

### PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 5.1 Sistema de prueba de Anderson 9 nodos

Para el análisis del comportamiento en estado estacionario de los CEV's se utilizó el caso de prueba Anderson-9 nodos [7] el cual es un sistema de 9 nodos formado por 3 generadores y 3 cargas cuyas características se listan en las tablas siguientes:

Tabla 5.1 Datos de Generadores

Unidades	P max [MW]	P min [MW]	Q max [MVAr]	Q min [MVAr]
GEN-1	247.5	-247.5	74.25	-74.25
GEN-2	163.2	-163.2	57.6	-57.6
GEN-3	108.8	-108.8	38.4	-38.4

Tabla 5.2 Datos de Transformadores

Transformador	Nodo envío	Nodo recepción	Relación de transformación [KV]	Impedancia [pu]
TR 1	1	4	16.5/230	0.0576
TR 2	2	7	18/230	0.0625
TR 3	3	9	13.8/230	0.0586

*Tabla 5.3 Datos de Líneas de Transmisión*

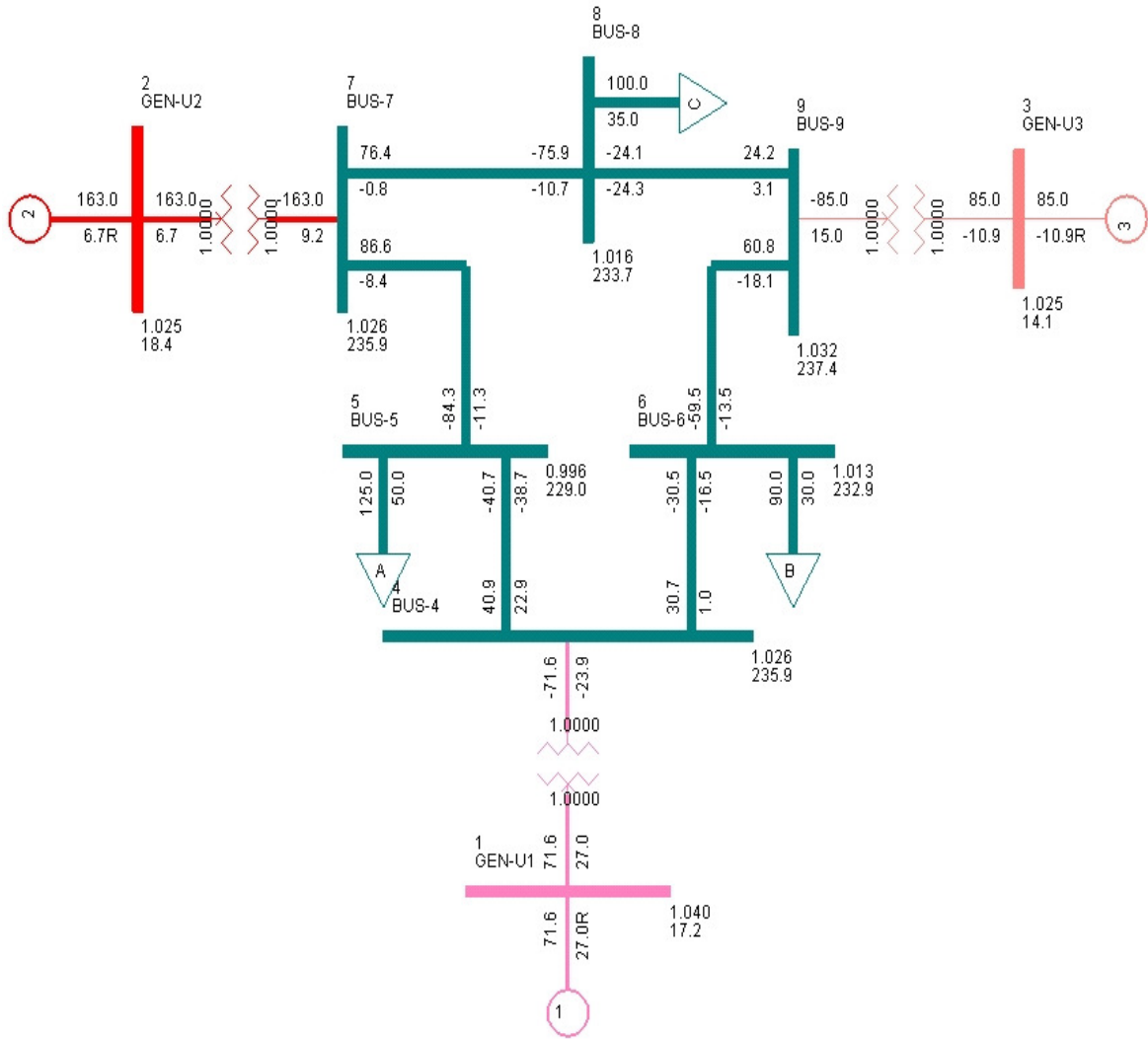
Líneas	Impedancia de Sec. Positiva [pu]	Susceptancia de Sec. Positiva [pu]	Impedancia de Sec. Cero [pu]	Susceptancia de Sec. Cero [pu]
4-5	$0.01 + j0.085$	$j0.176$	$0.03 + j0.255$	$j0.528$
4-6	$0.017 + j0.092$	$j0.158$	$0.051 + j0.276$	$j0.474$
5-7	$0.032 + j0.161$	$j0.306$	$0.096 + j0.483$	$j0.918$
6-9	$0.039 + j0.17$	$j0.358$	$0.117 + j0.51$	$j1.074$
7-8	$0.0085 + j0.072$	$j0.149$	$0.0255 + j0.216$	$j0.447$
8-9	$0.0119 + j0.1008$	$j0.209$	$0.0357 + j0.3024$	$j0.627$

*Tabla 5.4 Datos de Cargas*

Cargas	P [MW]	Q [MVar]
A	125	50
B	90	30
C	100	35

En la Figura 5.1 se muestra el Sistema Anderson-9 nodos.

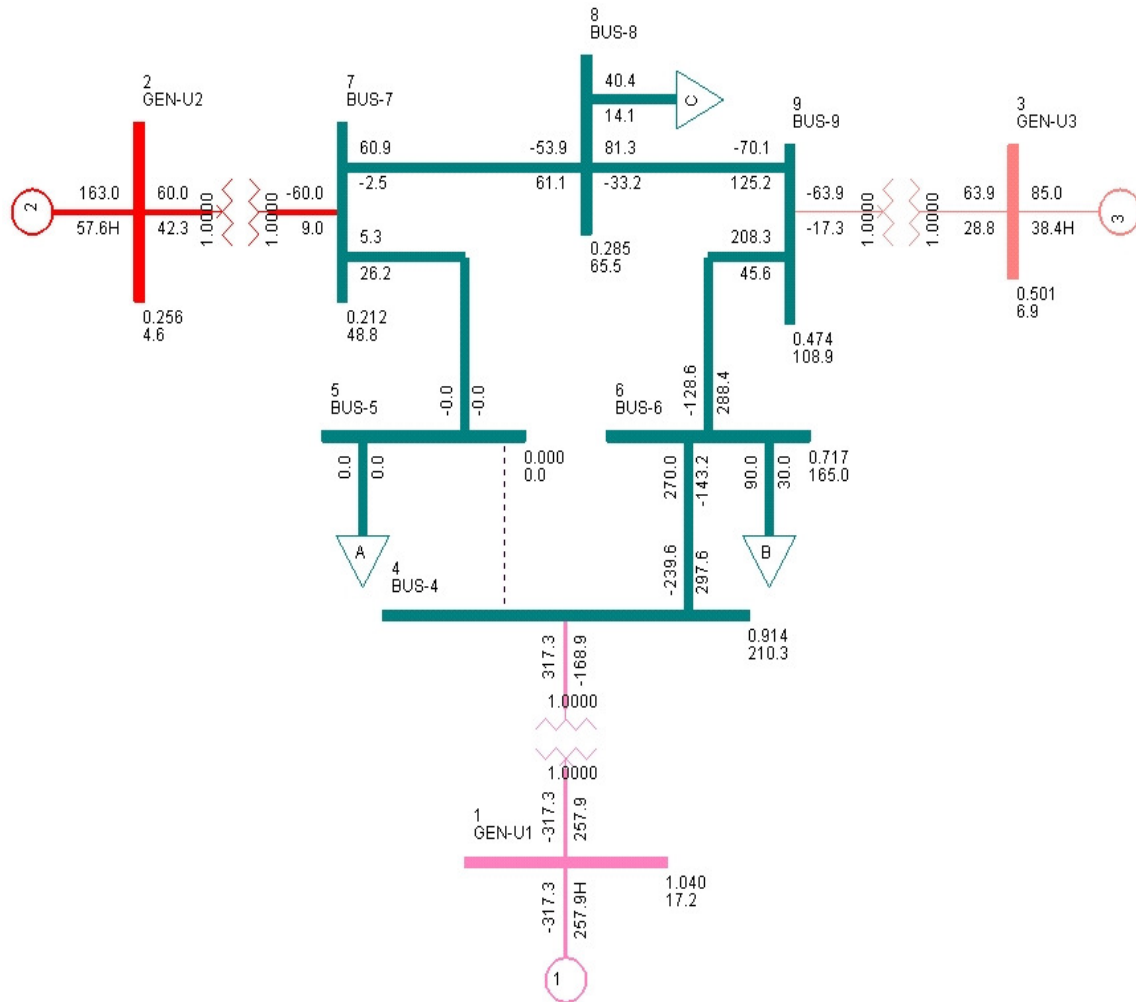
Para el análisis se supondrán algunas contingencias en el sistema para observar su impacto en los perfiles de voltaje.



**Fig. 5.1** Diagrama unifilar del sistema Anderson-9 nodos en condiciones de pre-falla

### 5.1.1 Contingencias en Líneas de Transmisión

**Caso A** Se simula la apertura tripolar de la Línea 4-5

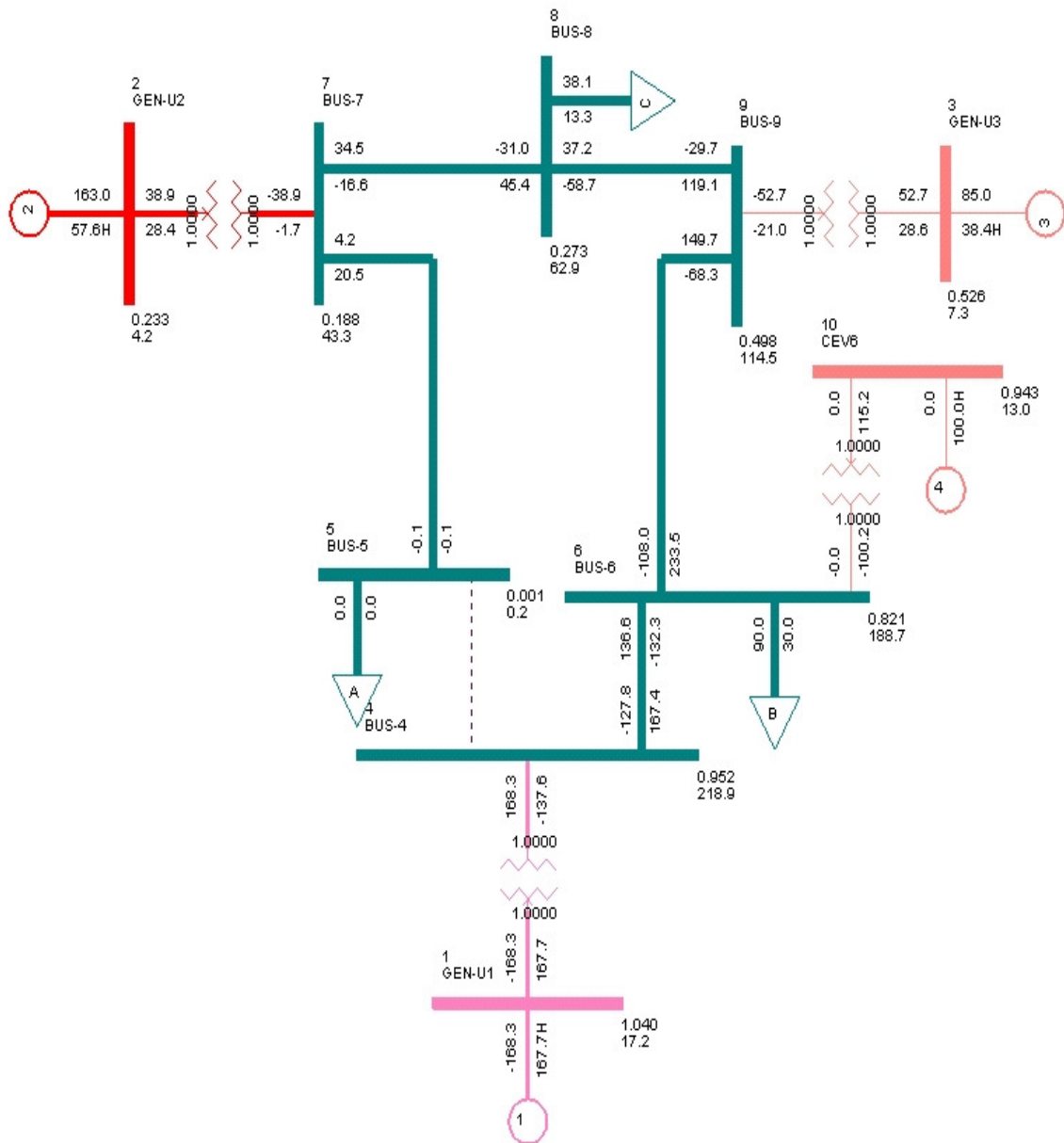


**Fig. 5.2** Flujos de potencia ante la condición de apertura de la línea 4-5

De esta contingencia se observa que los perfiles de voltaje se abaten a valores que serían inoperables, a tal grado que no es posible alimentar a la Carga A y no se alcanza a cubrir por completo la demanda de la carga C, aún cuando los generadores 2 y 3 están trabajando a su máxima capacidad. Del diagrama se observa que para esta contingencia no se encuentra una solución de flujos de potencia válida, es decir el sistema no converge. Ante esta situación el Generador 1 está absorbiendo potencia activa.

Con la finalidad de realizar sensibilidades de inyecciones de potencia reactiva en el Sistema Anderson-9 nodos, se ubicará un CEV en diferentes nodos de la red.

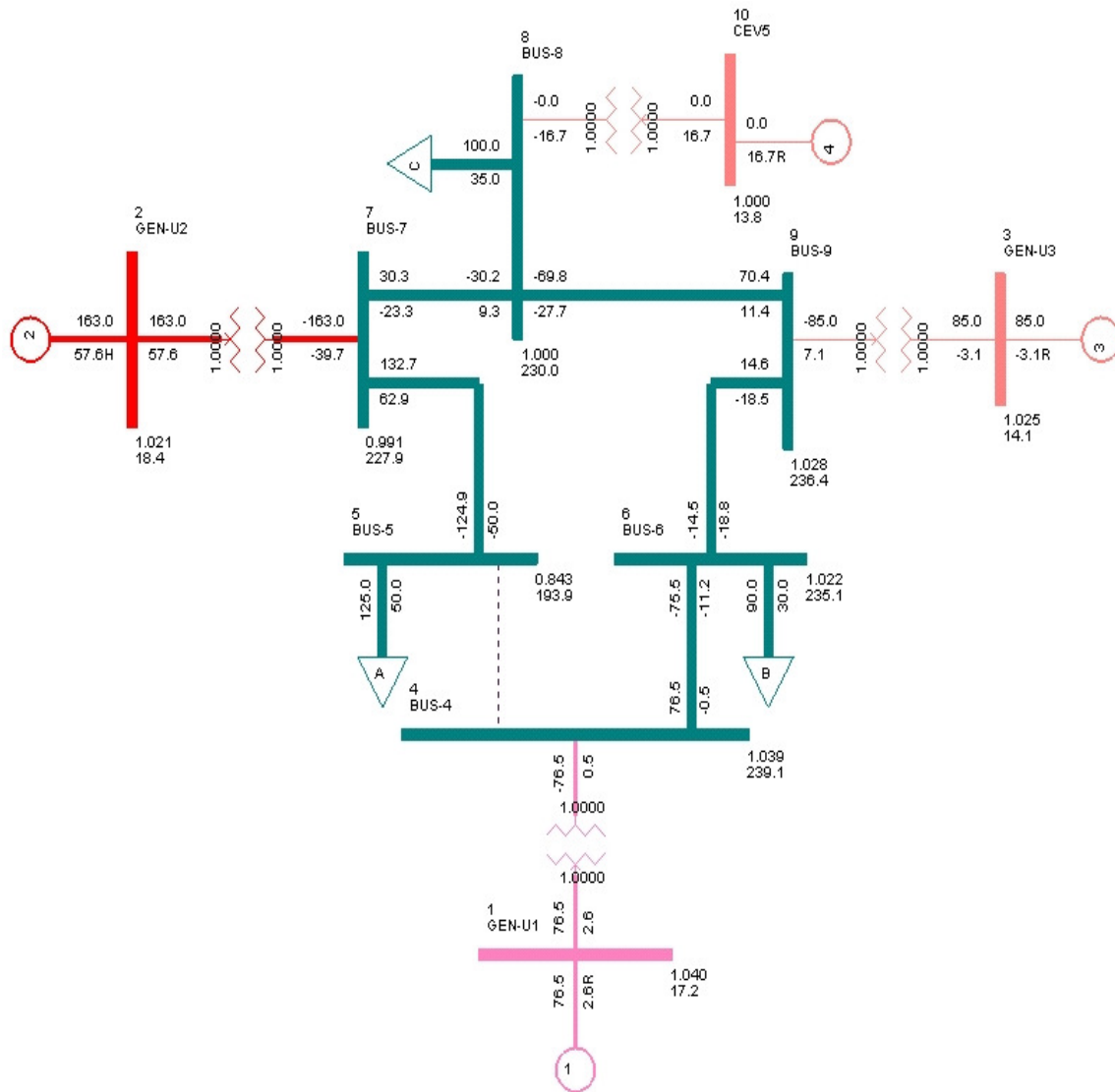
Dado lo anterior se supone la inserción de un CEV de  $\pm 100$  MVar en el nodo 6 del sistema, para observar la manera en que ayuda en la convergencia del sistema. En la Figura 5.3 se muestra el nuevo diagrama incluyendo el CEV.



*Fig. 5.3 Flujos de potencia ante la apertura de la línea 4-5. Se incluye un CEV en el Bus 6*

Se observa que aunque los 3 generadores y el CEV entregan más de lo que pueden aportar de reactivos es insuficiente para encontrar una solución de flujos de potencia. El sistema sigue sin converger aún con la operación del CEV.

Ahora se supone la inserción de un CEV de  $\pm 30$  MVar en el nodo 8 del sistema, para observar si de esta manera se obtiene la convergencia del sistema. En la Fig. 5.4 se muestra el diagrama unifilar del Sistema Anderson-9 nodos considerando la operación de un CEV en el nodo 8.

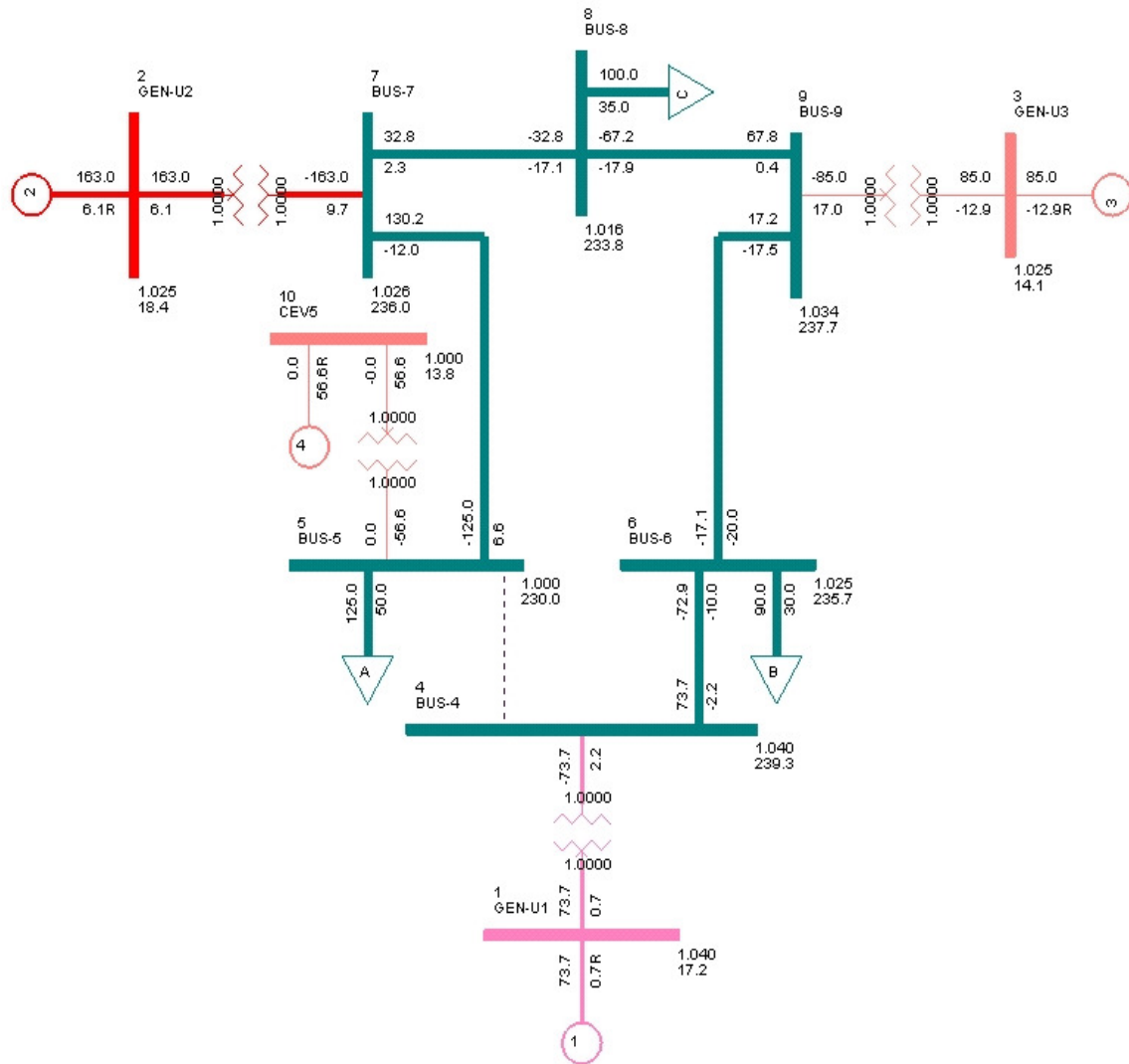


**Fig. 5.4** Resultados de flujos de potencia ante la apertura de la línea 4-5, incluyendo un CEV en el nodo 8

Se puede apreciar que con un CEV en el nodo 8 ya se puede alimentar en su totalidad a las 3 cargas. De los 3 generadores sólo el generador 2 está a su máxima capacidad tanto en potencia como en reactivos mientras que el generador 1 y 3 están regulando. El CEV en este nodo aporta reactivos ayudando a regular el perfil de voltaje del sistema.

