

Línea 8	0.0508	0.0456	0.02469	0.12109
				P=1.93022
PU*e ⁻³				
Requeridos(Q)				
PU	Fase A	Fase B	Fase C	
Línea 1	0.1186	0.01753	0.1792	0.31533
Línea 2	0.1045	0.01524	0.1580	0.27774
Línea 3	0.0913	0.01314	0.1381	0.24254
Línea 4	0.0789	0.01123	0.1194	0.20953
Línea 5	0.0673	0.00950	0.1020	0.17880
Línea 6	0.0566	0.00794	0.0859	0.15044
Línea 7	0.0469	0.00653	0.0711	0.12453
Línea 8	0.0380	0.00528	0.0576	0.10088
				Q=1.59979

Una vez obtenidas las condiciones de operación sin capacitores se calculan las pérdidas al instalar un capacitor de 600 KVAR en el nodo 5, mostrándose los resultados en la Tabla 4.13. En la Figura 4.11 se representa el sistema trifásico de 10 nodos y un capacitor en nodo 5.

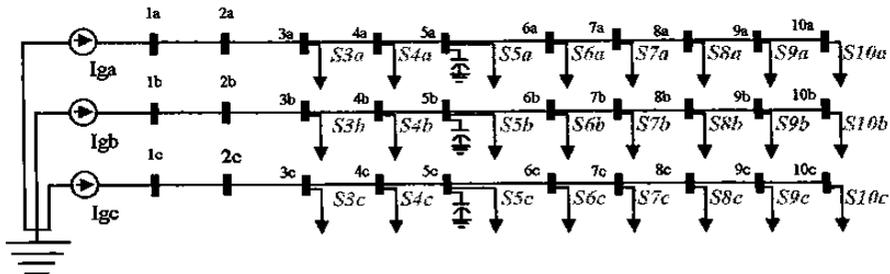


Figura 4.11 Sistema trifásico de 10 nodos carga balanceada y uniformemente distribuida en nodos 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 con un valor de 6 MVA, factor de potencia de 0.8 atrasado. En el nodo 10 se presenta una carga de 6 MVA con un factor de potencia de 0.8 atrasado, capacitor de 600 KVAR en nodo 5.

Tabla 4.13 Voltaje Nodal, factor de potencia del sistema trifásico de 10 nodos con capacitor de 600 KVAR en el nodo 5 de la red de distribución

Voltaje PU	Fase A	Fase B	Fase C
N1	0.9983	0.9983	0.9983
N2	0.9980	0.9980	0.9980
N3	0.9935	0.9957	0.9942
N4	0.9893	0.9935	0.9906
N5	0.9854	0.9915	0.9872
N6	0.9816	0.9894	0.9839
N7	0.9781	0.9875	0.9809
N8	0.9748	0.9858	0.9781
N9	0.9719	0.9843	0.9755
N10	0.9693	0.9829	0.9733
Factor Pot.	0.8198	0.8163	0.8158
Áng. Volt. N2	29.8295	-90.1701	149.8297
Áng. Corr. IL1	-4.1065	-125.4517	114.495

Tabla 4.14 Pérdidas de potencia del sistema trifásico de 10 nodos con capacitor de 600 KVAR en el nodo 5 de la red de distribución

PU*e-3				
Pérdidas(S) PU	Fase A	Fase B	Fase C	
Linea 1	0.1870	0.1367	0.1841	0.5078
Linea 2	0.1641	0.1197	0.1616	0.4454
Linea 3	0.1427	0.1038	0.1405	0.3870
Linea 4	0.1317	0.0958	0.1299	0.3574
Linea 5	0.1124	0.0816	0.1109	0.3049
Linea 6	0.0946	0.0686	0.0933	0.2565
Linea 7	0.0782	0.0567	0.0772	0.2121
Linea 8	0.0634	0.0459	0.0626	0.1719
			Suma=====	2.6430
PU*e-3	Pot			
Pérdidas(P) PU	Apar(S)=		$(P^2+Q^2)^{1/2}$	2.45793594
	Fase A	Fase B	Fase C	
Linea 1	0.1405	0.1339	0.08736	0.36176
Linea 2	0.1227	0.1171	0.07716	0.31696
Linea 3	0.1060	0.1014	0.06762	0.27502
Linea 4	0.1057	0.0951	0.05154	0.25234
Linea 5	0.0902	0.0811	0.04386	0.21516
Linea 6	0.0758	0.0681	0.03682	0.18072
Linea 7	0.0627	0.0563	0.03040	0.14940
Linea 8	0.0508	0.0456	0.02462	0.12102
				P=1.87238

PU*e ³				
Pérdidas(Q) PU	Fase A	Fase B	Fase C	
Línea 1	0.1235	0.02763	0.1620	0.31313
Línea 2	0.1091	0.02469	0.1420	0.27579
Línea 3	0.0955	0.02195	0.1231	0.24055
Línea 4	0.0787	0.01127	0.1192	0.20917
Línea 5	0.0672	0.00953	0.1018	0.17853
Línea 6	0.0565	0.00796	0.0857	0.15016
Línea 7	0.0468	0.00655	0.0710	0.12435
Línea 8	0.0379	0.00529	0.0575	0.10069
				Q = 1.59237

