

Análisis de fallas en sistemas híbridos conectados a la red eléctrica



Colaboración

Roberto Carlos Arce Ramos; Fernando Jurado Pérez, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato

RESUMEN: En esta investigación se presenta una simulación analizando distintos escenarios de fallas en los sistemas híbridos de generación eléctrica (eólico-solar), estas fuentes de generación renovables están conectadas a la Red eléctrica que es la fuente principal de generación, las fallas son ocasionadas en el lado de las cargas, es decir donde se consume la energía eléctrica generada por la Red eléctrica, así como de las fuentes renovables con el fin de visualizar y analizar qué tan confiable y viable son el uso de sistemas híbridos como fuentes de generación y si es posible que dichas fuentes renovables sean capaces de estabilizar el sistema eléctrico ante contingencias eléctricas. Este análisis se realiza con la herramienta Matlab/Simulink®.

PALABRAS CLAVE: Sistemas híbridos, Panel fotovoltaico, Aerogenerador, Energía renovable, Irradiación, Coeficiente de potencia.

ABSTRACT: In this paper, a simulation is presented analyzing different failure scenarios in hybrid electric generation systems (wind-solar), these renewable generation sources are connected to the electricity grid, which is the main generation source, the failures are caused in the side of the loads, that is to say where the electrical energy generated by the electricity grid is consumed, as well as from renewable sources in order to visualize and analyze how reliable and viable the use of hybrid systems are as sources of generation and if it is possible that these renewable sources are capable of stabilizing the electrical system in the event of electrical contingencies. This analysis is carried out with the Matlab / Simulink® tool.

KEYWORDS: Hybrid systems, Photovoltaic panel, Wind turbine, Renewable energy, Irradiation, Power coefficient.

INTRODUCCIÓN

En la última década el consumo energético ha aumentado sin cesar, de la mano del crecimiento socioeconómico del aumento de la población, y sin dejar de un lado los límites de protección y cuidado del medio ambiente derivado del calentamiento global es por lo que los paradigmas energía-ambiente son consideradas en la toma de decisiones en la reducción de las emi-

siones de dióxido de carbono. Esta investigación tiene la objetividad de buscar, indagar, investigar y generar conocimiento de nuevas y mejores fuentes de energía optimizando con ello la demanda energética de una manera amigable con el medio ambiente.

Las nuevas fuentes de energía deben ser renovables y no contaminantes para evitar los inconvenientes del actual modelo de consumo energético y poder alcanzar el cumplimiento del Protocolo de Kyoto [1]. En dicho documento se enlistaron varios sistemas de generación de energía renovable, así como sus aplicaciones como se aprecia en la Tabla 1. Además, con la versatilidad de utilización en lugares desapacible sin tener que desarrollar voluminosas infraestructuras [2].

Tabla 1. Energías Renovables y sus aplicaciones [3].

Tecnología	Aplicación	Lugar de aplicación
Solar Fotovoltaico	Electricidad residencial e industrial	Mayormente Urbano
Sistemas solares caseros	Iluminación	Urbano y rural
Solar Térmica	Electricidad residencia e industrial	Mayormente urbano
Secadores solares	Secado de cosechas	Mayormente rural
Turbinas eólicas	Electricidad residencial e industrial	Urbano y rural
Biomasa solida	Cocina e iluminación	Rural

Las fuentes de energía renovables, la hidráulica, eólica, solar, biomasa, mini hidráulica, etc., sigue teniendo un gran auge en las últimas décadas ya que son decisivas para tener un desarrollo sostenible en el mundo. En este análisis en particular se considera el uso de la energía fotovoltaica y eólica que son viables como opciones para la generación de energía eléctrica.

La energía que irradia el sol es una fuente renovable e inagotable que es factible de ser utilizada en diferentes aplicaciones, la cual está disponible y lista para ser usada y poder generar energía eléctrica a partir de ésta.

De la siguiente forma el aprovechamiento del viento para la generación eléctrica a gran escala es la tecnología de energía renovable que más ha crecido en las últimas décadas, con porcentajes de uso del 40% por año desde 1993 [4]. Es por esto por lo que el viento es aprovechable para aplicaciones mecánicas y electrificación de sitios aislados.

