:

$$\dot{m} = \rho_a A_1 V_1 = \rho_a A V_w = \rho_a A_2 V_2 \quad (4)$$

Donde la variación de la energía cinética del viento por unidad de tiempo es:

$$P_{util} = \frac{d(E_c)}{dt} = \frac{1}{2}\rho_a A V_w (V_1^2 - V_2^2) = \rho_a A V_w^2 (V_1 - V_2) \quad (5)$$

Estableciendo que la potencia útil máxima que proporciona el rotor considera el coeficiente de potencia que se conoce como el límite teórico de Betz, no es mayor al 59.5%. [3].

En el análisis del aerogenerador para vientos moderados, el intervalo de velocidad en el aerogenerador debe ser de 3m/s a 15 m/s, por lo que aplicando la aerodinámica sobre la hélice, tenemos una carga de:

$$P = \frac{C_d \cdot \rho \cdot V^2}{2} \quad (5)$$

Por lo tanto, al sustituir los valores con una velocidad media al intervalo igual a 12 m/s tenemos una presión del aire sobre la hélice de  $P = 4.32 \frac{N}{m^2} = 4.32 Pa$ . Con este resultado se realizaron los diseños de las palas del sistema eólico que captaran las corrientes de viento para dar funcionamiento al sistema y el mallado de análisis del sistema, como se muestra en la figura 2.



Figura 2. Pala del aerogenerador. Elaboración propia.

*Modelo y Simulación Sistema Mecánico.*

Dentro del diseño el movimiento de rotación es importante para el análisis del sistema eólico, por lo que el análisis del movimiento rotacional considerando la velocidad angular  $w$ , la aceleración angular  $\alpha$  y el par  $T$ , que depende de la fuerza aplicada, de la distancia entre el eje de rotación y la línea de acción de la fuerza.

La ley de Newton de rotación considera la relación entre el par aplicado y su aceleración angular resultante y establece los momentos o pares alrededor de un eje fijo es igual al producto de la inercia por la aceleración angular alrededor del eje, la ecuación es:

$$\Sigma T = J \alpha = J \frac{dw}{dt} = J \frac{d^2\theta}{dt^2} \quad (6)$$

Donde  $J$  es la inercia,  $\alpha$  es la aceleración angular,  $T$  es el par,  $w$  es la velocidad angular,  $\theta$  es el desplazamiento angular [4-5].

Si se tiene un par constante en el movimiento rotacional, la potencia está dada por:

$$P = T w \quad (7)$$

Para el diseño de la transmisión de potencia, esta debe considerando los requisitos de potencia, las especificaciones de engranes, el diseño del eje, el análisis de fuerzas, la selección de cojinetes y el análisis final dentro del diseño para obtener el sistema real [4-5].

Un tren de engranes es un dispositivo mecánico que transmite energía desde una parte del sistema a otro, de tal forma que se alteran las relaciones entre los pares  $T_1$  y  $T_2$ , los desplazamientos angulares  $\theta_1$  y  $\theta_2$ , los radios  $r_1$  y  $r_2$ , las velocidades angulares  $w_1$  y  $w_2$  y los números de dientes  $N_1$  y  $N_2$  del tren de engranes, deben ser consideradas para realizar el análisis de los engranes. De esta manera, que se obtienen las siguientes relaciones del sistema de engranes:

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{\theta_2}{\theta_1} = \frac{w_2}{w_1} = \frac{r_1}{r_2} = \frac{N_1}{N_2} = N \quad (8)$$

La potencia disponible en la turbina es la potencia de entrada y se encuentra a partir de:

$$P_{util} = P_w C_p = \frac{1}{2} C_p \rho_a A V_w^3 \quad (9)$$

La potencia que extrae la turbina eólica, se puede ver de acuerdo a la ecuación (7).

Para el análisis del modelo dinámico es importante considerar el movimiento de rotación y del tren de engranes, que se muestra en la figura 3, donde el modelo se analiza con los elementos que se encargan de transmitir la energía del eje de baja velocidad hasta el eje de alta velocidad.

