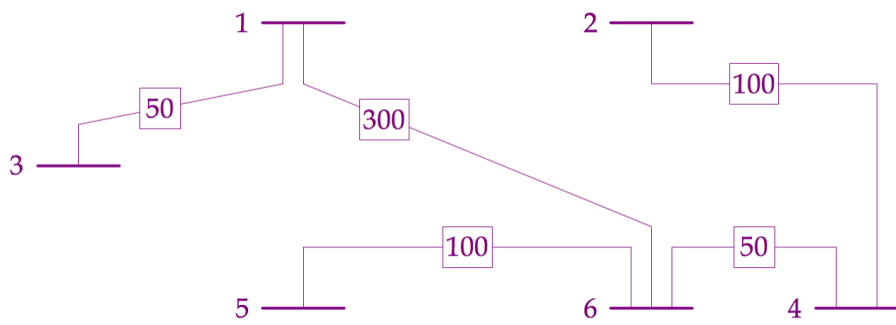


4 PROBLEMAS RESUELTOS

En las páginas que siguen se plantean y resuelven ejercicios de análisis simplificado de redes mallas de hasta 6 nudos con líneas puramente resistivas, empleando la herramienta de cálculo que se ha explicado en la sección 2, p. 106.

1. Sea la red de 45 kV de la figura en la que se han representado 6 nudos y las líneas que actualmente los vinculan. Los valores en los recuadros son las longitudes de cada una (km) y abajo se indica la potencia que se extrae de algunos de ellos. Suponiendo una impedancia serie de $5 \Omega/\text{km}$, una semi-impedancia transversal de $5.50 \times 10^7 \Omega/\text{km}$, y haciendo las suposiciones habituales se pide:

- Resolver la red, calculando las tensiones de cada nudo y la potencia transportada por cada línea.
- Hallar la potencia que se debe inyectar en el nudo 1 y el rendimiento de la red.
- Calcular la tensión que ha de mantenerse en el nudo 1 para que la tensión de todos los nudos quede dentro del margen del $\pm 1.5\%$ de la tensión nominal de la red. Recalcular los parámetros anteriores si fuera necesario.



Potencias suministradas (cargas):

Nudo 2: 3.0 MW Nudo 3: 12.0 MW Nudo 4: 3.0 MW Nudo 5: 4.5 MW Nudo 6: 12.0 MW

Solución:

La matriz de admitancias de nudo es:

	1	2	3	4	5	6
1	0.004666667	0	-0.004	0	0	-0.000666667
2	0	0.002	0	-0.002	0	0
3	-0.004	0	0.004	0	0	0
4	0	-0.002	0	0.006000001	0	-0.004
5	0	0	0	0	0.002	-0.002
6	-0.000666667	0	0	-0.004	-0.002	0.006666667

Con estos valores los resultados de la red son:



NUDO	1	2	3	4	5	6
ADMITANCIA PROPIA	0.005	0.002	0.004	0.006	0.002	0.007
TENSIÓN NUDO (V)	45 000	44 169	44 933	44 203	44 186	44 237
INT. FTES. DE NUDO (A)	448.1	-39.2	-154.2	-39.2	-58.8	-156.6
POT. FTES. DE NUDO (kW)	34 923	-3 000	-12 000	-3 000	-4 500	-12 000

Luego las potencias transportadas por cada rama valen, en vatios:

	1	2	3	4	5	6
1		0	12 019	0	0	22 904
2	0		0	-3 000	0	0
3	-12 000	0		0	0	0
4	0	3 003	0		0	-6 003
5	0	0	0	0		-4 500
6	-22 515	0	0	6 009	4 506	

Estos datos arrojan unas pérdidas totales de 423 kW, que comparadas con la potencia inyectada en el nudo 1 de 34 923 kW, significan un rendimiento de la red del 98.789%.

La tensión de todos los nudos es menor que la del nudo 1, y la más pequeña se da en el nudo 2, donde se calculan 44 169 V. La diferencia respecto de la tensión nominal, a la que se ha supuesto el nudo 1, es del -1.85%, fuera del margen, por tanto, del $\pm 1.5\%$ deseado.

