

Modelado y Simulación de Sistemas Fotovoltaicos y Eólicos en PSS/E y GMB

J.E. Morón-Monreal¹, M.A. Arjona-Lopez², C. Hernández-Flores³, L. Hamdán-Medina⁴

Resumen—Este documento presenta la experiencia en el manejo del software de simulación de sistemas eléctricos de potencia PSS/E. En donde introducirá sistemas de energía renovables. Se modela un sistema fotovoltaico y un parque eólico equivalente y algunos conceptos de los sistemas eléctricos de potencia. Los principales temas a ser discutidos y demostrados incluyen el análisis de flujo de potencia en corriente alterna. Los ajustes se han probado en un sistema de la IEEE con 9 buses, integrando un sistema fotovoltaico y un parque eólico equivalente. El modelado y simulación de sistemas fotovoltaicos y eólicos en PSS/E ayudan a comprender el comportamiento del sistema eléctrico ya sea en estado estacionario o en estado transitorio. Esto nos permite tener una visión muy precisa del estado del sistema eléctrico implementado.

Palabras claves—Generador de Inducción Doblemente Alimentado, Flujo de Carga, GMB, Modelo Fotovoltaico, Modelo del Aerogenerador, PSS/E.

Abstract—This paper presents the experience in the management of PSS/E power systems simulation software. Where it will introduce renewable energy systems. Modeling a photovoltaic system, an equivalent wind farm and energy systems concepts. The main topics to be discussed and demonstrated include AC power flow analysis. The adjustments have been tested in an IEEE system with 9 buses, integrating a photovoltaic system and an equivalent wind farm. The modeling and simulation of photovoltaic and wind systems in PSS/E help to understand the behavior of the electrical system either at steady state or in transitory state. This allows us to have a very precise vision of the state of the implemented electrical system.

Keywords—Doubly Fed Induction Generator, GMB, Load Flow, Photovoltaic Model, Wind Turbine Model, PSS/E.

XXIII. INTRODUCCIÓN

Las tecnologías basadas en los combustibles fósiles han avanzado en nuestra calidad de vida, pero al mismo tiempo, estos avances han llegado a un precio muy alto. Las fuentes de energía de los combustibles fósiles son la

principal causa de contaminación y degradación del medio ambiente. Logrando destruir irreversiblemente aspectos de nuestro medio ambiente. El calentamiento global es el resultado del consumo desmedido del combustible fósil. Nuestra búsqueda implacable y la necesidad de controlar los valiosos recursos de combustibles fósiles, como el petróleo y el gas natural, han promovido también conflictos políticos. Ahora dependemos de fuentes de energía que son insostenibles a medida que crecen nuestras necesidades de energía y agotamos nuestros recursos limitados. A medida que disminuyan los suministros de petróleo, será cada vez más urgente encontrar alternativas energéticas que sean sostenibles y seguras para el medio ambiente y la humanidad.

La creciente preocupación por el calentamiento global, el crecimiento exponencial de la población mundial y el hecho de que se está haciendo más difícil y más caro extraer petróleo muestra un gran atractivo el uso de fuentes de energía renovables. La energía eólica y la solar son unas de las fuentes de energía más importantes del mundo.

La energía eólica es un tipo de energía renovable cuya fuente es la fuerza del viento. La forma típica de aprovechar esta energía es a través de la utilización de aerogeneradores o turbinas de viento. Los paneles solares fotovoltaicos utilizan el efecto fotovoltaico para transformar la energía solar en electricidad. Durante este proceso, no se producen emisiones contaminantes. Por lo tanto, los sistemas fotovoltaicos se consideran para proporcionar energía y ayudar a reducir las emisiones globales de carbono.

XXIV. ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA

El estudio del flujo de carga, también llamado flujo de potencia, distribución de carga, etc., consiste en la determinación de voltajes, intensidades, potencias activas y reactivas en distintos puntos de una red eléctrica. Se consideran sistemas en régimen permanente, equilibrados, sinusoidales sin anomalías.

