

**Reporte de Investigación  
2007-05**

# **Validación de Software de Flujo de Potencia: Parte I**

**Responsables: Francisco M. González-Longatt  
Supervisor: Francisco M. González-Longatt**



**Línea de Investigación:  
Fuentes Alternas de Energía  
y  
Generación Distribuida**



**20-Ene-2006**

## Introducción

Los programas son típicamente verificados y validados contra resultados en campo, mediciones en sistemas reales, programas establecidos y cálculos manuales para asegurar su exactitud técnica.

En el caso particular del programa desarrollado en ésta tesis para el estudio del flujo de potencia, se considero la verificación y validación mediante una comparación de los resultados obtenidos con el programa contra los resultados considerados tradicionalmente como patrón o referencia. A tal efecto consideraron dos patrones o referencias:

- *Redes de Pruebas Reconocidas.*
- *Programa Patrón o Referencia.*

## Casos de Validación y Resultados de Comparación

Para la validación se empleó los casos de prueba de la IEEE, los cuales se encuentran fácilmente en la red [2]. Estos archivos emplean el formato de intercambio de datos de la IEEE, el cual puede ser encontrado en el artículo "Common Data Format for the Exchange of Solved Load Flow Data", Working Group on a Common Format for the Exchange of Solved Load Flow Data, \_IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems\_, Vol. PAS-92, No. 6, November/December 1973, pp. 1916-1925. Específicamente tres casos de pruebas fueron considerados:

- *Caso de Prueba IEEE 14 Barras.* Representa una porción del Sistema Eléctrico de Potencia americano (en el Medio Oeste de EE.UU), de Febrero de 1962. Comparado con el sistema de potencia de 1990, este posee bajos voltajes bases y una superabundancia de capacidad de control de voltaje (Figura A1).
- *Caso de Prueba IEEE 30 Barras.* Representa una porción del Sistema Eléctrico de Potencia americano (en el Medio Oeste de EE.UU), de diciembre, 1961. El sistema posee voltajes de 1, 11, 33 y 132 kV (Figura A2).
- *Caso de Prueba IEEE 57 Barras.* Representa una porción del Sistema Eléctrico de Potencia americano (en el Medio Oeste de EE.UU), a comienzos de la década de 1960. El caso de prueba no tiene límites en las líneas (Por consideraciones de practicidad el diagrama unifilar no es incluido).

Los casos de prueba empleados en este documento no consideran límites en la capacidad de transmisión de las líneas.