Para resolver esta situación, la tensión del nudo 1 debe subir 153 V, de manera que la nueva solución de la red pasaría a ser

NUDO	1	2	3	4	5	6
ADMITANCIA PROPIA	0.005	0.002	0.004	0.006	0.002	0.007
TENSIÓN NUDO (V)	45 153	44 325	45 087	44 359	44 342	44 393
INT. FTES. DE NUDO (A)	446.5	-39.1	-153.7	-39.0	-58.6	-156.1
POT. FTES. DE NUDO (kW)	34 920	-3 000	-12 000	-3 000	-4 500	-12 000

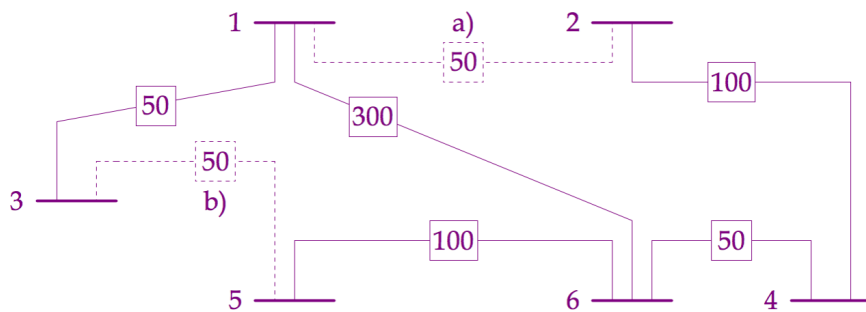
Ahora la caída de tensión en el nudo 2 es justo del -1.5%, mientras que en el nudo 1 se incurre en un +0.34%, que es también un valor admisible.

El nuevo rendimiento se extrae de la matriz de potencias entregadas a las líneas desde cada nudo, que es la siguiente:

	1	2	3	4	5	6
1		0	12 019	0	0	22 901
2	0		0	-3 000	0	0
3	-12 000	0		0	0	0
4	0	3 003	0		0	-6 003
5	0	0	0	0		-4 500
6	-22 515	0	0	6 009	4 506	

Las pérdidas son 420 kW, y el rendimiento ha subido ligeramente, hasta el 98.797%.

2. La empresa distribuidora quiere mejorar el rendimiento de la red del problema anterior, y puede acometer la ejecución de una nueva línea, bien entre los nudos 1 y 2, o bien entre los nudos 3 y 5, pues en ambos casos el coste sería similar. Suponiendo que la longitud de las dos fuera de 50 km, determinar, desde el punto de vista del rendimiento de la red, cuál de las dos opciones resulta preferible.



Solución:

Denominemos opción a) a la línea entre 1 y 2. La red quedaría resuelta, ahora, de acuerdo con los siguientes valores:

NUDO	1	2	3	4	5	6
ADMITANCIA PROPIA	0.009	0.006	0.004	0.006	0.002	0.007
TENSIÓN NUDO (V)	45 000	45 072	45 087	44 941	44 843	44 893
INT. FTES. DE NUDO (A)	443.0	-38.4	-153.7	-38.5	-57.9	-154.3
POT. FTES. DE NUDO (kW)	34 644	-3 000	-12 000	-3 000	-4 500	-12 000

Se observa que el nudo de menor tensión deja de ser el 2 y pasa a ser ahora el 5, aunque la caída de tensión es de solo el -0.35% de la nominal de la red. Nótese que estos valores se han obtenido recuperando, para el nudo 1, dicha tensión nominal de 45 kV, pues ya no es necesario elevarla para mantener los niveles dentro del $\pm 1.5\%$.

El rendimiento se obtiene de la matriz de potencias entregadas a las líneas en esta situación:

	1	2	3	4	5	6
1		14 779	12 019	0	0	7 846
2	-14 751		0	11 751	0	0
3	-12 000	0		0	0	0
4	0	-11 716	0		0	8 716
5	0	0	0	0		-4 500
6	-7 801	0	0	-8 705	4 506	

Dicho rendimiento resulta ser, para 144 kW de pérdidas, del 99.583%.

