

Métodos de instalación del sistema de la energía eólica

Wind energy system installation methods

Juan Steven Arenas Mongui
Henry Armando Morantes Paez
Diana Milena Torres Rondon
Universidad de Pamplona, Norte de Santander, Colombia.

Resumen

Se describe el funcionamiento mecánico y sus métodos de instalación del sistema de energía renovable y sus mejores lugares de ubicación para realizar la recolección de energía de la naturaleza sus prototipos existentes y parte principal de la más común usada y su gran función y aporte a la naturaleza de ya que su funcionamiento depende del aire circundante y su abastecimiento a lugares de residencia y sus resultados experimentales y sus cálculos realizados y también la muestra de datos consultados y realizados en la para su mejor rendimiento y mejor carga para las residencias donde a de ser enviada la energía recolectada.

Palabras claves: energía eólica, potencia eólica, generador eólico.

Abstract

It describes the mechanical operation and its methods of installing the renewable energy system and its best locations for collecting energy from nature, its existing prototypes and the main part of the most common used and its great function and contribution to nature. since its operation depends on the surrounding air and its supply to places of residence and its experimental results and its calculations performed and also the sample of data consulted and carried out in it for its best performance and best load for the residences where it is to be sent the energy collected.

Key words: wind energy, wind power, wind generator.

INTRODUCCION

Las primeras evidencias del aprovechamiento de la energía eólica datan de hace unos 3.000 años, cuando los babilonios idearon los primeros sistemas de riesgo y navegación a vela apoyados en el uso del viento como fuente de energía.

En la Edad Media, alrededor del siglo X aparecen los primeros molinos de viento, que se popularizarían pocos siglos más tarde en zonas como Holanda. Sin embargo, habrá que esperar hasta el siglo XX para ver los primeros molinos capaces de transformar la energía del viento en electricidad, en la década de los años 30 en Estados Unidos.

Es prácticamente imposible establecer una línea de tiempo exacta para cuándo se comenzó a notar que se podía aprovechar los recursos naturales e inagotables para un medio de locomoción, como una forma de calefacción para un hogar, o simplemente transformar la energía encontrada en el medio ambiente en un bien útil para el bienestar común.

Las aplicaciones más lejanas, como un antecedente histórico, se sitúan principalmente en el empleo de fuentes energéticas inagotables en el transporte, teniendo como principal ejemplo a la navegación a vela, que empleaba la energía eólica de una manera práctica y sencilla para impulsar los navíos.

La posterior aparición de los molinos de viento reforzaba este concepto, y con los molinos de agua se asentaban las primeras bases de la Energía Hídrica, sumado además a un rediseño de los edificios para aprovechar de la mayor manera posible la energía solar durante el día.

Pero estos recursos fueron disminuyendo cada vez más, y fue así como a mediados de los años '70 se comenzó a enfatizar el concepto de Energía Renovable, como una alternativa a las fuentes energéticas utilizadas, y con el estudio que indicaba un futuro agotamiento de los recursos petrolíferos.

Fue en estos años que se marcó un punto de inflexión en aquellas energías que significaban un impacto ambiental, de aquellas que eran denominadas energías limpias, por su baja o nula

condición contaminante, aunque en un principio eran llamadas “energías alternativas” (por encontrarse en baja producción y en un precario desarrollo)

Gracias al avance tecnológico es que hoy día no se trate de una alternativa, sino que las energías renovables son un proyecto viable, que brinda un presente productivo, y que apunta a un mejor futuro, con una fuente inagotable de recursos.

Hoy día, existen distintos adelantos tecnológicos que día a día buscan aprovechar de la mejor manera posible las fuentes energéticas disponibles, además de que, en algunos países, se está enfatizando en su desarrollo no solo para paliar con la creciente demanda energética, sino también como una forma de desarrollo económico.

FUNCIONAMIENTO

Los HRES (Sistemas de Energía Híbridos Renovables, por sus siglas en inglés) integran dos o más generadores de energía, y en la mayoría de los casos se utilizan generalmente fuera de la red eléctrica. Generalmente se utiliza un generador convencional alimentado con diésel, junto con un generador asociado a una fuente de energía renovable, como por ejemplo: la solar, eólica, o incluso solar eólica. El costo inicial en los sistemas a base de energía solar o eólica son mayores que un generador a base de diésel, sin embargo, los costos en mantenimiento y operación se reducen drásticamente para los sistemas de energías renovables.