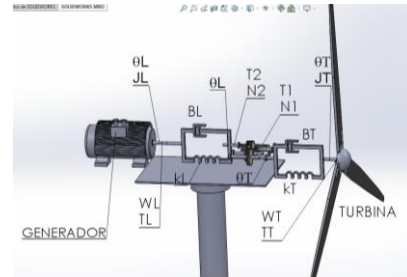


Figura 3. Modelo Dinámico. Elaboración propia.

De acuerdo a la segunda ley de Newton para el movimiento rotacional, se tiene:

$$\Sigma T = J \dot{\omega} \quad (10)$$

Para el eje de baja velocidad, es decir, para el eje de la turbina se tiene:

$$T_T - B_T \frac{d(\theta_T)}{dt} - k_T \theta_T - T_1 = J_T \frac{d^2\theta_T}{dt^2} \quad (11)$$

Para el eje de alta velocidad, es decir, para el eje de la carga se tiene:

$$T_2 - B_L \frac{d(\theta_L)}{dt} - k_L \theta_L - T_L = J_L \frac{d^2\theta_L}{dt^2} \quad (12)$$

Igualando las ecuaciones para  $T_2$ , se obtiene:

$$\frac{T_T}{N} = J_L \frac{d^2\theta_L}{dt^2} + \frac{J_T}{N} \frac{d^2\theta_T}{dt^2} + B_L \frac{d(\theta_L)}{dt} + \frac{B_T}{N} \frac{d(\theta_T)}{dt} + k_L \theta_L + \frac{k_T}{N} \theta_T + T_L \quad (13)$$

Agruparse términos, se obtiene:

$$\frac{T_T}{N} = J_L \frac{d^2\theta_L}{dt^2} + \frac{J_T}{N^2} \frac{d^2\theta_L}{dt^2} + \frac{d(\theta_L)}{dt} \left( B_L + \frac{B_T}{N^2} \right) + \theta_L \left( k_L + \frac{k_T}{N^2} \right) + T_L \quad (14)$$

El modelo obtenido es un sistema existente con tres elementos como parámetros a controlar. Se puede analizar el sistema equivalente obteniendo el modelo en variables de estado, al apoyarse en la ley de Newton para el movimiento rotacional,  $\Sigma T = J \dot{\omega}$

El sistema equivalente se obtiene con las relaciones obtenidas y se tiene:

$$\frac{J_T}{N^2} \dot{\omega}_E = \frac{T_T}{N} - B_e \omega_E + B_e \omega_L - k_e \theta_e \quad (15)$$

$$J_L \dot{\omega}_L = B_e \omega_E - B_e \omega_L - k_e \theta_e - T_L \quad (16)$$

Al despejar  $\dot{\omega}_E$  y  $\dot{\omega}_L$  de 15 y 16 se tiene:

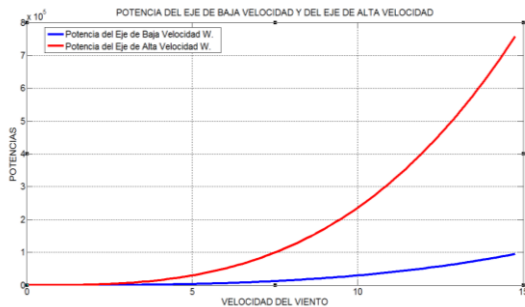
$$\dot{\omega}_E = - \frac{B_e N^2}{J_T} \omega_{Te} + \frac{B_e N^2}{J_T} \omega_L - \frac{k_e N^2}{J_T} \theta_e + \frac{T_T N}{J_T} \quad (17)$$

$$\dot{\omega}_L = \frac{B_e}{J_L} \omega_{Te} - \frac{B_e}{J_L} \omega_L + \frac{k_e}{J_L} \theta_e + \frac{T_T}{N J_L} \quad (18)$$

$$Y \dot{\theta}_e = \omega_E - \omega_L \quad (19)$$

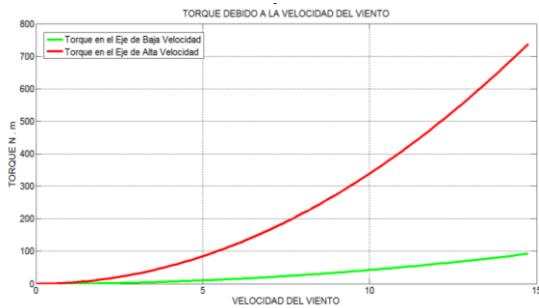
El modelo representa el sistema dinámico del sistema eólico en variables de estado. En el cual al analizar el torque se obtiene el esfuerzo cortante con los parámetros del sistema mecánico [6-7]. En el caso del aerogenerador desarrollado se estableció una relación de diseño de 1 a 8 para la transmisión de la potencia.

