Casos de Estudio para el Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia.

Actividad II.

Por

MARIO SÁNCHEZ GUTIÉRREZ

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
FACULTAD DE INGENIERÍA
&
Investigación y Estudios de Posgrado
FACULTAD DE INGENIERÍA BUAP

El presente compendio de ejercicios es realizado para la materia de Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia, impartida por el Doctor Ismael Albino Padilla. Esto como parte de la Maestría en Ingeniería con opción terminal en Sistemas Eléctricos de Potencia.

MAYO 2024

Índice.

Introducción.

Como parte de nuestra especialización a través de esta Maestría en Ingeniería con Opción Terminal en Sistemas Eléctricos de Potencia debemos de aprender cómo es que estos sistemas son modelados matemáticamente, para el correcto cálculo y predicción del comportamiento de estos, por su complejidad, extensión y grandes cantidades de factores a considerar, se ha desarrollado a través de métodos numéricos como Gauss-Seidel y Newton-Raphson, la resolución de estos grandes centros de carga tomando como base la Ley de Corrientes de Kirchhoff.

Durante las clases, se nos enseñó como es que se modelan y transforman ecuaciones del tipo lineal a métodos numéricos de resolución, concretamente Gauss-Seidel y Newton-Raphson, con este método se modeló un sistema de 4 barras, sirviendo como base de nuestros estudios y todo lo que implica un problema de este tipo, determinando la Y_{barra} y obteniendo los voltajes a través de iteraciones.

Durante clase solo se pudieron realizar tres iteraciones de este tipo, donde obteniendo el valor de los voltajes anteriores y teniendo una base de $V_1 = 1.0\angle 0^{\circ}$, se realizaron los cálculos pertinentes, esto nos demostró lo tardío que esto podía llegar a ser en el pasado, sin embargo, en la actualidad, con el poder de cálculo de los microprocesadores y los lenguajes de programación en entornos de desarrollo, como lo es MATLAB, nos han permitido llegar a los resultados de manera prácticamente de forma inmediata.

Concretamente MATPOWER, un software de tipo open source, desarrollado por un conjunto de universidades en Estados Unidos, nos permite realizar el modelado de estos sistemas con alta precisión y considerando todos los métodos y estudio que estos involucran, siendo muy conveniente para uso tanto educativo, como el presente trabajo, o como una herramienta industrial.

El presente trabajo presenta diferentes casos de estudio realizados y precargados en MATPOWER, un sistema de cuatro hasta treinta barras, con diferentes cantidades de generadores y líneas, más diferentes componentes como transformadores y motores demandando energía en el sistema.

Caso I.

Datos.

A continuación, se presenta el diagrama unifilar que será trabajado en MATPOWER.

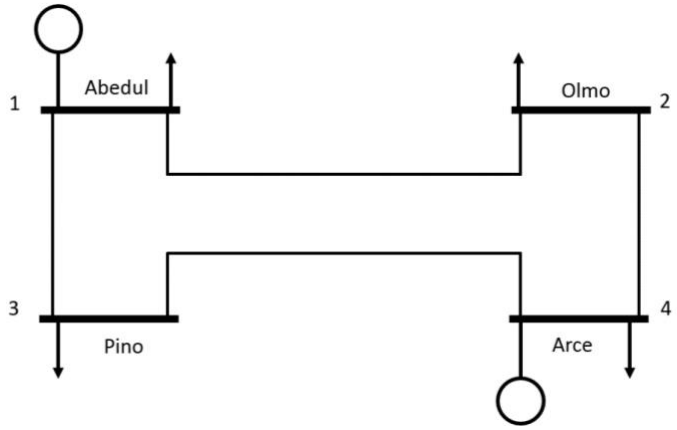

Ilustración 1. Diagrama Unifilar. Caso I. (Se muestran los nombres y números de las barras).

Se tienen los siguientes datos, los cuales fueron ingresados a MATPOWER, para su resolución y posterior análisis. Todos los datos se encuentran en base 100 MVA y 230 kV.

Tabla 1. Datos de Entrada de Línea.

Línea de barra a barra	Z serie		Y en paralelo
	R en P.U.	jX en P.U.	Ypq P.U.
1-2	0.01008	0.05040	0.1025
1-3	0.00744	0.03720	0.0775
2-4	0.00744	0.03720	0.0775
3-4	0.01272	0.06360	0.1275

Tabla 2. Datos de Entrada de Barra.

	Generación		Carga		V	Observaciones
Barra	P MW	Q MVAR	MW	MVAR	P.U.	
1	-	-	50	30.99	1∠0°	Compensación
2	0	0	170	105.35	1∠0°	Carga (Inductiva)
3	0	0	200	123.94	1∠0°	Carga (Inductiva)
4	318	-	80	49.58	1.02∠0°	Voltaje Controlado

Tabla 3. Características Técnicas de los Generadores.

Bus	S nom. (MVA)	V nom. (KV)	P G. (MW)	P máx. (MW)	P min. (MW)	Q máx. (MVAR)	Q min. (MVAR)
1	100	230	-	9999	0	350	-150
4	100	230	318	9999	0	250	-100

Solución.

