

# RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En el capítulo precedente se probó la validez del método sobre una red sencilla. El procedimiento de seleccionar con mayor probabilidad las mejores distribuciones de condensadores, el emparejamiento y cruce de sus respectivas codificaciones, más alguna mutación casual, produjo, en efecto, nuevas distribuciones que, en media, eran más rentables.

Se pretende aquí refrendar este resultado en una red de cierta entidad.

## 15. Aplicación a una red radial de sesenta y nueve nudos

### 15.1. Descripción de la red de prueba TS2

Se muestra en la figura 15.1. Se trata de una red de distribución a 12.66 kV, físicamente existente, extraída de [10]. Su descripción se encuentra en el archivo TS2.raw. (Véase Apéndice III), en el cual las impedancias vienen expresadas en ohmios (equivalente a p.u. tomando una potencia base de 160.28 MVA y una tensión base de 12.66 kV).

Se contemplan tres escenarios derivados de TS2 escalando los consumos según se muestra en la tabla. (La consigna del generador se mantiene a 1 p.u. y la topología de la red permanece invariable en todos los casos).

Casos Base	Factor de Escala	Vigencia (horas/año)	Pérdidas (kVA)	Escenario	V <sub>mínima</sub> (p.u) /nudo
TS2S0	x 1.8	1000	866	Principal (AGP)	0.82 /54
TS2S1	x 0.6	6760	479	Secundario (AGB)	0.87/54
TS2	x 1	1000	225	Secundario (AGB)	0.91/54

Página para la figura 15.1

## 15.2. Ensayo del AG sobre TS2

La compensación se realiza en seis de los sesenta y ocho nudos posibles. Siguiendo el criterio de seleccionar los nudos que tienen las tensiones más bajas como candidatos para la ubicación de condensadores, estos resultan ser los designados por los índices del 49 al 54, todos ellos pertenecientes a la misma ramificación de la red.

$$\text{Nudos candidatos: } NdC = [ 49 \ 50 \ 51 \ 52 \ 53 \ 54 ]$$

En una primera fase de tanteo, se arranca el AG con los siguientes parámetros: Número máximo de escalones de compensación igual a 7, con una potencia nominal de 300 kVAr; poblaciones de 20 elementos, número de generaciones igual a 10 (o diversidad inferior al 15%). Se toma un límite inferior para la tensión en los nudos de 0.9 p.u. Para el cálculo del VAN se considera una vida útil de 10 años y una tasa de descuento del 5 %. En el fichero solución.txt que se reproduce en el apartado 15.2.2, figuran todos los datos de entrada junto con el informe de la mejor solución obtenida.

### 15.2.1. Primera generación (población inicial)

Se muestra en la figura 15.2 el VAN de las soluciones obtenidas en la población inicial.

En la página siguiente se listan los elementos que la componen.

