**Reporte de Investigación**
**2007-06**

# Validación de Software de Flujo de Potencia: Parte II

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

Línea de Investigación:
Fuentes Alternas de Energía
y
Generación Distribuida

20-Ene-2006

# Introducción

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 considerado:

- *Simulación de una Red de Pruebas Reconocida con un Programa Patrón o Referencia.*

# Red de Prueba

Se trata de la Red de Kumamoto en Japón, presentada en [1]. Es un típico circuito de distribución, de medio voltaje con un total de quince barras, catorce de ellas con carga. Los datos completos de la red pueden ser encontrados en [1].

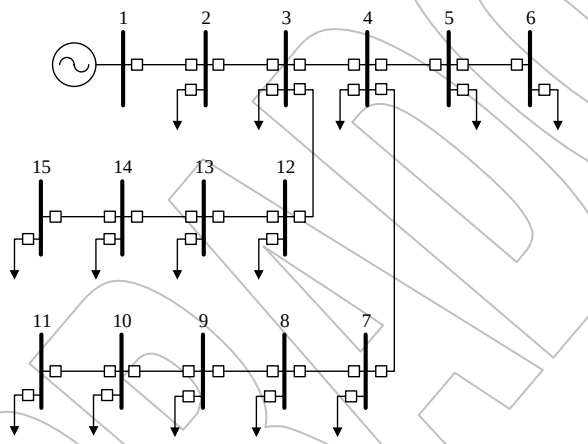


**Figura 1. Caso de Prueba: Sistema de Distribución de Kumamoto [1]**

**Tabla 2. Datos de Líneas y Cargas de l Sistema de Distribución de Kumamoto [1]**

| *Nodo de Inicio* | *Nodo Final* | *R (p.u)* | *X (p.u)* | *B (p.u)* | $P_{load}$ *(p.u)* | $Q_{load}$ *(p.u)* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 0.00315 | 0.075207 | 0.00000 | 0.02080 | 0.0021 |
| 2 | 3 | 0.00033 | 0.001849 | 0.00150 | 0.04950 | 0.0051 |
| 3 | 4 | 0.00667 | 0.030808 | 0.03525 | 0.09580 | 0.0098 |
| 4 | 5 | 0.00579 | 0.014949 | 0.00250 | 0.04420 | 0.0045 |
| 5 | 6 | 0.01414 | 0.036547 | 0.00000 | 0.01130 | 0.0012 |
| 4 | 7 | 0.00800 | 0.036961 | 0.03120 | 0.06380 | 0.0066 |
| 7 | 8 | 0.00900 | 0.041575 | 0.00000 | 0.03230 | 0.0033 |
| 8 | 9 | 0.00700 | 0.032346 | 0.00150 | 0.02130 | 0.0022 |
| 9 | 10 | 0.00367 | 0.01694 | 0.00350 | 0.02800 | 0.0029 |
| 10 | 11 | 0.00900 | 0.041575 | 0.00200 | 0.21700 | 0.0022 |
| 3 | 12 | 0.02750 | 0.127043 | 0.00000 | 0.01320 | 0.0014 |
| 12 | 13 | 0.03150 | 0.081405 | 0.00000 | 0.00290 | 0.0003 |
| 13 | 14 | 0.03965 | 0.102984 | 0.00000 | 0.01610 | 0.0016 |
| 14 | 15 | 0.01061 | 0.004153 | 0.00000 | 0.01390 | 0.0014 |

Bus voltage = 13.8kV, Base MVA = 30 MVA

Solo para ser empleado con objetivo de evaluación, o académicos. Prohibido la reproducción total o parcial de este documento sin consentimiento de los autores.

# Resultados

Como programa de patrón o referencia de consideró el ETAP PowerStation version 4.0, de la empresa *Operation Technologies* Inc.

```
                PROGRAMA DE FLUJO DE POTENCIA
          ------------------------------------------
                SUBRUTINA DE LECTURA DE DATOS
-------------------------------------------------------------------------
                       ******* RESUMEN *******

Archivo: Kumamoto_LF_Test_Case.xls

Fecha: 17/10/2005              Caso: Red de Kumamoto
Año: 2005               Propietario: Francisco M. Gonzalez-Longatt

Base del Sistema: 30 MVA
Número de Barras: 15
Número de Enlaces: 14
Tiempo empleado en Load_Data_Procedure: 2.52363 seg
```

El tiempo empleado es tomando en consideración que las simulaciones fueron efectuadas en Matlab™ versión 7.0.0.199.20 (R14), en un computador personal Athlon AMD, 1.7 Ghz y 256 MB de RAM

```
Tiempo empleado en Load_Data_Procedure: 0.78125 seg
```

Y el tiempo resulta menor para un Intel™ Pemtium™ 3.0 Ghz, con 1GB de memoria RAM.