De la Figura 5.4 se observa que gracias a la incorporación del CEV en el nodo 8 es factible mejorar el perfil de voltaje del sistema logrando convergencia en la solución de flujos de potencia ante la contingencia simulada. Sin embargo el perfil de voltaje en el nodo 5 es bajo (0.843 pu) e inoperable, sería necesario conectar compensación capacitiva en el nodo para mejorar el perfil de voltaje.

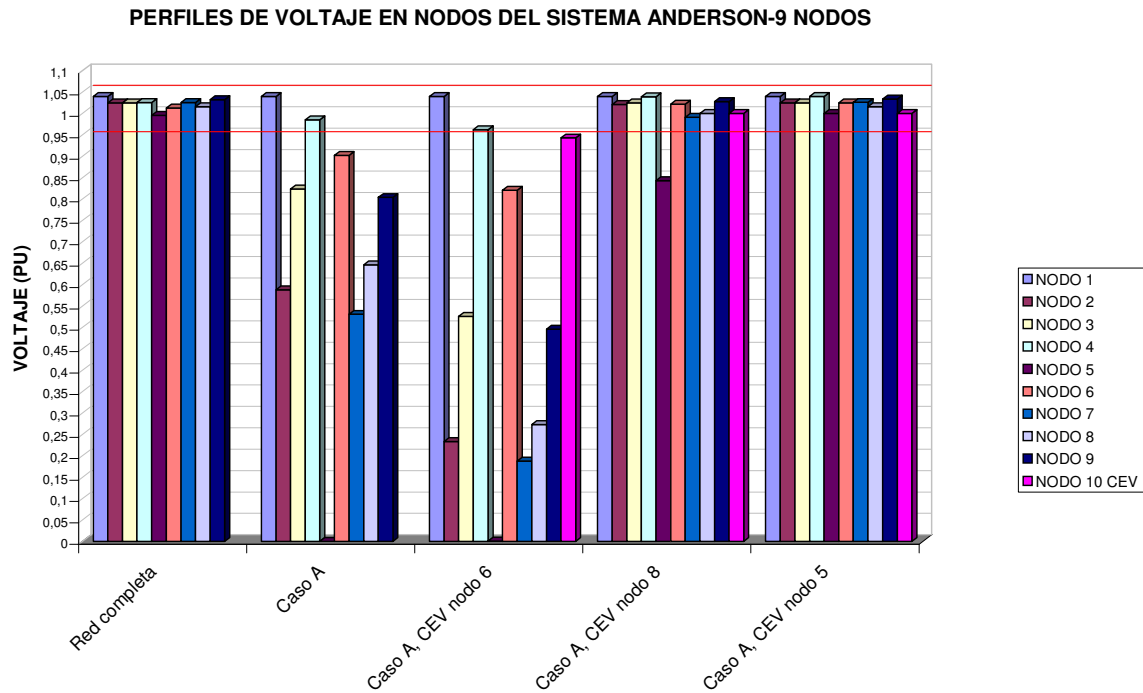
Dado lo anterior se supone la inserción del CEV de  $\pm 80$  MVar en el nodo 5. Ver la Figura 5.5.



**Fig. 5.5** Flujos de potencia resultantes de la apertura de la línea 4-5 incluyendo un CEV en el nodo 5

De la Figura 5.5 se puede apreciar que con el CEV en el nodo 5 se mejoran los perfiles de voltaje del sistema, ya que éste aporta más reactivos que cuando se colocó en el nodo 8. En este caso los 3 generadores están regulando y ninguno de los 3 generadores está a su máxima capacidad tanto en potencia activa como en potencia reactiva, por lo que mientras

más cercano estuvo el CEV a la carga A, que era la que no se llegaba a alimentar en su totalidad, mayor fue su aportación de potencia reactiva y menor fue la aportación de potencia reactiva del Generador 1.



**Fig. 5.6** Perfiles de voltaje en nodos del sistema, con la apertura de la Línea 4-5 con y sin el CEV en los nodos 5, 6 y 8

Como se puede apreciar en la Figura 5.6 con la apertura de la línea 4-5 el voltaje en todos los nodos se abate a valores de alrededor de 0.5 pu, con lo cual el caso no converge, es decir, el sistema es inoperable con esos perfiles de voltaje.

Cuando se inserta el CEV en el Bus 6, aún los voltajes en todos los nodos siguen tan bajos que sigue sin converger el sistema. Cuando el CEV se encuentra en el Bus 8 mejora mucho el voltaje en los nodos a excepción del Bus 5 que es donde está conectada la Carga A, estando su valor por debajo del nivel de tolerancia que es del  $\pm 5\%$ .

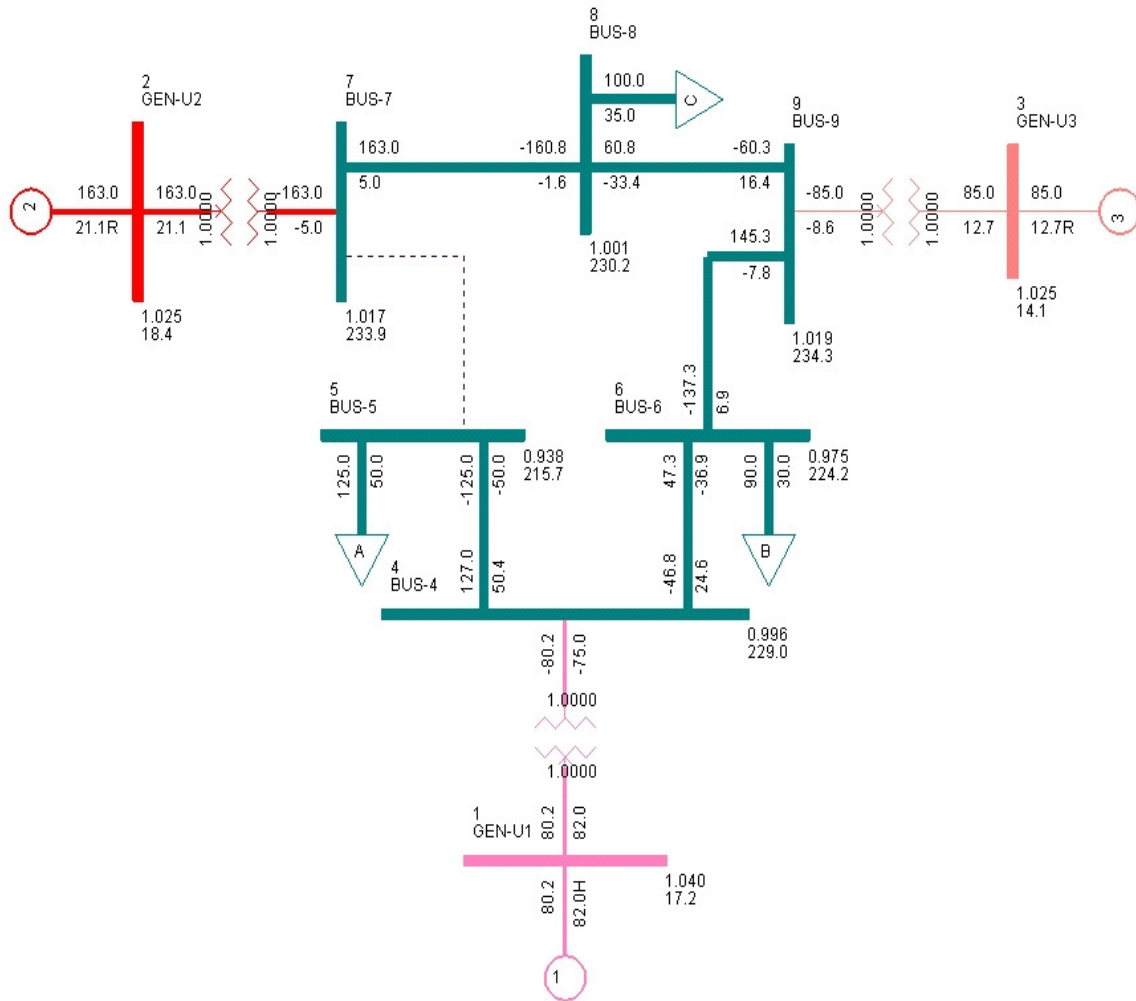
Cuando el CEV se coloca en el Bus 5, todos los valores de voltaje de los nodos están dentro del rango de tolerancia, siendo sus valores de voltaje muy parecidos a los que se tienen en la condición de pre-falla, es decir, el sistema estará bien condicionado aún con la apertura de esta línea si cuenta con un CEV en el Bus 5 que es donde se encuentra la carga con mayor consumo de reactivos.

Del análisis desarrollado para el Sistema Anderson-9 nodos, y mostrado en cada diagrama unifilar así como en la gráfica de perfiles de voltaje ante distintas sensibilidades de



ubicación del CEV se comprueba que el problema de “déficit de potencia reactiva” de un sistema eléctrico de potencia es un problema local que debe resolverse mediante la ubicación idónea de fuentes de potencia reactiva fija o de tipo dinámica como CEV’s, los cuales proveen o absorben potencia reactiva también en estado dinámico.

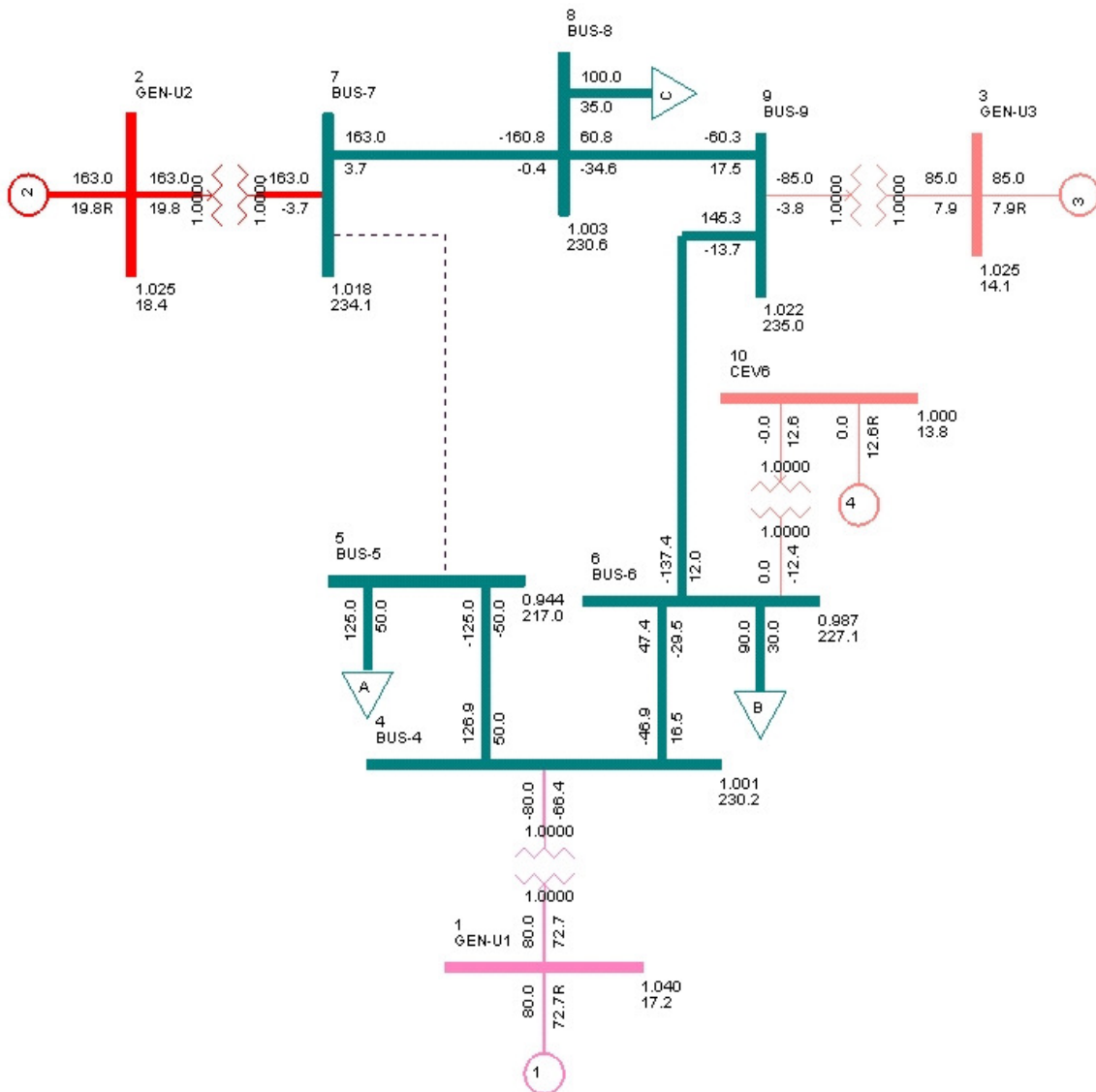
**Caso B** Este caso contempla la apertura tripolar de la Línea 5-7



**Fig. 5.7** Flujos de Potencia resultantes de la apertura de la línea 5-7

Para esta contingencia el sistema no es capaz de sobreponerse a la pérdida de la línea 5-7, ya que se necesitaría que el Generador 1 fuera de mayor capacidad para aportar una mayor cantidad de reactivos, por lo que la solución que se muestra en la Figura 5.7 no es real, en circunstancias reales el sistema no convergería.

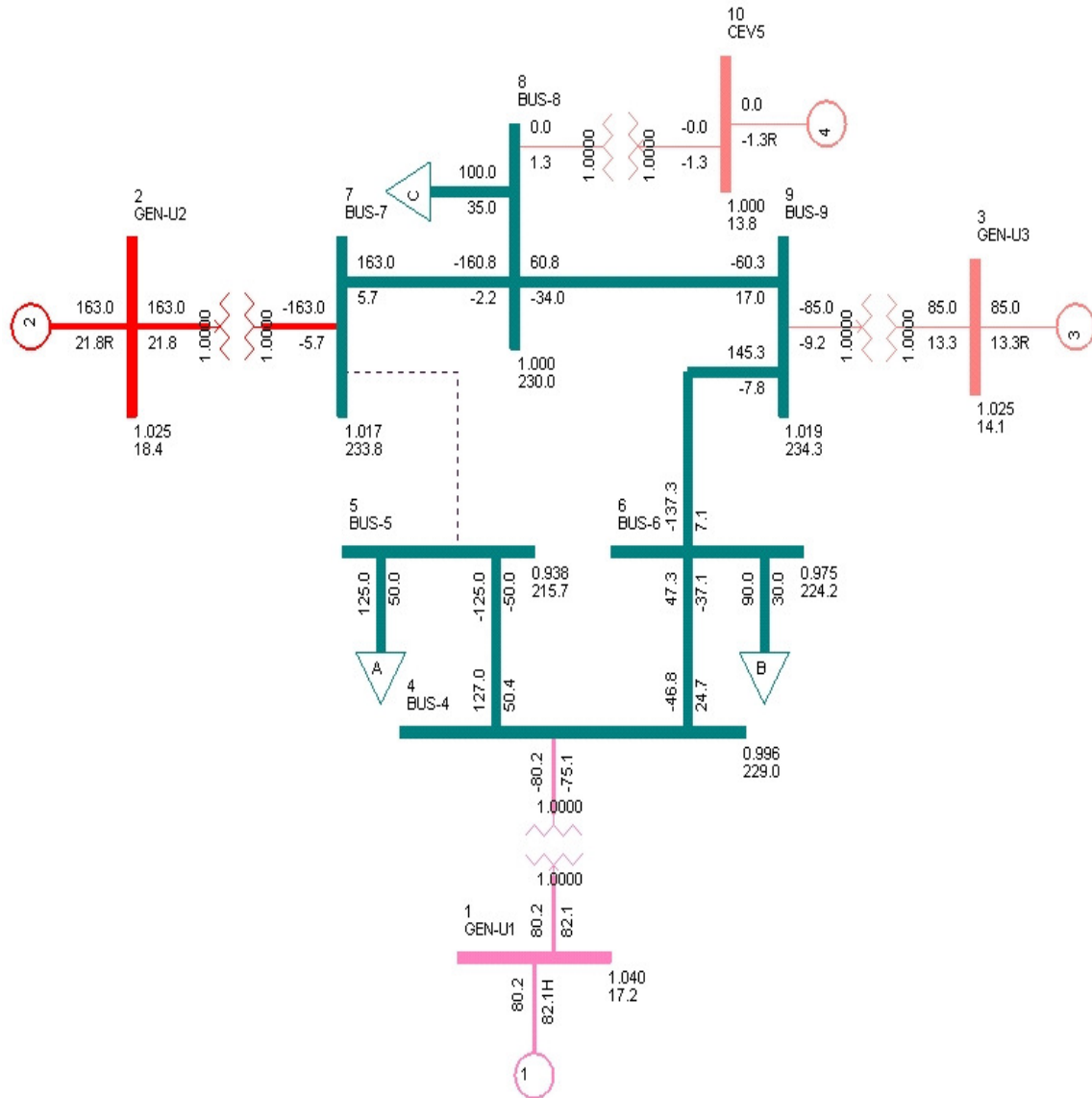
Dado lo anterior se supondrá la inserción de un CEV de  $\pm 30$  MVar en el nodo 6 del sistema, para observar su impacto ante esta contingencia. Ver la Figura 5.8.



*Fig. 5.8 Flujos de potencia resultantes de la apertura de la línea 5-7 incluyendo un CEV en el nodo 6*

Del diagrama unifilar de la Figura 5.8, se aprecia que la inclusión del CEV en el nodo 6 contribuye a la regulación de voltaje del sistema junto con los 3 generadores, por lo que se puede cubrir la demanda de las cargas manteniendo un perfil de voltaje adecuado en todo el sistema. El sistema puede soportar esta contingencia, sin embargo el Generador 1 tiene poco margen de regulación de reactivos, ya que está prácticamente al máximo de su capacidad, mientras que el Generador 2 está a su máxima capacidad en potencia activa.

Ahora se analizará el caso en que un CEV de  $\pm 30$  MVar se encuentre en el nodo 8 del sistema. En la Figura 5.9 se muestra el nuevo diagrama.

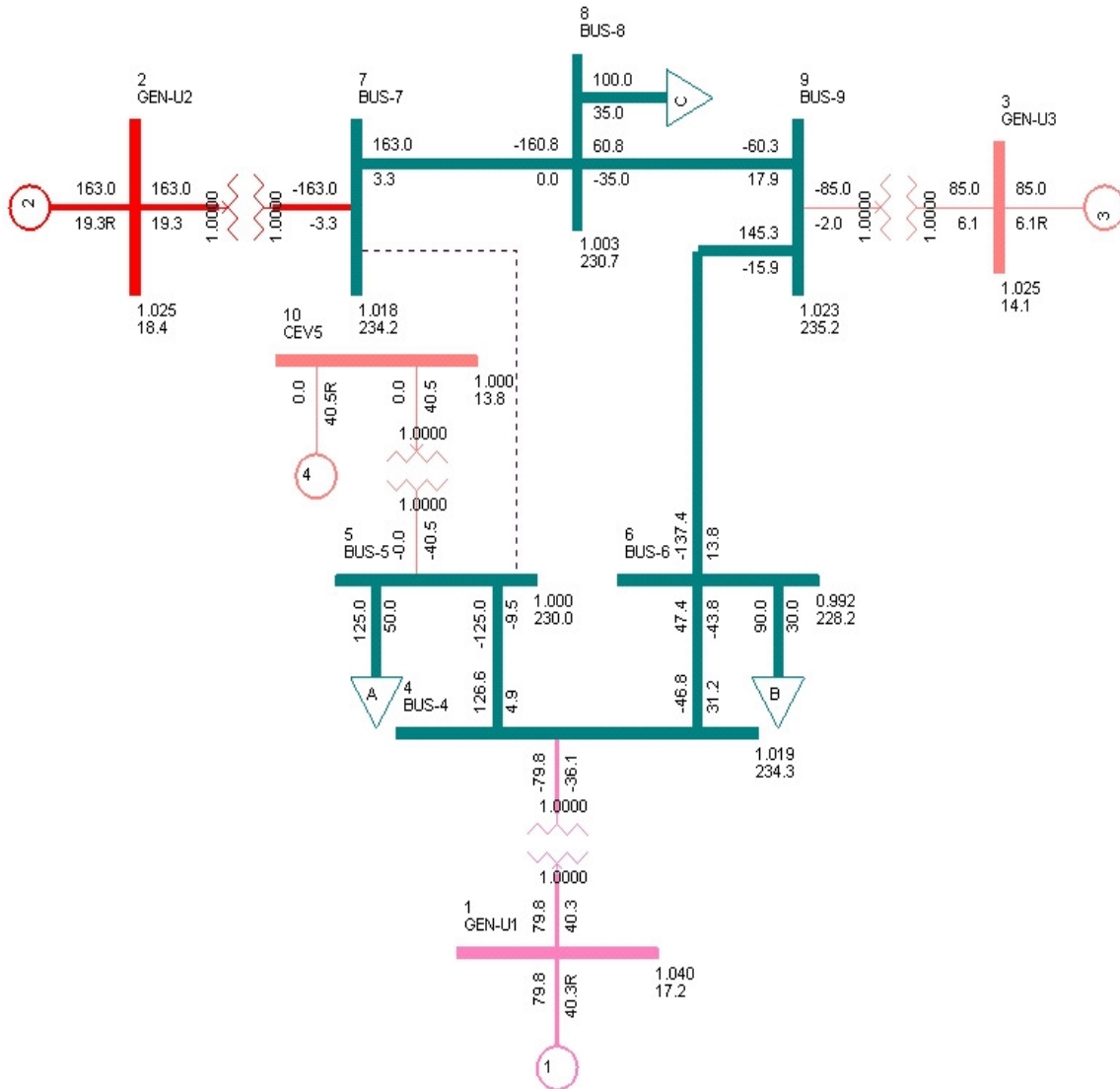


**Fig. 5.9** Resultado de Flujos de potencia ante la apertura de la línea 5-7, incluyendo un CEV en el nodo8

De la Figura 5.9 podemos observar que la inclusión del CEV en el nodo 8 no presenta mayor impacto para esta condición, ya que el único nodo con problemas de bajo voltaje es el nodo 5 y el CEV ubicado en el nodo 8 estaría prácticamente ‘flotando’.

Comparando este diagrama con el de la Figura 5.8, podemos observar que la distribución de los flujos de potencia es prácticamente la misma, con lo cual se concluye que no sería conveniente ubicar en este nodo al CEV.