Generador fotovoltaico (PV, por sus siglas en inglés). La radiación electromagnética de la energía solar puede convertirse en electricidad a través del efecto fotovoltaico. La celda solar se compone de una unión p-n, fabricada de una capa delgada de un semiconductor. Al exponerse a la luz solar, los fotones con la energía suficiente como para romper la banda ancha de energía del semiconductor es absorbido y crean pares de electrones huecos de manera proporcional a la irradiación incidente. Bajo la influencia de los campos eléctricos internos de la unión p-n, estos portadores son barridos y crean una fotocorriente que es directamente proporcional a la radiación solar.

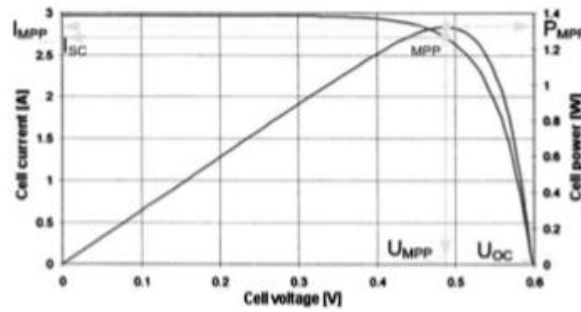


Figura 1 Características del módulo solar de corriente-voltaje

Generador eólico. Es un generador que convierte la energía cinética del viento en trabajo mecánico. La curva de potencia del generador describe la relación entre la variable de entrada de la velocidad del viento en m/s y la variable de salida de la potencia eléctrica en W. La hoja de datos del generador de viento proporciona los parámetros que se utilizan para modelar el dispositivo

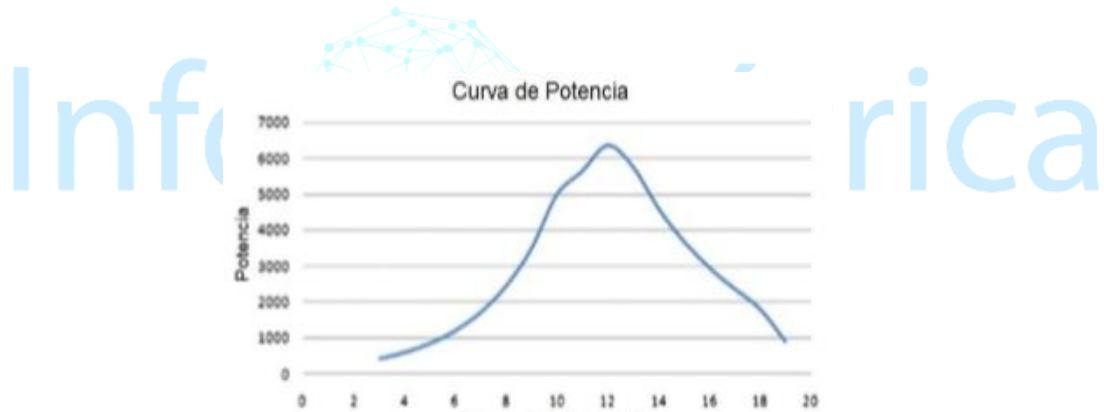


Figura 2 Curva de potencia de un generador de 5KW

Generador diésel. Los generadores diésel como respaldo han ganado popularidad desde hace bastante tiempo, sobre todo por su disponibilidad las 24 horas a un precio barato. Sin embargo, con los costos cada vez mayores del combustible fósil y con la preocupación sobre las emisiones nocivas de carbono, se han vuelto menos preferidos, además, la eficiencia del sistema baja cuando debe reducirse el generador para igualar a la potencia nominal. (Carlos ponce corral, 2015)