**Tabla 2. Comparación de Resultados de Voltajes de Barra entre el programa y el patrón**

| *Barra* | *Patrón* | | *Resultados* | | *Diferencia* | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | *Magnitud [p.u]* | *Angulo [Grados]* | *Magnitud [p.u]* | *Angulo [Grados]* | *Magnitud [p.u]* | *Angulo [Grados]* |
| *Bus 1* | 1.0000 | 0.0000 | 1.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| *Bus 2* | 0.9974 | -2.7463 | 0.9975 | -2.7469 | -0.0001 | 0.0006 |
| *Bus 3* | 0.9972 | -2.8119 | 0.9973 | -2.8125 | -0.0001 | 0.0006 |
| *Bus 4* | 0.9939 | -3.7358 | 0.9940 | -3.7369 | -0.0001 | 0.0011 |
| *Bus 5* | 0.9935 | -3.7825 | 0.9936 | -3.7835 | -0.0001 | 0.0010 |
| *Bus 6* | 0.9933 | -3.8055 | 0.9934 | -3.8065 | -0.0001 | 0.0010 |
| *Bus 7* | 0.9907 | -4.5170 | 0.9908 | -4.5185 | -0.0001 | 0.0015 |
| *Bus 8* | 0.9874 | -5.2415 | 0.9876 | -5.2434 | -0.0002 | 0.0019 |
| *Bus 9* | 0.9853 | -5.7478 | 0.9855 | -5.7500 | -0.0002 | 0.0022 |
| *Bus 10* | 0.9843 | -5.9924 | 0.9845 | -5.9947 | -0.0002 | 0.0023 |
| *Bus 11* | 0.9822 | -6.5258 | 0.9824 | -6.5285 | -0.0003 | 0.0027 |
| *Bus 12* | 0.9953 | -3.1425 | 0.9953 | -3.1434 | -0.0001 | 0.0009 |
| *Bus 13* | 0.9940 | -3.2914 | 0.9940 | -3.2925 | -0.0001 | 0.0011 |
| *Bus 14* | 0.9924 | -3.4639 | 0.9925 | -3.4650 | -0.0001 | 0.0011 |
| *Bus 15* | 0.9922 | -3.4659 | 0.9923 | -3.4671 | -0.0001 | 0.0012 |

Para el Caso de Prueba de Kumamoto (ver Tabla 2), la diferencia de los resultados para el voltaje de barra es menor al 0.0002 p.u para todas las magnitudes y menos de 0.0023 grados en el ángulo.

Solo para ser empleado con objetivo de evaluación, o académicos. Prohibido la reproducción total o parcial de este documento sin consentimiento de los autores.