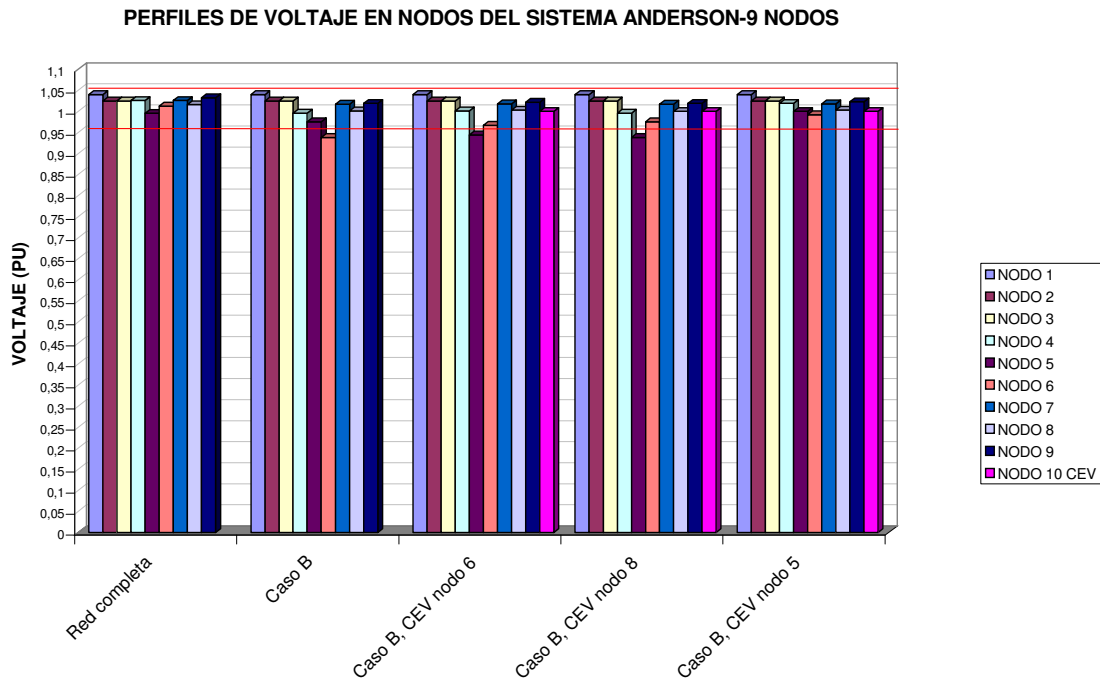
Se supondrá la inserción de un CEV de  $\pm 50$  MVar en el Bus 5 del sistema. Ver la Figura 5.10.



**Fig. 5.10** Flujos de potencia resultantes de la apertura de la línea 5-7 considerando un CEV en el nodo 5

Teniendo al CEV conectado al nodo 5 podemos observar que el Generador 1 tiene menos aportación de reactivos que cuando se encontraba el CEV en el nodo 6, sin embargo se requiere de un CEV de mayor capacidad, por lo menos de 45 MVar.

Con el CEV propuesto se observa que se mejora sustancialmente el perfil de voltaje del nodo y en general del sistema, y además se cuenta con un buen margen de regulación, por lo que la ubicación y la capacidad del CEV es adecuada.



**Fig. 5.11** *Perfiles de voltaje en nodos del sistema, con la apertura de la línea 5-7 con y sin el CEV en los nodos 5, 6 y 8*

Como se observa en la Figura 5.11 con la apertura de la línea 5-7 el voltaje en el nodo 6 se abate aprox. a 0.93 pu, por lo que el caso si converge, ya que esto sólo ocurre en un bus. Cuando se inserta un CEV en el nodo 6, aunque se mejora el voltaje en el nodo 6, éste descende en el nodo 5, por lo que, aunque el sistema es capaz de cubrir la demanda de las cargas, está fuera del rango de operación del voltaje, por lo que está en un punto crítico de operación.

Si el CEV se encuentra en el nodo 8 mejora mucho el voltaje en los nodos a excepción del nodo 5 que es donde está conectada la Carga A, con mayor consumo de reactivos, por lo que sigue fuera del rango de operación de voltaje.

Si el CEV se coloca en el nodo 5, todos los valores de voltaje de los nodos presentan valores aceptables dentro del rango operativo, por lo que el sistema es capaz de soportar este tipo de contingencia si el CEV se encuentra en este nodo.

Para la apertura de cualquier otra línea, el sistema es capaz de soportar la pérdida sin necesidad de utilizar algún CEV, como se puede observar en la Fig. 5.12 de perfiles de voltaje. Únicamente en el caso de la apertura de la línea 4-6, el valor del voltaje en el nodo 6 está por debajo del nivel de tolerancia, no obstante, el sistema puede soportar esta contingencia.

PERFILES DE VOLTAJE EN NODOS DEL SISTEMA ANDERSON-9 NODOS

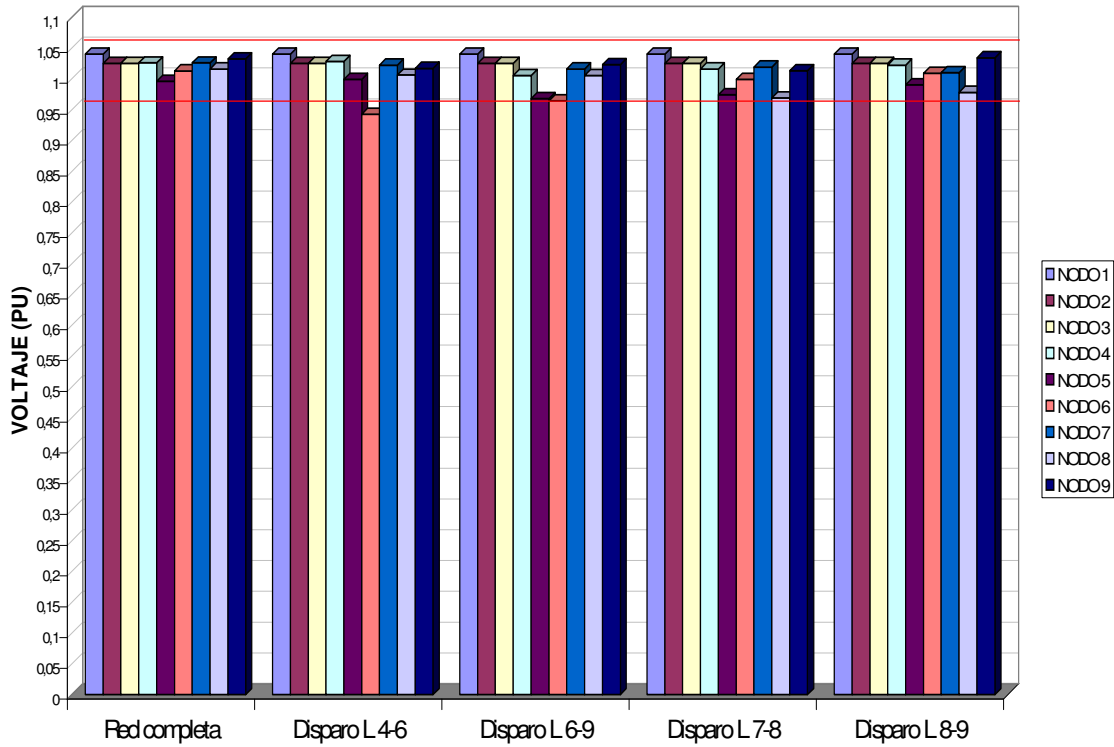
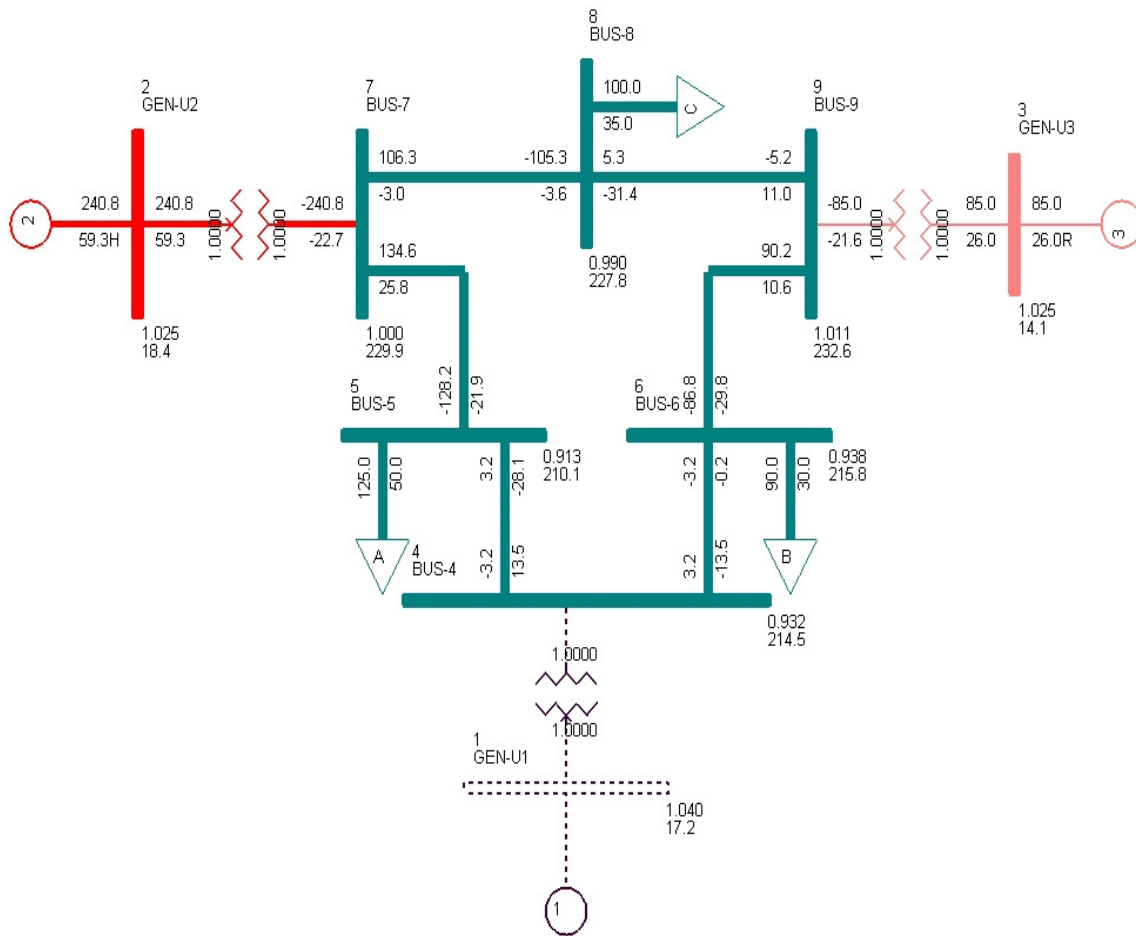


Fig. 5.12 Perfiles de voltaje en nodos del sistema, ante la apertura de las líneas L4-6, L6-9, L7-8 y L8-9

### 5.1.2 Salida de Transformadores

**Caso A.** Se simula la salida del Banco de Unidad TR 1 que conecta al Generador 1

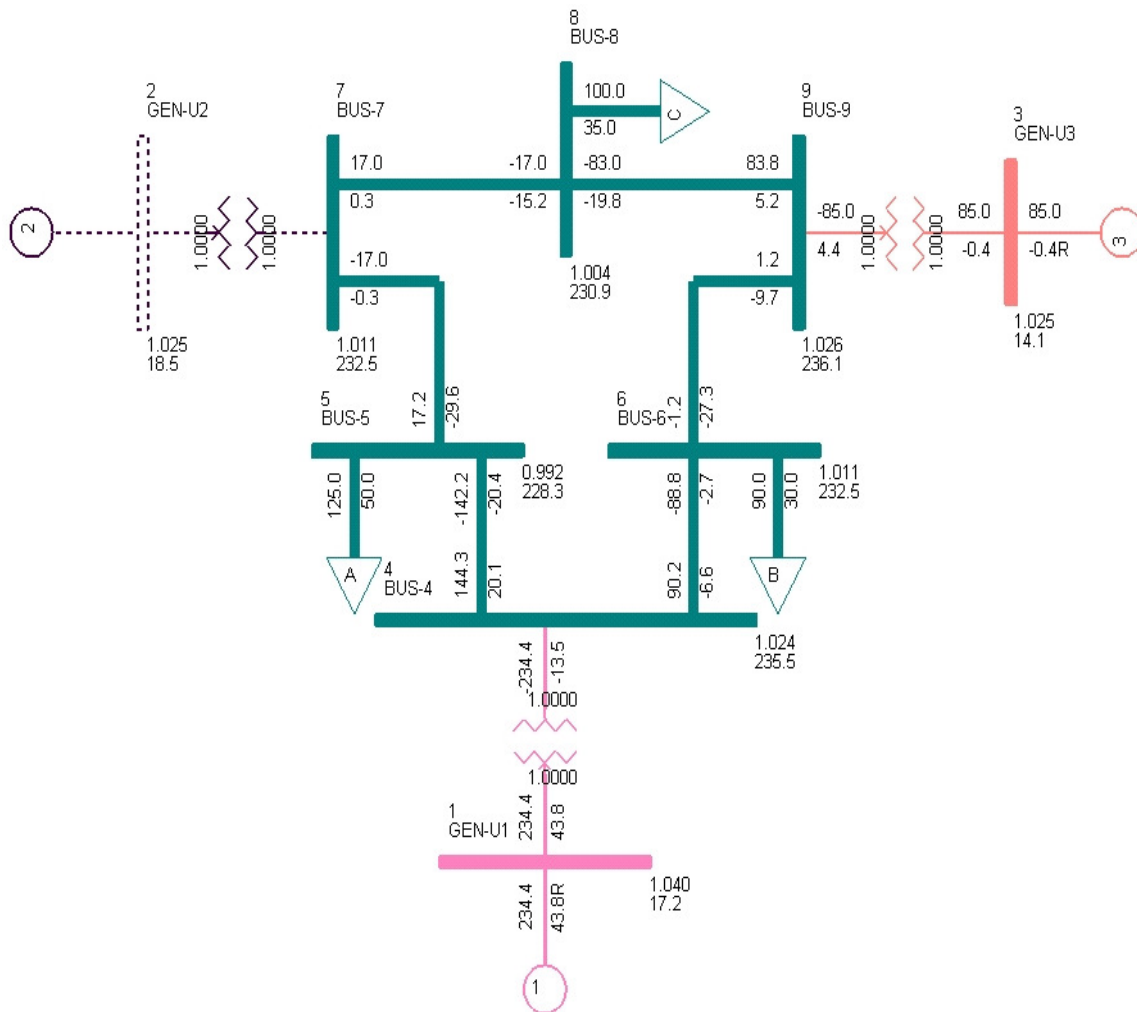


**Fig. 5.13** Flujos de potencia resultantes de la salida del Banco de Unidad TR 1

Como se puede observar de la Figura 5.13 la salida del Banco de transformación TR 1 impacta sustancialmente en el sistema debido a que implica la pérdida de generación. Esta contingencia aísla el Generador 1, el cual es el de mayor capacidad, por lo que el sistema no es capaz de sobreponerse, ya que para hacerlo se requiere que el Generador 2 sea de mayor capacidad, por lo tanto, la solución que se presenta en la figura anterior es ficticia, es decir, el sistema no converge.

La pérdida del Generador 1 implica un desbalance carga-generación de aprox. 44 MW y no se cuenta con reserva disponible para suministrar este desbalance de potencia activa, por lo que no tiene sentido hacer sensibilidades de ubicación del CEV, ya que este suministra o absorbe potencia reactiva.

**Caso B** Simulación de la salida del Banco de Unidad TR 2 que conecta al Generador 2



**Fig. 5.14 Diagrama resultante con la salida del Banco 2 de transformación**

Para el caso en que el Generador 2 está fuera de servicio, los Generadores 1 y 3 son capaces de abastecer por completo a las 3 cargas. El sistema converge ante esta contingencia manteniéndose el perfil de voltaje en valores operables.

Como el sistema soporta la pérdida de la Unidad Generadora No. 2, se supondrá la entrada de una nueva carga al sistema, ubicada en el nodo 6 (Carga D, de 10 MW y 5 MVar) y se analizará el comportamiento del sistema si se tiene un CEV conectado en los nodos 5, 6 y 8 respectivamente de  $\pm 10$  MVar para analizar el perfil de voltaje del sistema en cada caso.



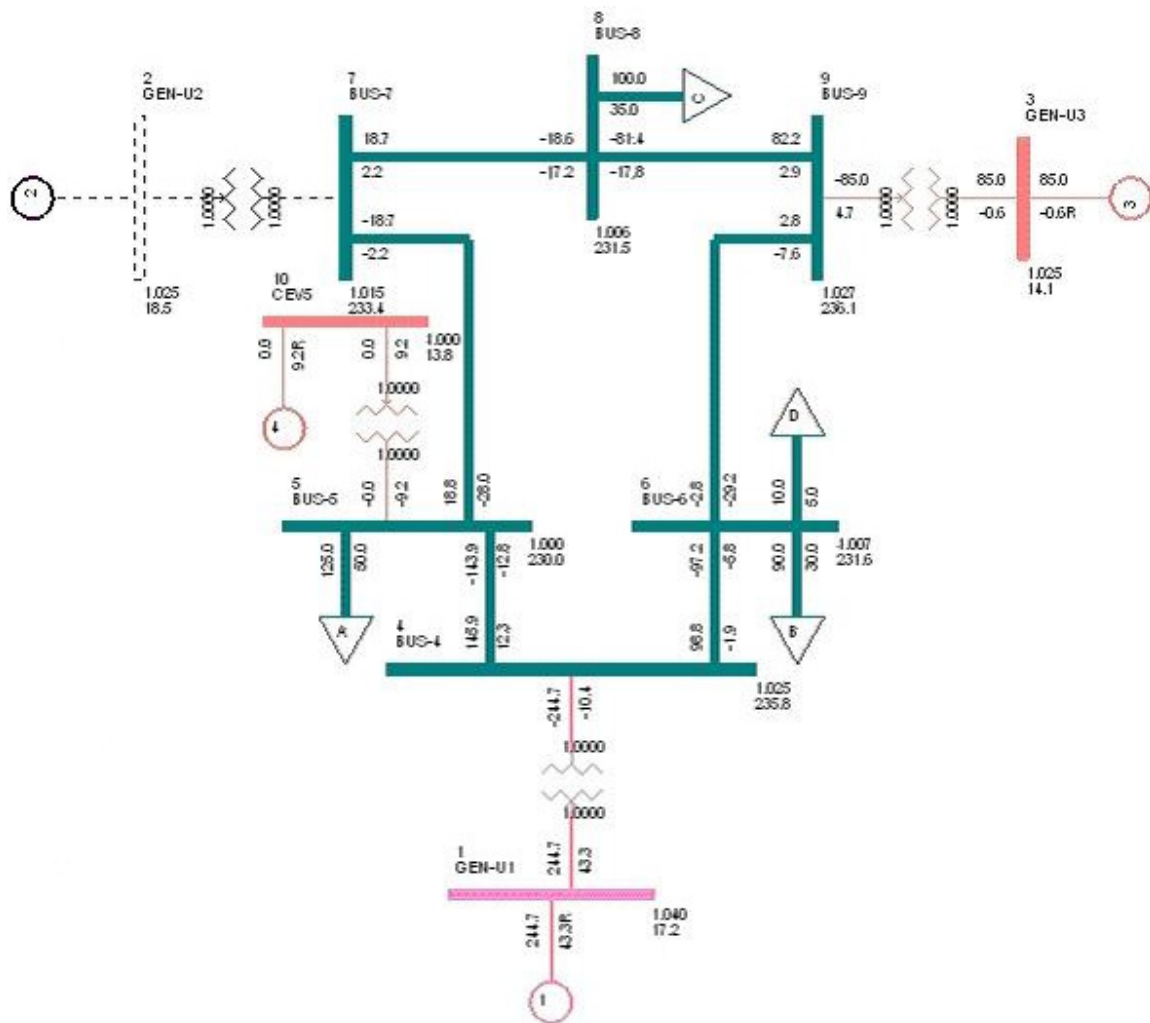
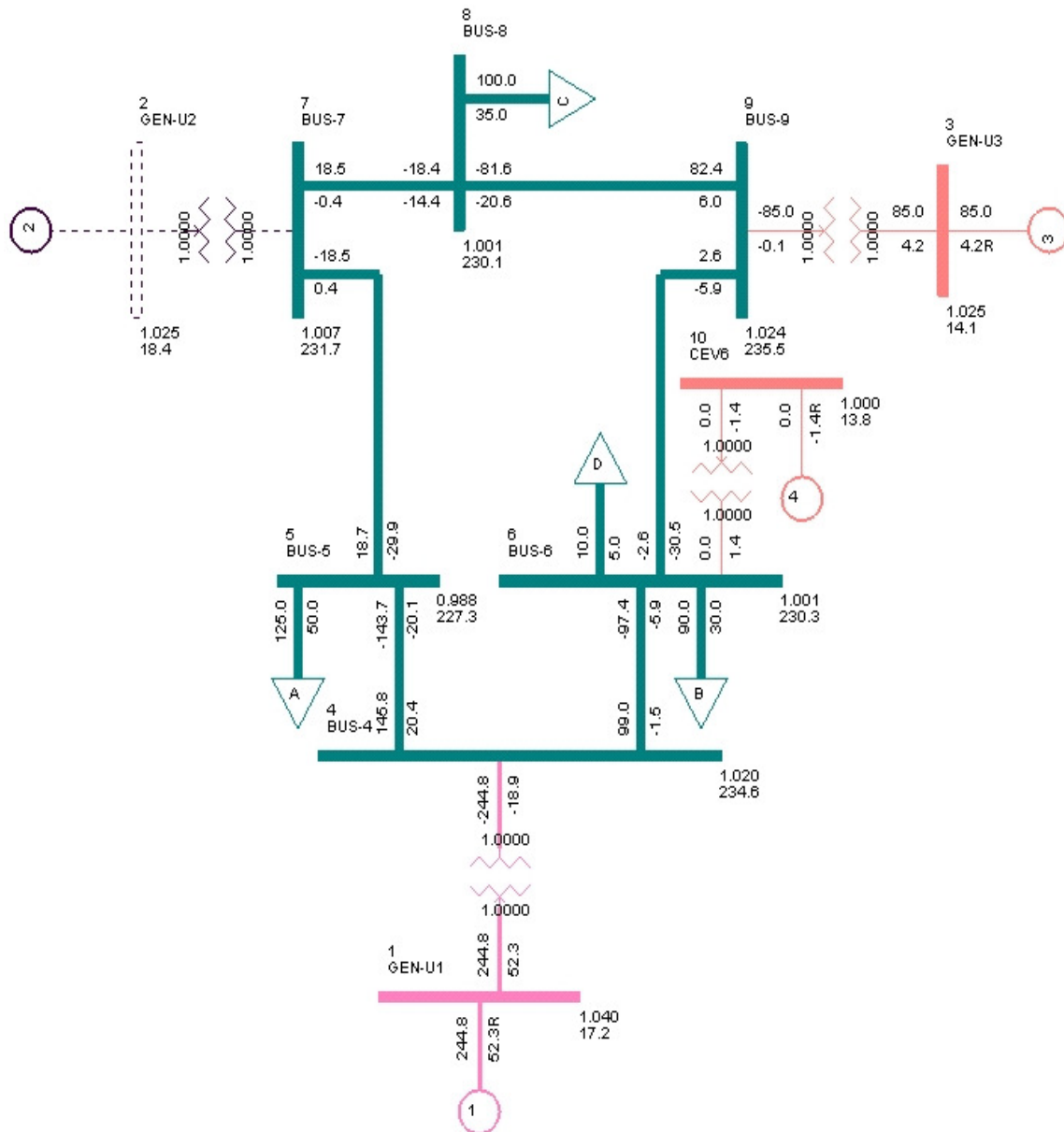


Fig. 5.15 Distribución de flujos de potencia ante la salida del Banco TR 2, incluyendo una carga D y un CEV en el nodo 5

Como se puede observar en la Figura 5.15, si se pierde la Unidad generadora 2, y se tiene un incremento de carga en el sistema, específicamente en el nodo 6 de 10 MW, se tendría un menor margen de reserva de regulación de potencia activa, sin embargo el sistema es capaz de soportar este evento y si adicional se agrega un CEV en el nodo 5 se mejora el voltaje en el nodo.