Tras 28 iteraciones por Gauss-Seidel y 3 de N-R, obtenemos los siguientes resultados:

```
================================================================================
|     System Summary                                                          |
================================================================================

How many?                How much?              P (MW)            Q (MVAr)
---------------------    --------------------  -------------  -----------------
Buses               4    Total Gen Capacity     318.0        -250.0 to 600.0
Generators          2    On-line Capacity       318.0        -250.0 to 600.0
Committed Gens      2    Generation (actual)    504.8             295.9
Loads               4    Load                   500.0             309.9
  Fixed             4      Fixed                500.0             309.9
  Dispatchable      0      Dispatchable          -0.0 of -0.0       -0.0
Shunts              0    Shunt (inj)            -0.0               0.0
Branches            4    Losses (I^2 * Z)        4.81             24.05
Transformers        0    Branch Charging (inj)    -               38.0
Inter-ties          0    Total Inter-tie Flow    0.0               0.0
Areas               1

                          Minimum                      Maximum
                  -------------------------  --------------------------------
Voltage Magnitude   0.969 p.u. @ bus 3          1.020 p.u. @ bus 4
Voltage Angle      -1.87 deg   @ bus 3          1.52 deg   @ bus 4
P Losses (I^2*R)             -                 1.84 MW    @ line 3-4
Q Losses (I^2*X)             -                 9.18 MVAr  @ line 3-4
```

Ilustración 2. Resumen del Sistema. Caso I.

```
================================================================================
|     Bus Data                                                                 |
================================================================================
 Bus      Voltage          Generation             Load
  #   Mag(pu) Ang(deg)   P (MW)   Q (MVAr)   P (MW)   Q (MVAr)
----- ------- --------  --------  --------  --------  --------
    1  1.000    0.000*   186.81    114.50     50.00     30.99
    2  0.982   -0.976       -         -      170.00    105.35
    3  0.969   -1.872       -         -      200.00    123.94
    4  1.020    1.523    318.00    181.43     80.00     49.58
                         --------  --------  --------  --------
               Total:    504.81    295.93    500.00    309.86

================================================================================
|     Branch Data                                                              |
================================================================================
Brnch   From   To    From Bus Injection   To Bus Injection     Loss (I^2 * Z)
  #     Bus    Bus    P (MW)   Q (MVAr)   P (MW)   Q (MVAr)   P (MW)   Q (MVAr)
-----  -----  -----  --------  --------  --------  --------  --------  --------
   1      1      2     38.69     22.30    -38.46    -31.24     0.227     1.13
   2      1      3     98.12     61.21    -97.09    -63.57     1.031     5.16
   3      2      4   -131.54    -74.11    133.25     74.92     1.715     8.58
   4      3      4   -102.91    -60.37    104.75     56.93     1.835     9.18
                                                             --------  --------
                                                  Total:     4.809     24.05
```

Ilustración 3. Información de Barras y Lineas. Caso I.

Caso II.

Datos.

A continuación, se presenta el diagrama unifilar que será trabajado en MATPOWER, el caso de estudio es un pequeño sistema de potencia de nueve barras. En las barras 1, 2, y 3 se encuentra conectado un generador, en las barras 5, 6 y 8 hay cargas conectadas.

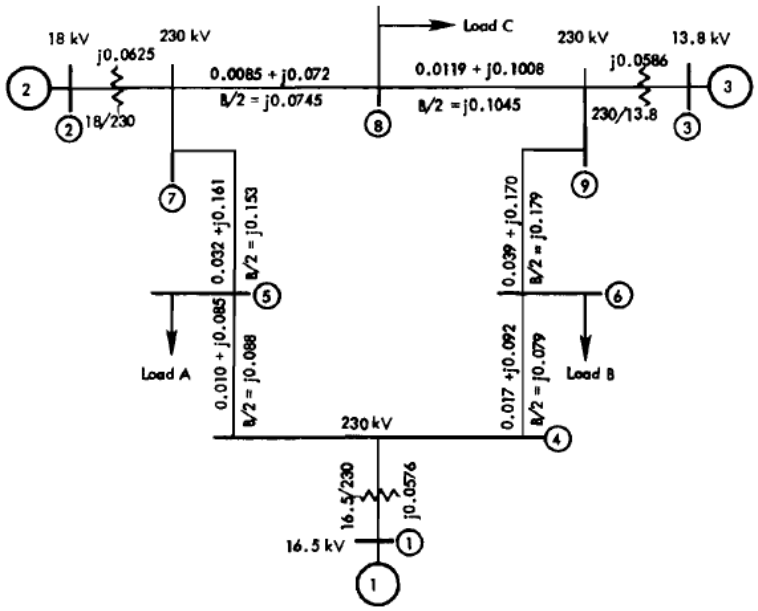

Fig. 2.18 Nine-bus system impedance diagram; all impedances are in pu on a 100-MVA base.

Ilustración 4. Diagrama Impedancias. Caso II. (Se muestran los nombres y números de las barras).

Se tienen los siguientes datos, los cuales fueron ingresados a MATPOWER, para su resolución y posterior análisis. Todos los valores de impedancia están en P.U. y en base 100 MVA.

Tabla 4. Datos de Entrada de las Barras.

Barra	Tipo	Tensión (kV)	V (P.U.)	δ grados	PG (P.U.)	Qg (P.U.)	PL (P.U.)	QL (P.U.)
1	Comp	16.5	1.040	0	-	-	0	0
2	PV	13.8	1.025	-	163	-	0	0
3	PV	18	1.025	-	85	-	0	0
4	PQ	230	-	-	0	0	0	0
5	PQ	230	-	-	0	0	125	50
6	PQ	230	-	-	0	0	90	30
7	PQ	230	-	-	0	0	0	0
8	PQ	230	-	-	0	0	100	35
9	PQ	230	-	-	0	0	0	0

Tabla 5. Datos Técnicos de los Generadores.