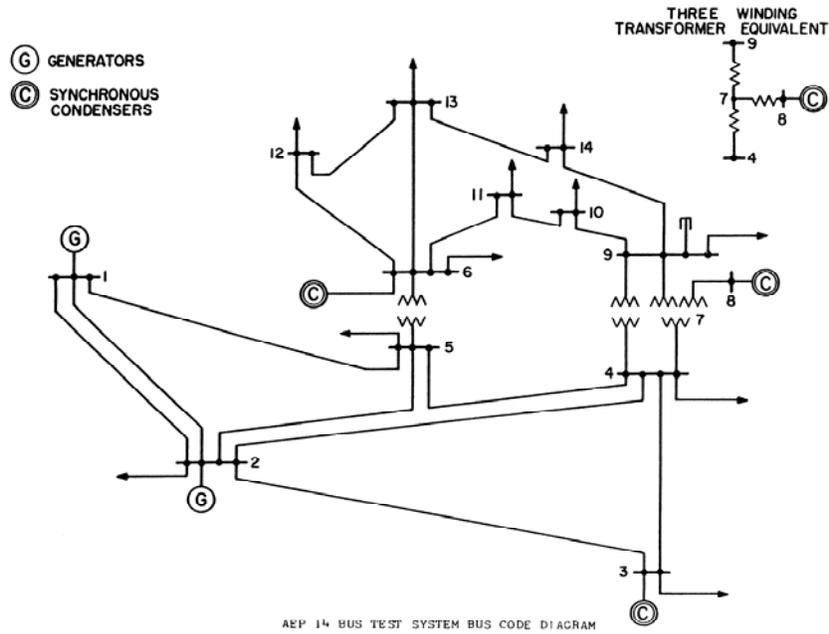


Figura A.1. Caso de Prueba de IEEE 14 Barras

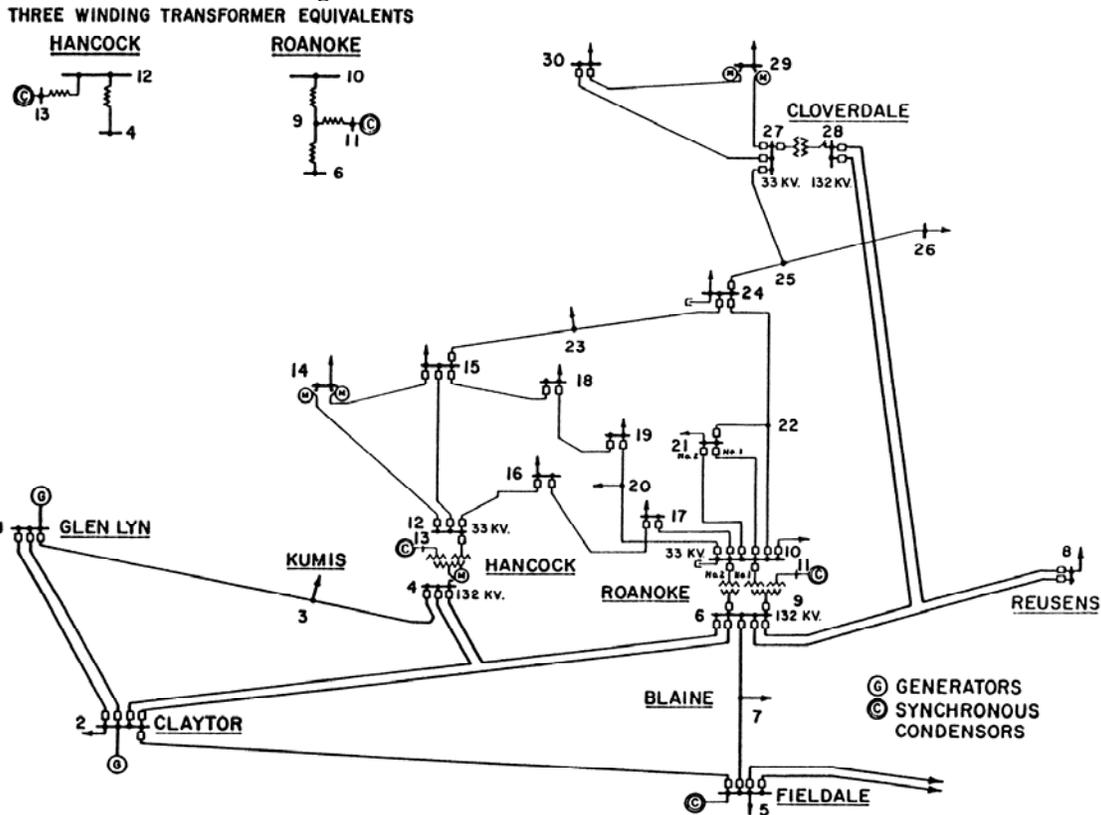


Figura A.2. Caso de Prueba de IEEE 30 Barras

Cada caso de prueba el número de barras y las características de los elementos (líneas, cables, transformadores, y generadores) están definidos por los archivos disponibles de la IEEE [1]. La impedancia serie de la línea es considerada junto con los efectos de la susceptancia capacitiva; y en los casos se incluyen el uso de transformadores con cambiadores de toma, en una posición fija.

El despacho de generación y la carga de cada barra fueron tomados según los datos aportados por IEEE [1]. Las cargas son consideradas concentradas, estáticas y modeladas a potencia constante.

La comparación de resultados fue efectuada entre el programa desarrollado para el cálculo de flujo de potencia, y los publicados en los casos de prueba de la IEEE [1]. Las simulaciones fueron efectuadas empleando el Método de Newton-Raphson, con una tolerancia del error máxima de  $10^{-5}$ . Los cambiadores de toma en los transformadores se consideraron en una posición fija.

Las comparaciones son hechas para el voltaje de barra (magnitud y ángulo) y los flujos de potencia en ramas (potencia activa y reactiva). Solo se han mostrado las Tablas comparativas para los voltajes de barra, mientras que por consideraciones de espacio, no se muestran las tabulaciones de los resultados de flujo de potencia en ramas.