Los resultados que se obtienen son, generalmente, la magnitud y la fase de la tensión en cada barra, así como la potencia activa y reactiva entrantes en cada una de ellas. Estos resultados pueden ser utilizados para:

- Evaluar el comportamiento del sistema existente en condiciones estacionarias normales o anormales.

¹ Jorge Elliott Morón Monreal (j.elliott.m.m@gmail.com), ² Dr. Marco Antonio Arjona López (marjona@ieee.org), ³ Dra. Concepción Hernández Flores (coni.hernandez.f@gmail.com), ⁴ M.C. Lamia Hamdam Medina (lhamdan11@gmail.com) Instituto Tecnológico de la Laguna, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Blvd. Revolución S/N y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna, Col. Centro, C.P. 27000, Torreón, Coahuila, México.

- b) Estudiar alternativas para la planeación de nuevos sistemas o ampliación de los ya existentes.
- c) Estudiar la estabilidad transitoria y permanente de sistemas de potencia
- d) Elaborar plan de contingencias ante fallo de un elemento de la red.

A diferencia de los problemas considerados en la Teoría General de Circuitos, cuya solución consistía, utilizando el método de nodos y mallas, en la resolución de un sistema de ecuaciones algebraicas lineales, en una red de potencia, las ecuaciones que ligan las incógnitas son no lineales, por lo cual deberemos valernos de los métodos matemáticos más recientes del cálculo numérico. Estos métodos, en general iterativos, permiten una rápida resolución al problema.

A. Consideraciones Flujo de Carga

El sistema eléctrico de potencia está diseñado para atender sus cargas y considerar la optimización de los costos de capital y operación. El sistema de alimentación debe funcionar dentro de la capacidad de las líneas de transmisión y transformadores, también todas las tensiones del bus deben permanecer dentro del rango aceptable. Al mismo tiempo, la potencia real y reactiva de los generadores debe mantenerse dentro de sus valores nominales. Para el cálculo del flujo de potencia, los siguientes son los parámetros básicos de entrada:

1. Impedancias de la línea de transmisión y admitancias de carga.
2. Impedancias de transformador y relaciones de derivación.
3. Admitancias de dispositivos conectados por derivación tales como condensadores estáticos y reactores.
4. Consumo de potencia de carga en cada bus del sistema.
5. Potencia real de cada generador o planta generadora.
6. Tanto la magnitud del voltaje en cada bus del generador como la potencia reactiva de cada planta generadora.
7. Capacidad de potencia reactiva máxima y mínima de cada planta generadora.

Y las cantidades siguientes necesitan ser resueltas:

1. La magnitud de la tensión en cada bus, donde esto no se especifica en los datos de entrada.
2. La fase de la tensión en cada bus.
3. La potencia reactiva de cada planta para la cual no se especifica.
4. La potencia real, la potencia reactiva y el flujo de corriente en cada línea de transmisión y transformador.

B. Calculo de Flujo de Carga

El cálculo del flujo de potencia es una cuestión de solución de la red. La red de líneas de transmisión y transformadores se expresa mediante la siguiente ecuación algebraica lineal [1]-[2]:

$$I = Y_{bus}V \tag{1}$$

I: es el vector *N* de las corrientes de las fuentes inyectadas en cada bus.

V: es el vector *N* de los voltajes de bus.

Y_{bus}: es la matriz de admitancias de la red.

Para el bus *k*, la *k*-ésima ecuación es:

$$I_k = \sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n \tag{2}$$

La potencia compleja entregada al bus *k* es:

$$S_k = P_k + jQ_k = V_k I_k^* \tag{3}$$

$$P_k + jQ_k = V_k \left[\sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n \right]^* \quad k = 1, 2, \dots, N \tag{4}$$

Con la siguiente notación:

$$V_n = V_n e^{j\delta_n} = V_n (\cos \delta_n + j \text{sen } \delta_n) \tag{5}$$

$$Y_{kn} = Y_{kn} e^{j\theta_{kn}} = G_{kn} + jB_{kn} \quad k, n = 1, 2, \dots, N \tag{6}$$