Bus	S nom. (MVA)	V nom. (KV)	P G. (MW)	P máx. (MW)	P min. (MW)	Q máx. (MVAR)	Q min. (MVAR)
1	100	16.5	¿?	9999	-9999	300	-300
2	100	18.0	163	9999	-9999	100	-100
3	100	13.8	85	9999	-9999	100	-100

Tabla 6. Datos de Entrada de Líneas

Barra a Barra	R (P.U.)	X (P.U.)	B/2 (P.U.)	B (P.U.)
4-5	0.010000	0.085000	0.088	0.176000
4-6	0.017000	0.092000	0.079	0.158000
5-7	0.032000	0.161000	0.153	0.306000
6-9	0.039000	0.170000	0.179	0.358000
7-8	0.008500	0.072000	0.0745	0.149000
8-9	0.011900	0.100800	0.1045	0.209000

Tabla 7. Datos de Entrada de los Transformadores.

Bus a Bus	X (P.U.)
1-4	0.057600
2-7	0.062500
3-9	0.058600

Solución.

Tras 211 iteraciones por Gauss-Seidel y 4 de N-R, obtenemos los siguientes resultados:

```
|     System Summary                                                                  |
================================================================================

How many?                How much?              P (MW)            Q (MVAr)
---------------------    --------------------  -------------     -----------------
Buses              9     Total Gen Capacity   29997.0        -500.0 to 500.0
Generators         3     On-line Capacity     29997.0        -500.0 to 500.0
Committed Gens     3     Generation (actual)    319.6              22.8
Loads              3     Load                   315.0             115.0
  Fixed            3       Fixed                315.0             115.0
  Dispatchable     0       Dispatchable          -0.0 of -0.0       -0.0
Shunts             0     Shunt (inj)            -0.0               0.0
Branches           9     Losses (I^2 * Z)        4.64             48.38
Transformers       0     Branch Charging (inj)     -             140.5
Inter-ties         0     Total Inter-tie Flow    0.0               0.0
Areas              1

                          Minimum                      Maximum
                    -------------------------  -------------------------------
Voltage Magnitude   0.996 p.u. @ bus 5          1.040 p.u. @ bus 1
Voltage Angle      -3.99 deg   @ bus 5          9.28 deg   @ bus 2
P Losses (I^2*R)             -                 2.30 MW    @ line 5-7
Q Losses (I^2*X)             -                15.83 MVAr  @ line 2-7
```

Ilustración 5. Resumen del Sistema. Caso II.

Bus Data						
Bus #	Voltage Mag(pu)	Ang(deg)	Generation P (MW)	Q (MVAr)	Load P (MW)	Q (MVAr)
1	1.040	0.000*	71.64	27.05	–	–
2	1.025	9.280	163.00	6.65	–	–
3	1.025	4.665	85.00	-10.86	–	–
4	1.026	-2.217	–	–	–	–
5	0.996	-3.989	–	–	125.00	50.00
6	1.013	-3.687	–	–	90.00	30.00
7	1.026	3.720	–	–	–	–
8	1.016	0.728	–	–	100.00	35.00
9	1.032	1.967	–	–	–	–
		Total:	319.64	22.84	315.00	115.00

Branch Data								
Brnch #	From Bus	To Bus	From Bus Injection P (MW)	Q (MVAr)	To Bus Injection P (MW)	Q (MVAr)	Loss (I^2 * Z) P (MW)	Q (MVAr)
1	1	4	71.64	27.05	-71.64	-23.92	0.000	3.12
2	2	7	163.00	6.65	-163.00	9.18	-0.000	15.83
3	3	9	85.00	-10.86	-85.00	14.96	0.000	4.10
4	4	5	40.94	22.89	-40.68	-38.69	0.258	2.19
5	4	6	30.70	1.03	-30.54	-16.54	0.166	0.90
6	5	7	-84.32	-11.31	86.62	-8.38	2.300	11.57
7	6	9	-59.46	-13.46	60.82	-18.07	1.354	5.90
8	7	8	76.38	-0.80	-75.90	-10.70	0.475	4.03
9	8	9	-24.10	-24.30	24.18	3.12	0.088	0.75
						Total:	4.641	48.38

Ilustración 6. Información de Barras y Lineas. Caso II.