Modelo matemático del Panel Fotovoltaico.

En la actualidad el conocimiento actual de los dispositivos aplicables a celdas solares está constituidos por una unión p-n y que convierte directamente la energía de la radiación solar en energía eléctrica [2]. Al irradiar luz sobre la celda generando un voltaje y una corriente

produciendo una potencia. Al conjunto de arreglos de varias celdas se le llama panel solar diseñado para conexiones en serie o paralelo.

Los parámetros importantes que caracterizan un panel fotovoltaico (PF) son:

- Corriente de corto circuito I_{cc} .
- Voltaje de circuito abierto V_{oc}
- Potencia máxima P_{max} .
- El factor de forma FF.
- Eficiencia η .

Los anteriores parámetros dependen de las condiciones ambientales a las cuales estén expuestos los PF tales como la temperatura, irradiación en el caso de generación mediante el sol y velocidad del viento este último repercute en la temperatura del panel. En la Figura 1 se muestra el esquema de un PF.

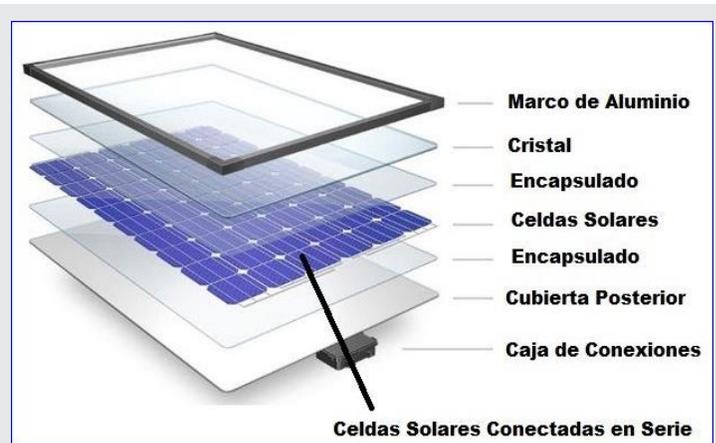


Figura 1. Elementos de un Panel Fotovoltaico.

A continuación, se muestra la curva característica del área de operación de un PF a condiciones estándar de 1000 W/m^2 y 25°C . Donde la curva I-V (Figura 2.), es la gráfica que marca los valores posibles de voltaje y corriente y la curva P-V (Figura 3), es la gráfica de los valores de potencia, voltaje que principalmente dependen de la temperatura y de la irradiación solar que recibe el PF.

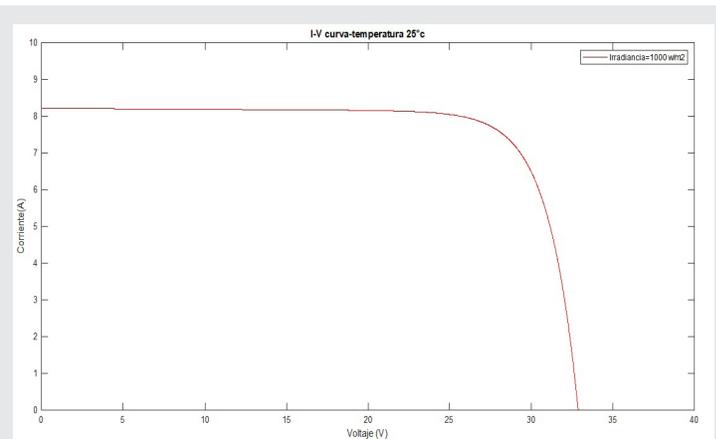


Figura 2. Curva I-V de un PF.