Dado lo anterior ahora se analizará el impacto del CEV cuando se ubica en el nodo 6.



**Fig. 5.16** Flujos de potencia resultantes de la salida del Banco TR 2 incluyendo una carga D y un CEV en el nodo 6

Se puede observar en la Figura 5.16, que el Generador 1 es el que está trabajando a su máxima capacidad, para este caso el CEV absorbe reactivos debido a que ambos generadores aumentaron sus aportaciones de reactivos en comparación al caso anterior en el que el CEV se encontraba en el nodo 5. De analizar los perfiles de voltaje y la distribución de los flujos de reactivos del sistema se puede concluir que no es necesario la inserción del CEV en este nodo prácticamente estaría en desuso.

Por último se supondrá la inserción del CEV en el nodo 8 del sistema como se puede ver en la Figura 5.17.

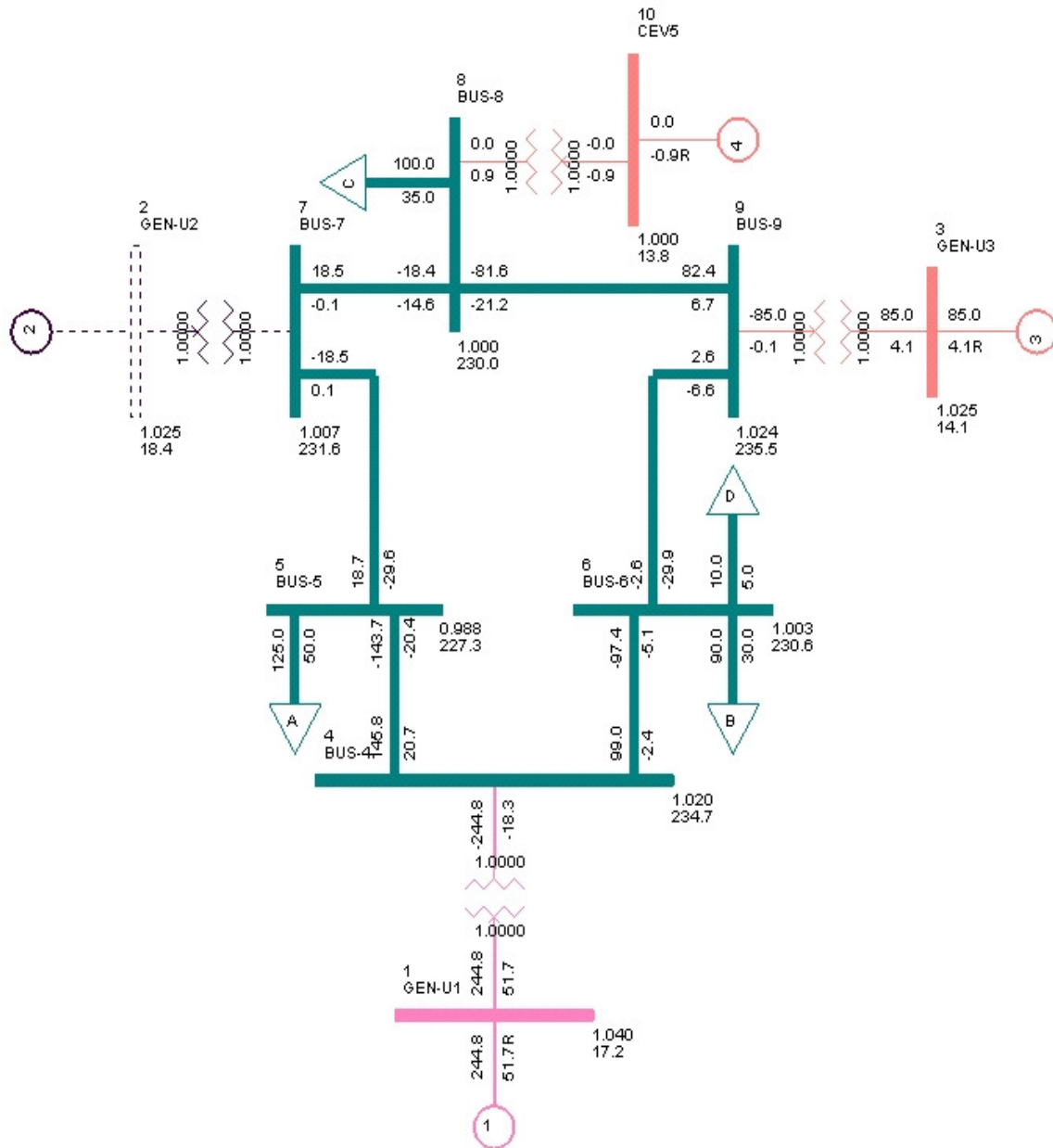
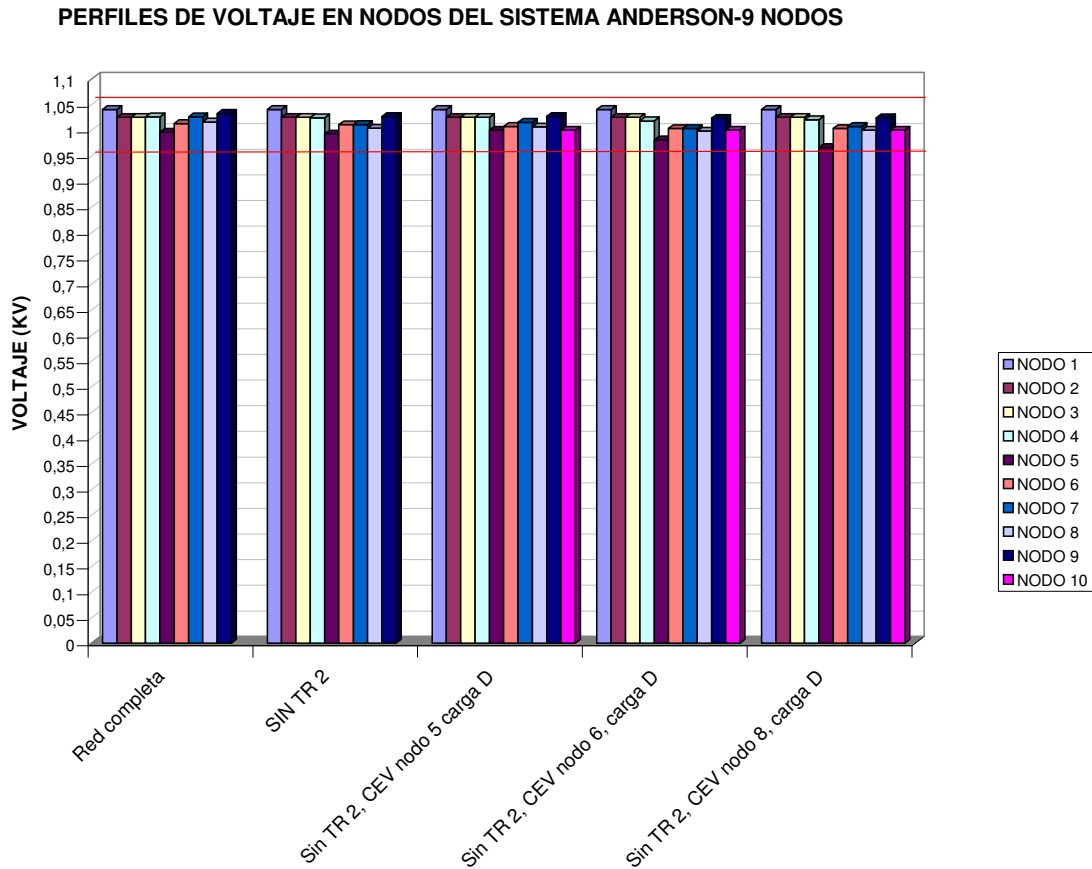


Fig. 5.17 Distribución de flujos de potencia ante la salida del Banco TR 2 incluyendo una carga D y un CEV en el nodo 8

Nuevamente el Generador 1 se encuentra en su máxima capacidad de generación y el CEV prácticamente no absorbe reactivos. La participación del CEV es mínima siendo principalmente los generadores los que soportan la contingencia.

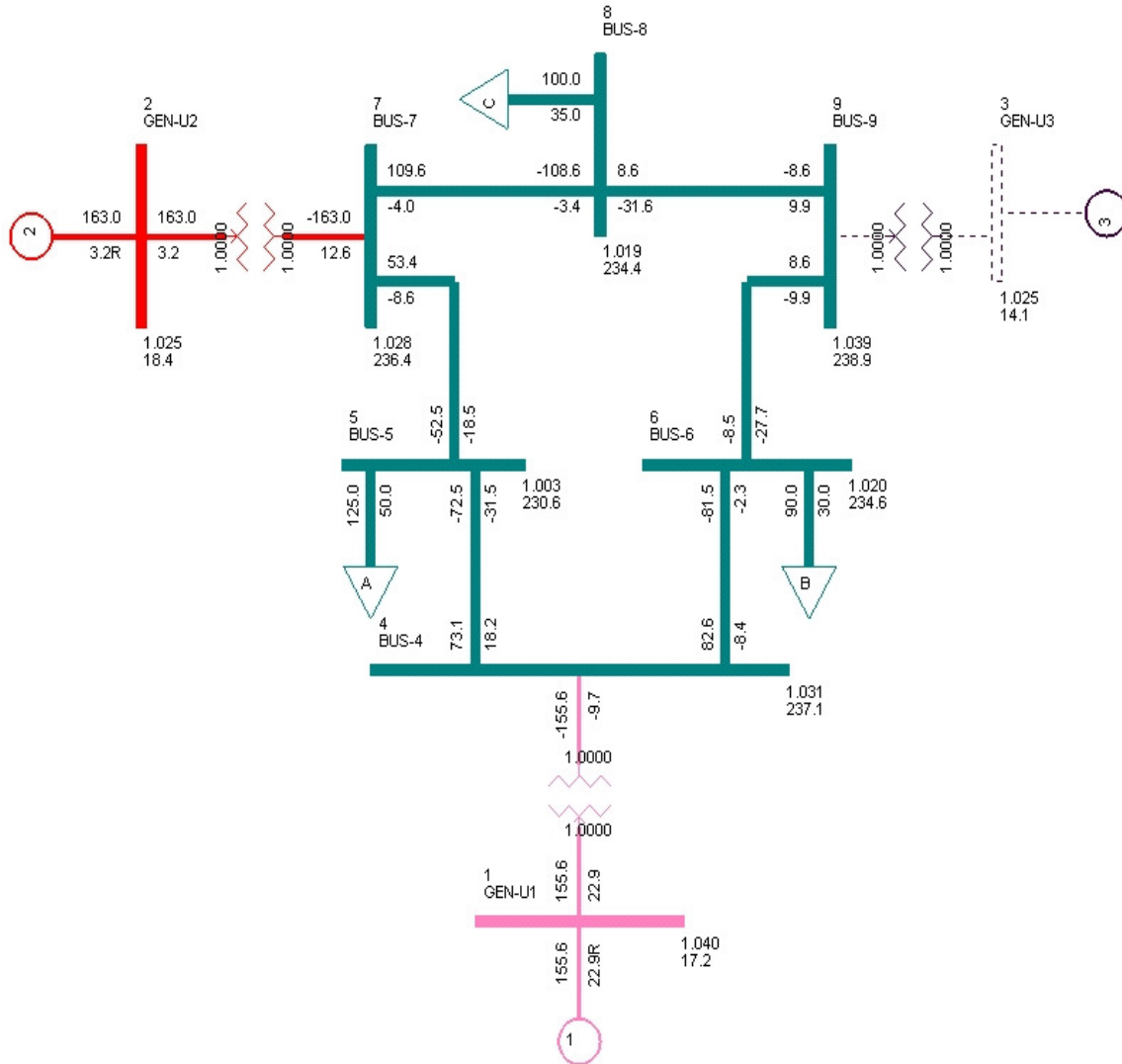
Por consiguiente, no se observa necesaria la inserción de un CEV en este nodo, ante estas condiciones operativas, ya que los perfiles de voltaje del sistema son operables.



**Fig. 5.18** *Perfiles de voltaje en nodos del sistema ante la salida del Banco TR 2 incluyendo una carga D y un CEV*

En la Figura 5.18 se observa que se mantiene un perfil de voltaje aceptable en los nodos del sistema con la salida del Banco TR 2, el cual aísla al Generador 2. Asimismo se consideró un aumento de carga en el sistema ubicada en el nodo 6 (carga D) y el perfil de voltaje del sistema permanece dentro de los rangos operativos; por lo tanto se concluye, que no es necesaria la inclusión de ningún CEV para la operación adecuada del sistema ante esta contingencia.

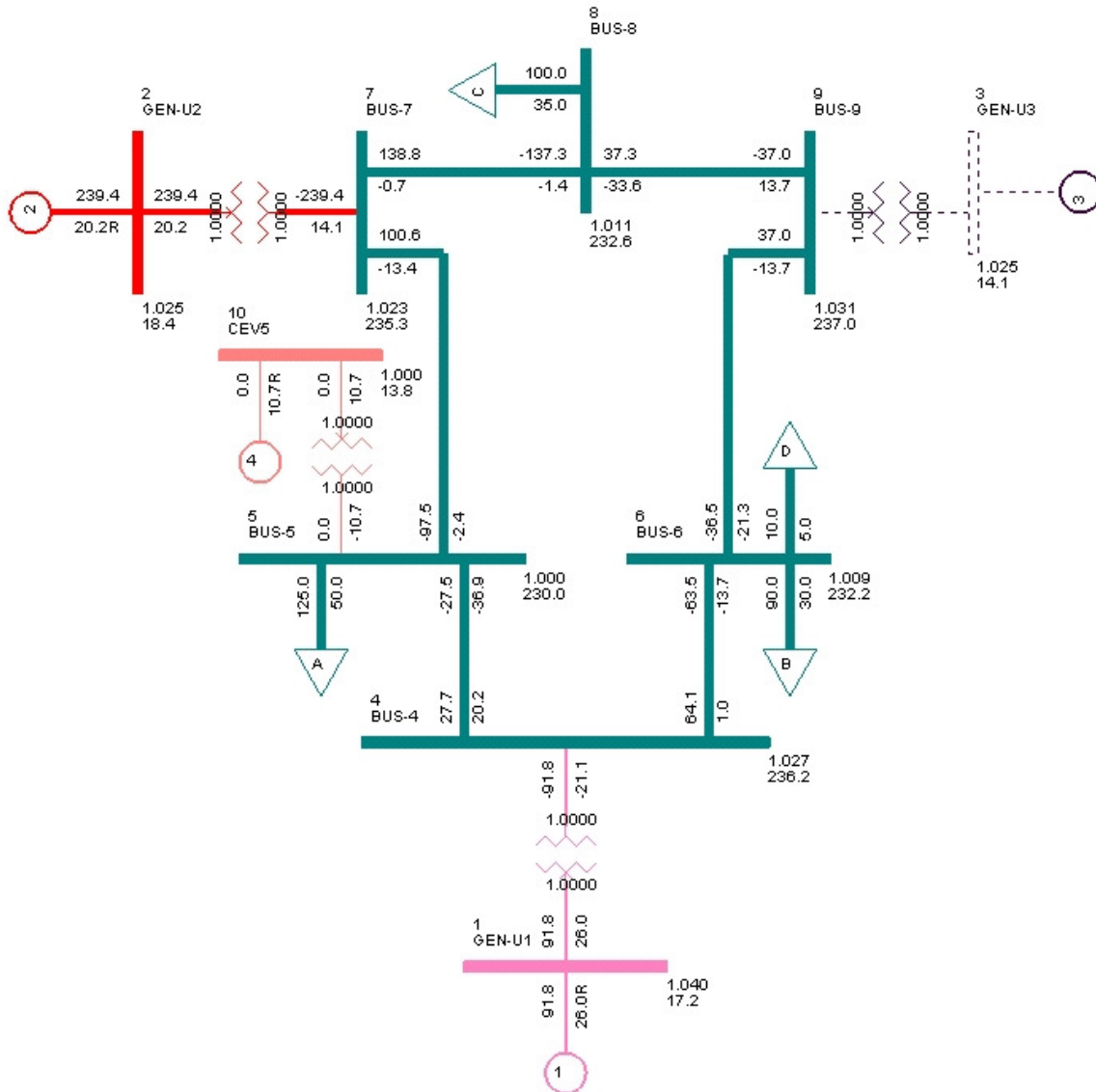
**Caso C Simulación de la salida del Banco de Unidad TR 3 que conecta al Generador 3**



**Fig. 5.19 Flujos de potencia resultantes con la salida del Banco TR 3**

Para el caso en que saliera de servicio el Banco de Unidad TR 3 que conecta al Generador 3, tal como se muestra en la Figura 5.19, los Generadores 1 y 2 regulan el voltaje del sistema de tal forma que pueden cubrir las 3 cargas que se encuentran en el sistema. Se puede observar que el Generador 2 se encuentra a su máxima capacidad de potencia activa.

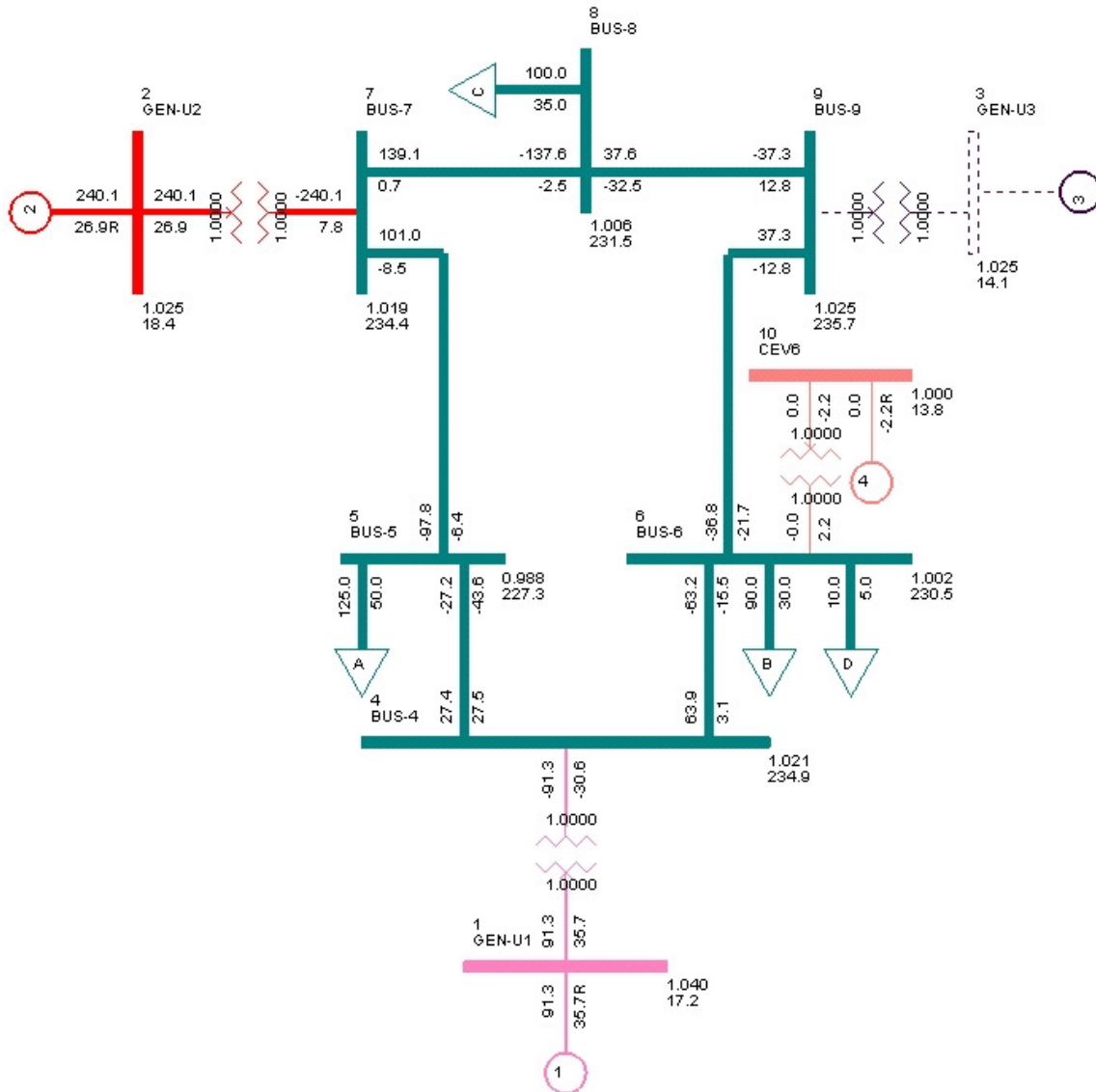
Nuevamente se supondrá un incremento de carga en el Bus 6 del sistema (Carga D de 10 MW y 5 MVar) y se supondrá en cada caso la inserción de un CEV en los Buses 5, 6 y 8 respectivamente.