La ecuación (4) se convierte en:

$$P_k + jQ_k = V_k \sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n e^{j(\delta_k - \delta_n - \theta_{kn})} \tag{7}$$

Tomando las partes real e imaginaria de la ecuación (7), podemos escribir las ecuaciones de equilibrio de potencia como:

$$P_k = V_k \sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n \cos(\delta_k - \delta_n - \theta_{kn}) \tag{8}$$

$$Q_k = V_k \sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n \text{sen}(\delta_k - \delta_n - \theta_{kn}) \quad k = 1, 2, \dots, N \tag{9}$$

También cuando la *Y_{kn}* es expresada en coordenadas rectangulares por:

$$P_K = V_K \sum_{n=1}^N V_n [G_{kn} \cos(\delta_k - \delta_n) + B_{kn} \sin(\delta_k - \delta_n)] \quad (10)$$

$$Q_K = V_K \sum_{n=1}^N V_n [G_{kn} \sin(\delta_k - \delta_n) - B_{kn} \cos(\delta_k - \delta_n)] \quad (11)$$

$k = 1, 2, \dots, N$

Las soluciones de flujos de potencia por el método de Newton-Rapshon se basan en ecuaciones de flujos de potencia no lineales dadas por las ecuaciones (8) y (9) o alternativamente por (10) y (11).

XXV. MODELO DE LA RED.

Para el desarrollo del proyecto se tomara como referencia la red diseñada con un sistema de 9 buses y tres fuentes de generación por la IEEE.

Los sistemas de la IEEE son utilizados por los investigadores para implementar nuevas ideas y conceptos. Esta nota técnica describe los detalles del sistema IEEE 9-Bus [3]. El sistema consta de cargas cuyos valores son especificados en la tabla 1, las líneas de transmisión y generadores como se muestra en el diagrama de impedancias en la Figura 1.

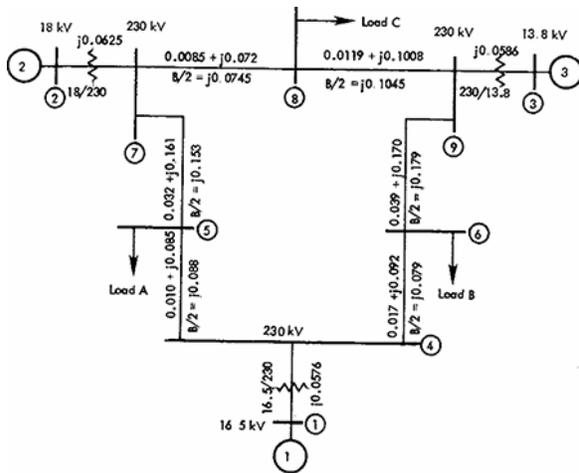


Figura 1. Diagrama de impedancias del sistema IEEE 9 buses

TABLA 1
CARACTERÍSTICAS DE LAS CARGAS IEEE 9-BUS

Bus	P (pu)	Q (pu)
5	1.25	0.50
6	0.90	0.30
8	1.00	0.35

Los niveles de tensión base son 13.8 kV, 16.5 kV, 18 kV y 230 kV.

A. Modelo fotovoltaico en PSS/E

El modelo representa una planta solar con un alimentador dedicado a la interconexión de la red. Para construir un modelo de inversor fotovoltaico se utilizan dos modelos del dispositivo, un modelo de convertidor y un modelo de control [5].

En la etapa de flujo de carga, el inversor fotovoltaico es modelado como un generador convencional conectado a un bus de 400 V, solo usando un transformador. La potencia (MVA) de este generador debe ser igual a la de los dispositivos. La tabla 2 muestra las especificaciones para un inversor de 1.32 MVA con un rango de factor de potencia hasta 0.8 en adelante y 0.8 en atraso.