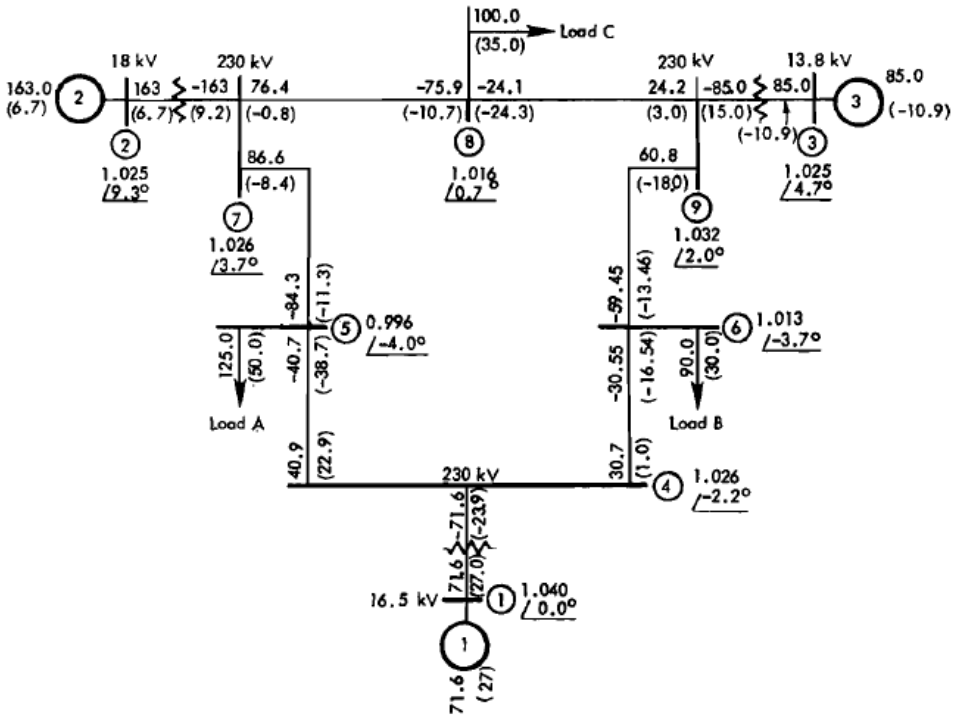

Fig. 2.19 Nine-bus system load-flow diagram showing prefault conditions; all flows are in MW and MVAR.

Ilustración 7. Diagrama Flujo de Cargas. Caso II. (Se muestran los números de las barras).

Caso III.

Datos.

A continuación, se presenta el diagrama unifilar que será trabajado en MATPOWER. El caso de prueba de 14 barras de la IEEE representa una porción del sistema eléctrico de potencia estadounidense (ubicado en el medio oeste de los EUA), esta información que aquí se presenta tiene fecha de febrero de 1962. Una copia de los datos fue amablemente proporcionada por Iraj Dabbagchi de AEP (American Electric Power) e introducido por al formato común de la IEEE por Rich Christie de la Universidad de Washington en 1993.

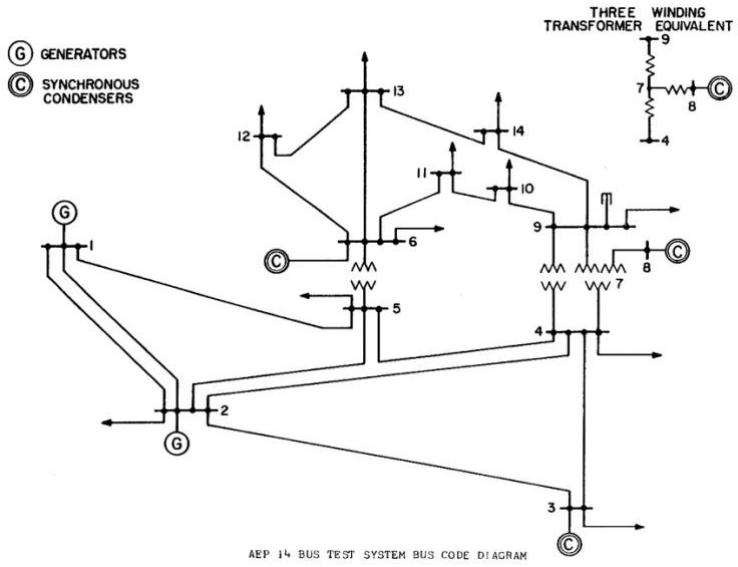

Ilustración 8. Diagrama Unifilar. Caso III.

El sistema está conformado por catorce barras, cinco generadores, cinco transformadores, dieciséis líneas y once cargas. Los niveles de tensión en las barras y los límites de potencia en las líneas y los transformadores fueron tomados del libro Simulación de Sistemas Eléctricos.

Tabla 8. Datos de Entrada de Barras.

Barra	Nombre de Bus	Base kV	Código	Voltaje (P.U.)
1	BUS 1	230	3	1.06∠0°
2	BUS 2	230	2	1.045
3	BUS 3	230	2	1.01
4	BUS 4	230	1	-
5	BUS 5	230	1	-

6	BUS 6	115	2	1.07
7	BUS 7	1	1	-
8	BUS 8	13.2	2	1.091
9	BUS 9	115	1	-
10	BUS 10	115	1	-
11	BUS 11	115	1	-
12	BUS 12	115	1	-
13	BUS 13	115	1	-
14	BUS 14	115	1	-

Tabla 9. Tipo de Barra según su código en MATPOWER.

Tipo de Barra	Código
Barra de compensación o Swing	3
Barra de voltaje controlado	2
Barra de carga	1

Tabla 10. Características Técnicas de los Generadores.

Bus	S nom. (MVA)	V nom. (KV)	P G. (MW)	P máx. (MW)	P min. (MW)	Q máx. (MVAR)	Q min. (MVAR)
1	100	230	¿?	9999	-9999	100	-20
2	100	230	40	9999	-9999	50	-40
3	100	230	0	9999	-9999	40	0
6	100	115	0	9999	-9999	24	-6
8	100	13.2	0	9999	-9999	24	-6

Tabla 11. Características Técnicas de los Transformadores.

# de TR	De Bus	A Bus	R (P.U.)	X (P.U.)	Limite A	Limite B	Limite C	Ratio de Toma
1	4	7	0	0.20912	75	82.5	90	0.978
2	4	9	0	0.55618	75	82.5	90	0,969
3	5	6	0	0.25202	75	82.5	90	0.932
4	7	8	0	0.17615	30	32.5	35	1
5	7	9	0	0.11001	75	82.5	90	1

Tabla 12. Baterías de Condensadores.

Bus	Q (MVAr)
9	19

Tabla 13. Características Técnicas de las Líneas.