*Fig. 5.20 Flujos de potencia resultantes de la salida del Banco TR 3 incluyendo una carga D y un CEV en el nodo 5*

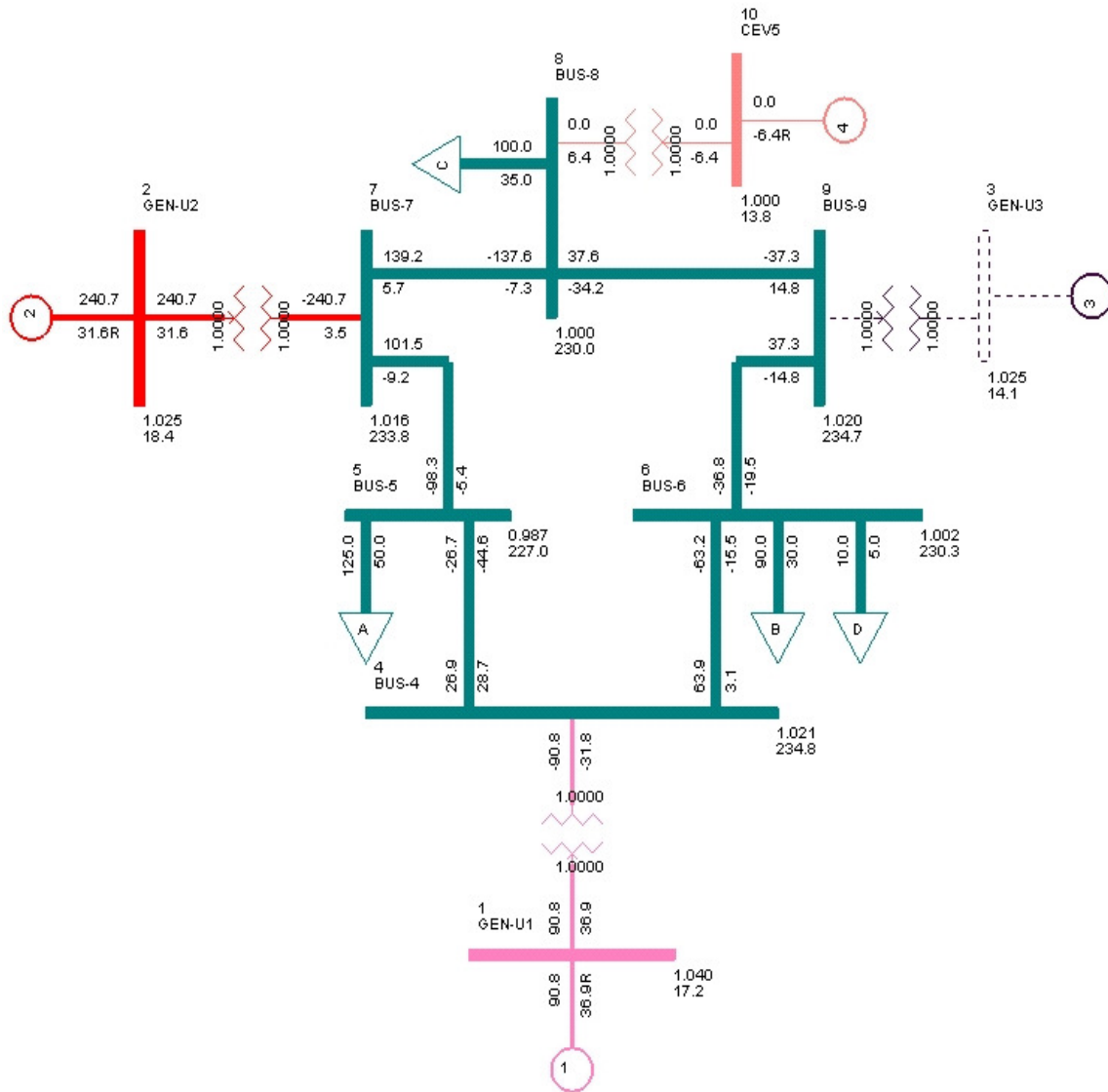
Para este caso, el CEV que se conectó al Bus 5 es de  $\pm 15$  MVar, como se muestra en la Figura 5.19, el sistema no soportaría el aumento de demanda en la carga, ya que aún con el CEV conectado al Bus 5, el sistema no converge debido a que se necesitaría que la aportación de la Unidad Generadora No. 2 fuera de 239.4 MW, valor que está por encima de su capacidad máxima de generación, el cual es de 163.2 MW.

Por consiguiente los resultados que se muestran en la Figura 5.20 son ficticios, ya que no corresponden a una solución válida de flujos de potencia.



**Fig. 5.21** Resultados de flujos de potencia ante la salida del Banco TR 3 incluyendo una carga D y un CEV en el nodo 6

En este caso el CEV se encuentra conectado al mismo bus en el que está la Carga D, Figura 5.21, y aún así el sistema no converge, además de que el CEV no está aportando reactivos sino que los está absorbiendo. Para que el sistema fuera capaz de soportar esta contingencia se necesitaría que el Generador 2 fuera de mayor capacidad.



**Fig. 5.22** Distribución de flujos de potencia ante la salida del Banco TR 3 incluyendo una carga D y un CEV en el nodo 8

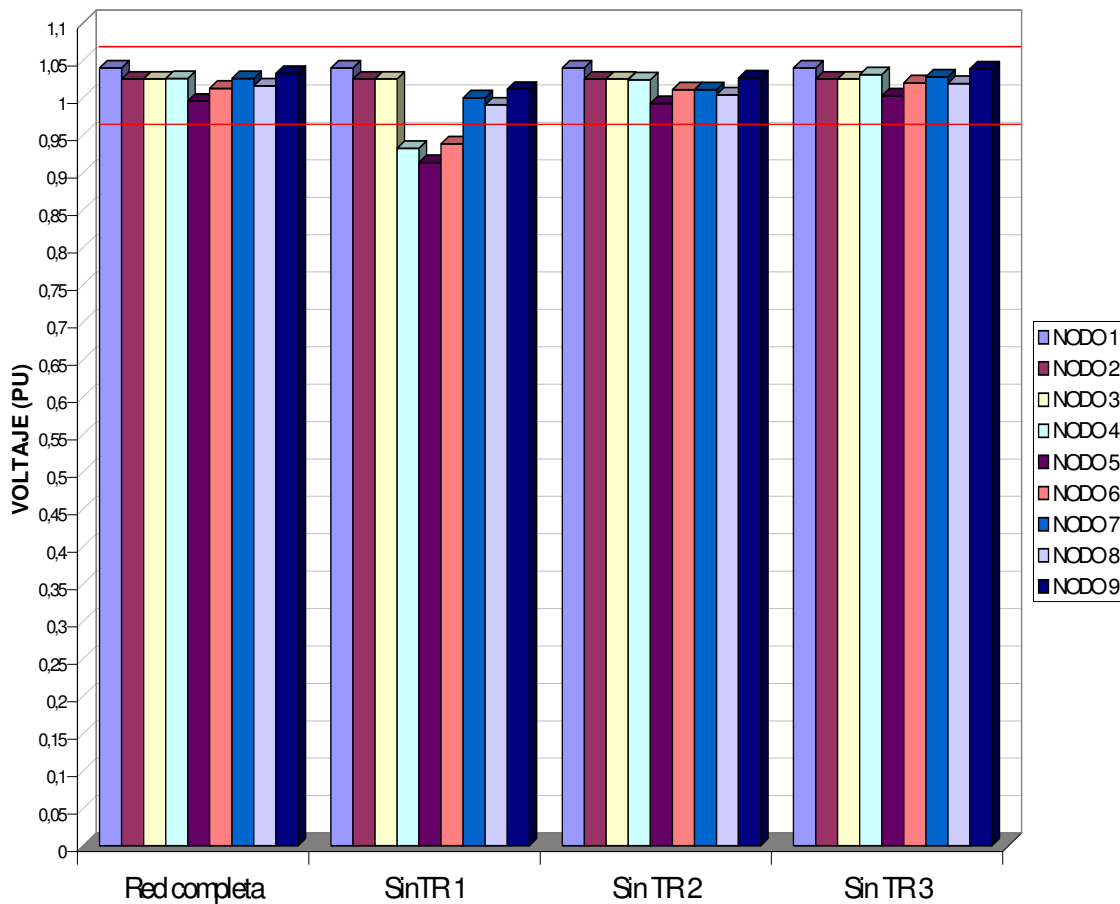
Nuevamente, como se puede apreciar en la Figura 5.22, el sistema no converge, se sigue necesitando que el Generador 2 fuera de mayor capacidad. El CEV para este caso absorbe reactivos.

En los 4 casos analizados con el Banco de Unidad TR 3 fuera de servicio vemos que, sin tener aumento en la carga, el sistema ya se encontraba en un punto crítico de operación, y cuando se aumentó la carga el sistema no converge aún cuando se le incluyó un CEV en distintos buses del sistema.



Podemos concluir que aún cuando un sistema cuente con elementos de apoyo, si se trata de un sistema débil, un solo CEV no es suficiente para soportar las demandas del propio sistema ante una contingencia de este tipo.

**PERFILES DE VOLTAJE EN NODOS DEL SISTEMA ANDERSON-9 NODOS**



**Tabla 5.23** *Perfiles de voltaje en nodos del sistema ante la salida de alguno de los bancos de transformación*

Como se puede apreciar en el gráfico de la Figura 5.23, sólo en el caso de la pérdida del transformador de unidad TR 1, se abaten los perfiles de voltaje en los buses del sistema y aún con la inserción de un CEV, es tal la pérdida de generación que no se puede estabilizar el sistema. El Generador 1 es el de mayor capacidad en el sistema y es el que funciona como nodo compensador, por lo que es el principal soporte de voltaje del sistema, siendo su pérdida la de mayor impacto en el sistema.

### 5.3 Sistema de prueba Micro-Red

Para el análisis del comportamiento en estado estable de los CEV's se generó un sistema de prueba llamado Micro-Red conformado por un anillo de 400 KV y un anillo de 230 KV conformado por 5 conjuntos diferentes de generadores, 3 CEV's con los datos siguientes:

Tabla 5.5 Datos de Generadores

Unidades	P max [MW]	P min [MW]	Q max [MVar]	Q min [MVar]
ATL-U1	18	5.4	6	-6
ATL-U2	18	5.4	6	-6
ATL-U3	18	5.4	6	-6
BLN-U2	158	47.4	53	-53
BLN-U3	158	47.4	53	-53
BLN-U4	306.144	91.8	110	-110
BLN-U5	90	27	50	-50
BLN-U6	90	27	50	-50
BLN-U7	90	27	50	-50
CRX-U1	18	5.4	6	-6
CRX-U2	18	5.4	6	-6
CRX-U3	18	5.4	6	-6
KEN-UA	30.3	9.1	10	-10
KEN-UB	30.3	9.1	10	-10
KEN-UC	30.3	9.1	10	-10
KEN-UD	30.3	9.1	10	-10
POL-U1	36	10.8	12	-10
POL-U2	36	10.8	12	-10
POL-U3	81	24.3	30	-30
POL-U4	81	24.3	30	-30
TUR-U1	311.4	93.4	104	-104
TUR-U2	311.4	93.4	104	-104
TUR-U3	311.4	93.4	104	-104
TUR-U4	311.4	93.4	104	-104
TUR-U5	311.4	93.4	104	-104
VLM-U1	158	47.4	53	-53

**Tabla 5.6 Datos de CEV's**

CEV	P max [MW]	P min [MW]	Q max [MVar]	Q min [MVar]
CRT	0	0	300	-75
FEX	0	0	300	-90
TEP	0	0	300	-90

**Tabla 5.7 Datos de Líneas de 400 KV**

Líneas		Resistencia de Sec. Positiva [pu]	Reactancia de Sec. Positiva [pu]	Susceptancia de Sec. Positiva [pu]
Nodo envío	Nodo recepción			
TUR-400	LEO-400	0.00110	0.01344	0.41036
LEO-400	FEX-400	0.00030	0.00340	0.10526
FEX-400	PAS-400	0.00053	0.00614	0.18989
GRU-400	PAS-400	0.00023	0.00260	0.08036
GRU-400	TEP-400	0.00063	0.00776	0.23683
DRN-400	TEP-400	0.00053	0.00652	0.19914
DRN-400	CAN-400	0.00042	0.00513	0.15646
PIC-400	CAN-400	0.00043	0.00524	0.16002
DOR-400	ALI-400	0.00071	0.00916	0.23469
TUR-400	PIC-400	0.00099	0.01212	0.36982
FEX-400	FEX-R	0.00000	0.01398	0.00000
TEP-400	TEP-R	0.00000	0.01398	0.00000

**Tabla 5.8 Datos de Líneas de 85 KV**

Líneas		Resistencia de Sec. Positiva [pu]	Reactancia de Sec. Positiva [pu]	Susceptancia de Sec. Positiva [pu]
Nodo envío	Nodo recepción			
ATL-85	PAO-85	0.02950	0.07361	0.00295
KEN-85	PAO-85	0.00284	0.00677	0.00030
PAO-85	RET-85	0.01463	0.03064	0.00141
PIC-85	LEP-85B	0.00322	0.02235	0.00115
LEP-85A	LEP-85B	0.00000	0.00010	0.00000

**Tabla 5.9 Datos de Líneas de 230 KV**

Líneas		Resistencia de Sec. Positiva [pu]	Reactancia de Sec. Positiva [pu]	Susceptancia de Sec. Positiva [pu]
Nodo envío	Nodo recepción			
LEO-230	SCP-230	0.00375	0.02630	0.05272
LEO-230	STS-230	0.00000	0.00030	0.00055
SCP-230	STS-230	0.00041	0.00291	0.00584
SCP-230	PAO-230	0.00565	0.39690	0.07950
CRT-230	ETA-230	0.00077	0.00631	0.01221
CRT-230	LEO-230	0.00180	0.02029	0.08089
CRT-230	SIS-230	0.00056	0.00631	0.02517
CHA-230	FEX-230	0.00076	0.00806	0.03236
GRU	GRU-A	0.00000	0.00010	0.00000
GRU	MIR-230	0.00045	0.00363	0.00736
GRU	MIR-230	0.00042	0.00336	0.00681
GRU	HAM-230	0.00114	0.00916	0.01858
CHA-230	ARA-A	0.00184	0.01478	0.02999
ARA-A	PAS-230	0.00072	0.00592	0.01195
ARA-A	ARA-B	0.00000	0.00010	0.00000
GRU-A	ARA-B	0.00144	0.01159	0.02352
GRU	ACH	0.00096	0.00773	0.01570
POC-230	ACH	0.00000	0.00010	0.00000
CPE-230	POC-230	0.00072	0.00574	0.01167
CPE-230	TEP-230	0.00156	0.01240	0.02565
CTS-230	TEP-230	0.00279	0.02235	0.04585
DNB-230	ORI-230	0.00130	0.01042	0.02116
DRN-230	ORI-230	0.00133	0.01254	0.26172
DRN-230	CTS-230	0.00150	0.01396	0.26459
ACU-230	CLM-230	0.00124	0.00807	0.01553
DRN-230	CLM-230	0.00021	0.00326	0.24971
ACU-230	CFD-230	0.00042	0.00335	0.00681
CFD-230	REL-230	0.00153	0.01223	0.02484
CAN-230	REL-230	0.00036	0.00290	0.00589
EYD-230	REL-230	0.00301	0.02044	0.03912
JRF-230	EYD-230	0.00397	0.02734	0.05264
JRF-230	NOS-230	0.00096	0.00651	0.01247
NOS-230	HAS-230	0.00184	0.01504	0.02947
TUR-230	NOS-230	0.00322	0.02183	0.04178
TUR-230	HAS-230	0.00099	0.00812	0.01591
TUR-230	HAS-230	0.00046	0.00515	0.02054
HAM-230	ANT	0.00000	0.00010	0.00000
ANT	ALG	0.00030	0.00131	0.17108
FEX-F	FEX-230	0.0000	-0.00308	0.00000
CRT-R	CRT-230	0.00000	0.01000	0.00000
VIC-F	PIC-230A	0.00000	-0.00406	0.00000
MES-230	ALG	0.00000	0.00010	0.00000
MES-230	CAS	0.00028	0.00085	0.05567

Líneas		Resistencia de Sec. Positiva [pu]	Reactancia de Sec. Positiva [pu]	Susceptancia de Sec. Positiva [pu]
Nodo envío	Nodo recepción			
LCE-230	CAS	0.00000	0.00010	0.00000
MES-230	HYD	0.00000	0.00010	0.00000
DRM	HYD	0.00017	0.00076	0.09950
PON-230	DRM	0.00000	0.00010	0.00000
CCR-230	PON-230	0.00019	0.00081	0.10605
CMB-230	CCR-230	0.00012	0.00082	0.14637
CMB-230	PSO-230	0.00023	0.00131	0.22635
CCR-230	PSO-230	0.00023	0.00131	0.22635
CRT-230	CCR-230	0.00086	0.00966	0.03852
ALT-230	CRT-230	0.00029	0.00322	0.01285
ALT-230	HAD-230	0.00030	0.00335	0.01336
ESP-230	HAD-230	0.00042	0.00470	0.01875
ESP-230	PEK-230	0.00022	0.00155	0.27508
PEK-230	LCE-230	0.00066	0.00199	0.13067
TUR-F	TUR-230	0.00000	-0.00414	0.00000
FEX-230	BLN-A	0.00091	0.01030	0.04109
BLN-A	BLN-B	0.00000	0.00010	0.00000
BLN-B	BLN-230U	0.00000	0.00010	0.02951
BLN-A	BLN-230U	0.00000	0.00010	0.02951
ETA-230	BLN-A	0.00104	0.00849	0.01643
CRT-230	BLN-A	0.00177	0.01457	0.02820
BLN-B	SIS-230	0.00026	0.00290	0.01156
CRT-230	BLN-A	0.00177	0.01457	0.02820
CHA-230	BLN-B	0.00086	0.00966	0.03852
TEP-F	TEP-230	0.00000	-0.00669	0.00000

*Tabla 5.10 Datos de Transformadores*

Transformador		Relación de transformación [KV]	Impedancia [pu]
Nodo envío	Nodo recepción		
TUR-U1	TUR-230	20/230	0.03248
TUR-U2	TUR-230	20/230	0.03187
TUR-400	TUR-U3	400/20	0.04014
TUR-400	TUR-U4	400/20	0.04014
TUR-400	TUR-U5	400/20	0.04171
KEN-UA	KEN-85	4.2/85	0.46997
KEN-UB	KEN-85	4.2/85	0.46997
KEN-UC	KEN-85	4.2/85	0.45141
KEN-UD	KEN-85	4.2/85	0.45141
CRX-U1	RET-85	6.6/85	1.35237
CRX-U2	RET-85	6.6/85	1.35237
CRX-U3	RET-85	6.6/85	1.35237
ATL-U1	ATL-85	10.5/85	0.99090

Transformador		Relación de transformación [KV]	Impedancia [pu]
Nodo envío	Nodo recepción		
ATL-U2	ATL-85	10.5/85	0.99090
POL-U1	LEP-23A	11.5/23	0.25600
POL-U2	LEP-23B	11.5/23	0.25600
POL-U3	LEP-23B	11.5/85	0.11825
POL-U4	LEP-85A	11.5/85	0.11825
VLM-U1	VLM-85	15/85	0.07413
BLN-U2	BLN-A	15/230	0.02974
BLN-U3	BLN-A	15/230	0.02934
BLN-U4	BLN-A	20/230	0.04078
BLN-U5	BLN-230U	13.8/230	0.08571
BLN-U6	STM	13.8/1	0.07143
BLN-U7	STM	13.8/1	0.07143
PAO-85	PAO-230	85/230	0.11280
PAO-85	PAO-230	85/230	0.11200
LEO-230	STAR	230/1	-0.00327
LEO-400	STAR	400/1	0.03734
FEX-CEV	FEX-R	17.5/0.0	0.02094
FEX-400	FEX-F	400/0.0	0.02649
BLN-230U	STM	230/1	0.01428
VLM-85	BLN-A	85/230	0.17160
VLM-85	BLN-A	85/230	0.17400
CRT-CEV	CRT-R	13.5/0.0	0.04000
TEP-CEV	TEP-R	17.5/0.0	0.02094
PIC-400	VIC-F	400/0.0	0.03827
PIC-85	PIC-230A	85/230	0.17280
PIC-85	PIC-230A	85/230	0.17280
PIC-85	PIC-230A	85/230	0.16610
PIC-85	PIC-230A	85/230	0.17460
LEP-23A	LEP-85B	23/85	0.44135
LEP-23B	LEP-85B	23/85	0.44135
TUR-400	TUR-F	400/0.0	0.02571
TEP-400	TEP-F	400/0.0	0.04003

Para el análisis se supondrán algunas contingencias en dicho sistema para observar el comportamiento del voltaje en cada caso.

En la Figura 5.24 se muestra el anillo de 400 KV del sistema Micro-Red y en la Figura 5.25 el anillo de 230 KV que conforma el Sistema Micro-Red.