TABLA 2
PARÁMETROS DEL INVERSOR DE 1.32 MVA

Potencia nominal de la placa	1.056 MW
Generador	1.32 MVA
Pmax	1.056 MW
Pmin	0 MW
Qmax	0.79 MVAR
Qmin	-0.79 MVAR
Voltaje	400 V

El inversor priorizará la producción de potencia real sobre la producción de energía reactiva para asegurar que se respetan los límites de corriente del inversor. En caso de utilizar un modelo de inversor diferente, la tabla anterior debe rellenarse con los valores correspondientes obtenidos de la hoja de datos del inversor. El modelo dinámico presentado de la planta solar consta de las siguientes tres partes:

1. Modelo convertidor [GEPVG]: Inyecta corriente activa y reactiva en la red en respuesta a comandos de control, como señales de potencia que inicialmente tienen los valores correspondientes del flujo de potencia.
2. Modelo de control [GEPVE]: envía comandos de potencia activa y reactiva al modelo del convertidor. Su función principal es el control de potencia reactiva que puede ser referenciado desde una regulación de tensión (VRS), desde el control del factor de potencia o directamente de control de potencia reactiva.

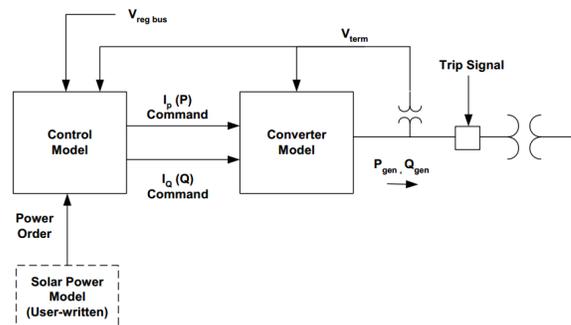


Figura 2. Modelo dinámico de la planta solar GEPVG/GEPVE

B. Modelo del Aerogenerador en PSS/E

El modelo dinámico para el aerogenerador con DFIG (Doubly Fed Induction Generator) en PSS/E está de acuerdo con la recomendación de GE Energy. En la siguiente sección se explicará la estrategia principal del modelo. Hay tres consideraciones cuando el modelo se utiliza para simulaciones dinámicas [4].

1. El modelo es principalmente apropiado para estudios de sistemas de energía complejos. El modelo es para las simulaciones de dominio del tiempo en secuencia positiva.
2. El modelo supone que el análisis se centra principalmente en, cómo el generador de la turbina eólica (WTG) reacciona a las perturbaciones de la red, como las fallas en el sistema de transmisión.
3. Para construir un modelo WTG completo, se utilizan cuatro modelos de dispositivo: modelo generador/convertidor (WT3G), modelo de control eléctrico (WT3E), modelo de control mecánico (WT3T) y modelo de control de Pitch (WT3P). Estos modelos se representan como cuatro bloques en la figura 3.

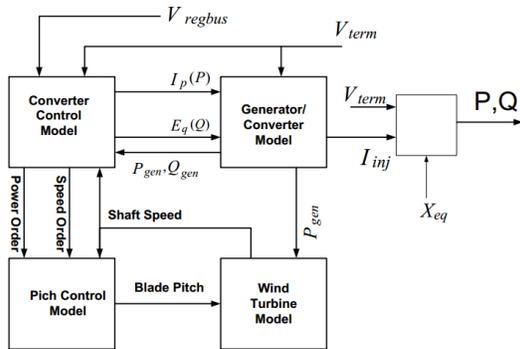


Figura 3. Modelo dinámico del aerogenerador.

Una configuración del sistema de potencia de prueba para estudios de flujo de carga y simulación dinámica consiste en un parque eólico con varias turbinas eólicas. En este estudio sin embargo, el parque eólico se presenta por una sola máquina equivalente conectada a una sola unidad equivalente de transformador. Esta representación se llama modelo agregado de parque eólico.

El modelo agregado se considera suficiente para analizar la respuesta del parque eólico a las perturbaciones de la red y para evaluar el rendimiento de la capacidad de conducción de averías de la turbina eólica. El lado de alta tensión del transformador de la unidad conectado a una línea de transmisión del parque eólico para transferir la energía a una subestación del parque eólico. El nivel de tensión se intensifica en la subestación hasta un nivel adecuado para la conexión a la red.