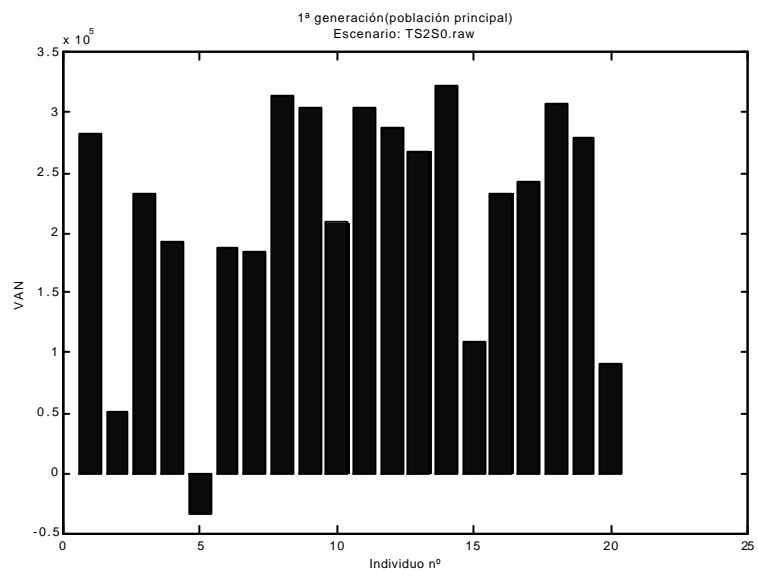


Figura 15.2. Población inicial

ALGORITMO GENÉTICO PRINCIPAL

ESCENARIO PRINCIPAL... TS2S0.raw

Individuo n°: TS2.raw	Fenotipo:	VAN:	Pérdidas (en TS2S0.raw TS2S1.raw)		
( 1)	0 7 6 3 0 6	282368 euros	0.940 MW	0.316 MW	0.137 MW
( 2)	7 7 1 6 6 2	51818 euros	1.682 MW	0.315 MW	0.137 MW
( 3)	4 6 6 0 7 0	232329 euros	1.082 MW	0.319 MW	0.137 MW
( 4)	3 7 6 3 1 5	192369 euros	1.207 MW	0.315 MW	0.155 MW
( 5)	5 5 7 5 3 7	-33785 euros	1.939 MW	0.317 MW	0.141 MW
( 6)	7 5 2 2 4 5	188189 euros	1.238 MW	0.315 MW	0.138 MW
( 7)	4 3 6 3 6 4	184266 euros	1.276 MW	0.316 MW	0.106 MW
( 8)	2 5 2 5 2 5	313219 euros	0.873 MW	0.314 MW	0.109 MW
( 9)	3 4 0 4 7 3	303097 euros	0.879 MW	0.315 MW	0.137 MW
( 10)	2 6 0 6 6 5	207707 euros	1.168 MW	0.314 MW	0.152 MW
( 11)	7 5 2 2 0 4	304185 euros	0.894 MW	0.317 MW	0.109 MW
( 12)	7 2 2 3 5 2	287456 euros	0.930 MW	0.314 MW	0.140 MW
( 13)	7 4 5 0 4 2	267024 euros	1.024 MW	0.315 MW	0.109 MW
( 14)	5 0 1 5 7 2	321407 euros	0.827 MW	0.314 MW	0.137 MW
( 15)	6 4 3 6 5 4	109605 euros	1.506 MW	0.317 MW	0.109 MW
( 16)	0 7 6 2 3 6	232833 euros	1.083 MW	0.317 MW	0.137 MW
( 17)	6 2 1 1 7 7	241740 euros	1.091 MW	0.316 MW	0.107 MW
( 18)	4 3 7 1 4 1	307845 euros	0.853 MW	0.315 MW	0.153 MW
( 19)	6 4 6 2 3 0	278697 euros	0.959 MW	0.315 MW	0.137 MW
( 20)	2 6 7 7 1 6	89701 euros	1.574 MW	0.316 MW	0.106 MW

Mejor distribución encontrada en la 1ª generación:

Individuo n°... 14

Escenario:	Fenotipo:	Pérdidas:
TS2S0.raw	5 0 1 5 7 2	0.827 MW
TS2S1.raw	1 0 0 1 4 2	0.314 MW
TS2.raw	1 0 0 2 0 0	0.137 MW

VAN... 321406.9743euros.

Diversidad... 53.6111 %

Se analizan las soluciones que proporciona el programa en la primera generación con objeto de reajustar, en su caso, los parámetros del AG. Se observa que a pesar de descartar distribuciones con tensiones inferiores a 0.9 p.u., se han obtenido soluciones que son, en su mayoría, económicamente factibles. La mejor distribución tiene un VAN igual a 321407 €, y la peor, -33785 €. La diversidad genética dio un

valor de 53.6 %, próximo al 50% (como corresponde a una población generada aleatoriamente con un tamaño poblacional suficientemente grande).

A la luz de estos primeros resultados, se decide conservar los parámetros de entrada y dejar evolucionar la población.