Para la opción b), es decir, la línea entre 3 y 5 de 50 km de longitud también, se obtienen los siguientes resultados:

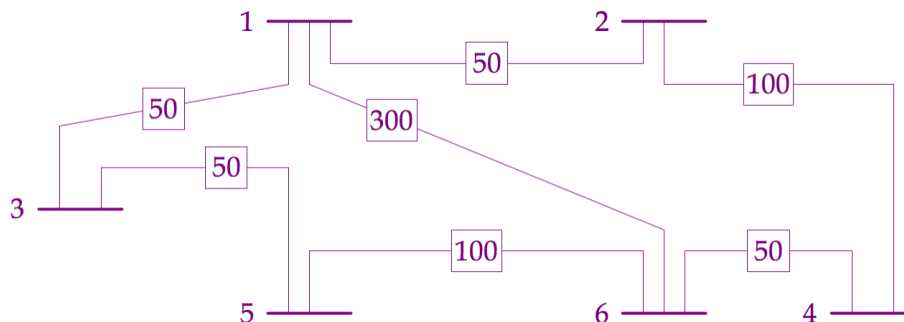


NUDO	1	2	3	4	5	6
ADMITANCIA PROPIA	0.005	0.002	0.008	0.006	0.006	0.007
TENSIÓN NUDO (V)	45 000	44 621	44 859	44 654	44 785	44 688
INT. FTES. DE NUDO (A)	445.2	-38.8	-154.4	-38.8	-58.0	-155.0
POT. FTES. DE NUDO (kW)	34 698	-3 000	-12 000	-3 000	-4 500	-12 000

	1	2	3	4	5	6
1		0	25 335	0	0	9 363
2	0		0	-3 000	0	0
3	-25 254	0		0	13 254	0
4	0	3 003	0		0	-6 003
5	0	0	-13 231	0		8 731
6	-9 297	0	0	6 009	-8 711	

Ahora las pérdidas son de 198 kW, por lo que el rendimiento es peor que antes, del 99.430%, y la opción preferible es la a).

3. Con el paso de los años, la red de los problemas anteriores se ve completada con la línea 1-2 y la línea 3-5, pero debe hacer frente a la nueva potencia suministrada que se indica más abajo.



Potencias suministradas:

Nudo 2: 10.5 MW Nudo 3: 12.0 MW Nudo 4: 25.0 MW Nudo 5: 4.5 MW Nudo 6: 24.0 MW

Resolver la red y determinar el margen de regulación aplicable al nudo 1 para que las tensiones de la red se mantengan dentro del límite del $\pm 1.5\%$.

La mínima tensión admisible es un 1.5% inferior a la nominal de 45 kV, es decir, 675 V menos ó 44 325 V. Esta condición se da en el nudo 4 cuando la tensión del nudo 1 es de 44 766 V:

NUDO	1	2	3	4	5	6
ADMITANCIA PROPIA	0.009	0.006	0.008	0.006	0.006	0.007
TENSIÓN NUDO (V)	44 766	44 580	44 596	44 325	44 494	44 339
INT. FTES. DE NUDO (A)	988.0	-136.0	-155.4	-325.6	-58.4	-312.5
POT. FTES. DE NUDO (kW)	76 605	-10 500	-12 000	-25 000	-4 500	-24 000

	1	2	3	4	5	6
1		33 378	30 457	0	0	12 771

2	-33 238		0	22 738	0	0
3	-30 339	0		0	18 339	0
4	0	-22 607	0		0	-2 393
5	0	0	-18 296	0		13 796
6	-12 648	0	0	2 395	-13 747	

Pérdidas: 605 kW

Rendimiento: 99.210%

La máxima tensión admisible es un 1.5% superior a la nominal de 45 kV, es decir, 45 900 V. Con esta condición en el nudo 1 los valores de la red son:

NUDO	1	2	3	4	5	6
ADMITANCIA PROPIA	0.009	0.006	0.008	0.006	0.006	0.007
TENSIÓN NUDO (V)	45 675	45 492	45 508	45 243	45 408	45 256
INT. FTES. DE NUDO (A)	968.0	-133.3	-152.2	-319.0	-57.2	-306.2
POT. FTES. DE NUDO (kW)	76 582	-10 500	-12 000	-25 000	-4 500	-24 000