PRONOSTICO DE POTENCIA EOLICA

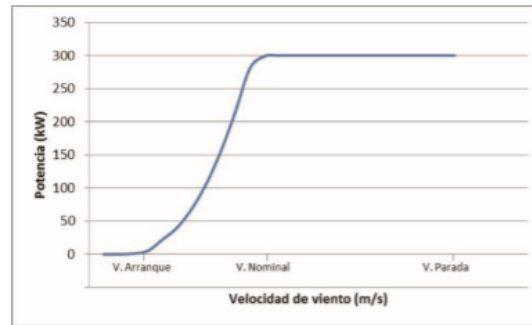
El pronóstico de la potencia eólica corresponde a estimar la producción de energía eléctrica de un aerogenerador en un tiempo futuro. El pronóstico se puede realizar en diferentes escalas de tiempo. El pronóstico a corto plazo se realiza desde milisegundos a pocos minutos y se emplea para el control activo del aerogenerador. Los pronósticos realizados en la escala de horas o hasta 3 días, son de mediano plazo y son útiles para la gestión del sistema de energía y el comercio de la misma. Estas predicciones sirven para decidir el uso de las plantas convencionales (unit commitment) y para la optimización del despacho de estas plantas (economic dispatch). Los pronósticos realizados a 5-7 días son llamados de largo plazo y se emplean para planeación del mantenimiento.

La potencia disponible en el viento a una velocidad v y que pasa a través de un área perpendicular está dada por

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

donde ρ es la densidad del aire. La densidad del aire se asume constante en el rango de temperaturas de operación de Oaxaca.

La velocidad mínima a la que se empieza a generar potencia se llama velocidad de arranque y típicamente es de 3 m/s o 4 m/s. Conforme la velocidad aumenta la potencia también, y el aerogenerador opera a carga parcial hasta alcanzar la velocidad nominal, correspondiente a la potencia nominal. El aerogenerador está diseñado para producir esta potencia máxima a velocidades que se encuentran entre la velocidad nominal y la velocidad de parada, que corresponde a la velocidad máxima a la que el aerogenerador puede operar bajo condiciones seguras, siendo esta velocidad típicamente de 25 m/s.



*Figura 3 Curva de potencia de aerogenerador
(Hector, 2017)*

EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

Los experimentos se realizaron en el centro regional de tecnología eólica (CERTe) del INEEL localizado en la Ventosa, Oaxaca, México. Su infraestructura está dimensionada para instalar hasta 5 MW de potencia eólica que pueden integrarse con turbinas de viento de diferentes capacidades y modelos. El CERTe vende la energía eléctrica producida por la turbina eólica japonesa de 300 kW de la marca KOMAI que fue donada al INEEL por el Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF por sus siglas en inglés) a través del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

Los experimentos se desarrollaron con la siguiente metodología:

1. Adquisición de datos históricos de variables meteorológicas de un sitio, incluyendo principalmente la velocidad y la dirección de viento.
2. Aprendizaje de los modelos de predicción siguiendo la metodología descrita en la sección anterior.
3. Alimentación de la RBD aprendida con valores en un instante dado usando datos históricos de pruebas. Las probabilidades se propagan y se obtiene la distribución de probabilidad posterior de la velocidad de viento en N capas al futuro. Esto se realiza mediante el paquete Hugin o cualquier otro paquete de manejo de modelos probabilistas.

4. Cálculo del valor numérico de la predicción y comparación con el valor real del archivo de datos de prueba. Este punto se detallará más adelante.
5. Cálculo de la diferencia y estimación del error de predicción.
1. Alternativamente, el entrenamiento de la RBD (paso 3) podrá realizarse con los valores actuales en alguna localidad para pronosticar N horas (o etapas) al futuro. Cabe mencionar que el error de pronóstico se calcula una vez concluidas las N etapas.

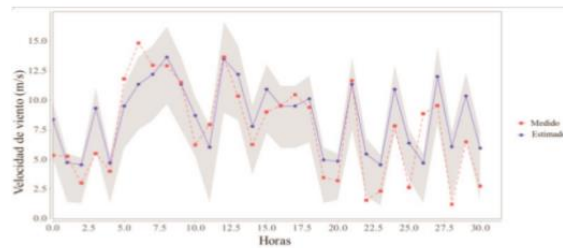


Figura 4 Resultados experimentales

(trillo, 2017)

El caso de estudio se realizó en el poblado La Noria, localizado 1070 msnm y ubicado aproximadamente 200 km al sur de la ciudad de Chihuahua, en el municipio de San Isidro y cuenta con una población de 107 habitantes. Se encuentra en las coordenadas 26º 56' 36" norte y de 106º 4' 3" este. Se estiman 20 casas de aproximadamente 5 habitantes cada una, con 22.78 kWh de carga diaria promedio anual, que consume todo el pueblo. Debido al costo elevado que requiere electrificar el poblado (Rocha, 2003), es necesario alimentar dicha carga utilizando fuentes alternativas de energía, como son las energías renovables. En este caso, mediante la energía solar y la energía eólica.