XXVI. CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA IEEE 9-BUS

Después de obtener todos los parámetros del sistema se construyó el sistema IEEE 9-Bus como muestra la figura 4, con todos sus parámetros descritos anteriormente dentro de PSS/E para el análisis objetivo de implementar un sistema fotovoltaico y el sistema eólico.

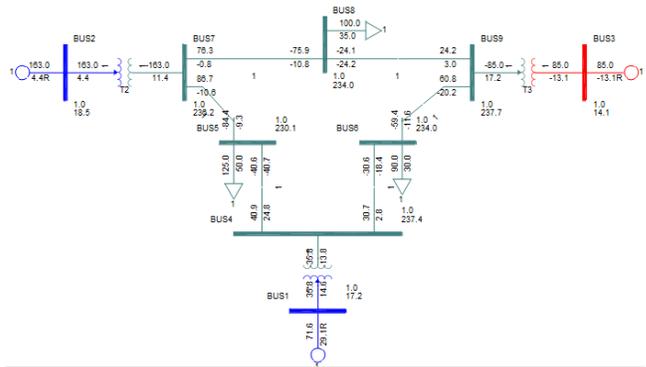


Figura 4. Corrida de flujos del sistema IEEE 9-Bus

A. Caso de estudio

El objetivo de estudio es implementar un aerogenerador; cuyo generador es un generador de inducción doblemente alimentado (DFIG), como también implementar un pequeño sistema fotovoltaico e introducir algunos controladores a partir de GMB.

Dentro de la figura 5 se puede apreciar el modelo del sistema de potencia final con los sistemas de generación eólica y solar agregados. Bus 2 se encuentra conectado el aerogenerador con una potencia nominal de 100 MW, sin embargo, el parque eólico se presenta por una sola máquina equivalente conectada a una sola unidad equivalente de transformador con valores ideales.

El Bus 3 se encuentra conectado al sistema fotovoltaico con 10 modelos GEPVG y GEPVE sumando un total de 10 MW de potencia. Por lo tanto el generador conectado al Bus 1 (Bus Swing) es un generador convencional GENSAL (Salient Pole Generator), que cuenta con sistemas de excitación IEEE1, gobernador de velocidad IEEEGO (IEEE Estándar Governor) y estabilizador PSS2A (IEEE Dual-Input Stabilizer Model).

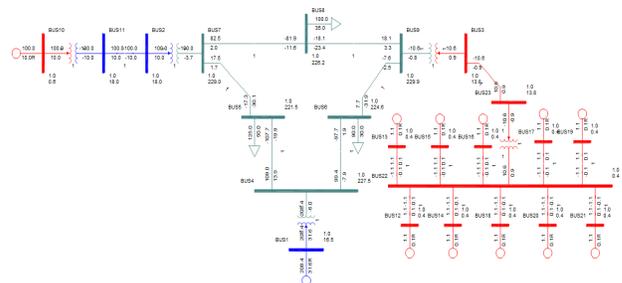


Figura 5. Modelo de la red modificado

B. Modelo del Excitador IEEE1

El propósito del control de excitación, principalmente, es mantener constante la tensión en bornes del generador. En este caso el excitador se utilizará en el Generador GENSAL. La variable de entrada del excitador E_c , es la tensión terminal, y la variable de salida E_{FD} , la tensión de campo [10].