	1	2	3	4	5	6
1		33 367	30 448	0	0	12 766
2	-33 233		0	22 733	0	0
3	-30 335	0		0	18 335	0
4	0	-22 607	0		0	-2 393
5	0	0	-18 293	0		13 793
6	-12 649	0	0	2 395	-13 746	

Pérdidas: 582 kW

Rendimiento: 99.240%

De manera que el margen de regulación para mantener la tensión de la red en los límites deseados, actuando exclusivamente desde el nudo 1, es de

$$45\,675 - 44\,766 = 909 \text{ V} \quad (2.02\% \text{ de la tensión de red}).$$

4. En las condiciones de la red del ejercicio anterior se observa que la línea 1-2 comienza a sobrecargarse. Suponiendo que está construida con un conductor tipo LA-180 cuyo límite térmico se sitúa en 426 A, determinar: a) que efectivamente empieza a sobrecargarse; y b) qué ocurriría si se duplicase la línea 1-2.

a) En las condiciones de carga del ejercicio anterior y para el mínimo nivel de tensión posible en la red (siempre dentro del margen aceptable) la intensidad por cada línea, en A, está recogida en la tabla siguiente:

	1	2	3	4	5	6
1		430.4787	392.8	0.0	0.0	164.7
2	-430.4600		0.0	294.5	0.0	0.0
3	-392.8	0.0		0.0	237.4	0.0
4	0.0	-294.5	0.0		0.0	-31.2
5	0.0	0.0	-237.4	0.0		179.0
6	-164.7	0.0	0.0	31.2	-179.0	

Se comprueba que, en efecto, la línea 1-2 está al límite de su capacidad, marcada por su



límite térmico de 426 A. Se verifica, además, que la línea está más sobrecargada en el origen, junto al nudo 1, que en el final, donde la intensidad es ya ligeramente menor ($430.4787 - 430.4600 = 0.187$ A de diferencia). Este fenómeno es debido a la influencia de las corrientes de fuga a lo largo de la línea, introducidas en el modelo mediante las admitancias transversales del esquema en "pi".

A medida que sube la tensión de red la línea soporta algo menos de intensidad, de manera que, cuando la tensión del nudo 1 está en 45 229 V, del nudo 1 salen hacia el nudo 2 exactamente 426 A:

	1	2	3	4	5	6
1		426.0000	388.7	0.0	0.0	163.0
2	-425.9810		0.0	291.4	0.0	0.0
3	-388.7	0.0		0.0	234.9	0.0
4	0.0	-291.4	0.0		0.0	-30.8
5	0.0	0.0	-234.9	0.0		177.1
6	-163.0	0.0	0.0	30.9	-177.1	

Efectivamente, la línea 1-2 está nominalmente sobrecargada cuando la red soporta la carga máxima y la tensión del nudo 1 cae por debajo de esos 45 229 V.

b) Para simular en la herramienta de cálculo que la línea se duplica puede multiplicarse por dos la admitancia en serie (y_2) de esa línea y multiplicarse también por dos sus admitancias en paralelo (y_1 e y_3). O bien puede dividirse por dos su longitud, lo que es equivalente. Esto segundo es lo que vamos a hacer.

Con la nueva configuración la tensión más baja a la que puede trabajar la red es:

NUDO	1	2	3	4	5	6
ADMITANCIA PROPIA	0.013	0.010	0.008	0.006	0.006	0.007
TENSIÓN NUDO (V)	44 715	44 614	44 554	44 327	44 461	44 325
INT. FTES. DE NUDO (A)	988.2	-135.9	-155.5	-325.6	-58.4	-312.6
POT. FTES. DE NUDO (kW)	76 532	-10 500	-12 000	-25 000	-4 500	-24 000

Nótese que al variar las características de la línea 1-2 varía la matriz de admitancias de la red y las admitancias propias de los nudos 1 y 2 que se ven en la tabla de arriba.