# de Línea	De Bus	A Bus	Line R (P.U.)	Line X (P.U.)	B (P.U.)	Límite A (MVA)	Límite B (MVA)	Límite C (MVA)
1	1	2	0.03876	0.11834	0.0264	67.5	74.3	81
2	1	2	0.03876	0.11834	0.0264	67.5	74.3	81
3	1	5	0.05403	0.22304	0.0492	150	160	170
4	2	3	0.04699	0.19797	0.0438	90	99	108
5	2	4	0.05811	0.17632	0.0340	67.5	74.3	81
6	2	5	0.05695	0.17388	0.0346	67.5	74.3	81
7	3	4	0.06701	0.17103	0.0128	37.5	41.3	45
8	4	5	0.01335	0.04211	0	90	99	108
9	6	11	0.09498	0.1989	0	75	82.5	90
10	6	12	0.12291	0.25581	0	90	99	108
11	6	13	0.06615	0.13027	0	90	99	108
12	9	10	0.03181	0.0845	0	45	49.5	54
13	9	14	0.12711	0.27038	0	90	99	108
14	10	11	0.08205	0.19207	0	60	66	72
15	12	13	0.22092	0.19988	0	90	99	108
16	13	14	0.17093	0.34802	0	52.5	57.8	63

Tabla 14. Características de la Carga.

# de Carga	Barra	P (MW)	Q (MVAr)
1	2	21.7	12.7
2	3	94.2	19
3	4	47.8	-3.9
4	5	7.6	1.6
5	6	11.2	7.5
6	9	29.5	16.6
7	10	9	5.8
8	11	3.5	1.8
9	12	6.1	1.6
10	13	13.5	5.8
11	14	14.9	5

Solución.

Tras 272 iteraciones por Gauss-Seidel y 3 de N-R, obtenemos los siguientes resultados:

```
================================================================================
|     System Summary                                                           |
================================================================================

How many?                How much?              P (MW)            Q (MVAr)
---------------------    --------------------  -------------  ------------------
Buses              14    Total Gen Capacity     772.4          -72.0 to 238.0
Generators          5    On-line Capacity       772.4          -72.0 to 238.0
Committed Gens      5    Generation (actual)    276.0               98.1
Loads              11    Load                   259.0               73.5
  Fixed            11      Fixed                259.0               73.5
  Dispatchable      0      Dispatchable          -0.0 of -0.0        -0.0
Shunts              1    Shunt (inj)            -0.0                21.2
Branches           20    Losses (I^2 * Z)       16.98               67.28
Transformers        5    Branch Charging (inj)    -                 21.5
Inter-ties          0    Total Inter-tie Flow    0.0                 0.0
Areas               1

                          Minimum                      Maximum
                    -------------------------  -------------------------------
Voltage Magnitude   1.010 p.u. @ bus 3          1.090 p.u. @ bus 8
Voltage Angle     -19.00 deg   @ bus 14         0.00 deg   @ bus 1
P Losses (I^2*R)             -                 6.66 MW    @ line 1-2
Q Losses (I^2*X)             -                20.34 MVAr  @ line 1-2
```

Ilustración 9. Resumen del Sistema. Caso III.

```
================================================================================
|     Bus Data                                                                 |
================================================================================
 Bus      Voltage          Generation             Load
  #   Mag(pu) Ang(deg)   P (MW)   Q (MVAr)   P (MW)   Q (MVAr)
----- ------- --------  --------  --------  --------  --------
    1  1.060    0.000*   235.98    -19.04       -         -
    2  1.045   -8.859     40.00     60.86     21.70     12.70
    3  1.010  -16.196      0.00     25.50     94.20     19.00
    4  1.017  -13.390         -         -     47.80     -3.90
    5  1.019  -11.577         -         -      7.60      1.60
    6  1.070  -17.116      0.00     13.04     11.20      7.50
    7  1.061  -16.391         -         -         -         -
    8  1.090  -16.391      0.00     17.78         -         -
    9  1.056  -17.947         -         -     29.50     16.60
   10  1.051  -18.086         -         -      9.00      5.80
   11  1.057  -17.733         -         -      3.50      1.80
   12  1.055  -17.979         -         -      6.10      1.60
   13  1.050  -18.067         -         -     13.50      5.80
   14  1.035  -19.000         -         -     14.90      5.00
                         --------  --------  --------  --------
               Total:    275.98     98.13    259.00     73.50

================================================================================
|     Branch Data                                                              |
================================================================================
Brnch   From    To    From Bus Injection   To Bus Injection     Loss (I^2 * Z)
  #     Bus     Bus    P (MW)   Q (MVAr)   P (MW)   Q (MVAr)   P (MW)   Q (MVAr)
-----  -----  -----  --------  --------  --------  --------  --------  --------
   1      1      2    137.46    -21.90   -130.80     39.32     6.662     20.34
   2      1      5     98.52      2.86    -93.84     11.15     4.683     19.33
   3      2      3     69.58      3.93    -67.48      0.29     2.101      8.85
   4      2      4     48.41      0.47    -47.16     -0.30     1.250      3.79
   5      2      5     31.11      4.44    -30.58     -6.51     0.526      1.60
   6      3      4    -26.72      6.20     27.22     -6.24     0.500      1.28
   7      4      5    -71.33     20.62     72.04    -18.38     0.711      2.24
   8      4      7     27.64     -9.74    -27.64     11.40     0.000      1.66
   9      4      9     15.83     -0.44    -15.83      1.70     0.000      1.27
  10      5      6     44.79     12.14    -44.79     -7.60     0.000      4.54
  11      6     11      7.78      3.47     -7.72     -3.35     0.060      0.13
  12      6     12      7.84      2.48     -7.77     -2.33     0.073      0.15
  13      6     13     17.97      7.18    -17.75     -6.75     0.216      0.43
  14      7      8     -0.00    -17.31      0.00     17.78     0.000      0.47
  15      7      9     27.64      5.91    -27.64     -5.13     0.000      0.78
  16      9     10      4.81      4.32     -4.79     -4.29     0.012      0.03
  17      9     14      9.16      3.68     -9.05     -3.44     0.111      0.24
  18     10     11     -4.21     -1.51      4.22      1.55     0.015      0.03
  19     12     13      1.67      0.73     -1.66     -0.73     0.007      0.01
  20     13     14      5.91      1.68     -5.85     -1.56     0.059      0.12
                                                             --------  --------
                                                    Total:    16.984     67.28
```

Ilustración 10. Información de Barras y Lineas. Caso III.