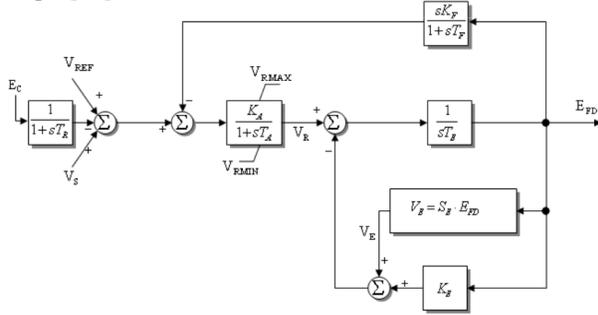


Figura 6. Sistema de excitación IEEE1

Este sistema de excitación posee excitatriz rotativa y un regulador de acción continua. Esta propiedad de regulación inicia una acción correctiva ante cualquier cambio infinitesimal en la variable de control [8]. Para el primer punto de suma se compara la señal de referencia del regulador con la salida del filtro en la entrada para determinar el error en la tensión de entrada al amplificador del regulador. Seguidamente se combina la entrada del error de tensión con la señal del lazo estabilizador de la excitación, para luego dar lugar a la realimentación de la ganancia en la excitación y los efectos de saturación [6].

Algunas consideraciones recomendadas para los parámetros de este dispositivo según [9] son los de la tabla 3.

TABLA 3 RANGOS RECOMENDADOS PARA EL IEEE1

$0 \leq T_R < 0.5$
$-10 \leq V_{RMIN} < 0$
$0.5 < V_{RMAX} \leq 10$
$10 < K_A < 500$
$0 \leq T_A < 1$
$-1 \leq K_E \leq 1$
$T_F < 1$
$0 < K_F < 0.3$
$5 \leq \frac{T_F}{K_F} \leq 15$

Una vez realizado el modelo del excitador en el software NETOMAC empleando GMB (Graphical Model Builder) se procederá a importar dicho modelo hacia el generador GENSAL en PSS/E como sistema de excitación del mismo [11]-[12].

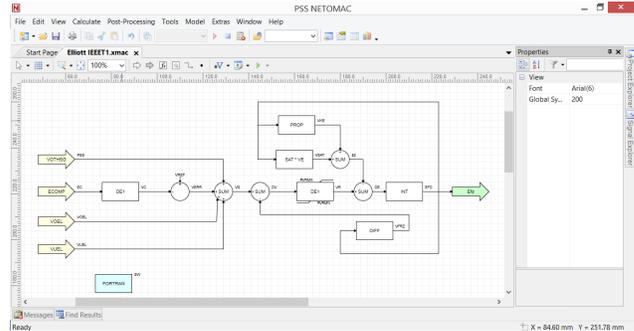


Figura 7. Modelo de excitación IEEE1 en GMB

XXVII. RESULTADOS

Se presentan los resultados obtenidos con la simulación de flujos de carga en PSS/E. En donde se consigue estimar de manera muy precisa los valores de tensión y ángulo de fase en el sistema IEEE de 9 buses original Tabla 3 y el sistema modificado Tabla 4.

TABLA 3 RESULTADOS DE LOS BUSES IEEE 9-BUS

Bus Number	Bus Name	Base KV	Voltage (pu)	Angle (deg)	Normal Vmax (pu)	Normal Vmin (pu)
1	BUS1	16.5	1.0400	0.00	1.1000	0.9000
2	BUS 2	18.0	1.0250	9.35	1.1000	0.9000
3	BUS 3	13.8	1.0250	5.14	1.1000	0.9000
4	BUS 4	230.0	1.0253	-2.22	1.1000	0.9000
5	BUS 5	230.0	0.9997	-3.68	1.1000	0.9000
6	BUS 6	230.0	1.0123	-3.57	1.1000	0.9000
7	BUS 7	230.0	1.0268	3.80	1.1000	0.9000
8	BUS 8	230.0	1.0173	1.34	1.1000	0.9000
9	BUS 9	230.0	1.0327	2.44	1.1000	0.9000