Al comparar los voltajes sin capacitores, Tabla 4.11 y con capacitor de 600 KVAR en el nodo 5 en la Tabla 4.13, se observa que para el caso con capacitor el voltaje se incrementa ligeramente en todos los nodos. De la Tabla 4.12 donde se estudia el modelo de 10 nodos sin capacitores se tiene pérdidas (aparentes) de un valor de 2.507 pu, pérdidas reales de un valor de 1.93 pu y un requerimiento de reactivos por un valor de 1.59979 pu. De la Tabla 4.14 donde se estudia el sistema trifásico de 10 nodos con un capacitor de 600 KVAR en el nodo 5 del circuito de distribución se tienen pérdidas (aparentes) de un valor de 2.45793594 pu, pérdidas reales de un valor de 1.87238 pu y requerimientos de reactivos de un valor de 1.59237 pu. De lo anterior se observa que las pérdidas del circuito disminuyen al instalar el capacitor.

En la Figura 4.12 se tiene el siguiente caso a estudiar. Se instalan dos capacitores, de 600 KVAR en el nodo 5 y otro en el nodo 8, mostrándose los resultados en la Tabla 4.15.

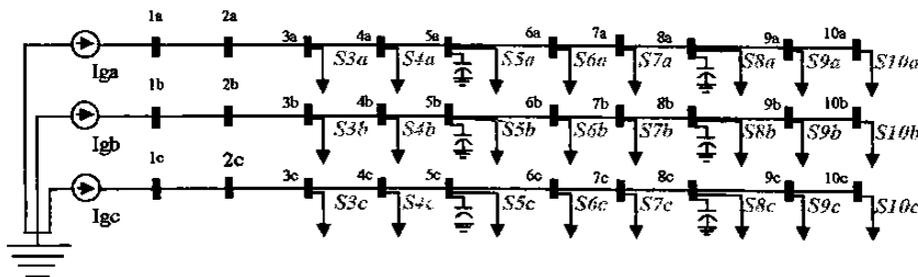


Fig. 4.12 Sistema de 10 nodos carga balanceada y uniforme en nodos 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 de 6 MVA, fp 0.8 atrasado. En el nodo 10 se presenta una carga de 6 MVA con un fp 0.8 atrasado. Capacitor de 600 KVAR en los nodos 5 y 8.

Tabla 4.15 Voltaje Nodal, factor de potencia del sistema trifásico de 10 nodos con capacitores de 600 KVAR en el nodo 5 y el nodo 8 de la red de distribución.

Voltaje PU	Fase A	Fase B	Fase C
N1	0.9983	0.9983	0.9983
N2	0.9981	0.9981	0.9981
N3	0.9938	0.9959	0.9945
N4	0.9898	0.9939	0.9911
N5	0.9860	0.9921	0.9880
N6	0.9824	0.9902	0.9849
N7	0.9791	0.9885	0.9821
N8	0.9760	0.9870	0.9795
N9	0.9731	0.9854	0.9770
N10	0.9705	0.9840	0.9747
Factor Pot.	0.8436	0.8407	0.8401
Áng. Volt. N2	29.8296	-90.17	149.8298
Áng. Corr. IL1	-2.6451	-122.9554	116.9773

Tabla 4.16 Pérdidas de potencia del sistema trifásico de 10 nodos con capacitores de 600 KVAR en el nodo 5 y nodo 8 de la red de distribución.

PU 10 ⁻³				
Pérdidas (S) PU	Fase A	Fase B	Fase C	
Linea 1	0.1764	0.1289	0.1732	0.4785
Linea 2	0.1542	0.1125	0.1515	0.4182
Linea 3	0.1335	0.0971	0.1312	0.3618
Linea 4	0.1224	0.0890	0.1203	0.3317
Linea 5	0.1038	0.0753	0.1021	0.2812
Linea 6	0.0867	0.0629	0.0853	0.2349
Linea 7	0.0781	0.0566	0.0769	0.2116
Linea 8	0.0633	0.0459	0.0623	0.1715
			Suma =	2.4894
	Pot			
PU 10 ⁻³	Apar(S)=		(P ² +Q ²) ^{1/2}	2.36635089
Pérdidas(P) PU	Fase A	Fase B	Fase C	
Linea 1	0.1221	0.1235	0.09508	0.34068
Linea 2	0.1054	0.1074	0.08435	0.29715
Linea 3	0.0899	0.0923	0.07427	0.25647
Linea 4	0.0904	0.0868	0.05861	0.23581
Linea 5	0.0761	0.0734	0.05038	0.19988
Linea 6	0.0629	0.0611	0.04278	0.16678
Linea 7	0.0628	0.0562	0.03022	0.14922
Linea 8	0.0509	0.0455	0.02447	0.12087
				P = 1.76686

PU 10 ⁻³	Fase A	Fase B	Fase C	
Pérdidas(Q) PU				
Linea 1	0.1273	0.03708	0.1448	0.30918
Linea 2	0.1126	0.03349	0.1258	0.27189
Linea 3	0.0987	0.03009	0.1081	0.23689
Linea 4	0.0825	0.01948	0.1051	0.20708
Linea 5	0.0707	0.01709	0.0888	0.17659
Linea 6	0.0597	0.01486	0.0738	0.14836
Linea 7	0.0465	0.00659	0.0707	0.12379
Linea 8	0.0377	0.00533	0.0573	0.10033
				Q = 1.57411