Una batería de plomo-acido, con la cual el sistema se autoabastecerá cuando los generadores no se encuentren disponibles. Un generador diésel como respaldo, ya que las energías renovables se distinguen por su comportamiento impredecible. Un convertidor de corriente con el cual transformar la CD del arreglo fotovoltaico, de la turbina de viento y de la batería en CA.

Carga	Potencia Nominal (W)	Número de aparatos empleados	Energía (Wh/d)
Escuela			
Iluminación	25	2	900
Computadora	200	3	2400
Bomba de agua	1000	1	3000
Radio	15	1	45
Fuente			
Iluminación	25	4	900
10 Casas Tipo 1 (5 habitantes)			
Iluminación	25	1	2250
TV	80	1	3000
Radio	10	1	350
Refrigerador	150	1	5940
10 Casas Tipo 2 (5 habitantes)			
Iluminación	25	2	2250
TV	80	1	2400
Radio	10	1	550
Carga total diaria			22.785kWh/día
			683.55kWh/mes

(Arciniegas, 2018)

Angulo de calaje

Como primer ejemplo, se describe el proyecto realizado por el departamento de ingeniería de sistemas industriales en la universidad de Jaume I en el año 2012. En este trabajo se propone una estrategia de diseño de controladores para aerogeneradores con generador asíncrono doblemente alimentado.

El objetivo del controlador es limitar la derivada tanto de la potencia como del ángulo de calaje, al mismo tiempo que las aceleraciones de la máquina se minimizan para evitar cargas dañinas de fatiga. En este caso, proponen un controlador con realimentación, donde la ganancia depende de la velocidad mediana del viento y del nivel de intensidad de la turbulencia. El diseño del controlador ha sido llevado a cabo a través de procedimientos de optimización basados en la norma L1

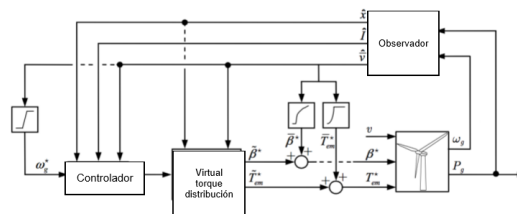


Figura 5 Velocidad del viento estimada, potencia medida y velocidad del generador

La salida del controlador es la variación total de par deseado, que posteriormente se distribuye entre las señales manipuladas en la máquina (ángulo de calaje y par electromagnético)5 como

se muestra en la Figura 1. En este caso en particular se incluye un observador que permite estimar el estado, la velocidad instantánea del viento, su media y la intensidad de su turbulencia, tal como se propuso en el controlador (Niño, AB, 2018).

En velocidades de viento medias, el generador y convertidor de potencia controlan la turbina de viento para capturar la máxima energía del viento. En regiones de altas velocidades, la turbina eólica se controla para mantener la potencia aerodinámica producida.

(angarita, 2018)

Energía eólica

En los últimos años, en Colombia se han venido desarrollando diferentes trabajos con la finalidad de identificar los factores claves o determinantes para la integración de las fuentes no convencionales de energía en el sistema energético nacional.

Las primeras iniciativas para regular el uso de la energía en Colombia se pueden encontrar en la Ley 142 de 1994 la cual establece el “régimen de los servicios públicos domiciliarios” 26 y la Ley 143 de 1994 que establece el “régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de energía en el territorio nacional”27. Sin embargo, estas leyes no profundizaban mucho en el uso de energías renovables hasta que llegó la Ley 1665 de 2013 donde se aprueba el estatuto de la Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA).

La ley 1665 de 201328 tiene como objetivo promover la implementación generalizada y reforzada y el uso sostenible de todas las formas de energía renovable, teniendo en cuenta:

- Las prioridades nacionales e internas y los beneficios derivados de un planteamiento combinado de energía renovable y medidas de eficiencia energética.
- La contribución de las energías renovables a la conservación del medio ambiente al mitigar la presión ejercida sobre los recursos naturales y reducir la deforestación, sobre todo en las regiones tropicales, la desertización y la pérdida de biodiversidad; a la protección del clima; al

crecimiento económico y la cohesión social, incluido el alivio de la pobreza y el desarrollo sostenible; al acceso al abastecimiento de energía y su seguridad; al desarrollo regional y a la responsabilidad intergeneracional (cortes, 2017), (Suarez O et al., 2018).