**Tabla A1. Caso de Prueba de IEEE 14 Barras: Comparación de los Voltajes de Barra del programa desarrollado y los resultados publicados**

Barra	Referencia		Resultados		Diferencia	
	Modulo [p.u]	Angulo [Grados]	Modulo [p.u]	Angulo [Grados]	Modulo [p.u]	Angulo [Grados]
1	1.060	0.00	1.060	0.00	0.0000	0.0000
2	1.045	-4.98	1.045	-4.98	0.0000	0.0026
3	1.010	-12.72	1.010	-12.73	0.0000	0.0051
4	1.019	-10.33	1.018	-10.31	0.0013	-0.0171
5	1.020	-8.78	1.020	-8.77	0.0005	-0.0061
6	1.070	-14.22	1.070	-14.22	0.0000	0.0009
7	1.062	-13.37	1.062	-13.36	0.0005	-0.0104
8	1.090	-13.36	1.090	-13.36	0.0000	-0.0004
9	1.056	-14.94	1.056	-14.94	0.0001	-0.0015
10	1.051	-15.10	1.051	-15.10	0.0000	-0.0027
11	1.057	-14.79	1.057	-14.79	0.0001	0.0006
12	1.055	-15.07	1.055	-15.08	-0.0002	0.0056
13	1.050	-15.16	1.050	-15.16	-0.0004	-0.0037
14	1.036	-16.04	1.036	-16.03	0.0005	-0.0064

Para el Caso de Prueba de IEEE 14 Barras (ver Tabla A1), la diferencia de los resultados para el voltaje de barra es menor al 0.01% para todas las magnitudes y menos de 0.0171 grados en el ángulo. En el caso de los flujos de potencia en las ramas resultan Los flujos de potencia en ramas, resultan con un error menor a 0.34%.

**Tabla A2. Caso de Prueba de IEEE 30 Barras: Comparación de los Voltajes de Barra del programa desarrollado y resultados publicados**

<i>Barra</i>	<i>Nombre</i>	<i>Referencia</i>		<i>Resultados</i>		<i>Diferencia</i>	
		<i>Modulo</i> <i>[p.u]</i>	<i>Angulo</i> <i>[Grados]</i>	<i>Modulo</i> <i>[p.u]</i>	<i>Angulo</i> <i>[Grados]</i>	<i>Modulo</i> <i>[p.u]</i>	<i>Angulo</i> <i>[Grados]</i>
1	Glen Lyn	1.060	0.00	1.0600	0.00	0.000	0.0000
2	Claytor	1.043	-5.48	1.0430	-5.3500	0.000	-0.1300
3	Kumis	1.021	-7.96	1.0207	-7.5323	0.000	-0.4277
4	Hancock	1.012	-9.62	1.0117	-9.2845	0.000	-0.3355
5	Fieldale	1.010	-14.37	1.0100	-14.1671	0.000	-0.2029
6	Roanoke	1.010	-11.34	1.0102	-11.0654	0.000	-0.2746
7	Blaine	1.002	-13.12	1.0024	-12.8661	0.000	-0.2539
8	Reusens	1.010	-12.1	1.0100	-11.8145	0.000	-0.2855
9	Roanoke	1.051	-14.38	1.0509	-14.1098	0.000	-0.2702
10	Roanoke	1.045	-15.97	1.0451	-15.7006	0.000	-0.2694
11	Roanoke	1.082	-14.39	1.0820	-14.1098	0.000	-0.2802
12	Hancock	1.057	-15.24	1.0571	-14.9441	0.000	-0.2959
13	Hancock	1.071	-15.24	1.0710	-14.9441	0.000	-0.2959
14	Bus 14	1.042	-16.13	1.0423	-15.8363	0.000	-0.2937
15	Bus 15	1.038	-16.22	1.0377	-15.9283	0.000	-0.2917
16	Bus 16	1.045	-15.83	1.0444	-15.5272	0.001	-0.3028
17	Bus 17	1.040	-16.14	1.0399	-15.8623	0.000	-0.2777
18	Bus 18	1.028	-16.82	1.0281	-16.5426	0.000	-0.2774
19	Bus 19	1.026	-17.00	1.0256	-16.7164	0.000	-0.2836
20	Bus 20	1.030	-16.8	1.0297	-16.5198	0.000	-0.2802
21	Bus 21	1.033	-16.42	1.0327	-16.1433	0.000	-0.2767
22	Bus 22	1.033	-16.41	1.0332	-16.1291	0.000	-0.2809
23	Bus 23	1.027	-16.61	1.0272	-16.3190	0.000	-0.2910
24	Bus 24	1.021	-16.78	1.0216	-16.4956	-0.001	-0.2844
25	Bus 25	1.017	-16.35	1.0173	-16.0677	0.000	-0.2823
26	Bus 26	1.000	-16.77	0.9996	-16.4874	0.000	-0.2826
27	Cloverdle	1.023	-15.82	1.0232	-15.5434	0.000	-0.2766
28	Cloverdle	1.007	-11.97	1.0068	-11.6893	0.000	-0.2807
29	Bus 29	1.003	-17.06	1.0034	-16.7734	0.000	-0.2866
30	Bus 30	0.992	-17.94	0.9919	-17.6562	0.000	-0.2838