Al comparar los voltajes sin capacitores Tabla 4.11 y con capacitores de 600 KVAR en el nodo 5 y nodo 8 Tabla 4.15, se observa que para el caso de instalar los capacitores el voltaje se modifica ligeramente en los nodos. De la Tabla 4.12 donde se estudia el sistema trifásico de 10 nodos sin capacitores se tienen pérdidas (aparentes) de un valor de 2.507 pu, pérdidas reales de un valor de 1.93 pu y requerimientos reactivos de un valor de 1.59979 pu. De la Tabla 4.14 donde se estudia el sistema trifásico de 10 nodos con un capacitor de 600 KVAR en el nodo 5 del circuito de distribución se tienen pérdidas (aparentes) de un valor de 2.17 pu, pérdidas reales de un valor de 1.6586 pu y requerimientos de reactivos por un valor de 1.40032 pu. De lo anterior se observa nuevamente, como en el caso anterior, que las pérdidas del circuito disminuyen al instalar el capacitor.

En la Figura 4.13 se representa el caso a estudiar, consistente en instalar un capacitor de 600 KVAR en el nodo 5, otro en el nodo 8 y otro más en el nodo 10, mostrándose los resultados en la Tabla 4.17. El circuito tiene 10 nodos, una carga balanceada y uniformemente distribuida en nodos 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 con un valor de 6 MVA, factor de potencia de 0.8 atrasado. En el nodo 10 se presenta una carga de 6 MVA con un factor de potencia de 0.8 atrasado. Capacitor de 600 KVAR en nodos 5, 8 y 10.

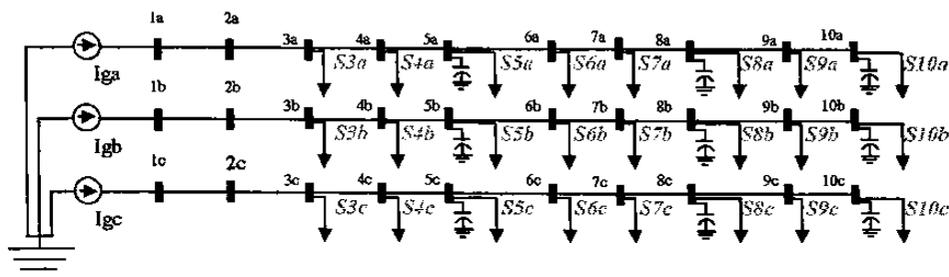


Fig. 4.13 Sistema trifásico de 10 nodos carga balanceada y uniformemente distribuida en nodos 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 con un valor de 6 MVA, factor de potencia de 0.8 atrasado. Y en el nodo 10 se presenta una carga de 6 MVA con un factor de potencia de 0.8 atrasado. Capacitor de 600 KVAR en nodos 5,8 y 10.

Tabla 4.17 Voltaje Nodal, factor de potencia del sistema trifásico de 10 nodos.

Voltaje PU	Fase A	Fase B	Fase C
N1	0.9984	0.9984	0.9984
N2	0.9982	0.9982	0.9982
N3	0.9940	0.9962	0.9948
N4	0.9902	0.9943	0.9916
N5	0.9867	0.9927	0.9888
N6	0.9832	0.9910	0.9859
N7	0.9801	0.9895	0.9833
N8	0.9772	0.9881	0.9810
N9	0.9745	0.9867	0.9787
N10	0.9720	0.9855	0.9766
Factor Pot.	0.8672	0.8649	0.8642
Áng. Volt. N2	29.8297	-90.170	149.8298
Áng. Corr. IL1	-0.0330	-120.3032	119.6173

Tabla 4.18 Pérdidas de potencia del sistema trifásico de 10 nodos con capacitores de 600 KVAR en el nodo 5, nodo 8 y nodo 10 de la red de distribución.

PU*e ⁻³				
Pérdidas(S)				
PU	Fase A	Fase B	Fase C	
Línea 1	0.1666	0.1219	0.1633	0.4518
Línea 2	0.1453	0.1060	0.1423	0.3936
Línea 3	0.1253	0.0912	0.1228	0.3393
Línea 4	0.1139	0.0829	0.1117	0.3085
Línea 5	0.0961	0.0698	0.0943	0.2602
Línea 6	0.0798	0.0579	0.0783	0.216
Línea 7	0.0710	0.0514	0.0697	0.1921
Línea 8	0.0570	0.0413	0.0559	0.1542
			Suma=====	2.3157
PU*e ⁻³	Pot Apar(S) =	(P ² +Q ²) ^{1/2}	2.24746847	
Pérdidas(P)				
PU	Fase A	Fase B	Fase C	
Línea 1	0.1040	0.1130	0.1018	0.3188
Línea 2	0.0885	0.0975	0.0906	0.2766
Línea 3	0.0742	0.0831	0.0799	0.2372
Línea 4	0.0755	0.0783	0.0647	0.2185
Línea 5	0.0623	0.0656	0.0559	0.1838
Línea 6	0.0504	0.0539	0.0478	0.1521
Línea 7	0.0510	0.0498	0.0356	0.1364
Línea 8	0.0403	0.0398	0.0293	0.1094
				P=1.6328
Pérdidas(Q)				
PU	Fase A	Fase B	Fase C	
Línea 1	0.1302	0.04581	0.1277	0.30371
Línea 2	0.1152	0.04157	0.1098	0.26657
Línea 3	0.1010	0.03751	0.0932	0.23171
Línea 4	0.0853	0.02698	0.0911	0.20338
Línea 5	0.0732	0.02392	0.0759	0.17302
Línea 6	0.0620	0.02103	0.0620	0.14503
Línea 7	0.0494	0.01284	0.0599	0.12214
Línea 8	0.0403	0.01091	0.0476	0.09881
				Q=1.54437