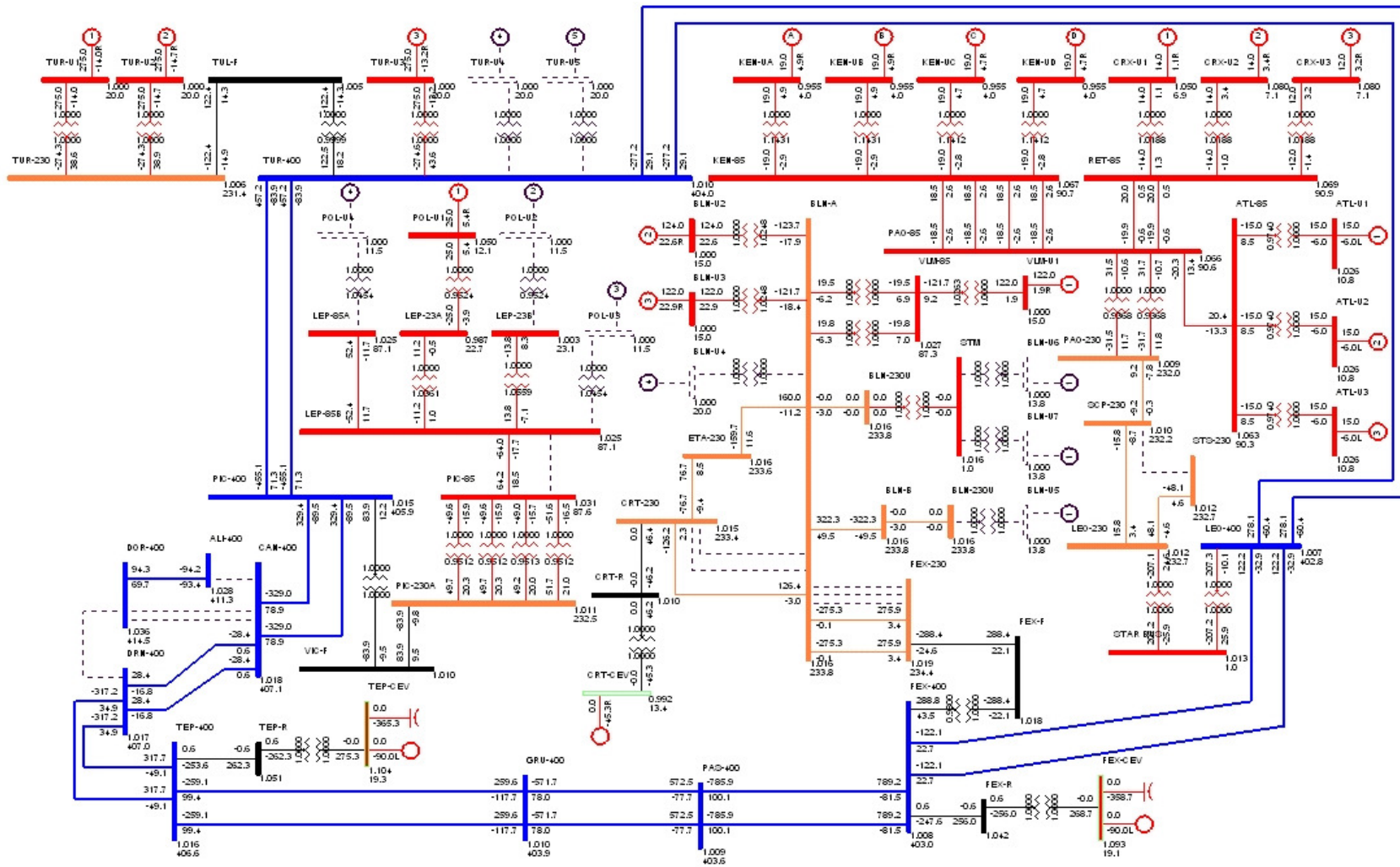


Fig. 5.24 Diagrama unifilar del anillo de 400 KV del Sistema Micro-red

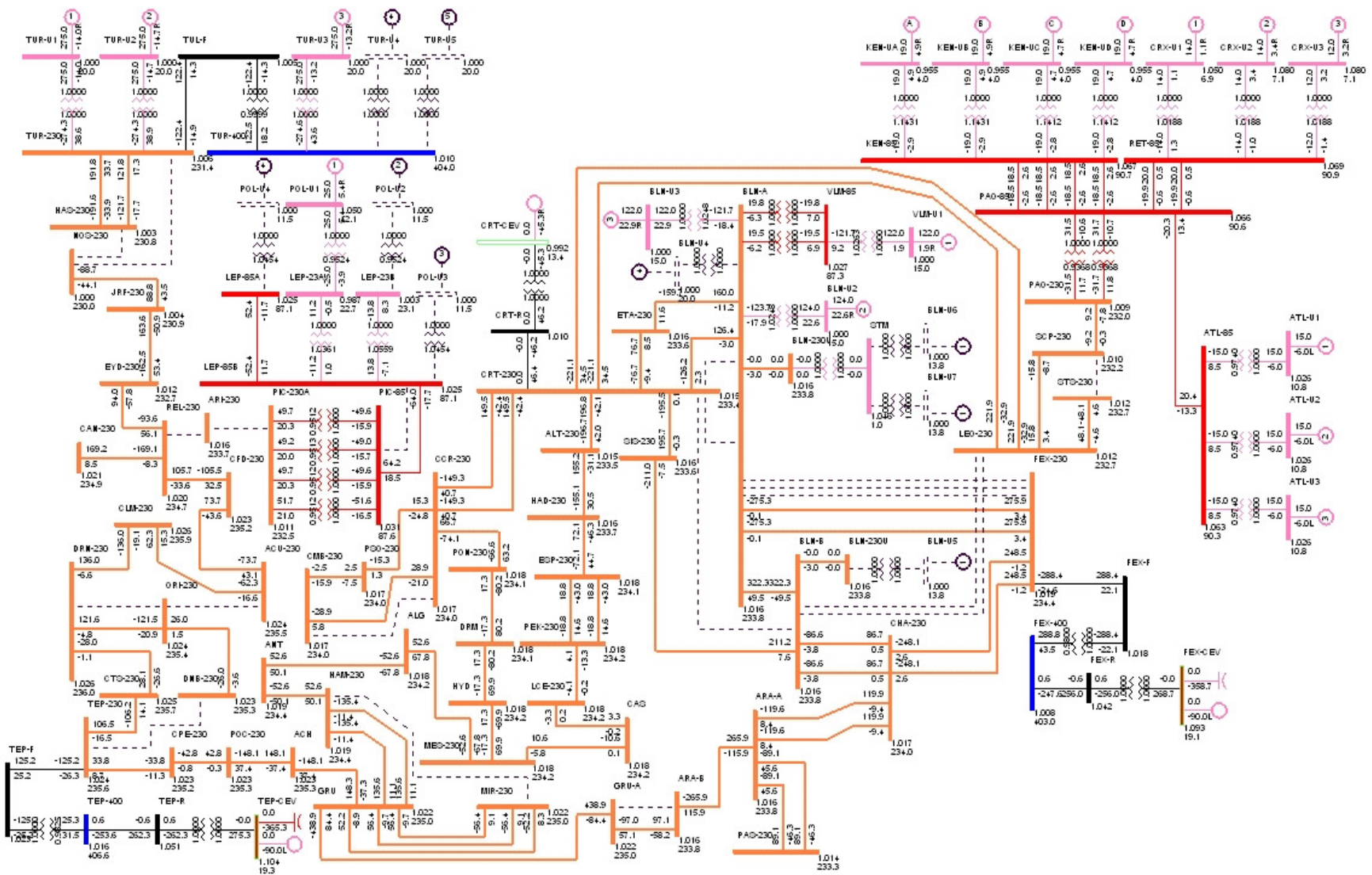


Fig. 5.25 Diagrama unifilar del anillo de 230 KV del Sistema Micro-red



Para el análisis de Micro-Red se analizaron distintas contingencias en el sistema.

## 5.2.1 Salida de los generadores y los CEV's

### Caso A. Salida del Generador Antlia-U1 (ATL-U1) y cada uno de los CEV's

**Tabla 5.11** Aportación de potencia activa y reactiva de las unidades generadoras y los CEV's ante la pérdida de generación de la unidad Antlia-U1 y cada uno de los CEV's

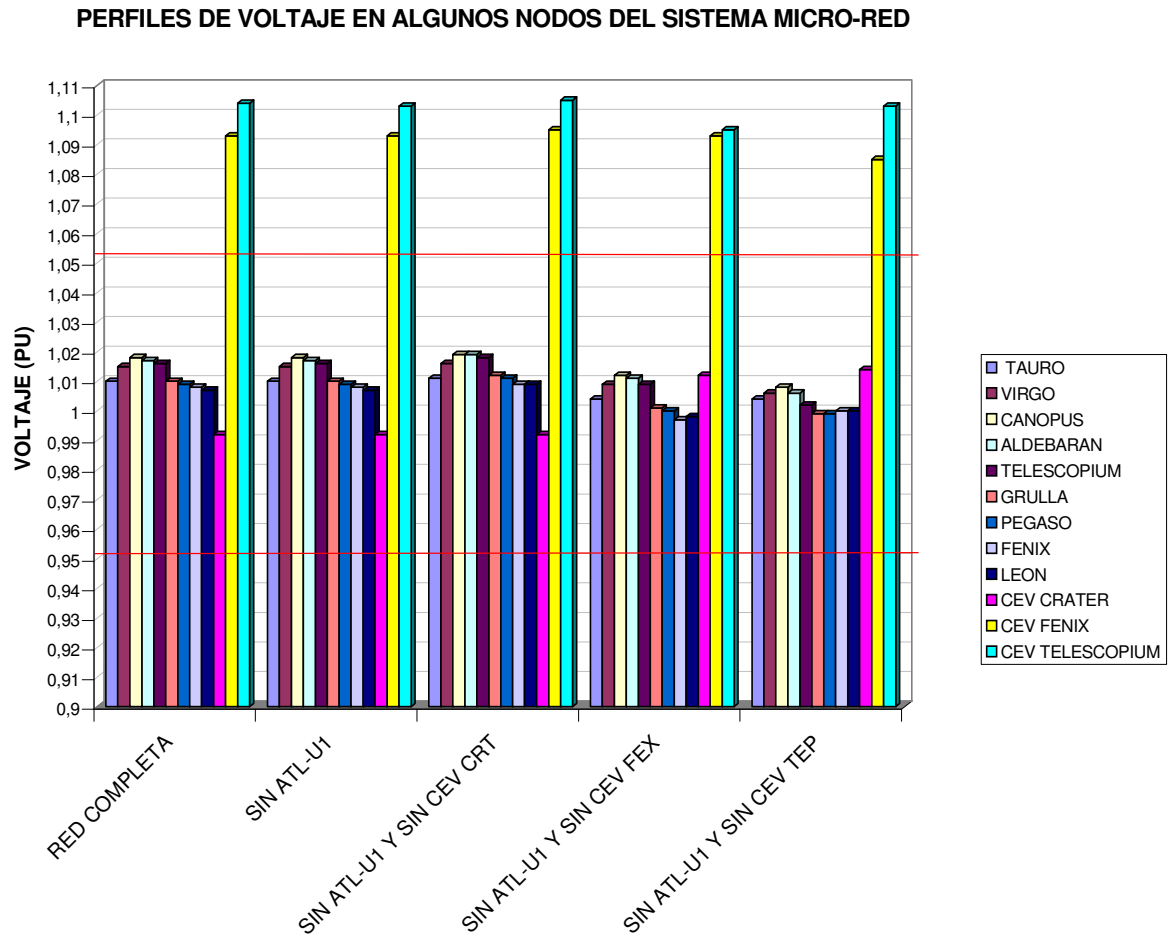
APORTACIÓN DE LOS GENERADORES Y LOS CEV's EN CADA CASO										
Unidad	Operación Normal		Sin ATL-U1		Sin ATL-U1 y CEV CRT		Sin ATL-U1 y CEV FEX		Sin ATL-U1 y CEV TEP	
	MW	MVAr	MW	MVAr	MW	MVAr	MW	MVAr	MW	MVAr
KEN-UA, KEN-UB, KEN-UC y KEN-UD	76	11,4	76	8,8	76	8	76	11,8	76	11,6
CRX-U1, CRX-U2 y CRX-U3	40	3,7	40	3,5	40	0	40	3,9	40	2,2
ATL- U2 y ATL-U3	45	-18	30	-16,8	30	-16,8	30	-17	30	17
TUR-U3	274,6	-43,6	274,6	-43,5	274,6	-48,8	274,6	29	275	2,2
TUR-U1 y TUR-U2	548,6	-77,5	548,6	-77,7	548,6	-84,5	548,6	-52,1	548,6	-48,2
VLM-U1, BLN-U2 y BLN-U3	206,1	48,8	206,1	49	206,1	33,3	205,8	87	205,7	88,2
POL-U1	11,2	-1	11,2	-1	11,2	-1,3	11,2	-0,3	11,2	-0,1
CEV CRATER	0	-45,3	0	-45,5	0	0	0	5,1	0	9
CEV FENIX	0	-90	0	-90	0	-90	0	0	0	-90
CEV TELESCOPIUM	0	-90	0	-90	0	-90	0	-90	0	0
PARA LAS UNIDADES GENERADORAS ATL-2 Y ATL-3 LOS VALORES OBTENIDOS SON LOS MISMOS										

Como se puede apreciar en la tabla de datos anterior, no hay mucha variación en las aportaciones de potencia activa en los generadores que conforman el Sistema Micro-red en las diferentes contingencias que se simularon, mientras que en la potencia reactiva, si varía la contribución de los generadores, esto debido a la redistribución de flujos de potencia del sistema.

Tanto el CEV de Telescopium (TEP) como el de Fénix (FEX) se mantienen absorbiendo reactivos, trabajando a su valor límite, incluso en una condición de prefalla, mientras que el CEV de Cráter (CRT) dependiendo de la contingencia absorbe o entrega reactivos.

En las simulaciones anteriores aún con la pérdida de algún CEV junto con el generador Antlia-U1, el sistema fue capaz de mantener la estabilidad, tal como se observa en la

siguiente figura donde se puede ver que los perfiles de voltaje de los nodos se mantienen dentro de los límites establecidos de voltaje, excepto el de los buses en los que se encuentran los CEV's de Fénix y Telescopium, pero esto se presenta incluso durante la operación normal del sistema.



**Fig. 5.26** *Perfiles de voltaje de nodos del sistema ante la pérdida de la unidad generadora Antlia-U1 y algunos CEV's*

**Caso B.** *Salida del Generador Velorum-U1 (VLM-U1) y cada uno de los CEV's*

**Tabla 5.12 Aportación de potencia activa y reactiva de las unidades generadoras y los CEV's ante la pérdida de generación de la unidad Velorum-U1 y cada uno de los CEV's**

<b>APORTACIÓN DE LOS GENERADORES Y LOS CEV's EN CADA CASO</b>										
<b>Unidad</b>	<b>Operación Normal</b>		<b>Sin VLM-U1</b>		<b>Sin VLM-U1 y CEV CRT</b>		<b>Sin VLM-U1 y CEV FEX</b>		<b>Sin VLM-U1 y CEV TEP</b>	
	<b>MW</b>	<b>MVAr</b>	<b>MW</b>	<b>MVAr</b>	<b>MW</b>	<b>MVAr</b>	<b>MW</b>	<b>MVAr</b>	<b>MW</b>	<b>MVAr</b>
KEN-UA, KEN-UB, KEN-UC y KEN-UD	76	11,4	76	12,4	76	11,8	76	16,4	76	15
CRX-U1, CRX-U2 y CRX-U3	40	3,7	60	3,8	40	3,8	40	2,3	40	2,3
ATL-U1, ATL-U2 y ATL-U3	45	-18	45	-25,5	45	-25,5	45	-25,5	45	-25,5
TUR-U3	274,6	-43,6	274,6	-8,2	274,6	-40,6	274,6	-23,8	274,6	-22,9
TUR-U1 y TUR-2	548,6	-77,5	548,6	-68,2	548,6	-78,4	548,6	-41,7	548,6	-37,9
BLN-2 y BLN-3	206,1	48,8	145,5	59,9	145,5	51,2	145,5	96,7	145,5	97,7
POL-1	11,2	-1	11,2	-0,8	11,2	-1	11,2	0	11,2	0,2
CEV CRATER	0	-45,3	0	-26,2	0	0	0	27,1	0	31,3
CEV FENIX	0	-90	0	-90	0	-90	0	0	0	-90
CEV TELESCOPIUM	0	-90	0	-90	0	-90	0	-90	0	0
PARA LAS UNIDADES GENERADORAS BLN-2 Y BLN-3 LOS VALORES OBTENIDOS SON LOS MISMOS										

De la Tabla 5.12 podemos observar que las unidades que cubrieron la falta de la unidad VLM-U1 fueron las unidades BLN-U2 y BLN-U3 aumentando su aportación de reactivos en comparación a su contribución en operación normal. Ante la pérdida de la unidad VLM-U1 y cada uno de los CEV's el sistema fue capaz de soportar la contingencia conservando el perfil de voltaje en los buses que conforman el anillo de 400 KV del sistema como se puede observar en la Figura 5.27.

PERFILES DE VOLTAJE EN ALGUNOS NODOS DEL SISTEMA MICRO-RED

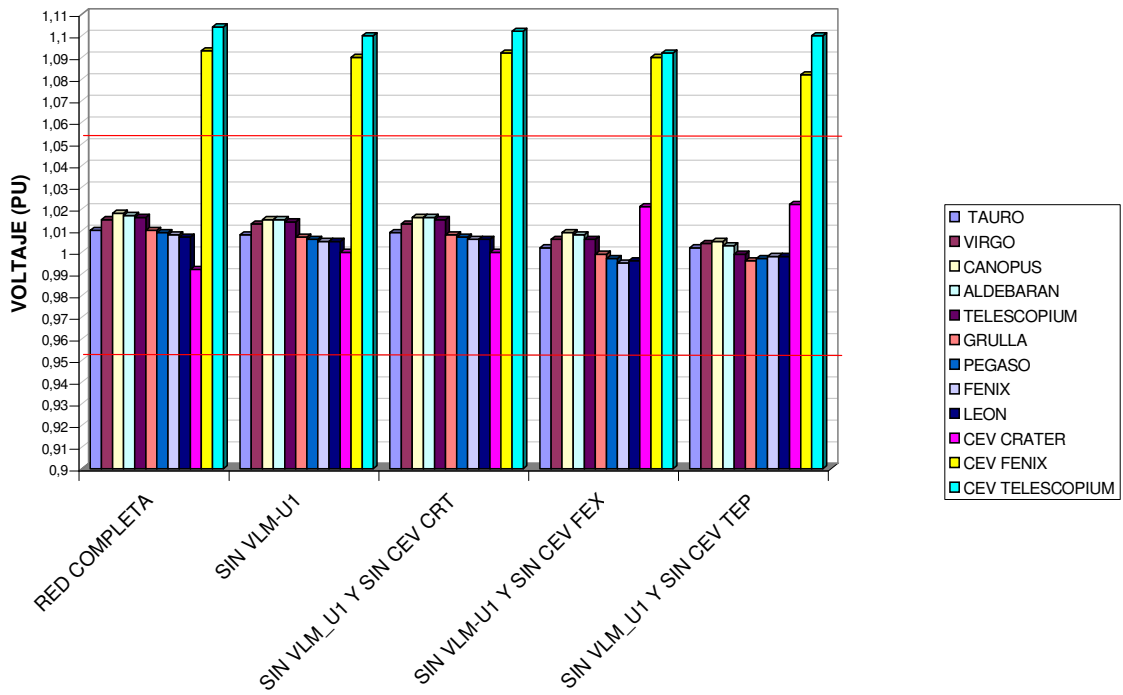


Fig. 5.27 Perfiles de voltaje de nodos del sistema ante la pérdida de la unidad generadora Velorum-U1 y algunos CEV's

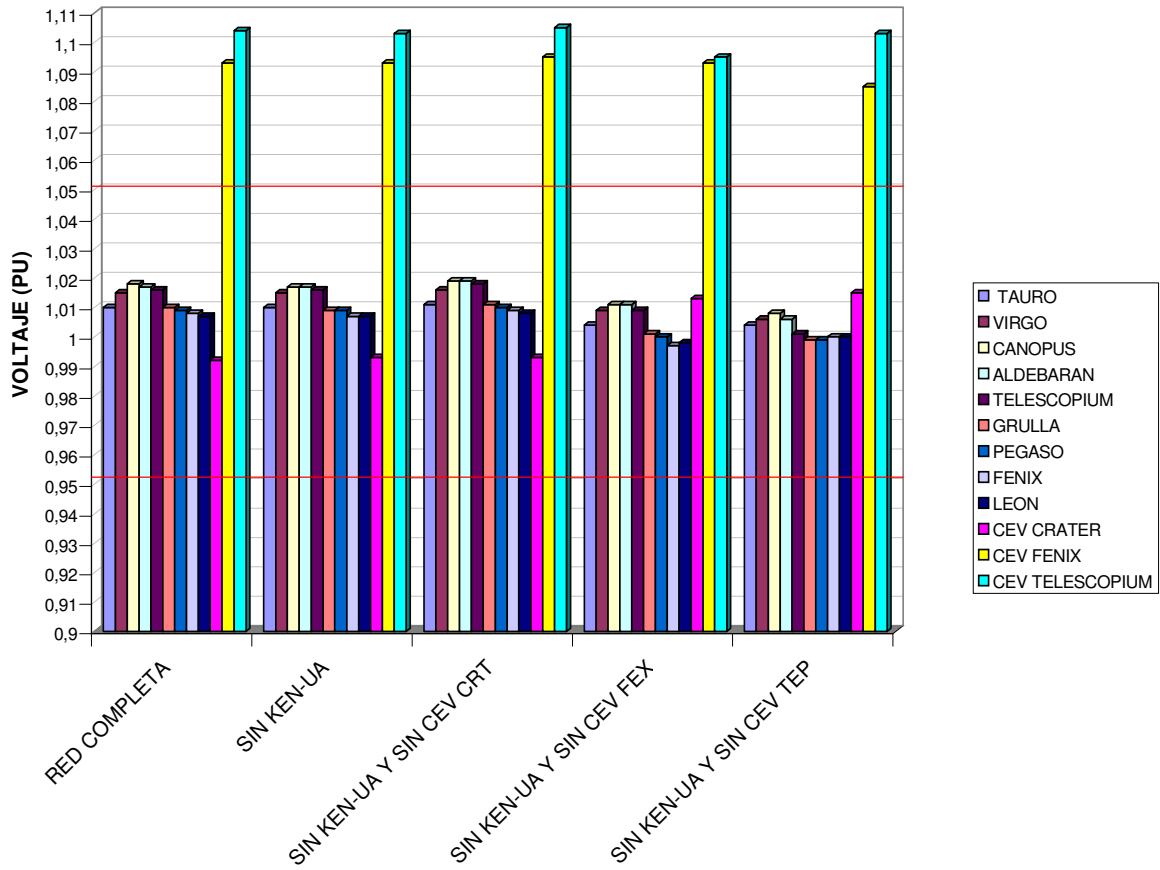
**Caso C. Salida del Generador Kentaurus-UA (KEN-UA) y cada uno de los CEV's**

**Tabla 5.13 Aportación de potencia activa y reactiva de las unidades generadoras y los CEV's ante la pérdida de generación de la unidad Kentaurus-UA y cada uno de los CEV's.**

<b>APORTACION DE LOS GENERADORES Y LOS CEV's EN CADA CASO</b>										
<b>Unidad</b>	<b>Operación Normal</b>		<b>Sin KEN-UA</b>		<b>Sin KEN-UA y CEV CRT</b>		<b>Sin KEN-UA y CEV FEX</b>		<b>Sin KEN-UA y CEV TEP</b>	
	<b>MW</b>	<b>MVAr</b>	<b>MW</b>	<b>MVAr</b>	<b>MW</b>	<b>MVAr</b>	<b>MW</b>	<b>MVAr</b>	<b>MW</b>	<b>MVAr</b>
KEN-UB, KEN-UC y KEN-UD	76	11,4	57	9,7	57	8,9	57	12,1	57	11,8
CRX-U1, CRX-U2 y CRX-U3	40	3,7	40	1,5	40	1,2	40	2,6	40	2,4
ATL-U1, ATL-U2 y ATL-U3	45	-18	45	-25,5	45	-25,5	45	-25,5	45	-25,5
TUR-U3	274,6	-43,6	274,6	-42,9	274,6	-46,1	274,6	-28,4	274,6	-27,6
TUR-U1 y TUR-U2	548,6	-77,5	548,6	-76,1	548,6	-82,7	548,6	-50,4	548,6	-46,8
VLM-U1, BLN-U2 y BLN-U3	206,1	48,8	206,1	50,5	206,1	35,9	205,8	88,7	205,7	89,9
POL-U1	11,2	-1	11,2	-1	11,2	-1,3	11,2	-0,3	11,2	-0,1
CEV CRATER	0	-45,3	0	-42,9	0	0	0	7,9	0	11,8
CEV FENIX	0	-90	0	-90	0	-90	0	0	0	-90
CEV TELESCOPIUM	0	-90	0	-90	0	-90	0	-90	0	0
PARA LAS UNIDADES GENERADORAS KEN-UB, KEN-UC Y KEN-UD LOS VALORES OBTENIDOS SON LOS MISMOS										

Con la pérdida de la unidad KEN-UA no hay variación en las aportaciones de potencia activa de los generadores ni en la aportación de reactivos de los CEV's que en todo momento se encuentran trabajando a su máxima capacidad. Se podría decir que la pérdida de esta unidad no es de gran impacto para el sistema, por lo que se conservan los perfiles de voltaje de los buses como se puede apreciar en la Figura 5.28.

**PERFILES DE VOLTAJE EN ALGUNOS NODOS DEL SISTEMA MICRO-RED**



**Fig. 5.28** *Perfiles de voltaje de nodos del sistema ante la pérdida de la unidad generadora Kentaurus-UA y los CEV's.*

**Caso D. Salida del Generador Pollux-U1 (POL-U1) y cada uno de los CEV's**

**Tabla 5.14 Aportación de potencia activa y reactiva de las unidades generadoras y los CEV's ante la pérdida de generación de la unidad Pollux-U1 y cada uno de los CEV's**

APORTACION DE LOS GENERADORES Y LOS CEV's EN CADA CASO										
Unidad	Operación Normal		Sin POL-U1		Sin POL-U1 y CEV CRT		Sin POL-U1 y CEV FEX		Sin POL-U1 y CEV TEP	
	MW	MVAr	MW	MVAr	MW	MVAr	MW	MVAr	MW	MVAr
KEN-UA, KEN-UB, KEN-UC y KEN-UD	76	11,4	76	11,6	76	10,8	76	14,6	76	14,4
CRX-U1, CRX-U2 y CRX-U3	40	3,7	40	1,2	40	0,9	40	2,1	40	2
ATL-U1, ATL-U2 y ATL-U3	45	-18	45	-25,5	45	-25,5	45	-25,5	45	-25,5
TUR-U3	274,6	-43,6	274,6	-42,1	274,6	-45	274,6	-27,5	274,6	-26,7
TUR-U1 y TUR-U2	548,6	-77,5	548,6	-74,1	548,6	-80,3	548,6	-48,4	548,6	-44,7
VLM-U1, BLN-U2 y BLN-U3	206,1	48,8	203,9	52,8	204,1	39,3	203,7	90,9	203,5	92,1
CEV CRATER	0	-45,3	0	-39,3	0	0	0	11,7	0	15,6
CEV FÉNIX	0	-90	0	-90	0	-90	0	0	0	-90
CEV TELESCOPIUM	0	-90	0	-90	0	-90	0	-90	0	0

Como se puede apreciar en la Tabla 5.14 los únicos generadores que disminuyen su aportación de potencia activa son VLM-U1, BLN-U2 y BLN-U3 y también son los que aumentan su aportación de reactivos en el sistema llegando a entregar hasta 92.1 MVAr con la pérdida del CEV Telescopium, también las unidades TUR-U1 y TUR-U2 dejan de absorber una cantidad de reactivos considerable al pasar de -77.5 MVAr en operación normal a -44.7 cuando se presenta la pérdida del CEV TEP. Respecto a los CEV's, el único que varía es el de Cráter, quien en operación normal y ante la pérdida del generador POL-U1 absorbe reactivos y cuando se presentan las pérdidas de los CEV's de Telescopium y Fénix entrega reactivos en ambos casos. Estas variaciones se pueden ver en la Figura 5.29, sobre todo cuando se pierde el CEV Telescopium, pero aún con estas variaciones el sistema es capaz de soportar esta contingencia, gracias a los CEV's que se encuentran en la Micro-Red.