### 15.2.2. Evolución

En la figura 15.3 se muestra la evolución del VAN a lo largo de sucesivas generaciones. Las mejores distribuciones encontradas fueron:

Gen.	Escalonamientos en los nudos: 49 50 51 52 53 54 Escenarios:TS2S0/TS2S1/TS2	VAN(€)	Pérdidas(kW) TS2S0/TS2S1/TS2
2 <sup>a</sup>	502525/002321/101011	347679	765/315/110
8 <sup>a</sup>	502525/100421/101011	348305	765/315/110
9 <sup>a</sup>	502525/102122/101110	349148	765/315/107

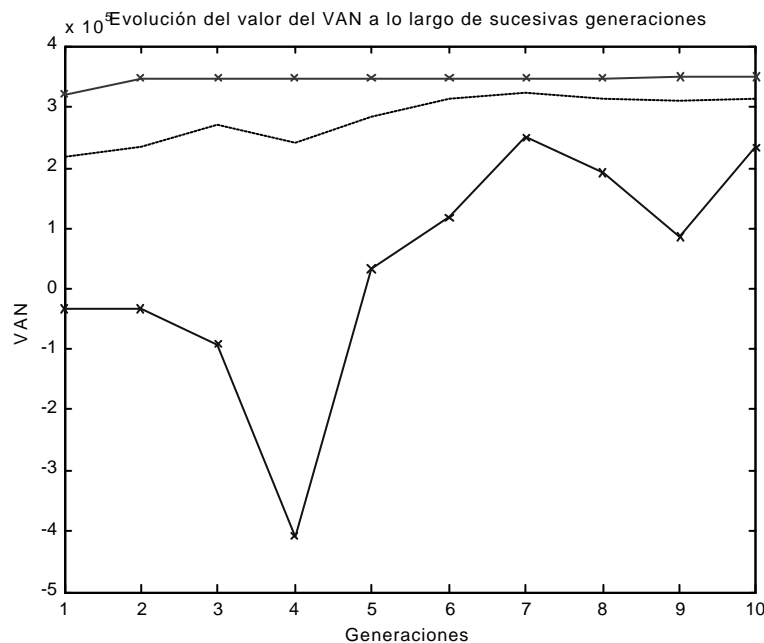


Figura 15.3. Evolución: Mejor individuo, media y peor individuo.

Nótese que ya en la primera generación se obtiene una buena solución que se mantiene hasta el final a expensas solamente de las variaciones en el ajuste de los escalonamientos. En la figura 15.3, se observa que la tendencia a la mejora se ve alterada momentáneamente por la aparición de individuos con VAN negativo en la cuarta generación

A continuación se presenta el informe generado por el programa (fichero solución.txt).

```

*****
                          FICHERO DE RESULTADOS: solucion.txt
*****

*****
                          DATOS DE ENTRADA: interfaz.txt
*****

*** Nombres de los ficheros *.raw y horas/año de vigencia:
TS2S0.raw  1000
TS2S1.raw  6760
TS2.raw    1000

*** Error máximo admisible para el reparto de carga(potencia en p.u.): ema= 0.0001

*** Tensiones límites(en p.u.)

Nudos PQ:  Límite Superior  Límite inferior
           1.05             0.9
Nudos PV:
           1.02             0.98

*** Vida útil de la inversión(años), tasa de actualización y precio del Kilovatio-
hora(euros):
vu= 10 años, ta= 0.05, pKWh= 0.038 euros

*** Número de nudos candidatos y número máximo de pasos para los bancos
nc= 6 nudos, num_pasos= 7

*** Clase de escalón para cada nivel de tensión
KV   Clase
12.66  3

*** Parámetros de funcionamiento del AG:
num_ind= 20 individuos, num_gen= 10 generaciones, pcr= 0.98, pmu= 0.01
nm= 5 individuos, np= 1 individuos, elite= 1, umbral_div= 15

*****
                          RESULTADOS
*****

*** Distribución de condensadores

Escenarios:
(Nudo)
   TS2S0.raw      TS2S1.raw      TS2.raw
(MVAr nominales)
54      1.500      0.300      0.300
53      0.000      0.000      0.000
52      0.600      0.600      0.300