En la gráfica 1, se muestra el comportamiento de la potencia mecánica, la potencia de salida es la que se transmitirá al generador eléctrico para su aprovechamiento. De esta manera para una potencia de 5kW la velocidad del viento está en el orden de los 6 a 9 m/s. Con esta potencia, se garantiza el correcto funcionamiento del consumo de energía, generando un abastecimiento de 12 kWh al día, con un consumo promedio de 360 kWh al mes.



Gráfica 1. Potencia de los ejes del sistema. Elaboración propia.

Con el análisis del sistema mecánico podemos conocer el comportamiento de la velocidad angular, la potencia y el torque. Asimismo, se debe tener el funcionamiento adecuado para lograr controlar tanto el torque como los demás parámetros en el sistema, como se muestra en la gráfica 2, donde el torque está en el intervalo de 90 N-m a 720 N-m.



Gráfica 2. Torque en el eje de baja y alta velocidad. Elaboración propia.

En la figura 4 se muestran el sistema de engranajes desarrollo del sistema, estableciendo la relación del tren de engranajes. Además, se desarrolla el análisis de elemento finito con el mallado de ejes y engranes, como se muestra en la figura 5, estableciendo de acuerdo a la geometría, el comportamiento mecánico, en el cual al desarrollar el mallado y simular cargas aplicadas, el obtiene que cada

soporta las condiciones de esfuerzo y deformación, que transformará las condiciones de operación para correcto funcionamiento del sistema eólico [8-9].

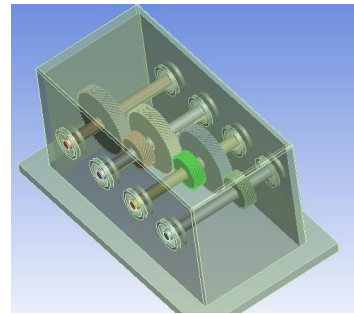


Figura 4. Sistema Mecánico relación 8 a 1. Elaboración propia.

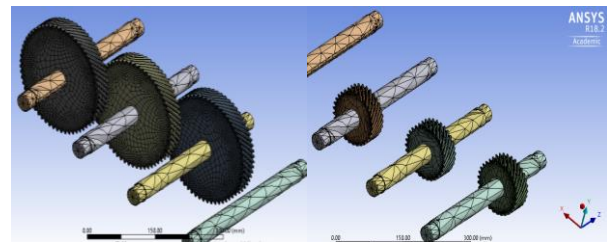


Figura 5. Análisis Sistema Mecánico. Elaboración propia.

Se analiza y determina el modelo del sistema mecánico, desde la parte aerodinámica, para pasar a su modelo dinámico, se analizan las ecuaciones de energía cinética y potencial definiendo las variables que intervienen en el sistema mecánico. Con estas variables determinamos los parámetros de intervendrán que son la velocidad angular y la potencia útil del sistema, además de los parámetros de diseño que son el torque y el esfuerzo.

*Modelo y Simulación Sistema Eléctrico.*

Se analiza los circuitos del rotor y estator del GSIP, en coordenadas de fase abc, recordando que dichos ejes se encuentran espaciados 120 grados eléctricos, las transformaciones matemáticas son usadas para desacoplar variables y, por tanto, facilitar la solución de ecuaciones complejas con coeficientes variables en el tiempo, en el modelo eléctrico se analiza el cambio de energía mecánica a eléctrica para el generador del sistema eólico, como se muestra en la figura 6 [10].

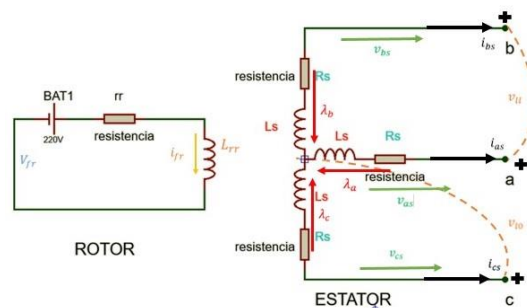


Figura 6. Generador Síncrono de Imanes Permanentes. [2].