**Tabla 3. Comparación de Resultados de Flujo de Potencia en Ramas entre el programa y el patrón**

| | | *Patrón* | | *Resultados* | | *Diferencia* | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *Potencia Activa [p.u]* | *Potencia Reactiva [p.u]* | *Potencia Activa [p.u]* | *Potencia Reactiva [p.u]* | *Potencia Activa [p.u]* | *Potencia Reactiva [p.u]* |
| Bus 1 | Bus 2 | 0.6365 | 0.0235 | 0.6366 | 0.0225 | -9.37302E-05 | 0.00096281 |
| Bus 2 | Bus 1 | -0.6352 | 0.0070 | -0.6353 | 0.0080 | 9.3365E-05 | -0.00097082 |
| | Bus 3 | 0.6144 | -0.0091 | 0.6145 | -0.0101 | -8.67712E-05 | 0.00096272 |
| Bus 3 | Bus 2 | -0.6143 | 0.0083 | -0.6144 | 0.0093 | 8.72111E-05 | -0.00094451 |
| | Bus 12 | 0.0462 | 0.0052 | 0.0462 | 0.0052 | -3.92788E-05 | -4.3118E-06 |
| | Bus 4 | 0.5186 | -0.0186 | 0.5186 | -0.0196 | -5.08693E-05 | 0.00093183 |
| Bus 4 | Bus 3 | -0.5168 | -0.0080 | -0.5168 | -0.0071 | 5.05681E-05 | -0.00091965 |
| | Bus 5 | 0.0555 | 0.0033 | 0.0555 | 0.0033 | 9.76529E-06 | 2.7397E-07 |
| | Bus 7 | 0.3654 | -0.0051 | 0.3655 | -0.0060 | -5.95768E-05 | 0.00091147 |
| Bus 5 | Bus 4 | -0.0555 | -0.0057 | -0.0555 | -0.0057 | -9.58587E-06 | 1.6807E-05 |
| | Bus 6 | 0.0113 | 0.0012 | 0.0113 | 0.0012 | 2.86528E-06 | 1.3659E-06 |
| Bus 6 | Bus 5 | -0.0113 | -0.0012 | -0.0113 | -0.0012 | -3.01356E-06 | -1.2471E-06 |
| Bus 7 | Bus 4 | -0.3644 | -0.0206 | -0.3644 | -0.0197 | 5.92669E-05 | -0.00089615 |
| | Bus 8 | 0.3006 | 0.0140 | 0.3006 | 0.0131 | -5.27036E-05 | 0.00090199 |
| Bus 8 | Bus 7 | -0.2997 | -0.0102 | -0.2998 | -0.0093 | 5.27817E-05 | -0.00090147 |
| | Bus 9 | 0.2674 | 0.0069 | 0.2675 | 0.0060 | -5.06155E-05 | 0.00089482 |
| Bus 9 | Bus 8 | -0.2669 | -0.0059 | -0.2670 | -0.0051 | 5.07568E-05 | -0.00087578 |
| | Bus 10 | 0.2456 | 0.0037 | 0.2457 | 0.0029 | -3.73397E-05 | 0.00087544 |
| Bus 10 | Bus 9 | -0.2454 | -0.0061 | -0.2454 | -0.0052 | 3.72838E-05 | -0.00085928 |
| | Bus 11 | 0.2174 | 0.0032 | 0.2174 | 0.0023 | -2.15055E-05 | 0.00086662 |
| Bus 11 | Bus 10 | -0.2170 | -0.0031 | -0.2170 | -0.0022 | 2.16885E-05 | -0.00086902 |
| Bus 12 | Bus 3 | -0.0461 | -0.0049 | -0.0462 | -0.0049 | 3.90305E-05 | 3.9972E-06 |
| | Bus 13 | 0.0329 | 0.0035 | 0.0330 | 0.0035 | -3.1406E-05 | -6.0392E-06 |
| Bus 13 | Bus 12 | -0.0329 | -0.0034 | -0.0329 | -0.0034 | 3.12966E-05 | 5.8803E-06 |
| | Bus 14 | 0.0300 | 0.0031 | 0.0300 | 0.0031 | -1.56369E-05 | -6.85E-06 |
| Bus 14 | Bus 13 | -0.0300 | -0.0030 | -0.0300 | -0.0030 | 1.5865E-05 | 6.4713E-06 |
| | Bus 15 | 0.0139 | 0.0014 | 0.0139 | 0.0014 | -3.31559E-06 | -4.9247E-06 |
| Bus 15 | Bus 14 | -0.0139 | -0.0014 | -0.0139 | -0.0014 | 3.16614E-06 | 5.0808E-06 |

Para el Caso de Prueba de Kumamoto (ver Tabla 3), la diferencia de los resultados para los flujos de potencia en las ramas resultan menores a $-6.5\times10^{-5}$ para la potencia activa y menor a 0.0009 p.u para el flujo de potencia reactiva en rama.

**Tabla 4. Comparación de Resultados de Perdidas Totales de Potencia entre el programa y patrón**

| | *Patron* | | *Resultados* | | *Diferencia* | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | *Potencia Activa [p.u]* | *Potencia Reactiva [p.u]* | *Potencia Activa [p.u]* | *Potencia Reactiva [p.u]* | *Potencia Activa [p.u]* | *Potencia Reactiva [p.u]* |
| Pérdidas de Potencia Total del sistema | 0.006452 | -0.021983 | 0.006452 | -0.022070 | -0.000001 | 0.000087 |

Al examinar las pérdidas totales de potencia activa se tiene para el Caso de Prueba de Kumamoto (ver Tabla 3), la diferencia de los resultados para los flujos de potencia en las ramas resultan menores a $-6.5\times10^{-5}$ para la potencia activa y menor a 0.00027334 p.u para el flujo de potencia reactiva en rama.

Solo para ser empleado con objetivo de evaluación, o académicos. Prohibido la reproducción total o parcial de este documento sin consentimiento de los autores.

# Conclusiones

El evaluar los resultados obtenidos para el caso de prueba, empleando el programa desarrollado y compararlos con el patrón seleccionado (programa comercial *ETAP PowerStation* Versión 4.0), se tiene que las diferencias en los voltajes de barra (magnitud, ángulo) y flujos de potencia en ramas (potencia activa y reactiva) y perdidas totales de 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] S. Li, Tomsovic, and T. Hiyama, ¨Load Following functions using distributed energy resources", Proceedings of the *IEEE PES Summer Meeting*, Seattle. July 2000.