La nueva matriz de intensidades por las líneas, para es tensión más baja, es ahora esta:

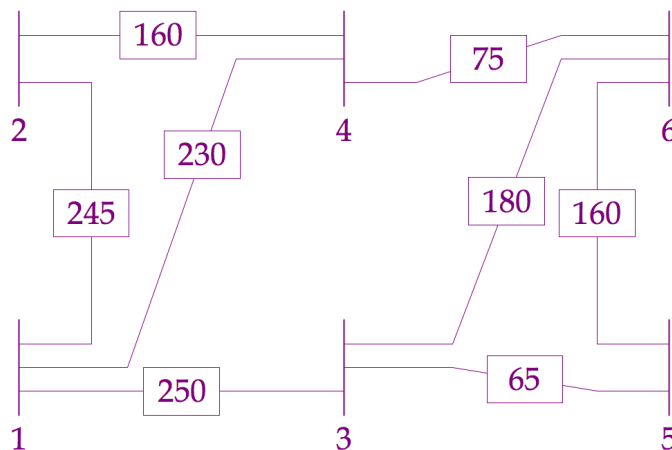
	1	2	3	4	5	6
1		466.9304	371.1	0.0	0.0	150.1
2	-466.8929		0.0	331.0	0.0	0.0
3	-371.1	0.0		0.0	215.6	0.0
4	0.0	-331.0	0.0		0.0	5.4
5	0.0	0.0	-215.5	0.0		157.1
6	-150.1	0.0	0.0	-5.4	-157.1	

Comparándola con la anterior se ve cómo la línea 1-2 aparentemente empeora su condición, pero no es así. Como ahora la línea tiene doble capacidad, su límite son $2 \times 426 \text{ A} = 852 \text{ A}$, de manera que al verse solicitada sólo por 466.9 A , aún le queda un 45.2% de reserva.

La mayor sollicitación se explica porque ahora, al verse duplicada, constituye un corredor de menor impedancia que antes, luego el flujo de potencia desde el nudo 1 hacia todos los demás la prefiere en mayor grado, y por ello la utiliza más. Los datos de la matriz de potencias corroboran esta preferencia.

5. Por cuestiones prácticas las distribuidoras suelen tarar los transformadores de tensión a un valor fijo tolerable por la red, de manera que cuando la carga sea máxima, las tensiones no caigan por debajo de cierto límite. Pero deben verificar que, cuando la carga sea mínima, las tensiones no superen otro superior.

En la red de la figura, de 66 kV de tensión nominal y conductor LA-180 (tómese una impedancia en serie de $5 \Omega/\text{km}$ y una semi-impedancia transversal de $5.5 \times 10^7 \Omega/\text{km}$), determinar, para las cargas máximas y mínimas señaladas debajo, si es posible cumplir esa doble condición dentro de un $\pm 1.0\%$ de la tensión nominal.



Potencias suministradas en MW:

	Nudo 2	Nudo 3	Nudo 4	Nudo 5	Nudo 6
Máximo	47.350	14.820	31.500	15.390	20.780
Mínimo	5.682	1.778	3.780	1.847	2.494

Solución:

La matriz de admitancias de nudo de esta red es:

	1	2	3	4	5	6
1	0.002485892	-0.000816327	-0.0008	-0.000869565	0	0
2	-0.000816327	0.002066327	0	-0.00125	0	0
3	-0.0008	0	0.004988035	0	-0.003076923	-0.001111111
4	-0.000869565	-0.00125	0	0.004786232	0	-0.002666667
5	0	0	-0.003076923	0	0.004326923	-0.00125
6	0	0	-0.001111111	-0.002666667	-0.00125	0.005027778



En la condición de carga máxima la tensión de la red no debería ser, en ningún punto, inferior en más de un 1.0% a la nominal de la red, es decir, no bajar de 65 340 V. Pero en condiciones de carga mínima, ningún punto debería superar la tensión en un 1.0%, esto es, pasar de 66 660 V.

En esta red, alimentada solo desde el nudo 1, bastará con verificar los límites que esas dos condiciones imponen sobre las tensiones del nudo 1.