Donde

a, b, c. representan los devanados de fase del estator.  
i, v, rs, λ, Corriente, Voltaje, Resistencia y enlace de flujo.

En los GSIP los voltajes de fase del estator se obtienen aplicando la ley de los voltajes de Kirchhoff al circuito en el generador síncrono de imanes permanentes.

$$V = -R_e I + \frac{d\Lambda}{dt} \quad (20)$$

Donde la expresión matricial es:

$$\begin{aligned} V &= [v_{as} \ v_{bs} \ v_{cs}]^T \\ R_e &= \text{diag} [r_s, r_s, r_s] \\ I &= [i_{as} \ i_{bs} \ i_{cs}]^T \\ \Lambda &= [\lambda_a \ \lambda_b \ \lambda_c]^T \end{aligned} \quad (21)$$

Los enlaces de flujo en cada fase a b c se determinan por la influencia de la corriente que circula en su respectiva fase y por los enlaces de flujo producidos por los imanes permanentes. Así se tiene que la matriz de enlaces de flujo adquiere la siguiente forma:

$$\Lambda = L_s I + \lambda_m \quad (22)$$

El modelo eléctrico está compuesto por dos ecuaciones diferenciales básicas. La primera de ellas es la relación entre la tensión en las terminales de la bobina y la corriente en ella:

$$V = (-R * I) - \left(\frac{dL(\theta)}{dt} * I\right) - (L(\theta) * \frac{dI}{dt}) \quad (23)$$

La segunda es la relación del par en el eje y la variación magnética:

$$T_g = \frac{1}{2} * I^T * \frac{dL(\theta)}{dt} * I \quad (24)$$

En ambas ecuaciones se ve reflejada la dinámica de cualquier máquina eléctrica. Pero las inductancias mutuas y propias, dependen del ángulo girando el eje (θ), y este sufre una variación constante.

La potencia eléctrica es:

$$P_E = N_e N_p P_{util} \quad (25)$$

Donde:

Ne = Eficiencia eléctrica.

Np = Eficiencia mecánica.

Pútil = Potencia útil.

La potencia eléctrica se obtiene de la potencia útil del sistema eólico como se muestra en la figura 7 [11-12], teniendo la potencia eléctrica como:

$$P_E = \frac{1}{2} C_p \rho_a A V_w^3 N_e N_p \quad (26)$$

Se analiza la transformación de Park, la cual convierte las variables del estator trifásico en un nuevo marco de referencia que se mueve con el rotor, cuando la velocidad angular w es constante, podemos analizar estas ecuaciones al definir la matriz de transformación de Park considerando un estator no rotacional y un rotor rotacional T como:

$$T = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ -\text{sen} \theta & -\text{sen}(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\text{sen}(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (27)$$

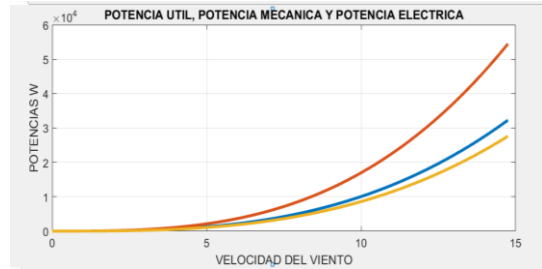


Figura 7. Potencias del Aerogenerador. Elaboración propia.

Debido a que en coordenadas de fase presenta las inductancias que varían con respecto al ángulo θ, que es el ángulo de referencia rotacional y este varía con respecto del tiempo, se utiliza la transformada de Park, donde la transformada está basada en la proyección de los valores de tensión y corriente de los ejes y transformándolos en un eje dinámico de referencia de las tensiones y corrientes como se muestra en la figura 8 [13].