PERFILES DE VOLTAJE EN ALGUNOS NODOS DEL SISTEMA MICRO-RED

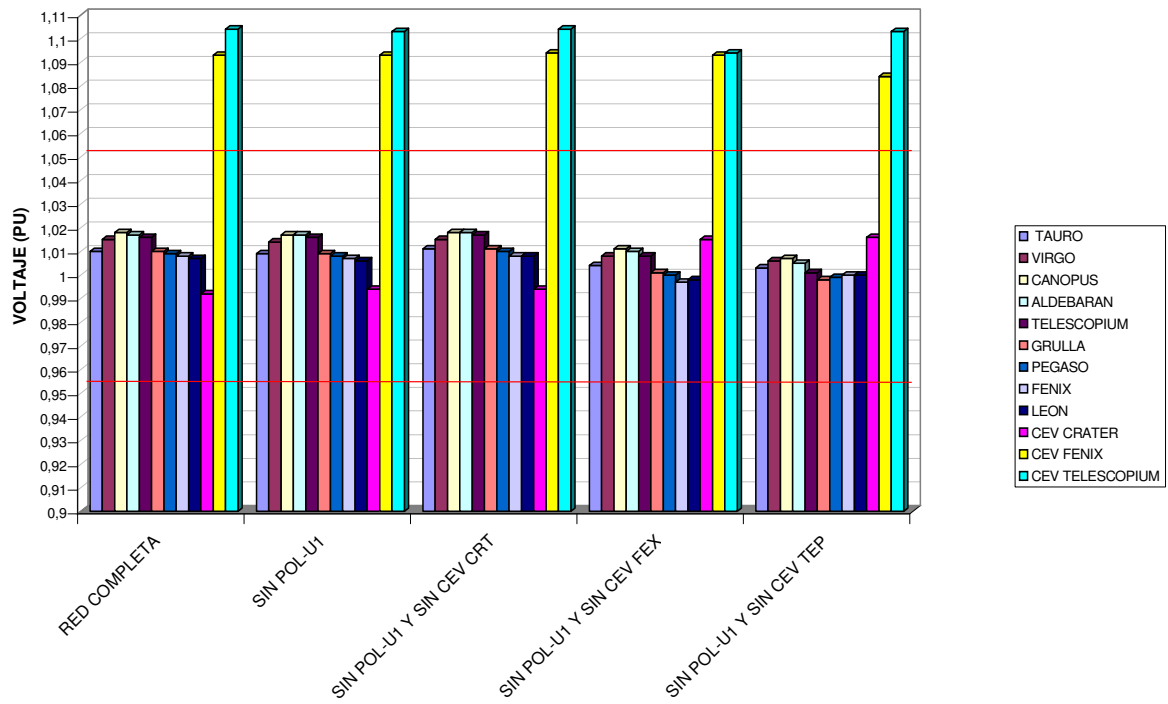


Fig. 5.29 Perfiles de voltaje en nodos del sistema ante la pérdida de la unidad generadora Pollux-U1 y cada uno de los CEV's.



**Caso E. Salida del Generador Tauro-U1 (Tur-U1) y cada uno de los CEV's**

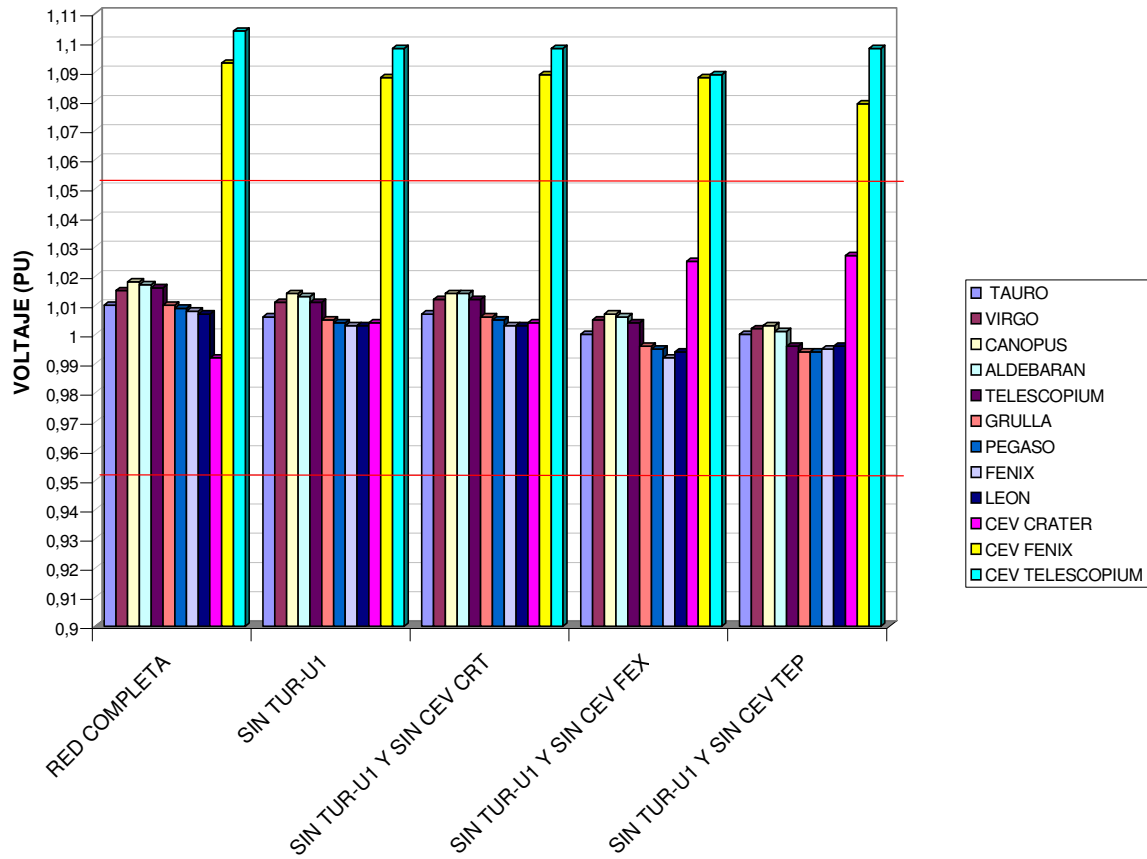
**Tabla 5.15 Aportación de potencia activa y reactiva de las unidades generadoras y los CEV's ante la pérdida de generación de la unidad Tauro-U1 y cada uno de los CEV's**

<b>APORTACION DE LOS GENERADORES Y LOS CEV's EN CADA CASO</b>										
<b>Unidades</b>	<b>Operación Normal</b>		<b>Sin TUR-U1</b>		<b>Sin TUR-U1 y CEV CRT</b>		<b>Sin TUR-U1 y CEV FEX</b>		<b>Sin TUR-U1 y CEV TEP</b>	
	<b>MW</b>	<b>MVAr</b>	<b>MW</b>	<b>MVAr</b>	<b>MW</b>	<b>MVAr</b>	<b>MW</b>	<b>MVAr</b>	<b>MW</b>	<b>MVAr</b>
KEN-UA, KEN-UB, KEN-UC y KEN-UD	76	11,4	76	13	76	12,6	76	16,2	76	15,8
CRX-U1, CRX-U2 y CRX-U3	40	3,7	40	1,5	40	1,5	40	2,6	40	2,4
ATL-U1, ATL-U2 y ATL-U3	45	-18	45	-25,5	45	-25,5	45	-25,5	45	-25,5
TUR-U3	274,6	-43,6	274,6	-34,5	274,6	-35,7	274,6	-18,9	274,6	-17,9
TUR-U2	548,6	-77,5	274,3	-33,5	274,3	-34,9	274,3	-17,3	274,3	-15
VLM-U1, BLN-U2 y BLN-U3	206,1	48,8	204,7	70,6	204,7	65,1	204,5	110,3	204,3	111,1
POL-U1	11,2	-1	11,2	-0,6	11,2	-0,7	11,2	0,2	11,2	0,3
CEV CRATER	0	-45,3	0	-16,3	0	0	0	38,2	0	42,8
CEV FENIX	0	-90	0	-90	0	-90	0	0	0	-90
CEV TELESCOPIUM	0	-90	0	-90	0	-90	0	-90	0	0
PARA LA UNIDAD GENERADORA TUR-U2 LOS VALORES OBTENIDOS SON LOS MISMOS										

Las unidades de Kentaurus aumentaron su aportación de reactivos, sobre todo con la pérdida del CEV Fénix, también las unidades de Ballena y Velorum aumentaron la inyección de reactivos de 48.8 durante su operación normal a 111.1 MVAr cuando se pierde el CEV de Telescopium.

Como se puede apreciar en la Figura 5.30, el sistema se mantiene estable con la pérdida del generador Tur-U1 y cada uno de los CEV's.

**PERFILES DE VOLTAJE EN ALGUNOS NODOS DEL SISTEMA MICRO-RED**



**Fig. 5.30** *Perfiles de voltaje en nodos del sistema ante la pérdida de la unidad generadora Tur-U1 y cada uno de los CEV's*

**Caso F. Salida del Generador Tauro-U3 (Tur-U3) y cada uno de los CEV's**

**Tabla 5.16 Aportación de potencia activa y reactiva de las unidades generadoras y los CEV's ante la pérdida de generación de la unidad Tauro-U3 y cada uno de los CEV's.**

APORTACION DE LOS GENERADORES Y LOS CEV's EN CADA CASO										
Unidades Generadoras	Operación Normal		Sin TUR-U3		Sin TUR-U3 y CEV CRT		Sin TUR-U3 y CEV FEX		Sin TUR-U3 y CEV TEP	
	MW	MVAr	MW	MVAr	MW	MVAr	MW	MVAr	MW	MVAr
KEN-UA, KEN-UB, KEN-UC y KEN-UD	76	11,4	76	12,6	76	12,2	76	15,8	76	15,8
CRX-U1, CRX-U2 y CRX-U3	40	3,7	40	1,5	40	1,4	40	2,4	40	2,4
ATL-U1, ATL-U2 y ATL-U3	45	-18	45	-25,5	45	-25,5	45	-25,5	45	-25,5
TUR-U1, TUR-U2	548,6	-77,5	548,6	-66	548,6	-69,2	548,6	-37,3	548,6	-33,4
VLM-U1, BLN-U2 y BLN-U3	206,1	48,8	205,3	67,3	115,3	60,2	205,1	107,5	204,9	108,6
POL-U1	11,2	-1	11,2	-0,7	11,2	-0,8	11,2	0,1	11,2	0,3
CEV CRATER	0	-45,3	0	-20,8	0	0	0	33,9	0	38,1
CEV FÉNIX	0	-90	0	-90	0	-90	0	0	0	-90
CEV TELESCOPIUM	0	-90	0	-90	0	-90	0	-90	0	0
CEV TELESCOPIUM	0	-90	0	-90	0	-90	0	-90	0	0

Nuevamente las unidades de Ballena y Velorum son las que hacen una mayor aportación de reactivos, también el generador POL-U1 el cual deja de absorber reactivos y los aporta cuando salen de operación los CEV's de Fénix y Telescopium.

En la Figura 5.31 se muestra el perfil de voltaje de los buses ante cada una de las simulaciones, el voltaje del nodo de Cráter se incrementó, pero aún así está dentro del límite operativo.

PERFILES DE VOLTAJE EN ALGUNOS NODOS DEL SISTEMA MICRO-RED

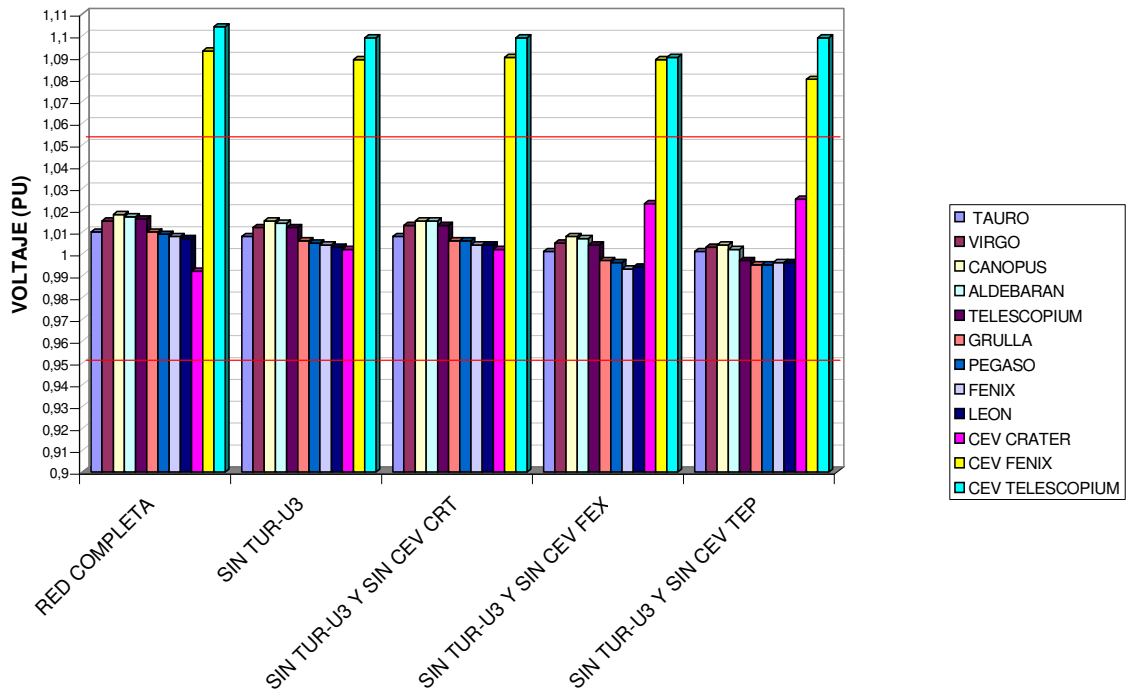


Fig. 5.31 Perfiles de voltaje en nodos del sistema ante la pérdida de la unidad generadora Tauro-U3 y cada uno de los CEV's.

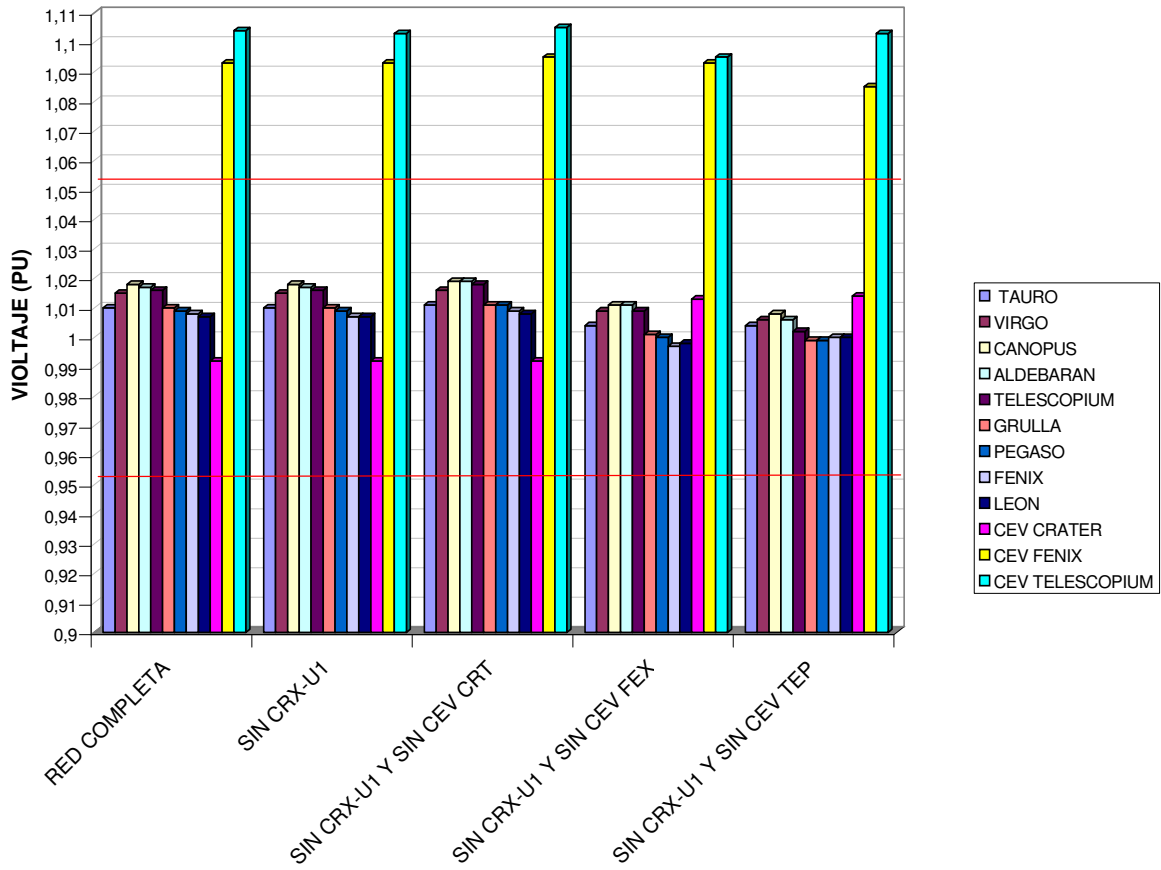
**Caso G. Apertura del Generador Crux-U1 (CRX-U1) y cada uno de los CEV's**

**Tabla 5.17 Aportación de potencia activa y reactiva de las unidades generadoras y los CEV's ante la pérdida de generación de la unidad Crux-U1 y cada uno de los CEV's**

<b>APORTACION DE LOS GENERADORES Y LOS CEV's EN CADA CASO</b>										
<b>Unidades Generadoras</b>	<b>Operación Normal</b>		<b>Sin CRX-U1</b>		<b>Sin CRX-U1 y CEV CRT</b>		<b>Sin CRX-U1 y CEV FEX</b>		<b>Sin CRX-U1 y CEV TEP</b>	
	<b>MW</b>	<b>MVAr</b>	<b>MW</b>	<b>MVAr</b>	<b>MW</b>	<b>MVAr</b>	<b>MW</b>	<b>MVAr</b>	<b>MW</b>	<b>MVAr</b>
KEN-UA, KEN-UB, KEN-UC y KEN-UD	76	11,4	76	11,2	76	10,2	76	14,2	76	14
CRX-U2 y CRX-U3	40	3,7	26	2,5	26	2,3	26	3,1	26	3,1
ATL-U1, ATL-U2 y ATL-U3	45	-18	45	-25,5	45	-25,5	45	-25,5	45	-25,5
TUR-U3	274,6	-43,6	274,6	-43,3	274,6	-46,5	274,6	-28,7	274,6	-27,9
TUR-U1, TUR-U2	548,6	-77,5	548,6	-76,9	548,6	-83,7	548,6	-51,3	548,6	-47,6
VLM-U1, BLN-U2 Y BLN-U3	206,1	48,8	206,1	49,6	206,1	38,3	205,8	87,8	205,7	91
POL-U1	11,2	-1	11,2	-1	11,2	-1,3	11,2	-0,3	11,2	-0,1
CEV CRATER	0	-45,3	0	-44,3	0	0	0	6,5	0	10,3
CEV FENIX	0	-90	0	-90	0	-90	0	0	0	-90
CEV TELESCOPIUM	0	-90	0	-90	0	-90	0	-90	0	0
PARA LAS UNIDADES GENERADORAS CRX-U2 Y CRX-U3 LOS VALORES OBTENIDOS SON LOS MISMOS										

No hay grandes variaciones en las aportaciones de los generadores, los de Ballena y Velorum, son los que aumentan su aportación de reactivos, el CEV de Cráter es el que más cambia, ya que de absorber reactivos en operación normal y ante la pérdida sólo del generador, empieza a aportar reactivos cuando además del generador se pierden los CEV's Telescopium y Fénix.

**PERFILES DE VOLTAJE EN ALGUNOS NODOS DEL SISTEMA MICRO-RED**



*Fig. 5.32 Perfiles de voltaje en nodos del sistema ante la pérdida de la unidad generadora Crux-U1 y cada uno de los CEV's*

**Caso H. Apertura de los generadores VLM-U1, BLN-U2, BLN-U3 y cada uno de los CEV's**

**Tabla 5.18 Aportación de potencia activa y reactiva de las unidades generadoras y los CEV's ante la pérdida de generación de las unidades Velorum-U1, Ballena-U2, Ballena-U3 y cada uno de los CEV's**

APORTACION DE LOS GENERADORES Y LOS CEV's EN CADA CASO												
Unidades Generadoras	Operación Normal		Sin VLM-U1, BLN-U2 y BLN-U3		Sin VLM-U1, BLN-U2, BLN-U3 y CEV CRT		Sin VLM-U1, BLN-U2, BLN-U3 y CEV FEX		Sin VLM-U1, BLN-U2, BLN-U3 y CEV TEP		Sin VLM-U1, BLN-U2, BLN-U3 y sin los 3 CEV'S	
	MW	MVAr	MW	MVAr	MW	MVAr	MW	MVAr	MW	MVAr	MW	MVAr
KEN-UA,KEN-UB, KEN-UC Y KEN-UD	76	11,4	76	23,8	76	25,6	76	27,8	76	27,6	76	40
CRX-U1, CRX-U2 Y CRX -U3	40	3,7	40	9,2	40	9,7	40	10,5	40	10,4	40	14,4
ATL-U1, ATL-U2 Y ATL-U3	45	-18	30	-18	45	-18	45	-18	45	-18	45	-18
TUR-U3	274,6	-43,6	275	7,9	275	13,7	275	25,7	275	26,7	275	74
TUR-U1 Y TUR-U2	548,6	-77,5	550	12	550	24,5	550	45,7	550	49,8	550	148,5
VLM-U1, BLN-U2 Y BLN-U3	206,1	48,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
POL-U1	11,2	-1	25	6,8	25	7,3	25	7,8	25	8	25	11,8
CEV CRATER	0	-45,3	0	49,3	0	0	0	124,3	0	129,3	0	0
CEV FENIX	0	-90	0	-90	0	-90	0	0	0	-90	0	0
CEV TELESCOPIUM	0	-90	0	-90	0	-90	0	-90	0	0	0	0

Aún con la pérdida de un conjunto de tres unidades generadoras y sin la ayuda de ninguno de los CEV's, las unidades restantes son capaces de soportar tal pérdida de generación, manteniendo al sistema estable.