Para la carga máxima, la tensión del nudo 1 puede oscilar entre el máximo de 66 660V y bajar hasta 66 206 V. Por debajo de ese valor la tensión en el nudo 6 vulneraría el límite del -1.0%:

NUDO	1	2	3	4	5	6
ADMITANCIA PROPIA	0.002	0.002	0.005	0.005	0.004	0.005
TENSIÓN NUDO (V)	66 206	65 371	65 447	65 405	65 361	65 340
INT. FTES. DE NUDO (A)	1146.6	-418.2	-130.7	-278.1	-135.9	-183.6
POT. FTES. DE NUDO (W)	131 486	-47 350	-14 820	-31 500	-15 390	-20 780

Para la carga mínima (se observa que es un 12% de la máxima), las tensiones a las que trabaja la red tienden a ser las más altas, luego hay que verificar cuándo se sobrepasa el límite del +1.0% en algún nudo. Evidentemente, al ser una red alimentada solo desde el nudo 1, basta con imponerle a él esa condición, así:

NUDO	1	2	3	4	5	6
ADMITANCIA PROPIA	0.002	0.002	0.005	0.005	0.004	0.005
TENSIÓN NUDO (V)	66 660	66 562	66 570	66 566	66 560	66 558
INT. FTES. DE NUDO (A)	135.2	-49.3	-15.4	-32.8	-16.0	-21.6
POT. FTES. DE NUDO (W)	15 613	-5 682	-1 778	-3 780	-1 847	-2 494

De forma que es sí es posible gestionar correctamente esta red simplemente manteniendo fija la tensión en el nudo de generación en cualquier valor entre 66 660 V y 66 206 V, pues nunca se vulnerarán los límites bajo cualquiera de los dos extremos de carga estudiados y, consecuentemente, tampoco bajo cualquier caso intermedio.

6. Obtener las máximas intensidades que soportan las ramas de la red para un nuevo flujo de cargas en el que se debe tener en cuenta un incremento de la carga máxima en el nudo 4 de 10 MW, quedando la mínima en 4.98 MW. Determinar si alguna supera el límite térmico del conductor, establecido en 426 A, y en qué condiciones lo hace.

Solución:

Las intensidades serán máximas cuando las tensiones sean lo más pequeñas posible. Pero el valor mínimo lo fija el umbral de -1.0% de variación respecto de la tensión nomi-

nal, que debe respetarse en todos los nudos. De manera que primero hay que encontrar cuál es la tensión mínima admisible de los nudos de la red en las condiciones de carga pedidas:

NUDO	1	2	3	4	5	6
ADMITANCIA PROPIA	0.002	0.002	0.005	0.005	0.004	0.005
TENSIÓN NUDO (V)	66 275	65 389	65 467	65 390	65 376	65 340
INT. FTES. DE NUDO (A)	1234.8	-418.1	-130.7	-366.4	-135.9	-183.6
POT. FTES. DE NUDO (W)	141 744	- 47 350	- 14 820	- 41 500	- 15 390	- 20 780

Con la tensión del nudo 1 a 66 275 V la caída de tensión en el nudo 6, el más desfavorable, es del -1.0%. Ahora las potencias en kW entregadas a las líneas desde cada nudo:

	1	2	3	4	5	6
1		47 912	42 852	50 980	0	0
2	- 47 271		0	- 79	0	0
3	- 42 329	0		0	18 316	9 193
4	- 50 299	80	0		0	8 719
5	0	0	- 18 288	0		2 898
6	0	0	- 9 174	- 8 710	- 2 895	

Pérdidas: 1 904 kW Rendimiento: 98.657%

Y las intensidades por las ramas, en amperios:

	1	2	3	4	5	6
1		417.3818	373.3	444.1	0.0	0.0
2	-417.3762		0.0	-0.7	0.0	0.0
3	-373.3	0.0		0.0	161.5	81.1
4	-444.1	0.7	0.0		0.0	77.0
5	0.0	0.0	-161.5	0.0		25.6
6	0.0	0.0	-81.1	-77.0	-25.6	

Se comprueba que con la red trabajando a plena carga y las tensiones al nivel más bajo posible, la intensidad de la rama 1-4 supera el límite térmico de 426 A.

Si las tensiones fueran, por el contrario, las más altas posibles (lo que de nuevo se produce cuando el nudo 1 trabaja a 66 660 V) la línea 1-4 soportaría también una intensidad superior a su intensidad nominal:

	1	2	3	4	5	6
1		414.9032	371.1	441.5	0.0	0.0
2	-414.8975		0.0	-0.7	0.0	0.0
3	-371.1	0.0		0.0	160.6	80.6
4	-441.5	0.7	0.0		0.0	76.5
5	0.0	0.0	-160.5	0.0		25.4
6	0.0	0.0	-80.6	-76.5	-25.4	

Si la carga de toda la red bajara, la sobrecarga desaparecería. Suponiendo que la carga de todos los nudos se redujera hasta el 96.5% de la potencia máxima estadística demandada, la línea 1-4 soportaría 426 A justos.