```

---

51	1.500	0.300	0.300
50	0.600	0.600	0.300
49	1.500	0.600	0.000

---

Escenarios:                      TS2S0.raw                      TS2S1.raw                      TS2.raw  
 \*\*\* Pérdidas (MW):              0.765                      0.315                      0.107  
 \*\*\* Valor Actual Neto de la Solución (euros):      349148

\*\*\* Estado:

NUDO	v(p.u.)	d(°)	v(p.u.)	d(°)	v(p.u.)	d(°)
1	1.000	0.00	1.000	0.00	1.000	0.00
2	1.000	-0.01	1.000	0.00	1.000	0.00
3	1.000	-0.02	1.000	-0.01	1.000	-0.01
4	0.999	-0.08	0.999	-0.05	0.999	-0.03
5	0.988	-0.58	0.989	-0.21	0.992	-0.10
6	0.976	-1.11	0.978	-0.39	0.984	-0.17
7	0.973	-1.25	0.976	-0.43	0.982	-0.19
8	0.971	-1.32	0.974	-0.46	0.981	-0.20
9	0.962	-1.16	0.967	-0.33	0.976	-0.11
10	0.960	-1.12	0.966	-0.31	0.975	-0.09
11	0.954	-1.03	0.961	-0.23	0.972	-0.04
12	0.949	-0.94	0.957	-0.17	0.969	0.01
13	0.944	-0.85	0.953	-0.10	0.966	0.05
14	0.938	-0.76	0.949	-0.03	0.963	0.10
15	0.937	-0.75	0.948	-0.02	0.963	0.11
16	0.936	-0.72	0.947	0.00	0.962	0.12
17	0.936	-0.72	0.947	0.00	0.962	0.12
18	0.935	-0.70	0.946	0.01	0.962	0.13
19	0.934	-0.69	0.946	0.02	0.961	0.14
20	0.933	-0.67	0.945	0.03	0.961	0.15
21	0.933	-0.67	0.945	0.03	0.961	0.15
22	0.933	-0.67	0.945	0.04	0.961	0.15
23	0.933	-0.67	0.945	0.04	0.961	0.15
24	0.933	-0.66	0.945	0.04	0.960	0.15
25	0.932	-0.66	0.944	0.05	0.960	0.15
26	0.932	-0.66	0.944	0.05	0.960	0.16
27	1.000	-0.01	1.000	0.00	1.000	0.00
28	1.000	-0.01	1.000	-0.01	1.000	-0.01
29	1.000	-0.01	1.000	-0.01	1.000	0.00
30	1.000	-0.01	1.000	0.00	1.000	0.00
31	0.999	0.00	0.999	0.00	1.000	0.00
32	0.999	0.00	0.999	0.00	0.999	0.00
33	0.998	0.01	0.999	0.01	0.999	0.01
34	0.998	0.02	0.999	0.01	0.999	0.01
35	1.000	-0.02	1.000	-0.01	1.000	-0.01
36	0.998	-0.10	0.998	-0.08	0.999	-0.05
37	0.991	-0.35	0.993	-0.27	0.995	-0.19
38	0.990	-0.39	0.992	-0.30	0.994	-0.21
39	1.000	0.00	1.000	0.00	1.000	0.00
40	0.973	-1.25	0.976	-0.43	0.982	-0.19
41	0.973	-1.24	0.976	-0.43	0.982	-0.19
42	0.969	-1.59	0.972	-0.55	0.979	-0.24
43	0.965	-1.90	0.968	-0.67	0.977	-0.30
44	0.961	-2.35	0.964	-0.84	0.974	-0.37
45	0.957	-2.80	0.960	-1.00	0.970	-0.45
46	0.930	-5.05	0.935	-1.69	0.952	-0.71
47	0.918	-6.20	0.923	-2.05	0.943	-0.85
48	0.913	-6.65	0.918	-2.18	0.940	-0.90
49	0.908	-7.23	0.913	-2.36	0.936	-0.97
50	0.900	-7.86	0.905	-2.59	0.931	-1.13
51	0.900	-7.99	0.905	-2.63	0.930	-1.16
52	0.901	-8.09	0.905	-2.67	0.930	-1.19
53	0.900	-8.44	0.902	-2.72	0.929	-1.25
54	0.904	-8.99	0.903	-2.82	0.930	-1.36
55	0.960	-1.12	0.966	-0.31	0.975	-0.09
56	0.960	-1.12	0.966	-0.31	0.975	-0.09
57	0.954	-1.01	0.961	-0.22	0.972	-0.03
58	0.954	-1.01	0.961	-0.22	0.972	-0.03
59	1.000	-0.01	1.000	0.00	1.000	0.00
60	1.000	-0.02	1.000	-0.01	1.000	-0.01