El incremento en la aportación de reactivos es evidente en todos los generadores, excepto en los de Antlia, que en ninguna de las simulaciones variaron su aportación de potencia reactiva, sólo cuando salen de funcionamiento los tres generadores cambian su aportación de potencia activa a 30 MW, pero en todos los demás casos se mantienen aportando 45 MW de potencia activa.

El aumento en la inyección de reactivos es más evidente en las unidades Tauro-U3 y Pollux-U1, los cuales en operación normal absorben reactivos y cuando salen de operación los tres generadores y cada uno de los CEV's cambian a aportar reactivos.

En la Figura 5.33 se muestra el perfil de voltaje de los buses ante cada una de las simulaciones hechas, en donde se puede notar el impacto de la pérdida conjunta de tres unidades, pero sobre todo, es evidente la ayuda que brindan los CEV's en mantener un buen perfil de voltaje del sistema para la condición de estado estacionario, sin embargo no hay que perder de vista que el principal beneficio de los CEV's es en estado dinámico. De no existir los CEV's del sistema analizado, los niveles de voltaje en los nodos descenderían en promedio 0.03 pu.

PERFILES DE VOLTAJE EN ALGUNOS NODOS DEL SISTEMA MICRO-RED

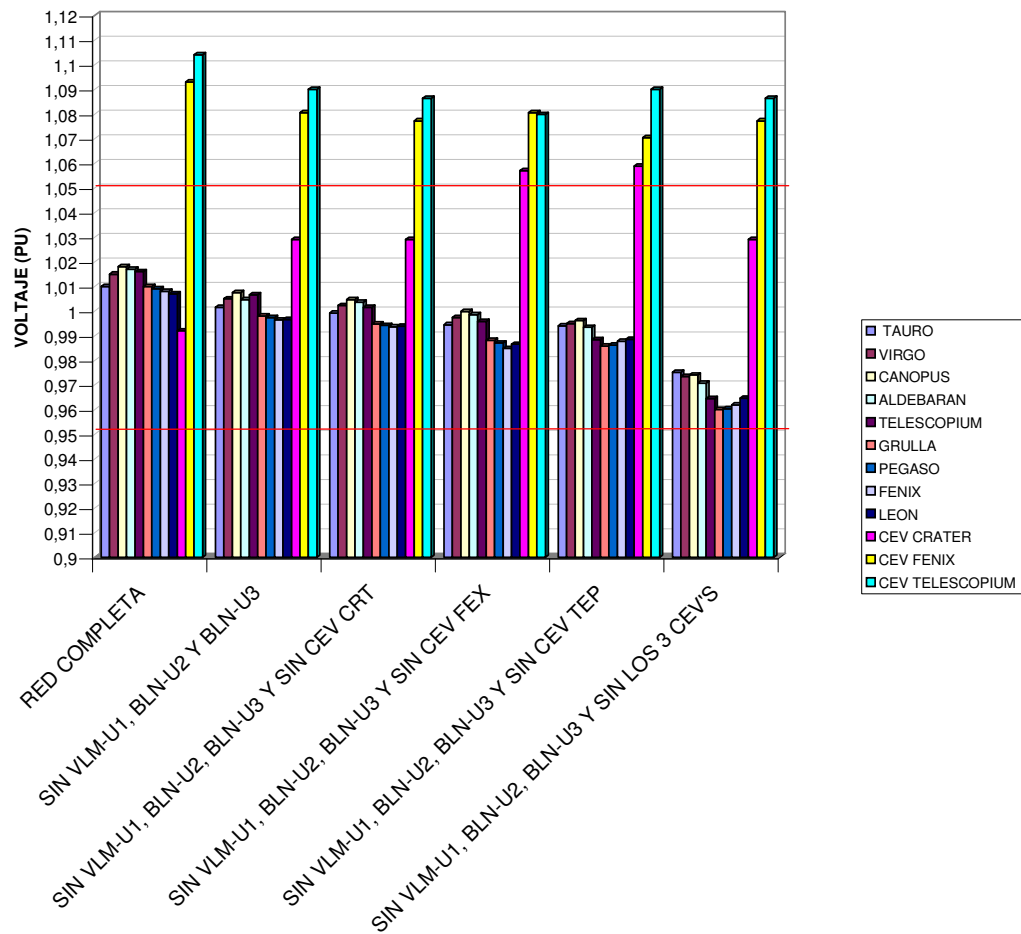


Fig. 5.33 Perfiles de voltaje en nodos del sistema ante la pérdida de las unidades generadoras Velorum-U1, Ballena-U2, Ballena-U3 y cada uno de los CEV's

### 5.2.2 Salida de los CEV's y disparo de líneas adyacentes a ellos



**Caso A. Salida del CEV Telescopium y disparo de cada una de las líneas adyacentes a él**

**Tabla 5.19 Aportación de potencia activa y reactiva de las unidades generadoras y los CEV's ante la pérdida del CEV Telescopium y cada una de las líneas cercanas al CEV.**

APORTACION DE LOS GENERADORES Y LOS CEV's EN CADA CASO												
Unidades Generadoras	Operación Normal		Sin CEV TEP		Sin CEV TEP y L TEP-GRU		Sin CEV TEP y L DRN-TEP		Sin CEV TEP y L CTS-TEP		Sin CEV TEP y L TEP-CPE	
	MW	MVAr	MW	MVAr	MW	MVAr	MW	MVAr	MW	MVAr	MW	MVAr
KEN-UA, KEN-UB, KEN-UC y KEN-UD	76	11,4	76	14,2	76	15	76	15,4	76	14,2	76	14,2
CRX-U1, CRX-U2 y CRX-U3	40	3,7	40	2	40	2,3	40	2,3	40	2	40	2
ATL-U1, ATL-U2 y ATL-U3	45	-18	45	-25,5	45	-25,5	45	-25,5	45	-25,5	45	-25,5
TUR-U3	274,6	-43,6	274,6	-28,3	274,6	-23	274,6	-22,9	274,6	-27,6	274,6	-28,2
TUR-U1, TUR-U2	548,6	-77,5	548,6	-48,2	548,6	-38,9	548,6	-39,1	548,6	-46,8	548,6	-48
VLM-U1, BLN-U2 y BLN-U3	206,1	48,8	205,7	88,1	203,3	102,5	202,4	105,2	205,5	89,7	205,7	88,9
POL-U1	11,2	-1	11,2	-0,1	11,2	0,1	11,2	0,1	11,2	-0,1	11,2	-0,1
CEV CRATER	0	-45,3	0	9,2	0	30,6	0	35,6	0	11,5	0	10,6
CEV FENIX	0	-90	0	-90	0	-90	0	-90	0	-90	0	-90

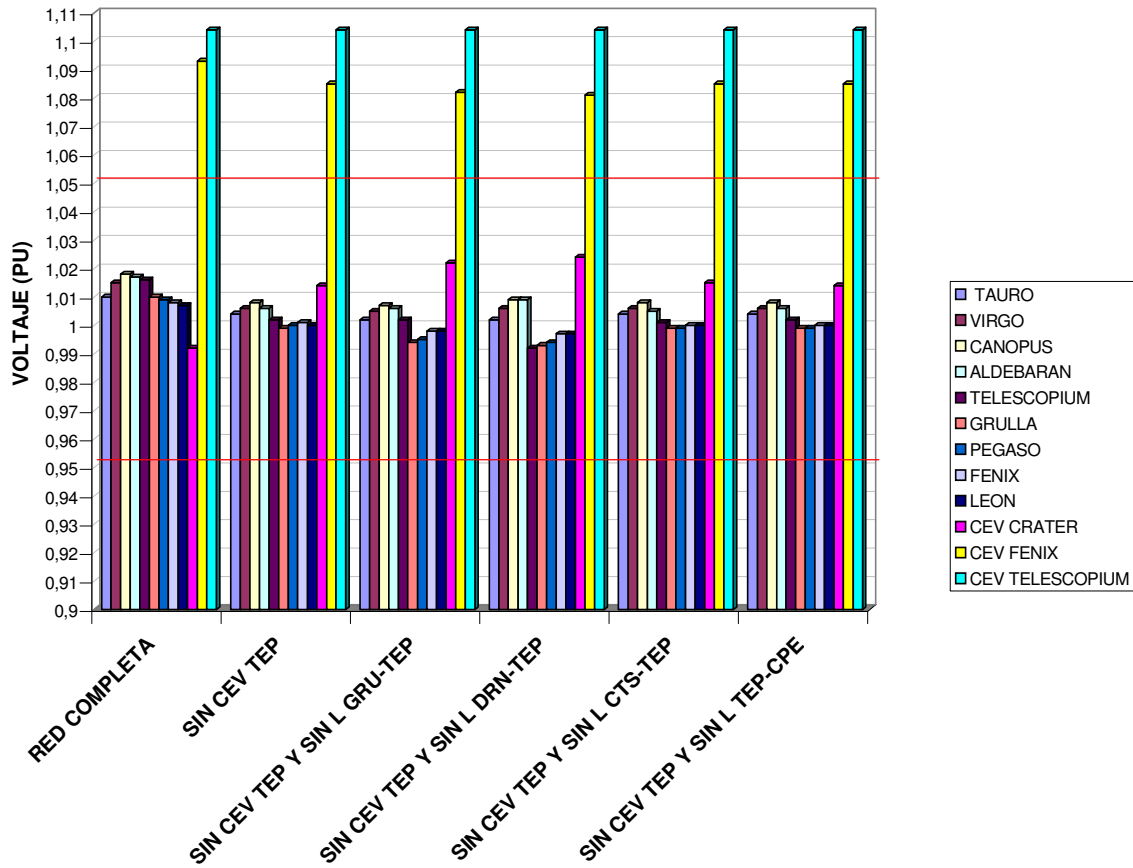
Con la pérdida del CEV Telescopium, las unidades de Kentaurus, Velorum y Ballena aportan más reactivos, mientras que las unidades de Antlia absorben más reactivos, además de que las unidades de Tauro absorben menos reactivos y el CEV Cráter aporta reactivos al sistema.

Cuando se simula el disparo de las líneas, se observa que la configuración de flujos de potencia se modifica, siendo los generadores de Velorum y Ballena los de mayor aportación de reactivos.

Las líneas que van de Aldebarán a Telescopium son las que más perturbaron al sistema, pero los perfiles de voltaje son operables.

En general, se abatió el perfil de voltaje del sistema, pero se conservó dentro de valores operables en todos los casos, como se puede observar en la Figura 5.34.

**PERFILES DE VOLTAJE EN ALGUNOS NODOS DEL SISTEMA MICRO-RED**



*Fig. 5.34 Perfiles de voltaje en nodos del sistema ante la pérdida del CEV Telescopium y cada una de las líneas adyacentes al CEV.*

**Caso B. Salida del CEV Fénix y disparo de cada una de las líneas adyacentes a él**

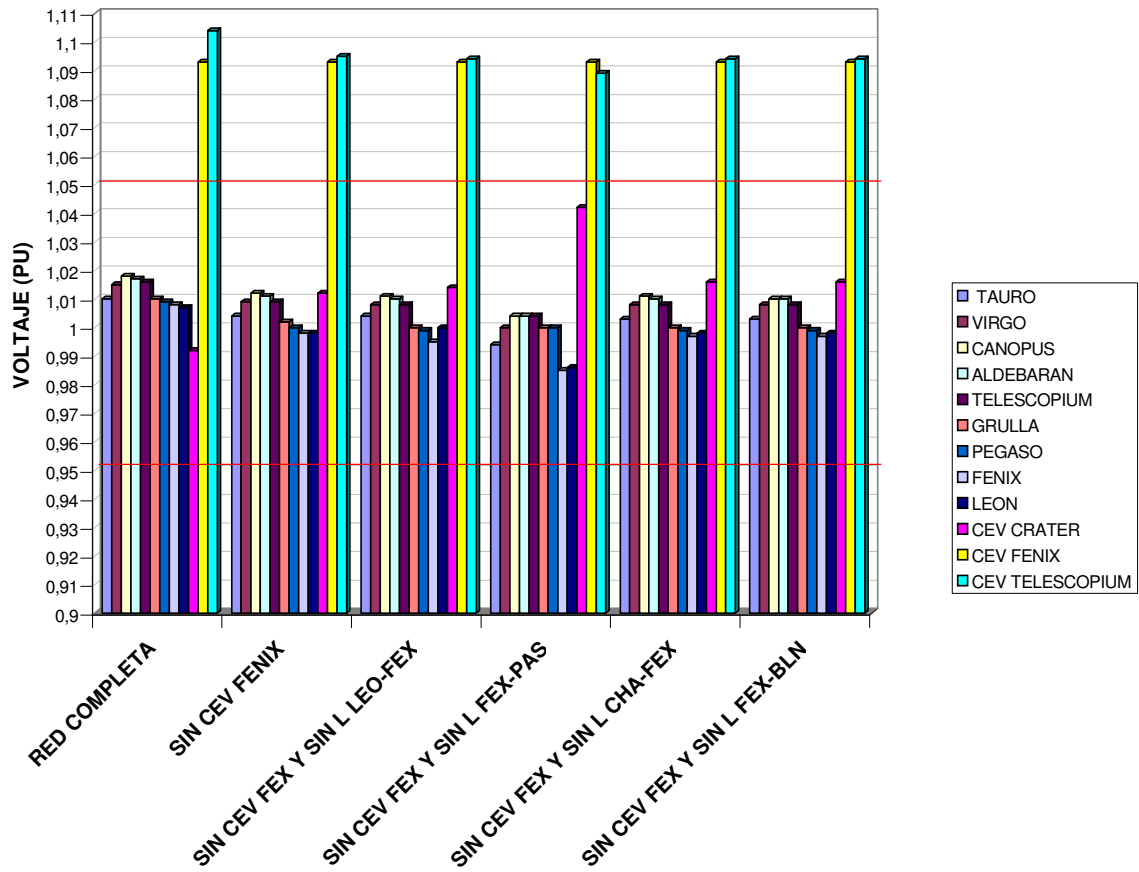
**Tabla 5.20** *Aportación de potencia activa y reactiva de las unidades generadoras y los CEV's ante la pérdida del CEV Fénix y cada una de las líneas adyacentes al CEV.*

APORTACION DE LOS GENERADORES Y LOS CEV's EN CADA CASO												
Unidad	Operación Normal		SIN CEV FEX		SIN CEV FEX y L LEO-FEX		SIN CEV FEX y L FEX-PAS		SIN CEV FEX y L CHA-FEX		SIN CEV FEX y L FEX-BLN	
	MW	MVA <sub>r</sub>	MW	MVA <sub>r</sub>	MW	MVA <sub>r</sub>	MW	MVA <sub>r</sub>	MW	MVA <sub>r</sub>	MW	MVA <sub>r</sub>
KEN-UA, KEN-UB, KEN-UC y KEN-UD	76	11,4	76	14,2	76	14,2	76	18,8	76	14,6	76	14,8
CRX-U1, CRX-U2 y CRX-U3	40	3,7	40	2	40	2	40	3,4	40	2,1	40	2,1
ATL-U1, ATL-U2 y ATL-U3	45	-18	45	-25,5	45	-25,5	45	-25,5	45	-25,5	45	-25,5
TUR-U3	274,6	-43,6	274,6	-29,1	274,6	-29	274,6	-3,9	274,6	-27,2	274,6	-26,6
TUR-U1, TUR-U2	548,6	-77,5	548,6	-51,9	548,6	-50,6	548,6	-7,6	548,6	-48	548,6	-47,1
VLM-U1, BLN-U2 y BLN-U3	206,1	48,8	205,9	86,9	206,9	92,5	201,9	73,4	206,5	94,7	210	96,5
POL-U1	11,2	-1	11,2	-0,3	11,2	-0,2	11,2	0,8	11,2	-0,2	11,2	-0,2
CEV CRATER	0	-45,3	0	5,3	0	11,2	0	82,1	0	14,4	0	16,3
CEV TELESCOPIUM	0	-90	0	-90	0	-90	0	-90	0	-90	0	-90

Con la pérdida del CEV Fénix, el CEV Cráter es el que hace mayor aportación de reactivos junto con las unidades de Velorum y Ballena.

Los perfiles de voltaje de los buses no presentan gran variación, salvo el de Cráter que, como se mencionó anteriormente es el que más aumenta su aportación de reactivos, pero aún con ello, se mantiene dentro de valores operables.

**PERFILES DE VOLTAJE EN ALGUNOS NODOS DEL SISTEMA MICRO-RED**



*Fig. 5.35* Perfiles de voltaje de los buses ante la pérdida del CEV Fénix y cada una de las líneas cercanas al CEV

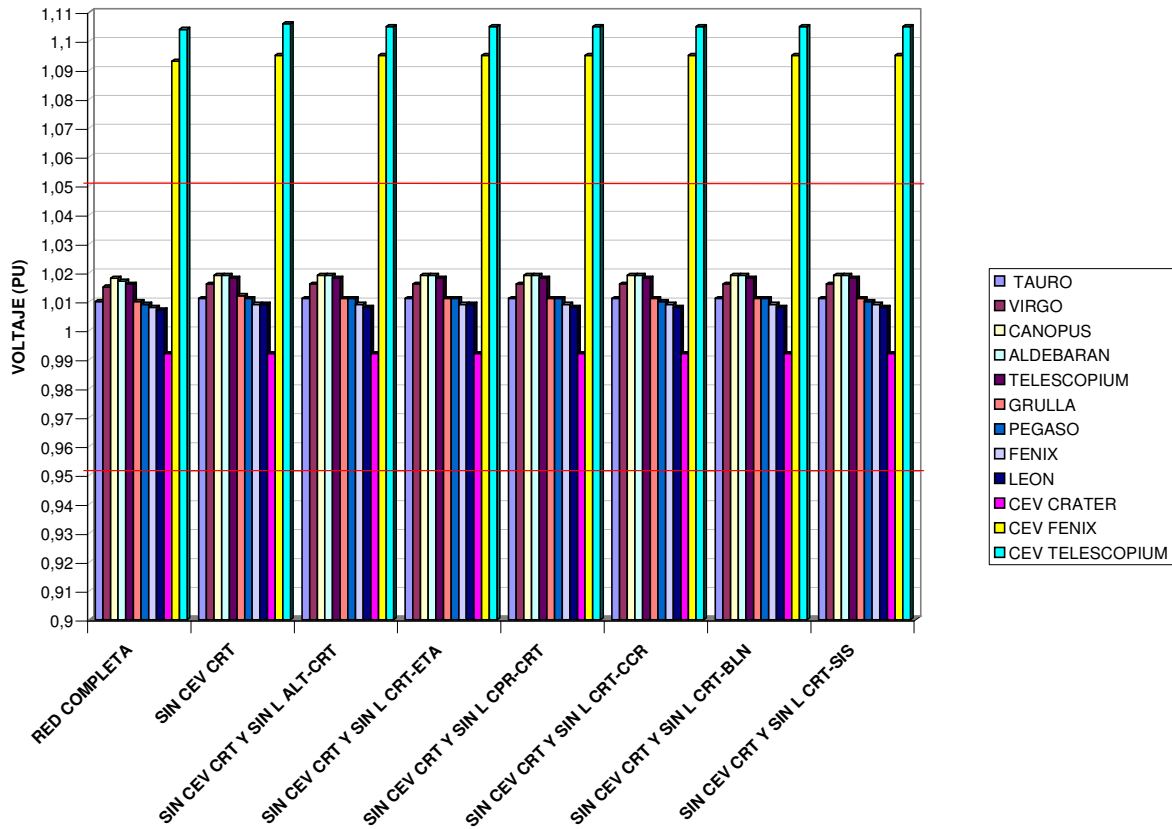
**Caso C. Salida del CEV Cráter y disparo de cada una de las líneas adyacentes a él**

**Tabla 5.21 Aportación de potencia activa y reactiva de las unidades generadoras y los CEV's ante la pérdida del CEV Cráter y cada una de las líneas cercanas al CEV.**

APORTACION DE LOS GENERADORES Y LOS CEV's EN CADA CASO														
Unidad	Sin CEV CRÁTER		Sin CEV CRT y L ALT-CRT		Sin CEV CRT y L CRT-ETA		Sin CEV CRT y L CPR-CRT		Sin CEV CRT y L CRT-CCR		Sin CEV CRT y L CRT-BLN		Sin CEV CRT y L CRT-SIS	
	MW	MVAr	MW	MVAr	MW	MVAr	MW	MVAr	MW	MVAr	MW	MVAr	MW	MVAr
KEN-UA, KEN-UB, KEN-UC y KEN-UD	76	10,4	76	10,4	76	10,4	76	10,4	76	10,8	76	10,4	76	10,5
CRX-U1, CRX-U2 y CRX-U3	40	0,8	40	0,8	40	0,8	40	0,8	40	0,9	40	0,8	40	0,9
ATL-U1, ATL-U2 y ATL-U3	45	-25,5	45	-25,5	45	-25,5	45	-25,5	45	-25,5	45	-25,5	45	-25,5
TUR-U3	274,6	-46,9	274,6	-46,4	274,6	-46,8	247,6	-46,5	274,6	-45,8	247,6	-46,6	274,6	-46,3
TUR-U1, TUR-U2	548,6	-84,3	548,6	-83,2	548,6	-83,9	548,6	-83,3	548,6	-81,7	548,6	-83,5	548,6	-83
VLM-U1, BLN-U2 y BLN-U3	206,1	33,2	206,1	35,9	205,1	33,3	206,1	35,5	205,6	39,7	204,5	34,7	203,1	34,7
POL-U1	11,2	-1,3	11,2	-1,3	11,2	-1,3	11,2	-1,3	11,2	-1,2	11,2	-1,3	11,2	-1,3
CEV TELESCOPIUM	0	-90	0	-90	0	-90	0	-90	0	-90	0	-90	0	-90
CEV FENIX	0	-90	0	-90	0	-90	0	-90	0	-90	0	-90	0	-90

Con la apertura del CEV Cráter, todos los valores de potencia activa y reactiva permanecen iguales. Esto mismo se puede apreciar en la Figura 5.36 de perfiles de voltaje, en donde los valores de voltaje son los mismos en cada caso.

**PERFILES DE VOLTAJE EN ALGUNOS NODOS DEL SISTEMA MICRO-RED**



*Fig. 5.36 Perfiles de voltaje en nodos del sistema ante la pérdida del CEV Cráter y cada una de las líneas adyacentes al CEV*

En general, ante la pérdida de generación que se presentó en cada caso, los generadores que soportaron la pérdida fueron los de Velorium y Ballena.

Los CEV's Fénix y Telescopium no modificaron su aportación de reactivos a la red, sin importar cual fuera la contingencia que se presentara, mientras que el CEV de Cráter si modificó su aportación de reactivos ante las contingencias simuladas.