7. Se plantea la posibilidad de autorizar la creación de una central en el nudo 5, que podría suponer una solución válida al problema de sobre intensidad deducido en el ejercicio 6 anterior. Determinar qué rangos de potencia de esa central convendría autorizar.

Solución:

Nota:

Este problema requiere buscar repetidamente una solución mediante sucesivos procedimientos de cálculo idénticos o 'barridos', si bien en apenas dos repeticiones o barridos se llega a un resultado aceptable.

La potencia mínima que debería entregar esa central debería bastar justo para eliminar el problema de sobrecarga de la línea 1-4. Ese problema es más grave cuando la red trabaja a plena carga y las tensiones son lo más bajas posibles, es decir, cuando en el nudo 1 la tensión es de 66 275 V.

En esas condiciones, la central del nudo 5 debería entregar al menos 6 495 kW a la red, y entonces la intensidad por la línea 1-4 es de, justamente, 426 A. La potencia que entrega la central del nudo 1 baja de 141 744 kW a 135 076 kW, es decir, 6 668 kW. Son más que los 6 495 kW que aporta ahora la central en 5, porque no hay que olvidar que hay que compensar también las pérdidas de la red.

La nueva matriz de admitancias de la red no varía respecto del ejercicio anterior porque la topología y conexiones entre líneas siguen siendo las mismas.

Una primera solución con la central 5 de 6 495 kW sería:

NUDO	1	2	3	4	5	6
ADMITANCIA PROPIA	0.002	0.002	0.005	0.005	0.004	0.005
TENSIÓN NUDO (V)	66 275	65 411	65 531	65 426	65 460	65 395
INT. FTES. DE NUDO (A)	1176.7	-417.9	-130.6	-366.2	-78.5	-183.5
POT. FTES. DE NUDO (W)	135 076	-47 350	-14 820	-41 500	-8 895	-20 780

Y aunque se comprueba que la intensidad de la línea 1-4 ha sido corregida hasta 426 A, ocurre que la tensión de la red podría ser algo más baja, pues en el nudo 6 ya no estamos a 65 340 V sino a 65 395 V. Esto es debido a la presencia de la central del nudo 5.

Es preciso volver a ajustar la solución, en un segundo barrido, que primero reconsidere la tensión en 1, y luego establezca la nueva potencia de la central en 5. En este caso, y con los 6 495 kW de generación ya en el nudo 5, la tensión en 1 puede bajar hasta 66 221 V:

NUDO	1	2	3	4	5	6
ADMITANCIA PROPIA	0.002	0.002	0.005	0.005	0.004	0.005
TENSIÓN NUDO (V)	66 221	65 357	65 476	65 372	65 406	65 340
INT. FTES. DE NUDO (A)	1177.7	-418.3	-130.7	-366.5	-78.5	-183.6
POT. FTES. DE NUDO (W)	135 079	-47 350	-14 820	-41 500	-8 895	-20 780

Para esta nueva tensión, la línea 1-4 presenta de nuevo una ligera sobrecarga, pues su intensidad es de 426.4 A. Si la central en 5 proporcionara 6 630 kW esa sobrecarga se corregiría. Pero ahora la solución de la red para esa nueva inyección de potencia vuelve a ser distinta, aunque la diferencia es mucho menor que en el barrido anterior: se trata de que la central del nudo 1 podría fijar su tensión en 66 220 V, apenas 1 V menos que antes.

NUDO	1	2	3	4	5	6
ADMITANCIA PROPIA	0.002	0.002	0.005	0.005	0.004	0.005
TENSIÓN NUDO (V)	66 220	65 356	65 477	65 371	65 406	65 340
INT. FTES. DE NUDO (A)	1176.5	-418.3	-130.7	-366.5	-77.3	-183.6
POT. FTES. DE NUDO (W)	134 941	- 47 350	- 14 820	- 41 500	- 8 760	- 20 780

Por tanto, el problema queda resuelto en apenas dos barridos de búsqueda de la solución: la central a autorizar en el nudo 5 debería tener al menos la capacidad de incorporar 6 630 kW a la red en su nudo, lo que aliviaría el problema de la línea 1-4 aunque se dieran las condiciones más adversas posibles.