BORRADOR

Solo para ser empleado con objetivo de evaluación, o académicos. Prohibido la reproducción total o parcial de este documento sin consentimiento de los autores.

# Anexo 1

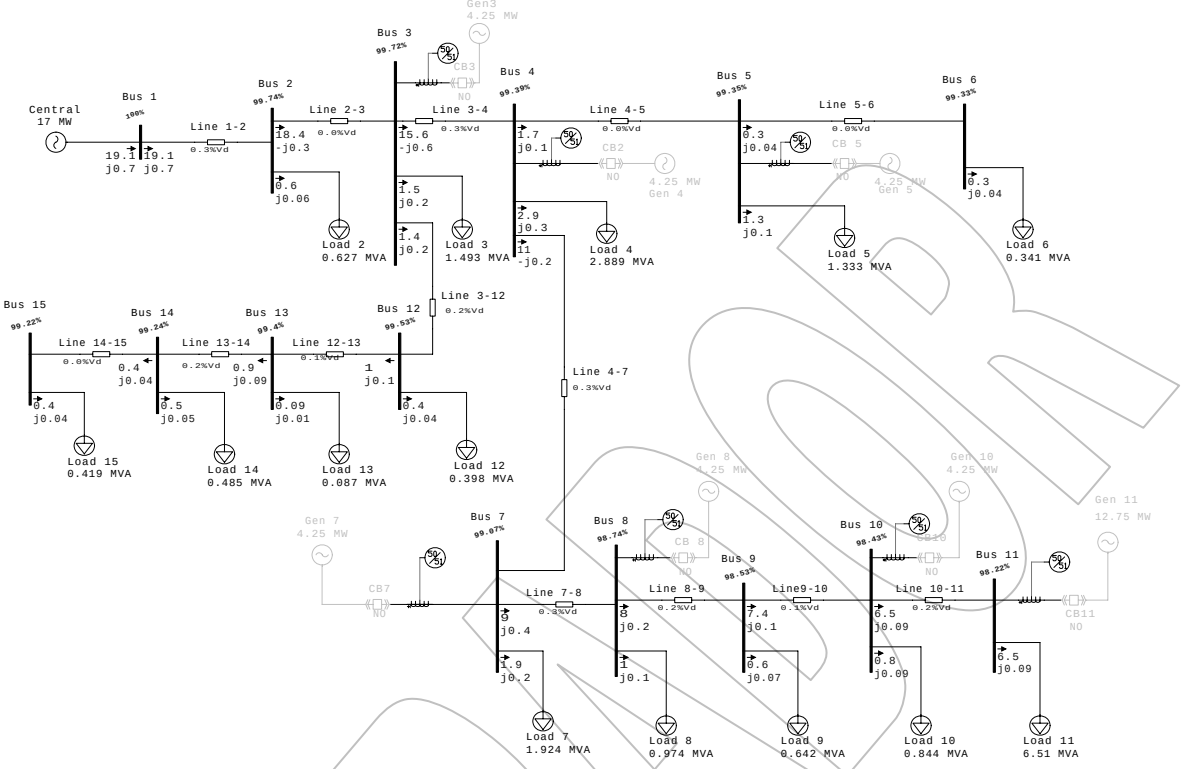


**Figura A1. Resultados de Flujo de Potencia con el programa patrón o referencia**

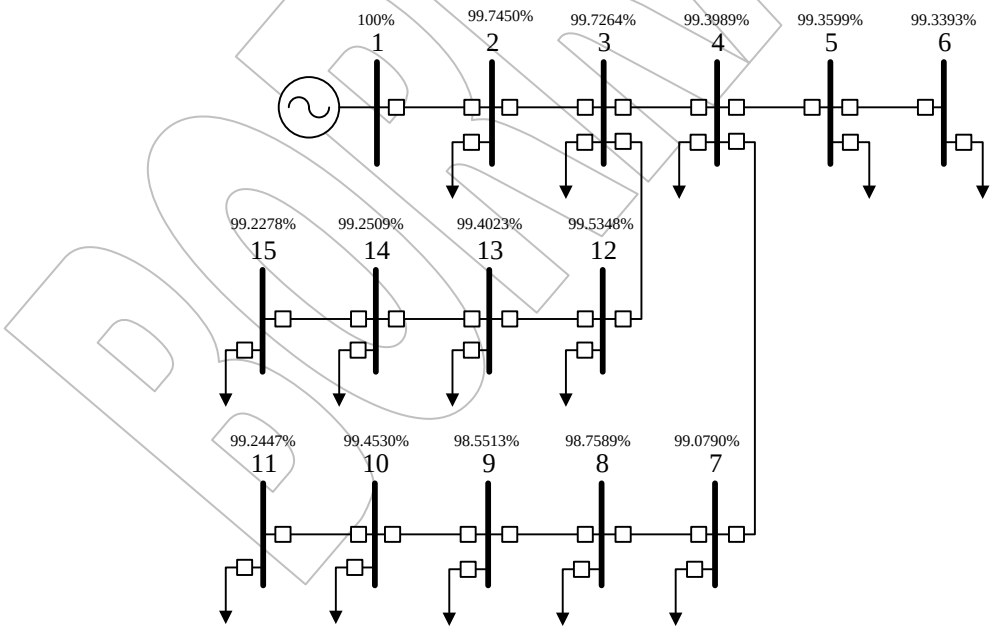


**Figura A2. Resultados de Flujo de Potencia con el programa**

Solo para ser empleado con objetivo de evaluación, o académicos. Prohibido la reproducción total o parcial de este documento sin consentimiento de los autores.

BORRADOR

Solo para ser empleado con objetivo de evaluación, o académicos. Prohibido la reproducción total o parcial de este documento sin consentimiento de los autores.

# Anexo 2

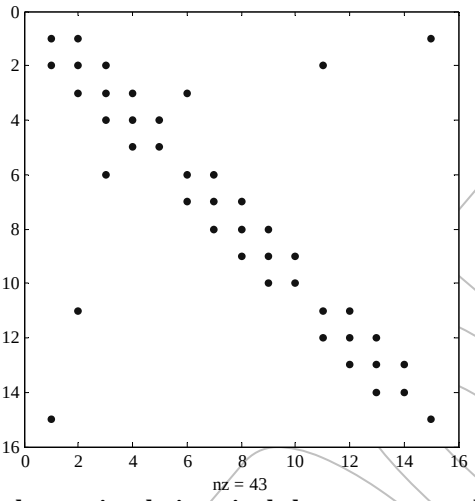


**Figura A3. Representación de la matriz admitancia de barra, mostrando la esparcidad de la misma**

```
Ybus =
  1.0e+002 *
   (1,1)       0.9410 - 5.3741i
   (2,1)      -0.9355 + 5.2414i
  (15,1)      -0.0056 + 0.1327i
   (1,2)      -0.9355 + 5.2414i
   (2,2)       1.0188 - 5.6265i
   (3,2)      -0.0671 + 0.3101i
  (11,2)      -0.0163 + 0.0752i
   (2,3)      -0.0671 + 0.3101i
   (3,3)       0.3482 - 1.1500i
   (4,3)      -0.2252 + 0.5818i