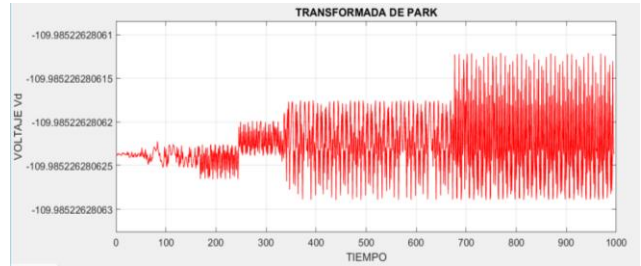


Figura 8. Generador Eléctrico, Park. Elaboración propia.

### III. RESULTADOS

En el sistema eólico la modelación y simulación de sistemas permite desarrollar modelos virtuales y experimentar en forma dinámica con ellos, lo que facilita identificar, cuantificar las variables y parámetros a analizar, permite analizar el comportamiento bajo condiciones de operación.

La simulación permite predecir el comportamiento de sistemas, diseñar y operar los sistemas de ingeniería, donde se analiza el sistema eólico en sus condiciones de funcionamiento y se divide en varias etapas. Formulación de la simulación, Definición del sistema eólico, Modelado del Sistema, Desarrollo de la simulación, Verificación y Validación, Diseño de Prototipo y Ensayos.

Con estos resultados se desarrolló el sistema aerodinámico y el sistema mecánico del sistema eólico del prototipo para pruebas de funcionamiento, como se muestra en la figura 9.



Figura 9. Desarrollo de Prototipo del Sistema Eólico. Elaboración Propia.

Para el sistema eléctrico se realizaron las pruebas a través del simulador virtual Lab-Volt que es un laboratorio tridimensional, las características del generador alternador, jaula de ardilla o generador de imanes permanentes a considerar para el sistema eólico, el cual es alimentado en esta prueba por un dínamo de cuatro cuadrantes o fuente de alimentación, considerado como el simulador de la velocidad del viento en sus diferentes valores y estableciendo el comportamiento del sistema eléctrico dentro del sistema eólico, en la figura 10.

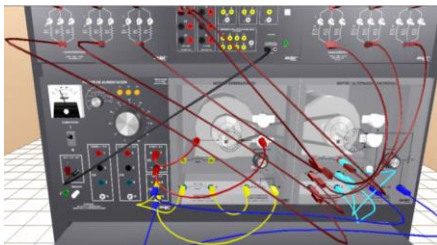


Figura 10. Simulación LAB-VOLT del Generador Eléctrico para el Aerogenerador. Elaboración Propia.

Con el equipo se establece la conexión y el funcionamiento de los componentes del sistema eólico para el generador eléctrico, en estas pruebas se determina el comportamiento de la corriente, el voltaje, la potencia y el torque eléctrico, estableciendo que se obtiene en la pantalla valores de velocidad y potencia eléctrica, que pueden ser variadas para el análisis desarrollado, como se muestra en la figura 11.



Figura 11 Pruebas del Sistema Eléctrico del Aerogenerador. Elaboración Propia.

Además, con la simulación del convertidor de corriente se desarrolló la construcción del inversor de voltaje que utiliza circuitos electrónicos para hacer que el flujo de la corriente continua cambie de dirección de forma periódica

haciéndola similar a la corriente alterna. El inversor además emplea una serie de filtros para hacer que estos cambios de dirección sean suaves y regulares de forma que la energía eléctrica resultante puede ser usada en la mayoría de dispositivos eléctricos, los componente para la obtención de valores de entrada de 12 volts, este valor será el que nos entregue el generador y salida del convertidor de 220 volts entre fases, los cuales alimentaran equipos para esta capacidad, en la figura 12 se muestra el sistema del convertidor con una salida de 220 volts entre fases y 127 volts para fase neutro.

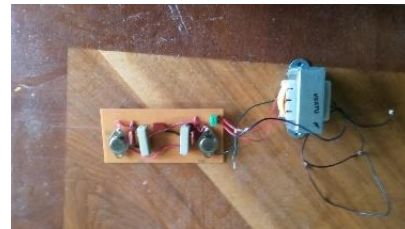


Figura 12. Modelo del Convertidor Eléctrico del Aerogenerador. Elaboración Propia.

#### IV. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

La simulación del sistema eólico permite establecer los elementos de análisis en su parte aerodinámica y mecánica para conocer las variables que serán importantes en la transformación de energía mecánica a energía eléctrica y las variables a considerar como son el voltaje, la corriente, la potencia y el flujo de energía.