El cambio climático y sus afectaciones al medio ambiente son inobjetables por parte de la comunidad internacional. Las emisiones de CO₂ aumentaron 60 % entre 1990 y 2013 y por ello se calcula que la temperatura ha subido 0,8°C desde el periodo preindustrial¹. Frente a esas amenazas, existe el consenso de avanzar en un proceso de sustitución del uso de combustibles fósiles por energía renovable que permita mitigar la tendencia al crecimiento de la temperatura global.

Como respuesta al contexto anteriormente descrito, los 193 países firmantes de la agenda Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), se comprometieron a limitar el efecto invernadero, por medio de la diversificación y ajuste de la matriz energética mediante el uso de otras fuentes y tecnologías, como son la energía eólica, solar geotérmica, biomasa y mareomotriz como principales tipos.

La industria de la energía eólica se caracteriza por su reducido impacto ambiental, significativamente menor que las fuentes de energía convencionales (sin minería, metalurgia, combustión y bajos residuos), lo cual le ha permitido crecer y madurar de manera acelerada. En el 2015 se pusieron en operación a nivel mundial 60 GW (Gigavatios) ² con inversiones por USD 329 billones, acumulando una capacidad instalada a de 432,9 GW³, representando 6% de la capacidad instalada energética total. El Consejo Mundial de Energía Eólica estima que para el 2030 la energía eólica podría alcanzar los 2.110 GW, y el suministro alcanzará 20% de la electricidad mundial (garcia, 2015)

MODELADO MATEMATICO

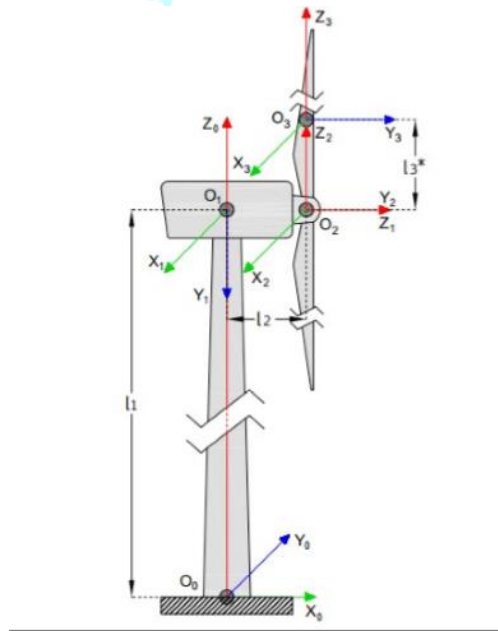
Para obtener el modelo matemático del aerogenerador, se considerará a éste como un robot manipulador con tres GDL y se utiliza el enfoque de Euler

Se muestran los sistemas de coordenadas ubicados en las articulaciones del aerogenerador utilizando la convención de Denavit-Hartenberg (D-H) para describir los tres GDL del sistema. El movimiento de rotación sobre el eje z_0 , representa el primer GDL ($q_1(t)$) utilizado para manipular la orientación del aerogenerador. El segundo GDL ($q_2(t)$) es la rotación de las palas sobre el eje z_1 , este movimiento de rotación es provocado por el empuje aerodinámico¹¹. El tercer GDL ($q_3(t)$) es producido por el desbalanceo del rotor eólico, normalmente este GDL se manipula durante la instalación del aerogenerador en el proceso de acoplamiento entre el rotor eólico y el generador eléctrico.

Después de un análisis cinemático y dinámico del aerogenerador de eje horizontal, se obtiene la siguiente expresión:

$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) = \tau$$

Con la finalidad de simplificar el modelo matemático de la ecuación (1) se aceptan las siguientes consideraciones: 1.- Los centros de masa se encuentran en el origen de los sistemas de coordenadas fijados en las articulaciones del aerogenerador. 2.- El tercer Grado De Libertad se mantiene constante y en el origen durante todo el experimento, esto es $q_3(t) = \dot{q}_3(t) = \ddot{q}_3(t) = 0$.