Al comparar los voltajes sin capacitores Tabla 4.11 y con capacitores de 600 KVAR en el nodo 5, 8 y nodo 10 Tabla 4.17, se observa que para el caso de instalar los capacitores el voltaje se eleva en los nodos del circuito de distribución. De la Tabla 4.12 donde se

estudia el modelo de 10 nodos sin capacitores se tienen pérdidas (aparentes) de un valor de 2.507 pu, pérdidas reales de un valor de 1.93 pu y requerimientos de reactivos por un valor de 1.59979 pu. De la Tabla 4.18 donde se estudia el modelo de 10 nodos con tres capacitores de 600 KVAR en el nodo 5, otro en el nodo 8 y el último en el nodo 10 del circuito de distribución se tienen pérdidas (aparentes) de un valor de 2.24746847 pu, pérdidas reales de un valor de 1.6328 pu y pérdidas reactivas de un valor de 1.54437 pu. De lo anterior se observa que las pérdidas del circuito disminuyen al instalar el capacitor.

En la Figura 4.14 se representa el siguiente caso a estudiar, es instalar seis capacitores de 600 KVAR en el nodo 3, nodo 4, nodo 5, nodo 6, nodo 7, nodo 8, y otro en el nodo 10 de 3600 KVAR, mostrándose los resultados en la Tabla 4.19 Circuito de 10 nodos carga balanceada y uniformemente distribuida en nodos 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 con un valor de 6 MVA, factor de potencia de 0.8 atrasado. En el nodo 10 se presenta una carga de 6 MVA con un factor de potencia de 0.8 atrasado. Capacitor de 600 KVAR en nodos 3, 4, 5, 6, 7 y 8. Capacitor de 3600 KVAR en nodo 10

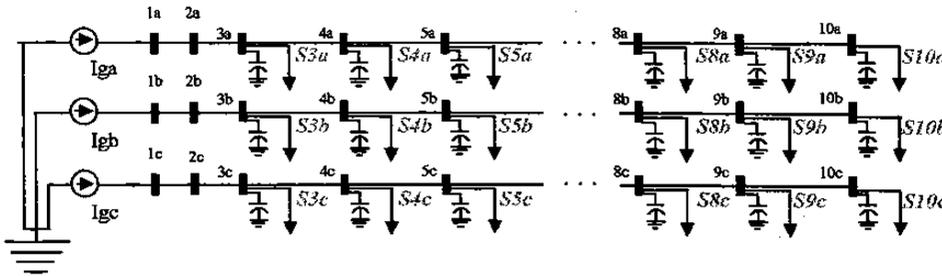


Figura 4.14 Sistema trifásico de 10 nodos carga balanceada y uniformemente distribuida en nodos 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 con un valor de 6 MVA, factor de potencia de 0.8 atrasado. En el nodo 10 se presenta una carga de 6 MVA con un factor de potencia de 0.8 atrasado. Capacitor de 600 KVAR en nodos 3,4,5,6,7 y 8. Capacitor de 3600 KVAR en nodo 10

Tabla 4.19 Voltaje Nodal, factor de potencia del sistema trifásico de 10 nodos con capacitores de 600 KVAR en el nodo 3, 4, 5, 6, 7, y 8; capacitor de 3600 KVAR en el nodo 10 de la red de distribución.

Voltaje PU	Fase A	Fase B	Fase C
N1	0.9989	0.9989	0.9989
N2	0.9988	0.9988	0.9988
N3	0.9963	0.9984	0.9974
N4	0.9940	0.9980	0.9961
N5	0.9917	0.9976	0.9948
N6	0.9896	0.9972	0.9935
N7	0.9876	0.9968	0.9923
N8	0.9857	0.9963	0.9911
N9	0.9839	0.9958	0.9899
N10	0.9824	0.9955	0.9890
Factor Pot.	0.9999	0.9999	0.9998
Áng. Volt. N2	29.830	-90.1698	149.8301
Áng. Corr. IL1	28.942	-90.9977	148.7892

Tabla 4.20 Pérdidas de potencia del sistema trifásico de 10 nodos con capacitores de 600 KVAR en el nodo 3, 4, 5,6, y 8; en nodo 10 se tiene un capacitor de 3,600 KVAR.