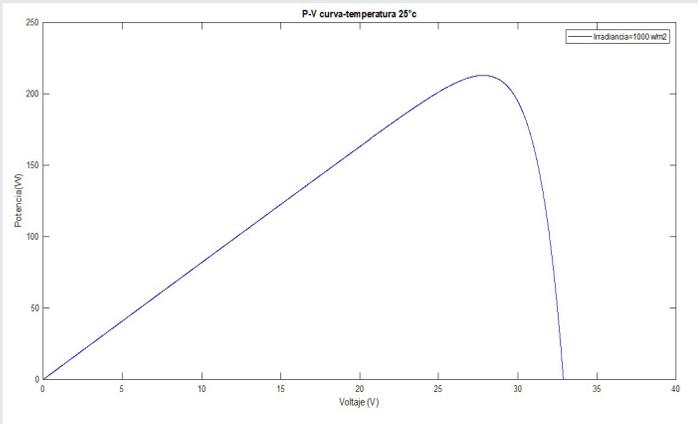


Figura 3. Curva P-V de un PF

El circuito de un PF presenta pérdidas las cuales se pueden apreciar representadas por las resistencias en serie de los contactos superior e inferior de la celda y las terminales de corrientes la cuales debe ser lo menor posible (R_s), las pérdidas por resistencias en paralelo representan los defectos estructurales al interior de la celda (R_{sh}). En la Figura 4 se aprecia el circuito de un PF.

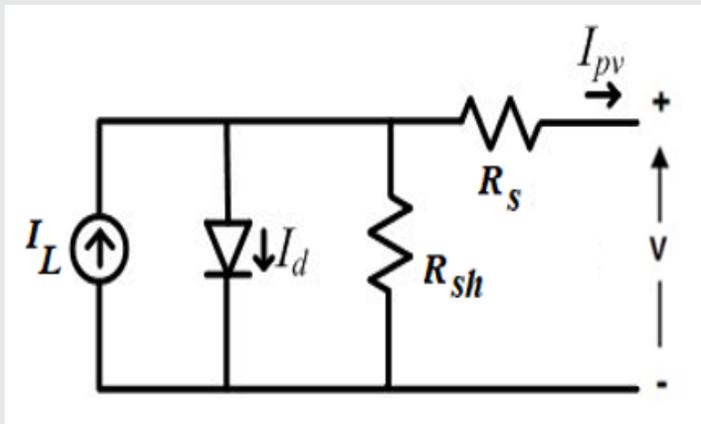


Figura 4. Circuito equivalente de un PF.

A partir de la ley de corrientes de Kirchoff se obtiene la Ec.1

$$I = I_L - I_d - I_{sh} \quad \text{Ec.1}$$

Donde:

I_L = Corriente foto generada.

I_d =Corriente del diodo.

I_{sh} =Corriente de pérdida de la resistencia en paralelo.

I =Corriente de salida del PF.

Modelo matemático del aerogenerador.

El proceso de la conversión de la energía eólica en el siguiente diagrama de bloques (Figura 5).

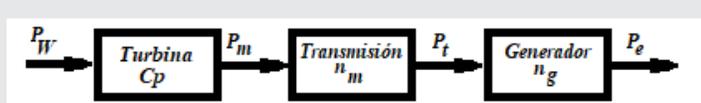


Figura 5. Sistema de conversión de energía eólica.

Donde:

P_w =Potencia del viento

P_m =Potencia mecánica de la turbina

P_t =Potencia transmitida al generador

P_e =Potencia eléctrica

$C_p = n_m = n_g$ =Eficiencias

Un aerogenerador convierte la energía cinética del viento en trabajo mecánico y este a su vez es transmitido a un generador que se encarga de la potencia eléctrica (W). La curva de potencia característica del generador describe la relación entre la variable de entrada de la velocidad del viento y la variable de salida de la potencia eléctrica en watts.

La curva característica P-V (Figura 6), de un generador eólico de 3 palas, 920 – 1,560 rpm, 60 (Hz), 1500W.