La comparación entre la referencia y los resultados obtenidos, para el Caso de Prueba de IEEE 30 Barras (ver Tabla A2), indica que la diferencia de los resultados para el voltaje de barra es menor al 0.01% para todas las magnitudes y menos de 0.30 grados en el ángulo. Los flujos de potencia en ramas, resultan con un error menor a 0.22%.

**Tabla A3. Caso de Prueba de IEEE 58 Barras: Comparación de los Voltajes de Barra del programa desarrollado y resultados publicados**

<i>Barra</i>	<i>Nombre</i>	<i>Referencia</i>		<i>Resultados</i>		<i>Diferencia</i>	
		<i>Modulo</i> <i>[p.u]</i>	<i>Angulo</i> <i>[grados]</i>	<i>Modulo</i> <i>[p.u]</i>	<i>Angulo</i> <i>[grados]</i>	<i>Modulo</i> <i>[p.u]</i>	<i>Angulo</i> <i>[grados]</i>
1	Kanawha	1.04	0.00	1.040	0.00	0.0000	0.0000
2	Turner	1.01	-1.18	1.010	-1.19	0.0000	0.0085
3	Logan	0.985	-5.97	0.985	-5.94	0.0000	-0.0295
4	Sprigg	0.981	-7.32	0.979	-7.31	0.0025	-0.0073
5	Bus 5	0.976	-8.52	0.976	-8.56	0.0003	0.0351
6	Beaver Ck	0.98	-8.65	0.980	-8.70	0.0000	0.0472
7	Bus 7	0.984	-7.58	0.984	-7.62	-0.0001	0.0415
8	Clinch Rv	1.005	-4.45	1.005	-4.49	0.0000	0.0440
9	Saltville	0.98	-9.56	0.978	-9.58	0.0018	0.0243
10	Bus 10	0.986	-11.43	0.985	-11.46	0.0006	0.0343
11	Tazewell	0.974	-10.17	0.973	-10.20	0.0015	0.0272
12	Glen Lyn	1.015	-10.46	1.015	-10.49	0.0000	0.0319
13	Bus 13	0.979	-9.79	0.978	-9.81	0.0013	0.0187
14	Bus 14	0.97	-9.33	0.969	-9.35	0.0012	0.0205
15	Bus 15	0.988	-7.18	0.986	-7.18	0.0016	-0.0011
16	Bus 16	1.013	-8.85	1.013	-8.87	-0.0004	0.0237
17	Bus 17	1.017	-5.39	1.017	-5.40	-0.0004	0.0136
18	Sprigg	1.001	-11.71	0.998	-11.72	0.0027	0.0142
19	Bus 19	0.97	-13.2	0.968	-13.24	0.0019	0.0361
20	Bus 20	0.964	-13.41	0.962	-13.46	0.0021	0.0499
21	Bus 21	1.008	-12.89	1.007	-12.94	0.0011	0.0481
22	Bus 22	1.01	-12.84	1.008	-12.88	0.0018	0.0444
23	Bus 23	1.008	-12.91	1.007	-12.95	0.0011	0.0402
24	Bus 24	0.999	-13.25	0.998	-13.31	0.0009	0.0591
25	Bus 25	0.982	-18.13	0.981	-18.20	0.0009	0.0739
26	Bus 26	0.959	-12.95	0.958	-13.00	0.0012	0.0465
27	Bus 27	0.982	-11.48	0.981	-11.53	0.0011	0.0548
28	Bus 28	0.997	-10.45	0.996	-10.50	0.0008	0.0548
29	Bus 29	1.01	-9.75	1.010	-9.800	0.0001	0.0465
30	Bus 30	0.962	-18.68	0.961	-18.75	0.0008	0.0714
31	Bus 31	0.936	-19.34	0.934	-19.42	0.0016	0.0765
32	Bus 32	0.949	-18.46	0.948	-18.54	0.0007	0.0802
33	Bus 33	0.947	-18.5	0.946	-18.58	0.0010	0.0800
34	Bus 34	0.959	-14.1	0.958	-14.16	0.0014	0.0636
35	Bus 35	0.966	-13.86	0.965	-13.92	0.0014	0.0599
36	Bus 36	0.976	-13.59	0.974	-13.65	0.0017	0.0575
37	Bus 37	0.985	-13.41	0.983	-13.46	0.0017	0.0479
38	Bus 38	1.013	-12.71	1.011	-12.74	0.0017	0.0341
39	Bus 39	0.983	-13.46	0.981	-13.50	0.0017	0.0431
40	Bus 40	0.973	-13.62	0.971	-13.67	0.0017	0.0511
41	Tazewell	0.996	-14.05	0.995	-14.09	0.0014	0.0426
42	Bus 42	0.966	-15.5	0.965	-15.55	0.0011	0.0529
43	Tazewell	1.01	-11.33	1.008	-11.36	0.0020	0.0318
44	Bus 44	1.017	-11.86	1.015	-11.86	0.0018	0.0021
45	Bus 45	1.036	-9.25	1.034	-9.27	0.0016	0.0152
46	Bus 46	1.05	-11.89	1.058	-11.12	-0.0083	-0.7695