El desarrollo del análisis mecánico y eléctrico que permiten establecer los parámetros y las variables del sistema, siendo de suma importancia los elementos de diseño y la ingeniería para conocer todas las características que hacen funcionar, mover y estructurar al aerogenerador para la generación de energía.

El proyecto establece, desarrolla y muestra la importancia del diseño, la simulación y la implementación dentro de la ingeniería para los sistemas eólicos, por lo que los resultados obtenidos demuestran el funcionamiento y la operación del aerogenerador.

#### V. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco el apoyo para el desarrollo del proyecto de Sistema Eólico de Baja Potencia.

#### VI. REFERENCIAS

- [1]. PwC en colaboración con Climate Works Foundation, Iniciativa Mexicana para las Energías Renovables (IMERE) y el World Wildlife Fund (WWF), *Plan integral para el desarrollo de las energías renovables en México 2013-2018* Propuesta de escenarios y acciones necesarias para su desarrollo.
- [2]. Linares, E A. y Rea, C. E. (2018), *Handbooks Ciencias de la Ingeniería y Tecnología T-VIII, Capítulo 6, Modelo, Simulación y Control del Sistema Eléctrico y Electrónico de un Sistema Eólico de Baja Potencia*, Ecofan México.

- [3]. Garduño, R. R.; Sánchez, P. M. y Hernández, G. R. (2012), *Investigación, Desarrollo e Innovación Tecnológica de Sistema del Control de Aerogeneradores*, Boletín IIE, Abril – Junio -2012.
- [4]. Richard, G. B. y Keith, N. J. (2012), *Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley*, Ed. Mc Graw Hill, 9na Edición.
- [5]. Ferdinand, P. B. y Russell, J. E. Jr. (2004) *Mecánica de Materiales*, Tercera edición, Mc Grall Hill.
- [6]. Norman, S. N. (2006) *Sistemas de Control para Ingeniería*, Tercera Edición, Editorial Continental.
- [7]. Linares, E. A. (2015), *Revista Ideas en Ciencia*, Año 24, No. 43, Pag. 53 a 68.
- [8]. Ansys, Inc. *Manual ANSYS 18.2*, 2017.
- [9]. Ansys, Inc. *ANSYS FLUENT USER'S GUIDE*, Release 13.0, November 2010.
- [10] López, M. V. (2012) *Ingeniería de la Energía Eólica*, 1ra. Edición, Alfaomega.
- [11]. William, B. (2013), *Mecatrónica, Sistemas de Control Electrónico en la ingeniería Mecánica y Eléctrica*, editorial Alfaomega, quinta edición.
- [12]. Reyes, C. F. (2012), *Matlab, Aplicado a la Robótica y Mecatrónica*, Editorial Alfa Omega.
- [13]. Pino, B. E. y Matía, E. F. (2012), *Fundamentos de Control con MATLAB*. Ed. Pearson.

## VII. BIOGRAFÍA



**Alejandro Linares Enríquez.** Nacido en la Ciudad de México, el 10 de Julio de 1973, Ingeniero Mecánico egresado de la Facultad de Ingeniería de la UAEMEX en 1999, Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica en el Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec en 2015.

Trabajo de 1997 a 2003 en la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía. CONAE. en la empresa Soluciones y Aplicaciones en Energía en Ingeniería SA de CV de 2004 a 2015, como Jefe de Proyectos y Capacitación, Docente de Asignatura en el Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco de 2003 a 2015, a partir de 2015 es profesor-investigador de tiempo completo del Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco, cuenta con investigaciones, publicaciones en revistas y capítulos de libro en las líneas de investigación de “Automatización y Control” y “Análisis, Diseño, Modelado y Simulación de Sistemas”. ORCID - 0000-0002-2250-0730.



**Gervacio de Jesús Jesús,** Nacido en Tlalnepantla el 5 de Junio de 1994, Egresado de la carrera de Ingeniería Mecánica del Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco, Santiago Tianguistenco, Estado de México México.

Egresado para la obtención de grado en el Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco, Santiago Tianguistenco, Estado de México México.  
Participo en los eventos de ENEIT en el año 2016 y Feria Nacional de Ciencias e Ingenierías en el año 2017.