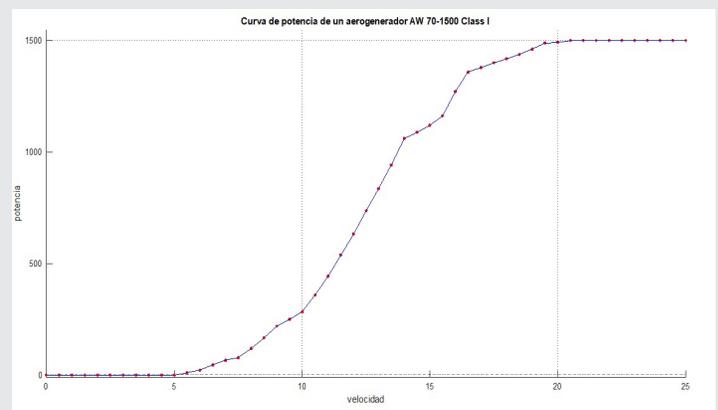


Figura 6. Curva Característica V-P

Uno de los parámetros más importantes cuando se investiga sobre la generación eólica, en específico de aerogeneradores es su función la cual es interceptar la mayor cantidad de aire en un área determinada a su vez este enfocada a la turbina conocida como área de barrido.

En esta zona se produce el cambio de la energía cinética del viento a potencia mecánica que se entrega a través del eje de la turbina, en esta transformación como en toda conversión energética existen pérdidas. Para considerar las pérdidas de transformación de la máquina, se el concepto de Coeficiente de Potencia (C_p), se muestra en Figura 7, siendo la eficiencia de la conversión de las turbinas eólicas [5].

El valor máximo de este coeficiente corresponde a $16/27$ y es mencionado como Límite de Betz. Los diseños más modernos de turbinas pueden lograr alcanzar un valor máximo de coeficiente de potencia de 0.4 aproximadamente.

Cabe aclarar que, si bien la determinación del coeficiente de potencia se ha realizado para turbinas de eje horizontal, su expresión es válida para cualquier clase de turbina [6].

La ecuación que determina la potencia mecánica es la siguiente:

$$P = \frac{\rho A V^3 C_p}{2} \quad \text{Ec.2}$$

Donde:

P = Potencia (W)

ρ = Densidad del aire (kg/m³)

A = Área Barrida por el rotor(m²)

V = Velocidad del viento (m/s)

C_p = Coeficiente de potencia.

Existen 3 principales factores que nos ayudan a determinar la potencia de un generador [7].

- La distribución del viento donde sea instalado el aerogenerador, debe elegirse un sitio con un buen potencial de energía eólica,

- La altura de la turbina, existen muchas relaciones que se utilizan para encontrar la variación del viento una altura determinada.

- La curva de potencia eléctrica de salida, dicha información es proporcionada por el fabricante y por el tipo de modelo que se utilizara.

Cabe mencionar que es de suma importancia un análisis previo que nos ayude a pronosticar el clima para tener un mejor desempeño en un generador eólico.

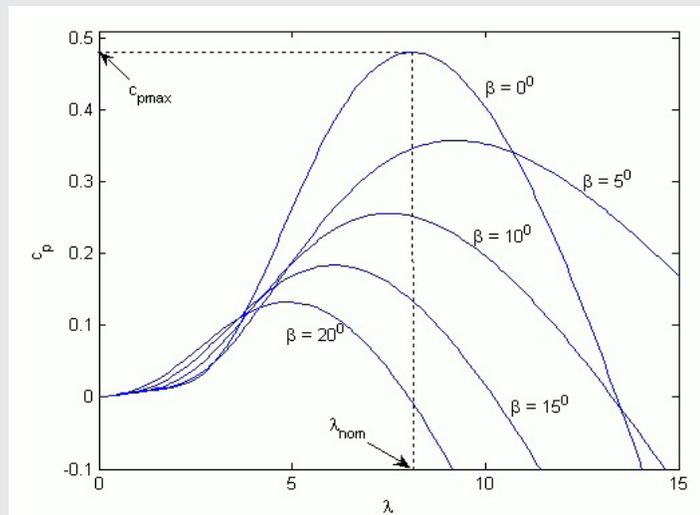


Figura 7. Coeficiente de potencia en función del ángulo de paso de las palas.