PUx10 ⁻³				
Pérdidas(S)PU	Fase A	Fase B	Fase C	
Línea 1	0.1251	0.09168	0.1205	0.33728
Línea 2	0.1102	0.08056	0.1061	0.29686
Línea 3	0.0963	0.07023	0.0926	0.25913
Línea 4	0.0833	0.06066	0.0801	0.22406
Línea 5	0.0713	0.05186	0.0686	0.19176
Línea 6	0.0604	0.04383	0.0581	0.16233
Línea 7	0.0504	0.03657	0.0485	0.13547
Línea 8	0.0402	0.02916	0.0387	0.10806
			Suma=====	1.71495
PUx10 ⁻³	PotApar(S)=(P ² +Q ²) ^{1/2}			0.87970568
Pérdidas (P) PU	Fase A	Fase B	Fase C	
Línea 1	0.04096	0.01405	0.1196	0.17461
Línea 2	0.03254	0.01507	0.1057	0.15331
Línea 3	0.02486	0.01581	0.0925	0.13317
Línea 4	0.01794	0.01628	0.0801	0.11432
Línea 5	0.01178	0.01649	0.0685	0.09677
Línea 6	0.00637	0.01642	0.0577	0.08049
Línea 7	0.00173	0.01610	0.0476	0.06543
Línea 8	0.00662	0.00930	0.0386	0.05452
				P=0.87262

PUx10 ⁻⁴	Fase A	Fase B	Fase C	
Pérdidas(Q) PU				
Línea 1	0.1182	0.09059	0.01443	0.22322
Línea 2	0.1053	0.07914	0.00894	0.19338
Línea 3	0.0930	0.06842	0.00409	0.16551
Línea 4	0.0813	0.05843	0.00011	0.13984
Línea 5	0.0704	0.04917	0.00370	0.12327
Línea 6	0.0600	0.04064	0.00666	0.10730
Línea 7	0.0504	0.03283	0.00902	0.09225
Línea 8	0.0397	0.02764	0.00218	0.06952
				Q=1.11429

Al comparar los voltajes sin capacitores en la Tabla 4.11 y voltaje con capacitores de 600 KVAR en el nodo 3, 4, 5, 6, 7, y 8 ,además de un capacitor de 3,600 KVAR en el nodo 10, lo cual se muestra en la Tabla 4.19, se observa que para el caso de instalar los capacitores el voltaje se mantiene casi constante en la red.

De la Tabla 4.12 donde se estudia el sistema trifásico de 10 nodos sin capacitores se tienen pérdidas (aparentes) de un valor de 2.507 pu, pérdidas reales de un valor de 1.93 pu y pérdidas reactivas de un valor de 1.59979 pu. De la Tabla 4.20 donde se estudia el sistema trifásico de 10 nodos con seis capacitores de 600 KVAR en el nodo 3, 4, 5, 6, 7, y 8, además de un capacitor de 3600 KVAR en el nodo 10 del circuito de distribución se tienen pérdidas (aparentes) de un valor de 0.87970568 pu, pérdidas reales de un valor de 0.87262 pu y pérdidas reactivas de un valor de 0.111429 pu. De lo anterior se observa que las pérdidas del circuito disminuyen al instalarse capacitores.

En la Tabla 4.21 se muestra cómo se incrementa el factor de potencia a que opera el circuito, al ir incrementando los capacitores instalados en la red de distribución.

Tabla 4.21 Incremento del factor de potencia en el sistema trifásico de 10 nodos al instalar capacitores., en la red de distribución.

Sistema trifásico de 10 nodos con capacitores.			
1 Capacitor 600 KVAR en nodo 5.			
	Fase A	Fase B	Fase C
Factor Pot.	0.7961	0.7921	0.7917
Áng. Volt. N2	29.8295	-90.1701	149.8297
Áng. Corr. IL1	-7.412	-127.7858	112.1773
2 Capacitor 600 KVAR en nodo 5 y nodo 8.			
	Fase A	Fase B	Fase C
Factor Pot.	0.8198	0.8198	0.8158
Áng. Volt. N2	29.8295	-90.1701	149.8297
Áng. Corr. IL1	-4.285	-125.4517	114.495
3 Capacitor 600 KVAR en nodo 5, 8 y nodo 10.			
	Fase A	Fase B	Fase C
Factor Pot.	0.8436	0.8407	0.8401
Áng. Volt. N2	29.8296	-90.17	149.8298
Áng. Corr. IL1	-2.6451	-122.9554	116.9773
6 Capacitor 600 KVAR en nodo 3,4, 5,6,7 y 8, y banco de 3600 KVAR en el nodo 10.			
	Fase A	Fase B	Fase C
Factor Pot.	0.9999	0.9999	0.9998
Áng. Volt. N2	29.83	-90.1698	149.8301
Áng. Corr. IL1	28.942	-90.9977	148.7892

La Figura 4.15 muestra una gráfica del voltaje nodal de la fase A perteneciente al sistema trifásico de 10 nodos; exponiendo los diferentes casos en los que se instalan bancos de capacitores de capacidad predeterminada en los nodos.