TABLA 4 RESULTADOS DE LOS BUSES DEL SISTEMA MODIFICADO

Bus Number	Bus Name	Base KV	Voltage (pu)	Angle (deg)	Normal Vmax (pu)	Normal Vmin (pu)
1	BUS1	16.5	1.0000	0.00	1.1000	0.9000
2	BUS2	18.0	1.0000	-7.45	1.1000	0.9000
3	BUS3	13.8	1.0000	-13.16	1.1000	0.9000
4	BUS4	230.0	0.9891	-6.97	1.1000	0.9000
5	BUS5	230.0	0.9631	-12.41	1.1000	0.9000
6	BUS6	230.0	0.9766	-12.41	1.1000	0.9000
7	BUS7	230.0	0.9957	-11.05	1.1000	0.9000
8	BUS8	230.0	0.9836	-14.48	1.1000	0.9000
9	BUS9	230.0	0.9985	-13.51	1.1000	0.9000
10	BUS10	0.6	1.0000	-7.45	1.1000	0.9000
11	BUS11	18.0	1.0000	-7.45	1.1000	0.9000
12	BUS12	0.4	1.0000	-13.16	1.1000	0.9000
13	BUS13	0.4	1.0000	-13.16	1.1000	0.9000
14	BUS14	0.4	1.0000	-13.16	1.1000	0.9000
15	BUS15	0.4	1.0000	-13.16	1.1000	0.9000
16	BUS16	0.4	1.0000	-13.16	1.1000	0.9000
17	BUS17	0.4	1.0000	-13.16	1.1000	0.9000
18	BUS18	0.4	1.0000	-13.16	1.1000	0.9000
19	BUS19	0.4	1.0000	-13.16	1.1000	0.9000
20	BUS20	0.4	1.0000	-13.16	1.1000	0.9000
21	BUS21	0.4	1.0000	-13.16	1.1000	0.9000
22	BUS22	0.4	1.0000	-13.16	1.1000	0.9000
23	BUS23	13.8	1.0000	-13.16	1.1000	0.9000

XXVIII. CONCLUSIONES

Se calcularon los voltajes y ángulos de fase en cada bus teniendo una aproximación muy precisa del comportamiento de la red estudiada. Así mismo se integró un sistema fotovoltaico y un sistema eólico, para conocer la respuesta del sistema ante cambios o modificaciones a la red de transmisión. Como se podrá observar el sistema

operado de manera correcta con las modificaciones realizadas al sistema original de la IEEE.

También se desarrolló un modelo informático del sistema con todos los componentes detallados de la granja eólica equivalente (turbinas eólicas, controlador, transformador, barras colectoras, etc.) y los componentes del sistema solar (transformadores, barras colectoras, convertidores, etc.). El modelado se llevó a cabo en estado estacionario y como trabajo futuro el modelado dinámico del sistema.

Tomar en cuenta tres cálculos comunes esenciales para evaluar el impacto de una interconexión de parques eólicos y de grandes sistemas fotovoltaicos para tener así, seguridad y fiabilidad en los sistemas de energía. Estos cálculos son: cálculo del flujo de potencia, cálculo de cortocircuitos y cálculos dinámicos.

De esta manera los sistemas eólicos y fotovoltaicos en simulación de flujos de carga empleando el caso de estudio del sistema de la IEEE de 9 buses. Forma la base para muchos estudios requeridos para conexión de nuevos elementos a la red. Como también saber cuándo es necesario y efectivo la adición de un equipo al sistema, a su vez proponer nuevas alternativas para resolver presentes deficiencias y examinar requerimientos del sistema. El modelo de flujo de carga es también la base para algunos otros tipos de estudios tales como cortocircuito, estabilidad, arranque de motores y estudios de armónicos.

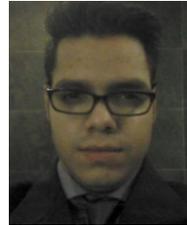
XXIX. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Tecnológico de la Laguna, CONACYT, CEMIE-Eólico, TNM, por el apoyo financiero brindado para realizar este trabajo.