---

61	0.999	-0.02	0.999	-0.02	1.000	-0.01
62	0.999	-0.02	0.999	-0.02	1.000	-0.01
63	0.999	-0.02	0.999	-0.02	1.000	-0.01
64	0.998	-0.04	0.998	-0.03	0.999	-0.02
65	0.997	-0.05	0.998	-0.04	0.999	-0.03
66	0.997	-0.05	0.998	-0.04	0.999	-0.03
67	0.997	-0.05	0.998	-0.04	0.999	-0.03
68	0.997	-0.06	0.998	-0.04	0.998	-0.03
69	0.997	-0.06	0.998	-0.04	0.998	-0.03

### 15.2.3. Conclusiones

La solución facilitada por el AG requiere de un desembolso de 40660 €, frente a un beneficio estimado por el VAN, suponiendo una vida útil de diez años, de 349148 €, lo que implica un plazo de recuperación de la inversión inferior a dos años. Aún admitiendo que estos resultados no son espectaculares desde el punto de vista económico (la red ensayada presenta pocas pérdidas), la inversión resulta rentable, reduce las pérdidas (por tanto el flujo por las líneas) y eleva la tensión por encima de 0.9 p.u.

Si se hubiera fijado este límite a 0.83 p.u., la solución que proporciona el programa, después de tan sólo tres generaciones, tiene un VAN de 448903 €. Se muestra a continuación la salida por pantalla y el gráfico con la evolución (figura 15.4).

---

ALGORITMO GENÉTICO PRINCIPAL

---

ESCENARIO PRINCIPAL... TS2S0.raw

---

Individuo nº:	Fenotipo:	VAN:	Pérdidas (en TS2S0.raw TS2S1.raw TS2.raw ):		
( 1)	1 1 0 1 7 2	448903 euros	0.549 MW	0.305 MW	0.106 MW
( 2)	0 3 4 2 1 3	410447 euros	0.559 MW	0.316 MW	0.139 MW
( 3)	0 1 0 0 2 0	325160 euros	0.695 MW	0.351 MW	0.138 MW
( 4)	7 5 0 2 7 1	279544 euros	1.027 MW	0.309 MW	0.109 MW
( 5)	0 1 0 0 2 1	325184 euros	0.685 MW	0.351 MW	0.138 MW
( 6)	7 2 0 5 5 6	223343 euros	1.196 MW	0.309 MW	0.109 MW
( 7)	2 0 5 3 0 0	411498 euros	0.559 MW	0.319 MW	0.137 MW
( 8)	6 1 4 2 5 2	334281 euros	0.850 MW	0.309 MW	0.109 MW
( 9)	6 0 5 3 0 2	365012 euros	0.675 MW	0.317 MW	0.153 MW
( 10)	2 1 0 0 2 1	430290 euros	0.623 MW	0.309 MW	0.109 MW
( 11)	0 1 0 0 2 1	325184 euros	0.685 MW	0.351 MW	0.138 MW