Caso1: Sistema trifásico de 10 nodos carga balanceada y carga uniformemente distribuida en nodos 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 con un valor de 6 MVA, factor de potencia de 0.8 atrasado. En el nodo 10 se presenta una carga de 6 MVA con un factor de potencia de 0.8 atrasado.

Caso 2: Sistema trifásico de 10 nodos carga balanceada y uniformemente distribuida en nodos 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 con un valor de 6 MVA, factor de potencia de 0.8 atrasado. En el nodo 10 se presenta una carga de 6 MVA con un factor de potencia de 0.8 atrasado. Capacitor de 600 KVAR en nodo 5.

Caso 3: Sistema trifásico de 10 nodos carga balanceada y uniformemente distribuida en nodos 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 con un valor de 6 MVA, factor de potencia de 0.8 atrasado. En el nodo 10 se presenta una carga de 6 MVA con un factor de potencia de 0.8 atrasado. Capacitor de 600 KVAR en nodos 5 y 8.

Caso 4: Sistema trifásico de 10 nodos carga balanceada y uniformemente distribuida en nodos 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 con un valor de 6 MVA, factor de potencia de 0.8 atrasado. En el nodo 10 se presenta una carga de 6 MVA con un factor de potencia de 0.8 atrasado. Capacitor de 600 KVAR en nodos 5, 8 y 10.

Caso 5: Sistema trifásico de 10 nodos carga balanceada y uniformemente distribuida en nodos 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 con un valor de 6 MVA, factor de potencia de 0.8 atrasado. En el nodo 10 se presenta una carga de 6 MVA con un factor de potencia de 0.8 atrasado. Capacitor de 600 KVAR en nodos 3, 4, 5, 6, 7 y 8. Capacitor de 3,600 KVAR en nodo 10

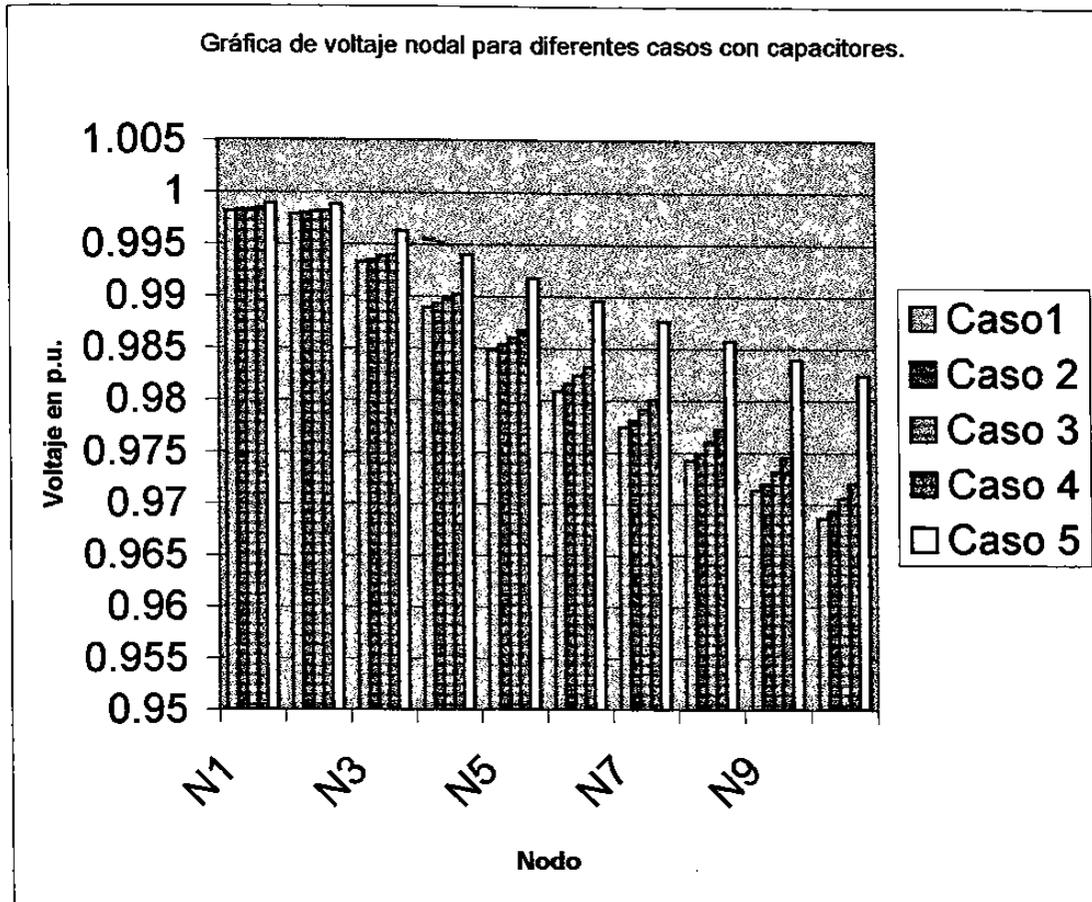


Figura 4.15 Gráfica del voltaje nodal de la fase A para el sistema trifásico de 10 nodos; se presentan diferentes casos.

La Tabla 4.22 muestra como disminuyen las pérdidas en el sistema trifásico de 10 nodos; se presenta los casos al instalar capacitores de capacidad predeterminada en los nodos.