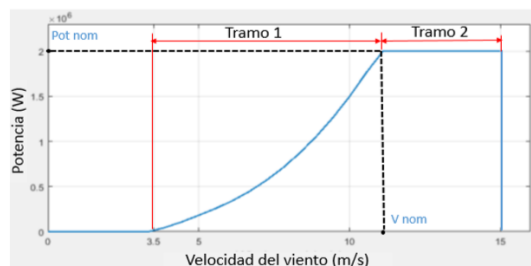


(RODRIGUEZ-SOLANO, 2018)

En este apartado se comentarán y escribirán los parámetros generales del proyecto, es necesario remarcar que primero hablaremos de los parámetros que se encuentran en unidades del Sistema Internacional y posteriormente en por unidad (p.u.) con los valores base utilizados para su obtención en sus respectivos apartados.

Para nuestro proyecto se ha elegido un modelo de turbina eólica de tres palas, con máquina de inducción doblemente alimentada con dos pares de polos como generador, con una potencia nominal de 2 MW a una frecuencia de 50 Hz. El radio del rotor elegido tiene un tamaño de 45 m de radio con un área barrida de aproximadamente 6.362 m² y una densidad del aire, medida a 15 °C y a presión atmosférica, de 1,225 kg/m³.

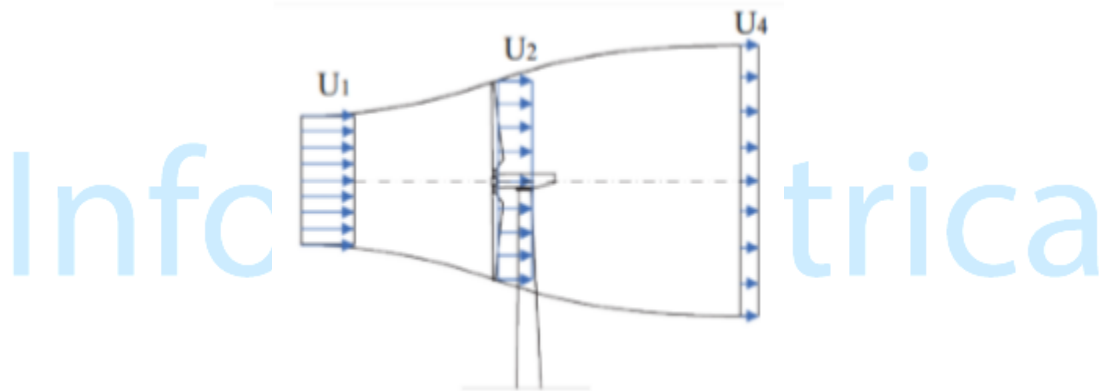
El sistema aerodinámico debe ser capaz de funcionar en un amplio rango de velocidad del viento con el objetivo de lograr una eficiencia aerodinámica óptima al rastrear la relación óptima de velocidad de punta. El rotor de nuestra máquina es a barlovento, es decir, tiene el rotor de cara al viento y funciona con valores de velocidad comprendidos entre 3,5-15 m/s; teniendo una lambda óptima de funcionamiento de 10.8 y un coeficiente de potencia máximo de 0,467. En las condiciones iniciales de funcionamiento se ha utilizado una velocidad de arranque de 3 m/s que aumenta de forma cúbica hasta que alcanza la potencia nominal de 2 MW, en ese preciso instante empieza a actuar el control de pitch. A continuación, se mostrará la curva de potencia en función del viento entre los valores comprendidos de 0-15 m/s que hemos utilizado para nuestro aerogenerador, para ello nos hemos ayudado de la herramienta Matlab obteniendo su representación gráfica. En ella se distingue con claridad los dos tramos del control que se pretenden llevar a cabo en este proyecto.



(Gonzales, 2017)

La parte aerodinámica está compuesta por las palas que aprovechan la energía cinética del viento y su sistema de orientación o mecanismo de pitch para regular la cantidad de energía absorbida por las palas. En un aerogenerador real también sería posible cambiar la orientación o “yaw” utilizando la información recibida mediante los aparatos de medida como la veleta, pero en este caso no se ha considerado, suponiendo que la turbina está perfectamente orientada hacia viento de manera constante.

El diseño de la turbina depende principalmente de la cantidad de energía que es captada del viento. El diseño debe considerar los medios de limitar la potencia y la velocidad de rotación para mantenerlos dentro de los márgenes de operación, esto se hace variando el ángulo de pitch.