Pero aún hay que establecer la potencia máxima a autorizar para esa central. En este caso la fija la condición de carga opuesta: la red trabaja al mínimo estadístico de carga y suministra baja potencia a los nudos demandantes. Las tensiones tienden a ser las más altas y una nueva central no hace sino elevarlas todavía más, incrementando el riesgo de sobretensión por encima del +1.0% admisible.

La red se estudia ahora para su menor carga estadística (un 12% solo de la máxima carga), y para las máximas tensiones posibles, que las fija el nudo 1 al alcanzar los 66 660 V permitidos. En esas condiciones, la central en el nudo 5 solo puede inyectar 8 383 kW porque con ellos ya eleva la tensión de su propio nudo al máximo permitido:

NUDO	1	2	3	4	5	6
ADMITANCIA PROPIA	0.002	0.002	0.005	0.005	0.004	0.005
TENSIÓN NUDO (V)	66 660	66 583	66 645	66 601	66 660	66 618
INT. FTES. DE NUDO (A)	72.9	-49.3	-15.4	-43.2	56.6	-21.6
POT. FTES. DE NUDO (W)	8 420	- 5 682	- 1 778	- 4 980	6 536	- 2 494

Se observa que esta solución es aceptable porque no se ha incurrido en el defecto de convertir a la otra central, la del nudo 1, en consumidora de energía. Al contrario, ésta todavía proporciona 8 420 kW a la red.

Por tanto, la central que puede autorizarse es aquella cuya potencia nominal no sobrepase los 8 420 kW y que garantice una potencia mínima de al menos 6 630 kW siempre que se lo solicite el gestor de la red, para aliviar el problema de la línea 1-4.



8. Comprobar que construir una nueva línea de 200 km de longitud, del mismo tipo que el resto de la red, para unir el nudo 3 con el 4, no soluciona el problema de los dos ejercicios anteriores.

Comencemos por obtener la nueva matriz de admitancias de la red:

	1	2	3	4	5	6
1	0.002485892	-0.000816327	-0.0008	-0.000869565	0	0
2	-0.000816327	0.002066327	0	-0.00125	0	0
3	-0.0008	0	0.005988035	-0.001	-0.003076923	-0.001111111
4	-0.000869565	-0.00125	-0.001	0.005786232	0	-0.002666667
5	0	0	-0.003076923	0	0.004326923	-0.00125
6	0	0	-0.001111111	-0.002666667	-0.00125	0.005027778

Y las soluciones:

NUDO	1	2	3	4	5	6
ADMITANCIA PROPIA	0.002	0.002	0.006	0.006	0.004	0.005
TENSIÓN NUDO (V)	67 262	66 396	66 448	66 401	66 363	66 340
INT. FTES. DE NUDO (A)	1216.2	-411.7	-128.8	-360.8	-133.9	-180.8
POT. FTES. DE NUDO (W)	141 685	-47 350	-14 820	-41 500	-15 390	-20 780

Las potencias entregadas a las líneas (kW):

	1	2	3	4	5	6
1		47 541	43 800	50 344	0	0
2	-46 928		0	-422	0	0
3	-43 269	0		3 108	17 352	7 990
4	-49 699	423	-3 105		0	10 881
5	0	0	-17 327	0		1 937
6	0	0	-7 976	-10 869	-1 935	

Pérdidas: 1 845 kW

Rendimiento: 98.698%

Y las intensidades por las ramas, en amperios:

	1	2	3	4	5	6
1		408.0711	376.0	432.130	0.0	0.0
2	-408.0654		0.0	-3.7	0.0	0.0
3	-376.0	0.0		27.0	150.8	69.4
4	-432.1	3.7	-27.0		0.0	94.6
5	0.0	0.0	-150.7	0.0		16.9
6	0.0	0.0	-69.4	-94.6	-16.8	

En efecto, la línea nueva 3-4 apenas soporta carga, llevando tan solo 27 A de intensidad máxima, luego no alivia apenas el problema de la 1-4.