Tabla 4.22 Pérdidas del sistema trifásico de 10 nodos para diferentes casos en que se instalan bancos de capacitores en diferentes nodos.

Pérdidas(S)	Caso1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
10 nodos	2.50700564	2.45793594	2.36635089	2.24746847	0.87970568
Pérdidas(P)	Caso1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
10 nodos	1.93022	1.87238	1.76686	1.6328	0.87262
Pérdidas(Q)	Caso1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
10 nodos	1.59979	1.59237	1.57411	1.54437	1.11429

4.4. Necesidades de capacitores.

De la Tabla 4.19 se determina que el valor requerido de capacitores a instalar en el sistema trifásico de 10 nodos y es de 7,200 KVAR; debido a que en este caso el circuito ya se encuentra operando a un factor de potencia unitario.

De la Tabla 4.20 se puede concluir que para este caso de estudio el valor obtenido da el menor valor de pérdidas para el circuito, aún cuando no se presenta el caso para ubicar los capacitores en otros nodos diferentes a los sugeridos en este trabajo.

De acuerdo con el procedimiento presentado en este trabajo, primeramente se analizan las condiciones de operación actuales del circuito en estudio, como son los voltajes nodales, las pérdidas y el factor de potencia. Enseguida se analizan las condiciones del circuito al instalar un capacitor de 600 KVAR en un nodo del circuito de distribución; se calculan voltajes nodales, las pérdidas y el factor de potencia a que operar el circuito, con el capacitor instalado. En el siguiente paso se analizan las condiciones de operación al incluir la instalación de un segundo capacitor. Se procede en esta forma hasta obtener un factor de potencia unitario, de esta condición se puede determinar las necesidades máximas de capacitores para tener un factor de potencia unitario en el circuito de distribución. Para resolver el problema de pérdidas mínimas se debe calcular las diferentes combinaciones posibles de capacitores requeridos y nodos del circuito.

4.5. Políticas operativas de los taps.

De acuerdo con la Guía para Planeación de Sistemas Eléctricos de Distribución [12], la regulación del voltaje debe ser menor al 5% para líneas de distribución de media tensión.

De la grafica de la Figura 4.15 se observa que el voltaje en el sistema trifásico de 10 nodos se mantiene a valores menores de 1.05 pu y de la grafica de la Figura 4.16 se concluye

que el voltaje nodal se mantiene a valores mayores de 0.965, lo cual se encuentra dentro de los límites establecidos por la Guía de Planeación de Sistemas Eléctricos de Distribución.

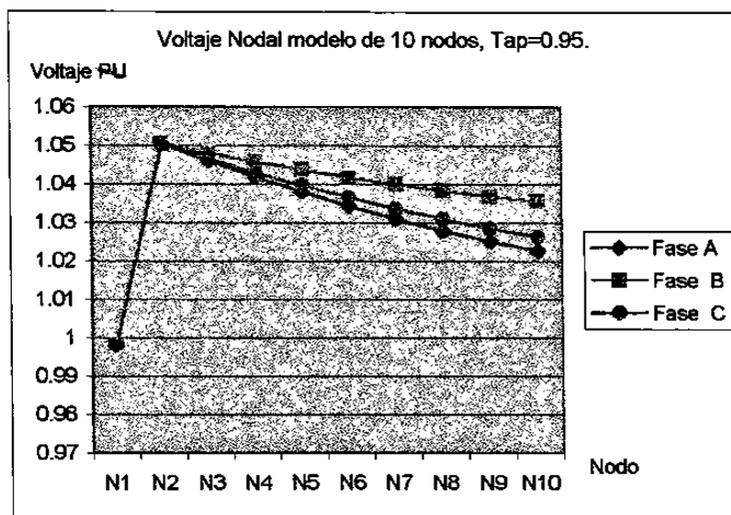


Fig. 4.16 Voltaje nodal para el sistema trifásico de 10 nodos, utilizando cambiador de taps en un valor de 0.95.

Tabla 4.23 Voltaje nodal del sistema trifásico de 10 nodos con tap en valor de 0.95.

Tap=0.95	Fase A	Fase B	Fase C
N1	0.9982	0.9982	0.9982
N2	1.0505	1.0505	1.0505
N3	1.0460	1.0481	1.0466
N4	1.0419	1.0458	1.0430
N5	1.0380	1.0437	1.0396
N6	1.0343	1.0418	1.0365
N7	1.0310	1.0400	1.0336
N8	1.0279	1.0383	1.0310
N9	1.0252	1.0369	1.0286
N10	1.0227	1.0355	1.0264

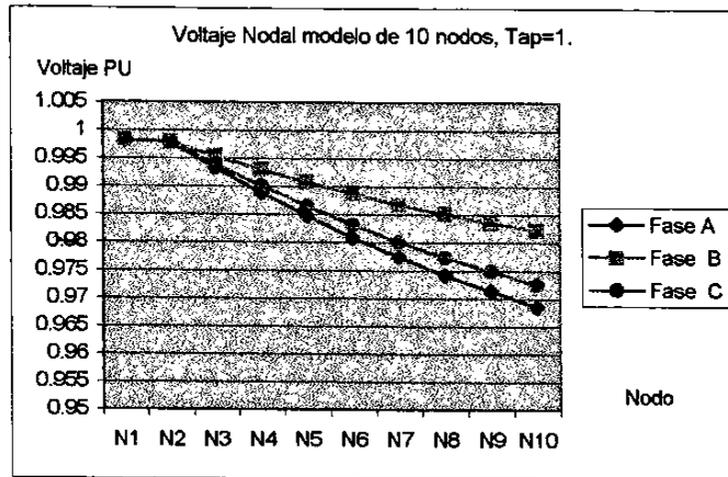


Fig. 4.17 Voltaje nodal para el sistema trifásico de 10 nodos, utilizando cambiador de taps en un valor de 1.0.