La teoría del “disco actuador” explica el proceso de extracción de la energía cinética del viento, basada en el balance de energía y la ecuación de Bernoulli. Esta teoría consiste en una reducción en la velocidad del flujo de aire lo cual provoca una diferencia de presión entre ambos lados del disco.

En la realidad no es posible aprovechar la totalidad de la potencia del viento y aparece el término c_p , denominado coeficiente de potencia que es la relación entre la potencia presente en el viento y la potencia aprovechada por la turbina. Por tanto, la fórmula es:

$$P_t = 0,5\rho A_2^2 v_1^3 c_p$$

(soto, 2016)

En este apartado se ha de indicar que, desde un comienzo, se pretendió implementar un modelo de dos masas para el tren de potencia del generador, el cual conforma la parte mecánica de la máquina y está formado por: aeroturbina, caja multiplicadora y DFIM; en nuestro caso. Sin embargo, la imposibilidad de crear de forma manual un modelo del generador en Simulink dado su complejidad y al tiempo dispuesto, obligó a extraer la idea de emplear un bloque de máquina asíncrona que incorpora este programa por defecto en sus librerías, tanto en SI como en sistema p.u.. Por tanto, dado que este bloque ya incorpora por defecto un modelo mecánico de una masa, se obligó a emplear este modelo, pese a que también se implementó el modelo de dos masas, si bien no se pudo incorporar al modelo final dado que la conjunción de ambos modelos derivaba en resultados erróneos y fallos en el control.

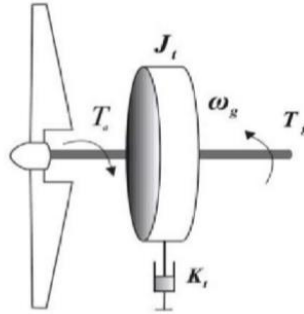
Pese a que la normativa indica que la incorporación de un modelo de una masa en el generador de forma predeterminada permite incorporar de forma externa un modelo mecánico que conecte con el comienzo del tren mecánico del generador en lugar de su entrehierro (suprimiendo así la inercia del generador ya impuesta por su bloque), los intentos por procurar esto resultaron en controles fallidos por parte de la simulación del generador, posiblemente debido a que esto está preparado para un modelo en por unidad, por lo que fue imposible incorporarlo a fin de obtener un modelo funcional (Yingning, 2015).

Parámetro	Descripción	Valor	Unidades
ω_{base}	Velocidad angular base	314,16	rad/s
ω_{gen0}	Velocidad angular inicial	66,6	rad/s
n_{gear}	Ratio de la multiplicadora	92,5	
J_{gen}	Inercia del generador	100	kg*m ²
$J_{turb HS}$	Inercia de la turbina referida al eje de alta	701,24	kg*m ²
J_{tot}	Inercia del sistema referida al eje de alta	801,24	kg*m ²
F	Coefficiente de fricción del eje	0,001	N*m*s
k_{HS}	Constante elástica del eje del alta	75	kN*m/rad
k_{LS}	Constante elástica del eje de baja	120	MN*m/rad
n_{pp}	Número de pares de polos del generador	2	
$k_{base HS}$	Parámetro base de K en el eje de alta	2,55	10 ⁶ N*m/rad
$k_{base LS}$	Parámetro base de K en el eje de baja	2,18	10 ⁶ N*m/rad
$K_{tot pu}$	Parámetro de K para el modelo una masa en p.u.	0,464	p.u.
$D_{tot pu}$	Constante de amortiguamiento	1,5	p.u.

El modelo de una masa consiste en interpretar el tren de potencia mediante un modelo simplificado, donde es supuesto que el conjunto está conectado en un único eje y trabaja como una única masa rotante (ver Figura 4.1) que, por lo tanto, tendrá una única inercia suma de las inercias de todos los elementos que lo conforman. A pesar de lo que indica la imagen, el modelo

del generador no incluye una constante elástica. Su comportamiento dinámico viene determinado por las siguientes ecuaciones, basadas en

$$\frac{dw_m}{dt} = \frac{T_a - T_g - Fw_m}{J_t}$$
$$w_m = \frac{d\theta_m}{dt}$$



En el apartado del control en por unidad, debido al empleo del bloque simulador en p.u. que nos fuerza a que le indiquemos algún valor de la constante de tiempo en un modelo de una masa, se calculará esta como la suma de las constantes de tiempo de generador y turbina referidas cada una a la velocidad base de su eje.