**Continuación de la Tabla A3. Caso de Prueba de IEEE 58 Barras: Comparación de los Voltajes de Barra del programa desarrollado y resultados publicados**

<i>Barra</i>	<i>Nombre</i>	<i>Referencia</i>		<i>Resultados</i>		<i>Diferencia</i>	
		<i>Modulo</i> <i>[p.u]</i>	<i>Angulo</i> <i>[grados]</i>	<i>Modulo</i> <i>[p.u]</i>	<i>Angulo</i> <i>[grados]</i>	<i>Modulo</i> <i>[p.u]</i>	<i>Angulo</i> <i>[grados]</i>
47	Bus 47	1.033	-12.49	1.032	-12.52	0.0013	0.0301
48	Bus 48	1.027	-12.59	1.026	-12.62	0.0011	0.0299
49	Bus 49	1.036	-12.92	1.035	-12.95	0.0012	0.0283
50	Bus 50	1.023	-13.39	1.022	-13.43	0.0009	0.0384
51	Bus 51	1.052	-12.52	1.051	-12.55	0.0007	0.0311
52	Bus 52	0.98	-11.47	0.980	-11.52	0.0004	0.0477
53	Bus 53	0.971	-12.23	0.970	-12.27	0.0010	0.0405
54	Bus 54	0.996	-11.69	0.995	-11.72	0.0010	0.0286
55	Saltville	1.031	-10.78	1.029	-10.80	0.0019	0.0210
56	Bus 56	0.968	-16.04	0.967	-16.09	0.0013	0.0464
57	Bus 57	0.965	-16.56	0.963	-16.61	0.0018	0.0467

Por consideraciones de espacio no se han representado el diagrama unifilar del caso de prueba de IEEE 57 barras.

La comparación efectuada para el Caso de Prueba de IEEE 57 Barras (ver Tabla A3), muestra que la diferencia para la magnitud del voltaje de barra es menor al 0.01% para todas las magnitudes y menos de 0.0171 grados en el ángulo. En el caso de los flujos de potencia en las ramas resultan Los flujos de potencia en ramas, resultan con un error menor a 0.34%.

## Conclusiones

El evaluar los resultados obtenidos para los tres casos de prueba considerados (IEEE 14, 30 y 57 barras) empleando el programa desarrollado y compararlos con el patrón seleccionado (Resultados publicados por IEEE), se tiene que las diferencias en los voltajes de barra (magnitud, ángulo) y flujos de potencia en ramas (potencia activa y reactiva) se tiene que resultan ser en unos márgenes porcentuales aceptables, como para admitir que el programa desarrollado aporta resultados adecuados.

## Referencias

- [1] IEEE CDF format is explained in "Common Format for Exchange of Solved Load Flow Data", IEEE Trans on PAS, Vol-92, No.6, Nov./Dec., 1973, pp. 1916-1925.
- [2] Power Systems Test Case Archive: University of Washington. (On line) Available at: <http://www.ee.washington.edu/research/pstca/>