Caso III.

Datos.

A continuación, se presenta el diagrama unifilar que será trabajado en MATPOWER. El caso de prueba de 30 barras de la IEEE representa una porción del sistema eléctrico de potencia estadounidense (ubicado en el medio Oeste de los EUA). En diciembre de 1961. Los datos fueron proporcionados por Iraj Dabbagchi AEP e introducido en el formato común de la IEEE por Rich Christie en la Universidad de Washington en agosto de 1993.

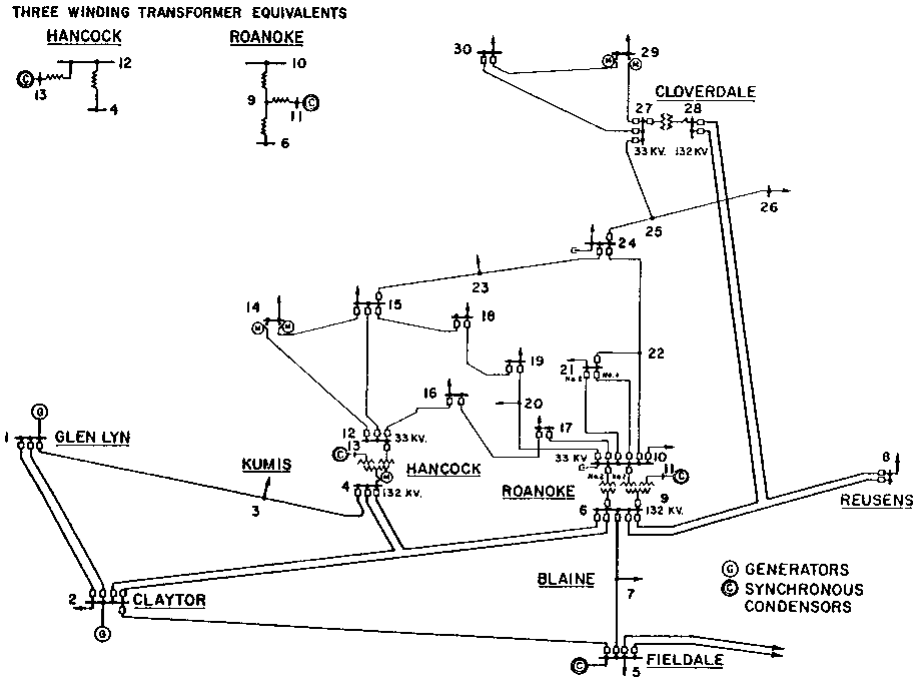

Tabla 15. Datos de Entrada de Barras.

Barra	Nombre de la Barra	Base kV	Código	Voltaje (P.U.)
1	GLEN LYN	132	3	1.06∠0°
2	CLAYTOR	132	2	1.043
3	KUMIS	132	1	-
4	HANCOCK	132	1	-
5	FIELDALE	132	2	-
6	ROANOKE	132	1	-
7	BLAINE	132	1	-
8	REUSENS	132	2	1.01
9	ROANOKE	1	1	-
10	ROANOKE	33	1	-

11	ROANOKE	11	2	1.082
12	HANCOCK	33	1	-
13	HANCOCK	11	2	1.071
14	BUS 14	33	1	-
15	BUS 15	33	1	-
16	BUS 16	33	1	-
17	BUS 17	33	1	-
18	BUS 18	33	1	-
19	BUS 19	33	1	-
20	BUS 20	33	1	-
21	BUS 21	33	1	-
22	BUS 22	33	1	-
23	BUS 23	33	1	-
24	BUS 24	33	1	-
25	BUS 25	33	1	-
26	BUS 26	33	1	-
27	CLOVERDLE	33	1	-
28	CLOVERDLE	132	1	-
29	BUS 29	33	1	-
30	BUS 30	33	1	-

Tabla 16. Tipo de Barra según su código en MATPOWER.

Tipo de Barra	Código
Barra de compensación o Swing	3
Barra de voltaje controlado	2
Barra de carga	1

Tabla 17. Características Técnicas de los Generadores.

# de Gen.	Barra	S nom (MVA)	V nom (KV)	P G. (MW)	P máx. (MW)	P min. (MW)	Q máx. (MVAR)	Q min. (MVAR)
1	1	100	132	¿?	9999	0	100	-100
2	2	100	132	40	9999	0	50	-40
3	5	100	132	0	9999	0	40	-40
4	8	100	132	0	9999	0	40	-10
5	11	100	11	0	9999	0	24	-6
6	13	100	11	0	9999	0	24	-6

Tabla 18. Características Técnicas de los Transformadores.