---



---

( 12)	6	1	0	0	2	1	434027 euros	0.584 MW	0.309 MW	0.109 MW
( 13)	4	5	5	3	0	2	321177 euros	0.809 MW	0.318 MW	0.137 MW
( 14)	2	0	1	5	6	0	408571 euros	0.570 MW	0.315 MW	0.137 MW
( 15)	4	4	7	0	2	1	365539 euros	0.760 MW	0.309 MW	0.109 MW
( 16)	1	1	0	2	1	3	439174 euros	0.580 MW	0.309 MW	0.109 MW
( 17)	6	1	0	0	2	1	425196 euros	0.584 MW	0.309 MW	0.139 MW
( 18)	2	0	5	3	0	2	413582 euros	0.555 MW	0.316 MW	0.138 MW
( 19)	2	0	5	3	0	2	413345 euros	0.555 MW	0.316 MW	0.137 MW
( 20)	3	1	2	2	0	2	410796 euros	0.562 MW	0.318 MW	0.139 MW

---

Mejor distribución encontrada en la 3ª generación:

Individuo nº... 1

Escenario:	Fenotipo:	Pérdidas:
TS2S0.raw	1 1 0 1 7 2	0.549 MW
TS2S1.raw	1 1 0 1 1 0	0.305 MW
TS2.raw	1 1 0 1 1 0	0.106 MW

VAN... 448902.7698euros.

---

Diversidad... 40.8333 %

---

MEJOR DISTRIBUCIÓN OBTENIDA:

Nudo	Número de escalones ( TS2S0.raw TS2S1.raw TS2.raw )		
54	1	1	1
53	1	1	1
52	0	0	0
51	1	1	1
50	7	1	1
49	2	0	0

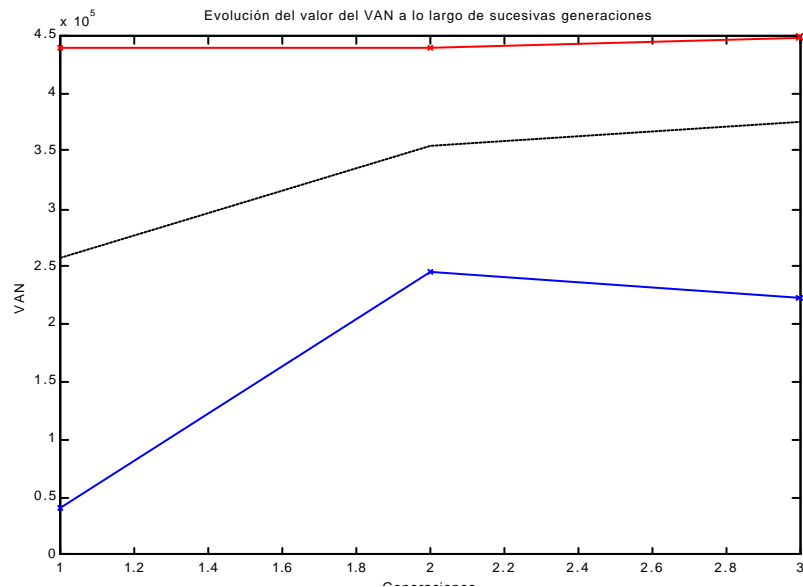
---

VAN... 448902.7698euros.

Escenario:	Pérdidas:
TS2S0.raw	0.549 MW
TS2S1.raw	0.305 MW
TS2.raw	0.106 MW

Tras 3 generaciones:

- \* El número de mutaciones ha sido 556
- \* El número de 'no convergencias' ha sido 0
- \* Diversidad Final: 40.83 %



Como conclusión final, se puede afirmar que el método presentado en este proyecto es una herramienta útil en la determinación de la viabilidad económica de compensar reactiva empleando bancos de condensadores como medio de elevar las tensiones por encima de un cierto valor.