   (6,3)      -0.0559 + 0.2584i
   (3,4)      -0.2252 + 0.5818i
   (4,4)       0.3172 - 0.8198i
   (5,4)      -0.0921 + 0.2380i
   (4,5)      -0.0921 + 0.2380i
   (5,5)       0.0921 - 0.2380i
   (3,6)      -0.0559 + 0.2584i
   (6,6)       0.1057 - 0.4881i
   (7,6)      -0.0497 + 0.2298i
   (6,7)      -0.0497 + 0.2298i
   (7,7)       0.1136 - 0.5251i
   (8,7)      -0.0639 + 0.2953i
   (7,8)      -0.0639 + 0.2953i
   (8,8)       0.1859 - 0.8592i
   (9,8)      -0.1220 + 0.5639i
   (8,9)      -0.1220 + 0.5639i
   (9,9)       0.1718 - 0.7936i
  (10,9)      -0.0497 + 0.2298i
   (9,10)     -0.0497 + 0.2298i
  (10,10)      0.0497 - 0.2298i
   (2,11)     -0.0163 + 0.0752i
  (11,11)      0.0576 - 0.1820i
  (12,11)     -0.0413 + 0.1068i
  (11,12)     -0.0413 + 0.1068i
  (12,12)      0.0739 - 0.1914i
  (13,12)     -0.0326 + 0.0846i
  (12,13)     -0.0326 + 0.0846i
  (13,13)      0.8500 - 0.4046i
  (14,13)     -0.8175 + 0.3201i
  (13,14)     -0.8175 + 0.3201i
  (14,14)      0.8175 - 0.3201i
   (1,15)     -0.0056 + 0.1327i
  (15,15)      0.0056 - 0.1327i
```

Solo para ser empleado con objetivo de evaluación, o académicos. Prohibido la reproducción total o parcial de este documento sin consentimiento de los autores.