# de Tr.	De Barra	A Barra	R (P.U.)	X (P.U.)	Límite A	Límite B	Límite C	Ratio de Toma
1	4	12	0	0.256	0	0	0	0.932
2	6	9	0	0.208	0	0	0	0.978
3	6	10	0	0.556	0	0	0	0.969
4	9	10	0	0.11	0	0	0	1
5	9	11	0	0.208	0	0	0	1
6	12	13	0	0.14	0	0	0	1
7	27	28	0	0.396	0	0	0	0.968

Tabla 19. Baterías de Condensadores.

Bus	Q (MVAr)
10	19
24	4.3

Tabla 20. Características Técnicas de las Líneas.

# de línea	De Bus	A Bus	R (P.U.)	X (P.U.)	B (P.U.)	Límite A	Límite B	Límite C	V(nom) KV
1	1	2	0.0384	0.115	0.0264	-	-	-	132
2	1	2	0.0384	0.115	0.0264	-	-	-	132
3	1	3	0.0452	0.1652	0.0408	-	-	-	132
4	2	4	0.057	0.1737	0.0368	-	-	-	132
5	2	5	0.0472	0.1983	0.0418	-	-	-	132
6	2	6	0.0581	0.1763	0.0374	-	-	-	132
7	3	4	0.0132	0.0379	0.0084	-	-	-	132
8	4	6	0.0119	0.0414	0.009	-	-	-	132
9	5	7	0.046	0.116	0.0204	-	-	-	132
10	6	7	0.0267	0.082	0.017	-	-	-	132
11	6	8	0.012	0.042	0.009	-	-	-	132
12	6	28	0.0169	0.0599	0.013	-	-	-	132
13	8	28	0.0636	0.2	0.0428	-	-	-	132
14	10	17	0.0324	0.0845	0	-	-	-	33
15	10	20	0.0936	0.209	0	-	-	-	33
16	10	21	0.0696	0.1498	0	-	-	-	33
17	10	21	0.0696	0.1498	0	-	-	-	33
18	10	22	0.0727	0.1499	0	-	-	-	33
19	12	14	0.1231	0.2559	0	-	-	-	33
20	12	15	0.0662	0.1304	0	-	-	-	33
21	12	16	0.0945	0.1987	0	-	-	-	33
22	14	15	0.221	0.1997	0	-	-	-	33

23	15	18	0.1073	0.2185	0	-	-	-	33
24	15	23	0.1	0.202	0	-	-	-	33
25	16	17	0.0524	0.1923	0	-	-	-	33
26	18	19	0.0639	0.1292	0	-	-	-	33
27	19	20	0.034	0.068	0	-	-	-	33
28	21	22	0.0116	0.0236	0	-	-	-	33
29	22	24	0.115	0.179	0	-	-	-	33
30	23	24	0.132	0.27	0	-	-	-	33
31	24	25	0.1885	0.3292	0	-	-	-	33
32	25	26	0.2544	0.38	0	-	-	-	33
33	25	27	0.1093	0.2087	0	-	-	-	33
34	27	29	0.2198	0.4153	0	-	-	-	33
35	27	30	0.3202	0.6027	0	-	-	-	33
36	29	30	0.2399	0.4533	0	-	-	-	33

Tabla 21. Características de la Carga.

# de carga	Bus	P (MW)	Q (MVAr)
1	2	21.7	12.7
2	3	2.4	1.2
3	4	7.6	1.6
4	5	94.2	19
5	7	22.8	10.9
6	8	30	30
7	10	5.8	2
8	12	11.2	7.5
9	14	6.2	1.6
10	15	8.2	2.5
11	16	3.5	1.8
12	17	9	5.8
13	18	3.2	0.9
14	19	9.5	3.4
15	20	2.2	0.7
16	21	17.5	11.2
17	23	3.2	1.6
18	24	8.7	6.7
19	26	3.5	2.3
20	29	2.4	0.9
21	30	10.6	1.9

Solución.

Tras 637 iteraciones por Gauss-Seidel y 4 de N-R, obtenemos los siguientes resultados:

```
================================================================================
|     System Summary                                                          |
================================================================================

How many?                How much?              P (MW)            Q (MVAr)
---------------------    --------------------  ---------------  -----------------
Buses              30    Total Gen Capacity   59994.0          -102.0 to 178.0
Generators          6    On-line Capacity     59994.0          -102.0 to 178.0
Committed Gens      6    Generation (actual)    301.3              136.5
Loads              21    Load                   283.4              126.2
  Fixed            21      Fixed                283.4              126.2
  Dispatchable      0      Dispatchable          -0.0 of -0.0       -0.0
Shunts              2    Shunt (inj)            -0.0               24.9
Branches           41    Losses (I^2 * Z)       17.92              69.86
Transformers        7    Branch Charging (inj)    -                34.7
Inter-ties          0    Total Inter-tie Flow     0.0               0.0
Areas               1

                         Minimum                      Maximum
                  ------------------------  -------------------------------
Voltage Magnitude   0.945 p.u. @ bus 30       1.082 p.u. @ bus 11
Voltage Angle     -17.95 deg   @ bus 30       0.00 deg   @ bus 1
P Losses (I^2*R)             -               5.48 MW    @ line 1-2
Q Losses (I^2*X)             -              16.41 MVAr  @ line 1-2
```