XXX. REFERENCIAS

- [12] W. D. Stevenson, Jr., *Elements of Power Systems Analysis*, 4th ed. (New York: McGraw-Hill, 1982).
- [13] J. D. Glover. *Power System Analysis and Design*, 5th ed. 2012, 2008 Cengage Learning.
- [14] Padmini Sharma and Dr. R N Patel, "Mitigation and Wavelet Analysis for Power Swing in IEEE 9 Bus System," IEEE 3rd International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS -2016), Jan. 22 & 23, 2016, Coimbatore, INDIA.
- [15] K. Clark, N. W. Miller, J.J. Sanchez-Gasca, "Modeling of GE Wind Turbine-Generators for Grid Studies," Version 4.5, April 16, 2010, General Electric International, Inc.
- [16] N. W. Miller, R. Walling, M. Shao, J. MacDowell, "Modeling of GE Solar Photovoltaic Plants for Grid Studies", Version 1.2, May 19, 2011, General Electric International, Inc.
- [17] Norma IEEE 421.5, "IEEE Recommended Practice for Excitation Systems Models for owner System Stability Studies", USA, 2005.8.
- [18] Norma IEEE 421.4, "IEEE Guide for the Preparation of Excitation System Specifications", USA, 1990.
- [19] Norma IEEE 421.2, "Guide for Identification, Testing, and Evaluation of the Dynamic Performance of Excitation Control Systems", USA, 1990.
- [20] Siemens Power Technologies Inc., "PSS/E 34, VOLUME II: PROGRAM APPLICATION GUIDE", 2016.
- [21] Siemens Power Technologies Inc., PSS/E 34, "MODEL LIBRARY", March 2015.
- [22] SIEMENS AG, "PSS NETOMAC 11.5 Procedure Manual", Description of Input Data and Different Simulation Procedures, 2015.
- [23] SIEMENS AG, "PSS NETOMAC 11.5 System Manual", Instructions for the PSS NETOMAC user Interface, 2015.

XXXI. BIOGRAFÍA



J. Elliott Morón Monreal. Nació en Torreón, Coahuila de Zaragoza, México, el 14 de Enero de 1994. Técnico en Mantenimiento de Sistemas Electrónicos por el Colegio Nacional de Educación Profesional Técnica en el año 2012. Actualmente estudia la carrera de Ingeniería Eléctrica en el Instituto Tecnológico de la Laguna. Sus áreas de interés son energías renovables, sistemas eléctricos de potencia y diseño de máquinas eléctricas.



Marco A. Arjona L. Nació en Santa María, Tepic, Nayarit, México; el 13 de junio de 1966. Ingeniero Eléctrico egresado del Instituto Tecnológico de Durango en 1988 en la ciudad de Durango, Durango, México. Obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica por el Instituto Tecnológico de la Laguna en 1990 en Torreón, Coahuila México. Obtuvo el grado de Doctor en Filosofía en Ingeniería Eléctrica por el Imperial College of Science, Technology and Medicine en Londres, Inglaterra en 1996. Él actualmente forma parte de la planta académica del posgrado en Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de la Laguna en Torreón, Coahuila, México. Sus áreas actuales de investigación son máquinas eléctricas y energías renovables. El Dr. Arjona es reconocido por Sistema Nacional de Investigadores como investigador desde el año de 1992. En el año 2008, le otorga la distinción de Investigador Nacional Nivel II, gracias a los trabajos de investigación. Además, pertenece a la IEEE como senior member del año 2008 a la fecha.



Concepción Hernández Flores. Ingeniera en Sistemas Computacionales egresada del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Morelos, en 1991. Obtuvo el grado de Maestra en Ciencias en Sistemas Computacionales por el Imperial College of Science, Technology and Medicine en Londres, Inglaterra en 1995. Obtuvo el grado de Doctora en Ciencias en Ingeniería Eléctrica por el Instituto Tecnológico de la Laguna, en 2007. Ella actualmente forma parte de la planta académica del posgrado en Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de la Laguna.



Lamia Hamdán Medina. Ingeniera en Sistemas Computacionales egresada del Instituto Tecnológico de La Laguna, en 1995. Obtuvo el grado de Maestra en Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico de La Laguna en el año 2006. Actualmente estudia la maestría en Ciencias en Ingeniería Eléctrica en el Centro de Posgrado del Instituto Tecnológico de La Laguna. Ella trabaja desde 1999 y a la fecha, forma parte de la planta académica de la Ingeniería en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico de La Laguna en Torreón, Coahuila, México. Sus áreas de interés son Análisis de datos, Ingeniería de Software y Energías renovables.