Sistema híbrido Eólico-Solar

Un Sistema híbrido es aquel que nos permite aprovechar dos o más fuentes de energía para suministrar la energía demandada. Los sistemas híbridos eólicos y fotovoltaicos constan de aerogeneradores y paneles fotovoltaicos para captar la energía, debido que los tiempos picos de operación de los sistemas renovables ocurren en diferentes tiempos y momentos del año es probable que un sistema híbrido produzca energía cuando este lo demande.

Este tipo de sistemas de generación de energía renovable ha crecido y ha tenido más popularidad ya que son sistemas autónomos, esto quiere decir que no es necesario la conexión a la red o a cualquier otro tipo de sistemas de distribución eléctrica

Ventajas de un sistema híbrido:

- Cuando no se cuenta con una fuente disponible el sistema podrá proporcionar energía de la fuente alternativa.

- Los PF requieren poco mantenimiento.

- Los aerogeneradores solo ocupan un mantenimiento periódico.

Existen diferentes tipos de conexión en los sistemas híbridos ya sean conexiones CA/CD, CD/CA, CA/CA o CD/CD.

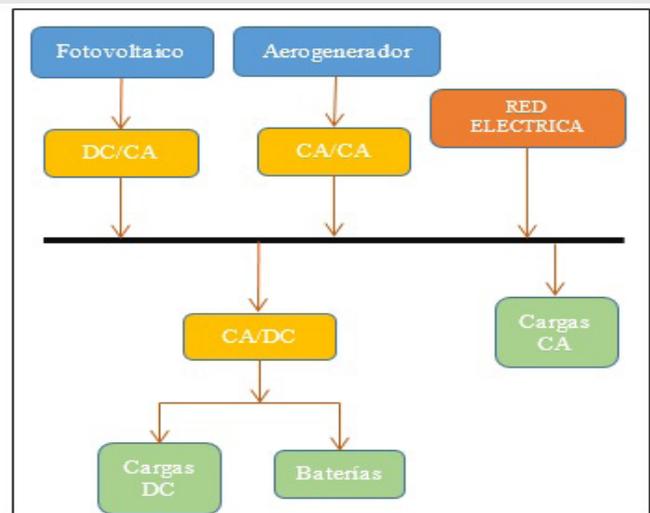


Figura 8. Sistema híbrido con cargas en CA Conectado a la RED eléctrica.

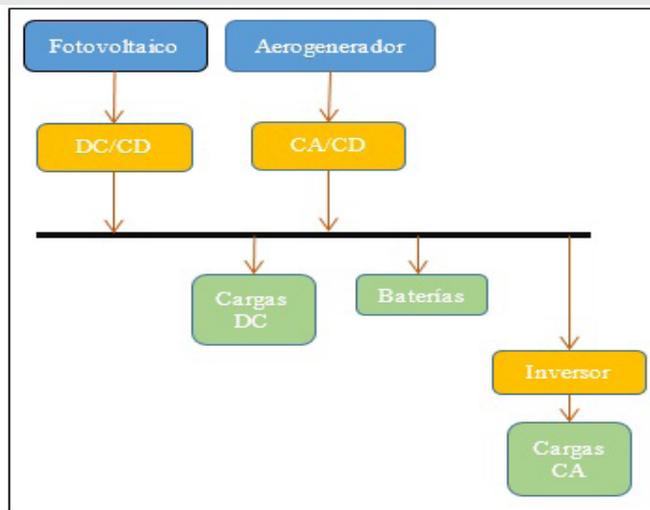


Figura 9. Sistema híbrido con cargas en CD Aislado de la RED eléctrica.

Desarrollo del modelo en Simulink®

El modelo desarrollado en Simulink® a través de diagramas de bloques consta de un generador (Red eléctrica) que suministra 15 MW y 25 KV el cual acoplado a un transformador 1 a 1, el sistema de generación renovable consta de dos fuentes una eólica de 4.5 MW y 575 V conectado a un transformador elevador a 25 KV la fuente solar de 8 MW y 25 KV, todo el sistema de transmisión está conectado a un transformador reductor a 600 V.

Se tiene dos cargas conectadas el sistema de distribución una de 4 MW y otra de 10 MW, en esta última carga se someterán el sistema de distribución a diferentes tipos de fallas:

- Monofásica a tierra
- Fase a fase
- Bifásica a tierra
- Trifásica a tierra

Para visualizar el comportamiento de nuestras tres distintas fuentes de energía que tenemos en nuestro diagrama.