(Díaz, 2017)

CONCLUSIONES

A partir del estudio realizado en las etapas de baja y alta velocidad, donde se sustituyeron los engranajes helicoidales por engranajes bi-helicoidales llegamos a las siguientes conclusiones generales: La sustitución de engranajes helicoidales por engranajes bi-helicoidales se debió fundamentalmente para minimizar las grandes cargas axiales que se generan en multiplicadoras de los aerogeneradores y que son causantes de la mayoría de los fallos en los rodamientos y en los dientes de los engranajes, así con la utilización de este tipo de engranajes aumentamos la línea de contacto de los mismos, aumentando así la capacidad de transmisión de carga.

La combinación de las variantes de cálculo propuestas para la etapa de baja velocidad con las de alta velocidad, dio como resultado 42 variantes conformadas, se demostró que las mejores variantes fueron para ángulos de hélice de 25 a 30° y para módulo 16, además hubo una reducción del volumen total, que incluye las dos etapas estudiadas del 32.7% para la variante

10-2, parámetro este de gran importancia, ya que nos dice que podríamos reducir casi la tercera parte del volumen de una multiplicadora tradicional, y mantener los rangos de seguridad para garantizar la resistencia mecánica. Se calculó el espacio que ocupan las etapas de baja y alta velocidad en la multiplicadora y se demuestra que con las variantes estudiadas el volumen en las misma se puede reducir en un 33.9% en la mejor variante, con referencia a la variante 0. Este dato tiene suma importancia ya que en la medida que se puede reducir el volumen, el peso también se debe reducir de forma proporcional y eso conllevaría a un ahorro de materiales considerable, así como ayudaría grandemente a la transportación y el montaje de los aerogeneradores.

Referencias Bibliográficas

- Angarita, E. (2018). control de angulo de calaje para una turbina eolica . *erenovables* .
- Araque, JA, Rodríguez, JLD, Guerrero A. (2017). Optimización por recocido simulado de un convertidor multinivel monofásico con modulación PWM sinusoidal de múltiple portadora. Revista Tecnologías de Avanzada, ISSN: 1692-7257.
- Arciniegas, E. (2018). diseño y simulacion para el desarrollo de un concentrador de flujo . *ciencia en desarrollo* .
- Bermeo, WL, Jr, AB de Souza, Fernández T, Honorio D, Nogueira dos Reis L, Barreto L. (2017). Control modo deslizante aplicado en la malla de corriente para una aplicación de una base-DSP para el control de posición de un motor de inducción de jaula de ardilla. Revista Tecnologías de Avanzada, ISSN: 1692-7257.
- Carlos ponce corral, L. A. (2015). Diseños de sistemas hibridos eolico solar para suministro de energia electrica a zona rural. *culcyt*.
- Cortes, s. (2017). energia renovables en colombia. *ciencias y estrategias*.
- Diaz, M. (2017). energia eolica y territorio en andalucia. *ingenieria researchgate* .
- Garcia, I. (2015). energia eolica y desarrollo sostenible . *culcyt*.
- Gonzales, A. (2017). control de velocidad de aerogeneradores mediante realimentacion. *ciencia en ingenieria* .

Hector, G. P. (2017). prediccion de potencia eolica utilizando tecnicas modernas de inteligencia artificial . *ingenieria invstigacion y tecnologia* .

Niño, AB (2018). Microturbina Peltón, una solución real de energía para zonas no interconectadas (ZNI). Revista Tecnologías de Avanzada, ISSN: 1692-7257.

RODRIGUEZ-SOLANO, B. (2018). control de orientacion de aerogenerador de baja potencia. *ciencia y desarrollo* .

Soto, j. (2016). desarrollo de la energia eolica en colombia . *erenovables* .

Suarez O, Vega C, Sánchez E, González A, Rodríguez Jorge, Pardo García A. (2018). Degradación anormal de p53 e inducción de apoptosis en la red p53-mdm2 usando la estrategia de control tipo pin. Revista Tecnologías de Avanzada, ISSN: 1692-7257.

T Velásquez, E Espinel, G Guerrero (2016). Estrategias pedagógicas en el aula de clase. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, ISSN: 1692-7257.

Trillo, s. g. (2017). Aceleracion de corrientes eolicas de reducida velocidad. *energia dialnet*.

Yingning, Q. (2015). wind turbulence impacts to onshore and off shore. *science world* .