Ilustración 11. Resumen del Sistema. Caso IV.

```
================================================================================
|     Bus Data                                                                 |
================================================================================
 Bus      Voltage          Generation             Load
  #   Mag(pu) Ang(deg)   P (MW)   Q (MVAr)   P (MW)   Q (MVAr)
-----  ------- --------  --------  --------  --------  --------
    1  1.060    0.000*   261.32    -16.43       -         -
    2  1.043   -5.505     40.00     50.70     21.70     12.70
    3  1.020   -8.005       -         -        2.40      1.20
    4  1.011   -9.664       -         -        7.60      1.60
    5  1.010  -14.399      0.00     36.87     94.20     19.00
    6  1.010  -11.384       -         -         -         -
    7  1.002  -13.150       -         -       22.80     10.90
    8  1.010  -12.122      0.00     35.66     30.00     30.00
    9  1.049  -14.523       -         -         -         -
   10  1.040  -16.171       -         -        5.80      2.00
   11  1.082  -14.523      0.00     17.39       -         -
   12  1.055  -15.436       -         -       11.20      7.50
   13  1.071  -15.436      0.00     12.28       -         -
   14  1.039  -16.334       -         -        6.20      1.60
   15  1.033  -16.403       -         -        8.20      2.50
   16  1.042  -16.020       -         -        3.50      1.80
   17  1.035  -16.334       -         -        9.00      5.80
   18  1.024  -17.022       -         -        3.20      0.90
   19  1.021  -17.197       -         -        9.50      3.40
   20  1.025  -16.998       -         -        2.20      0.70
   21  1.026  -16.614       -         -       17.50     11.20
   22  1.026  -16.598       -         -         -         -
   23  1.018  -16.764       -         -        3.20      1.60
   24  1.007  -16.900       -         -        8.70      6.70
   25  0.984  -16.281       -         -         -         -
   26  0.966  -16.730       -         -        3.50      2.30
   27  0.978  -15.631       -         -         -         -
   28  1.009  -11.996       -         -         -         -
   29  0.957  -16.980       -         -        2.40      0.90
   30  0.945  -17.950       -         -       10.60      1.90
                         --------  --------  --------  --------
               Total:     301.32    136.47    283.40    126.20
```

Ilustración 12. Información de Barras. Caso IV.

Branch Data								
Brnch #	From Bus	To Bus	From Bus Injection P (MW)	From Bus Injection Q (MVAr)	To Bus Injection P (MW)	To Bus Injection Q (MVAr)	Loss (I^2 * Z) P (MW)	Loss (I^2 * Z) Q (MVAr)
1	1	2	178.02	-22.20	-172.54	32.77	5.479	16.41
2	1	3	83.30	5.77	-80.48	1.35	2.817	11.54
3	2	4	45.85	3.50	-44.74	-3.98	1.117	3.41
4	2	5	83.08	1.70	-80.08	6.51	3.002	12.61
5	2	6	61.91	0.03	-59.86	2.25	2.049	6.22
6	3	4	78.08	-2.55	-77.31	3.91	0.774	2.22
7	4	6	69.46	-16.64	-68.87	17.78	0.592	2.06
8	4	12	44.98	15.11	-44.98	-10.21	0.000	4.89
9	5	7	-14.12	11.36	14.28	-13.02	0.159	0.40
10	6	7	37.45	-2.72	-37.08	2.12	0.368	1.13
11	6	8	29.19	-7.77	-29.08	7.22	0.106	0.37
12	6	9	28.52	-6.91	-28.52	8.59	0.000	1.68
13	6	10	16.28	1.12	-16.28	0.24	-0.000	1.36
14	6	28	17.30	-3.75	-17.25	2.60	0.051	0.18
15	8	28	-0.92	-1.55	0.92	-2.81	0.001	0.00
16	9	10	28.52	8.26	-28.52	-7.38	0.000	0.88
17	9	11	0.00	-16.85	-0.00	17.39	0.000	0.54
18	10	17	5.21	4.14	-5.20	-4.10	0.013	0.03
19	10	20	9.00	3.66	-8.92	-3.47	0.082	0.18
20	10	21	16.61	12.01	-16.47	-11.72	0.135	0.29
21	10	22	8.17	5.90	-8.10	-5.76	0.068	0.14
22	12	13	0.00	-12.09	-0.00	12.28	-0.000	0.18
23	12	14	8.05	2.78	-7.97	-2.61	0.080	0.17
24	12	15	18.36	8.38	-18.12	-7.90	0.242	0.48
25	12	16	7.37	3.65	-7.31	-3.53	0.057	0.12
26	14	15	1.77	1.01	-1.76	-1.01	0.009	0.01
27	15	18	6.04	1.65	-6.00	-1.57	0.039	0.08
28	15	23	5.64	4.76	-5.59	-4.65	0.051	0.10
29	16	17	3.81	1.73	-3.80	-1.70	0.013	0.03
30	18	19	2.80	0.67	-2.79	-0.66	0.005	0.01
31	19	20	-6.71	-2.74	6.72	2.77	0.017	0.03
32	21	22	-1.03	0.52	1.03	-0.52	0.000	0.00
33	22	24	7.07	6.28	-6.97	-6.12	0.098	0.15
34	23	24	2.39	3.05	-2.37	-3.01	0.019	0.04
35	24	25	0.64	6.80	-0.56	-6.65	0.087	0.15
36	25	26	3.55	2.37	-3.50	-2.30	0.048	0.07
37	25	27	-2.99	4.28	3.02	-4.22	0.031	0.06
38	27	28	-16.33	0.83	16.33	0.20	0.000	1.04
39	27	29	6.20	1.69	-6.11	-1.51	0.095	0.18
40	27	30	7.11	1.69	-6.93	-1.36	0.179	0.34
41	29	30	3.71	0.61	-3.67	-0.54	0.037	0.07
						Total:	17.920	69.86

Ilustración 13. Información de Lineas. Caso IV.