La simulación está programada 24 horas tomando en cuenta la velocidad del viento para que los aerogeneradores que van variando conforme pase el día, así como la irradiación del sol del mismo modo el consumo de energía depende de la hora pico donde es mayor el consumo

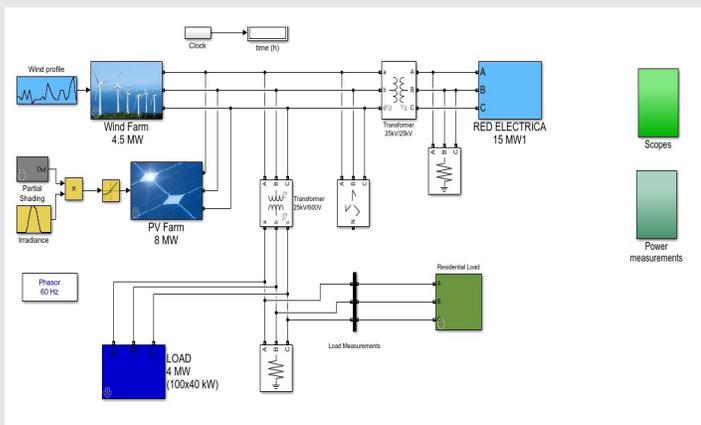


Figura 10. Diagrama de bloques del sistema híbrido conectado a la RED eléctrica.

RESULTADOS

Caso I. Falla monofásica A a tierra.

La fase 1 mostrada de azul tiende a caer a casi un valor de 0 v, de igual modo la corriente de la fase 1 tiene un pico de corriente debido a la caída de tensión, esto con el fin de buscar un balance en el sistema trifásico. Esto se puede verificar en la Figura 11 en la gráfica del V / I.

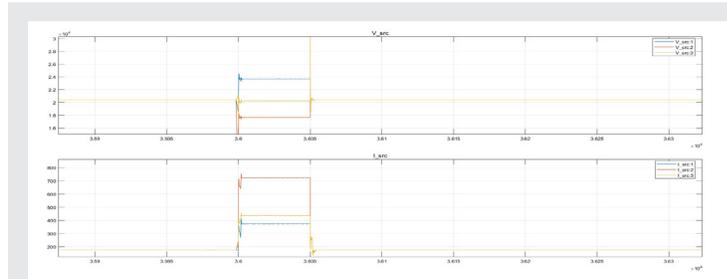


Figura 11. Gráfica de V e I en la red eléctrica.

Caso II. Trifásica a tierra aislada a la Red

Las fallas en un sistema aislado a la Red y soportadas solamente por nuestras fuentes renovables son incapaces de satisfacer y balancear las cargas.

En la Figuras de 12, 13 y 14 se pueden apreciar comportamiento de voltaje, corriente, potencia aparente, activa y reactiva de las tres fuentes de energía eléctrica del modelado del sistema híbrido mostrado en la Figura 10.

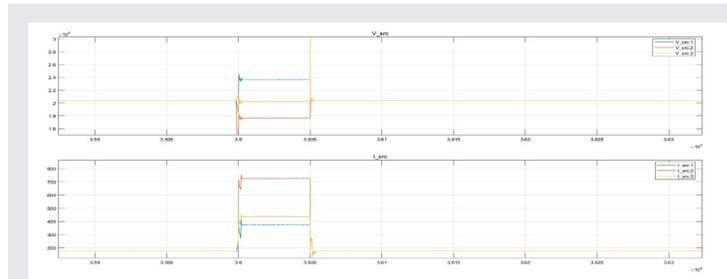


Figura 12. Gráfica de V, I, S, P, Q de la Red eléctrica.

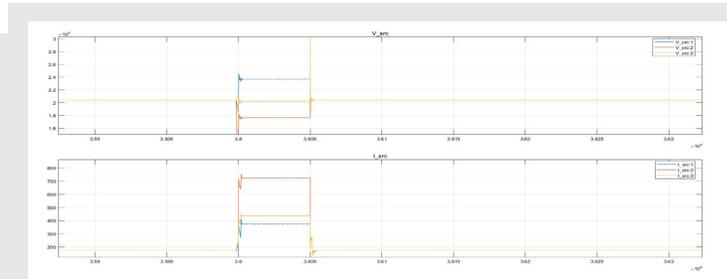


Figura 13. Gráfica de V, I, S, P, Q de los aerogeneradores.

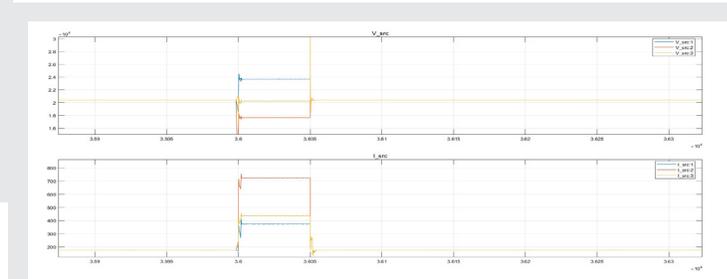


Figura 14. Gráfica de V, I, S, P, Q de los paneles solares.

CONCLUSIONES

El uso de sistemas híbridos basados de la mano de fuentes de energías renovables es un tema que ha tenido un gran desarrollo en las últimas décadas sin embargo la dependencia de estas fuentes para la gene-

ración de energía es una variable, aún muy inestable y eso ocasiona que en ciertos casos de emergencia no sea del todo útil el uso de éstas fuentes.

Como se mostró en el último caso simulado las fuentes naturales como en el caso de los paneles el tiempo de generación de energía es muy poco y en el caso de los aerogeneradores aunque su generación sea de mucho más tiempo en los horarios nocturnos (entre 11 de la noche y 6 de la mañana) el consumo es mínimo, así no es aprovechado el uso de esta fuente al cien por ciento (en el estudio In Situ), dado estos resultados y a lo observado en las simulaciones el uso de una energía renovable tiene una mayor eficiencia como un generador de energía distribuida ya que permitiría usar en caso específicos la energía de esta fuente, el almacenarla y el inyectar energía a la red eléctrica.

BIBLIOGRAFÍA

[1] G. d. Mexico, «protocolo de kioto,» Semarnat, Ciudad de Mexico, 2014.

[2] J. Roe., «Diseño e Implementacion de un inversor,» 2009.

[3] «Global Status Report, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century REN21,» Renewables , 2007.

[4] Manuales sobre energia renovable: Eolica, San Jose, Costa Rica, 2002.

[5] T. S. Campos, Algunos elementos sobre la energia eolica, Gerente Programa de Energia.

[6] J. N. Walker J. F., Wind Energy Technology, John Willey & Sons, 1997.

[7] A. G. Thapar V., «Critical analysis of methods for mathematical modelling of wind turbines,» Renewable Energy, 2011.

[8] Desarrollo de un Sistema Hibrido de Genracion Electrica para Aplicaciones en Areas Rurales, 13 de mayo de 2011.

[9] International course on the implementation of wind energy, Holanda: ECN, 1994.

[10] Multinivel para Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red, 2009-2010.

[11] L. G. V. C. Ponce Corral, «Diseño de un Sistema Hibrido Eolico Solar para Suministro de Energia Electrica a zona rural en el estado de Chihuahua,» 2014.

[12] M. H. Diaz, «Diseño de un sistema hibrido de generacion electrica a partir de fuentes renovables de energia.,» 2013.

[13] F.Valenciaga, «Control de Estructura Variable en Sisitemas Hibridos de Generacion de Energia,» 2001.

[14] M. Bell y D. I.E, «Performance Analysis of Photovoltaic System Coupled to Universal Motor Using Matlab Tool,» 2006.

[15] W. De Soto, «Improvement and validation of a Model for Photovoltaic Array Performance,» 2004.

[16] C. y. b. S. Honsberg, «Red de educacion fotovoltaica».