Tabla 4.24 Voltaje nodal del sistema trifásico de 10 nodos con tap en valor 1.0.

Tap = 1.0	Fase A	Fase B	Fase C
N1	0.9982	0.9982	0.9982
N2	0.9979	0.9979	0.9979
N3	0.9933	0.9954	0.9939
N4	0.9889	0.993	0.9901
N5	0.9848	0.9908	0.9865
N6	0.9809	0.9888	0.9832
N7	0.9774	0.9869	0.9801
N8	0.9742	0.9852	0.9773
N9	0.9713	0.9836	0.9748
N10	0.9686	0.9822	0.9725

4.6 Resumen

En este capítulo se presentó la metodología usada para calcular pérdidas, éstas se calculan para los sistemas trifásicos de cinco, diez y veintidós nodos. También se estudió la reducción de pérdidas mediante el movimiento de taps como variable de control y se analizaron los sistemas de diez y veintidós nodos. Además se planteó la reducción de pérdidas al instalar capacitores en el circuito de distribución. Para ilustrar el procedimiento se trabajó el sistema de diez nodos.

CAPITULO 5

FACTORES DE SENSITIVIDAD EN REDES ELÉCTRICAS DE DISTRIBUCIÓN.

5.1 Introducción.

En el análisis de los sistemas eléctricos operando en estado estable es de gran importancia conocer los efectos sobre el sistema, provocados por pequeños cambios en las variables de control. En este trabajo se estudian "variables de control" como la carga, la modificación de la posición del tap en un transformador de potencia y la conexión o desconexión de capacitores en la red de distribución. Los efectos a analizar serán sobre el voltaje nodal y cómo se afectan las pérdidas en el circuito de distribución. Los sistemas con los que se efectúa este trabajo son: un sistema trifásico de 5 nodos y un sistema trifásico de 10 nodos. Se obtiene el efecto causado en diferentes nodos bajo un cambio pequeño en la variable de control.

El procedimiento que se aplica para obtener los coeficientes de sensibilidad es el siguiente: primero se resuelve un caso base, después se resuelve otro caso con la variable de control modificada. Con la diferencia en los resultados se calculan los coeficientes de sensibilidad. Debido a que el problema de flujos es no lineal los coeficientes obtenidos serán válidos para valores cercanos al punto de operación de estado estable.

5.2 Coeficientes de sensibilidad para el sistema trifásico de 5 nodos, perturbando la carga en diferentes nodos.

En la Tabla 5.1 se lista el caso base para el sistema trifásico de 5 nodos, mostrándose los voltajes nodales.

Tabla 5.1 Voltaje nodal del sistema trifásico de 5 nodos, caso base.

Voltaje PU	Fase A	Fase B	Fase C
N1	0.9997	0.9997	0.9997
N2	0.9997	0.9997	0.9997
N3	0.9990	0.9996	0.9993
N4	0.9989	0.9996	0.9993
N5	0.9989	0.9996	0.9993

En la Tabla 5.2 se muestran los resultados del sistema trifásico de 5 nodos para un cambio pequeño de potencia neta (carga) en el nodo 5 con un valor de 0.001 pu.

Tabla 5.2 Voltaje nodal del sistema trifásico de 5 nodos, perturbación P_{neta} en nodo 5.

Voltaje PU	Fase A	Fase B	Fase C
N1	0.9997	0.9997	0.9997
N2	0.9997	0.9997	0.9997
N3	0.9990	0.9996	0.9993
N4	0.9989	0.9996	0.9993
N5	0.9989	0.9996	0.9993

En la Tabla 5.3 se muestra los resultados del sistema trifásico de 5 nodos para un cambio de potencia neta (carga) en el nodo 4 con un valor de 0.001 pu.

Tabla 5.3 Voltaje nodal del sistema trifásico de 5 nodos, perturbación P_{neta} en nodo 4.

Voltaje PU	Fase A	Fase B	Fase C
N1	0.9997	0.9997	0.9997
N2	0.9997	0.9997	0.9997
N3	0.9990	0.9996	0.9993
N4	0.9989	0.9996	0.9993
N5	0.9989	0.9996	0.9993

De las Tablas 5.1, 5.2 y 5.3 se determina que una perturbación de carga de 0.001 pu, equivalente a 0.3 MVA, en los nodos 4 y 5 del sistema trifásico de 5 nodos no tiene efecto sensible en los voltajes nodales debido a que es un circuito con una longitud de 400 metros. Se debe puntualizar que la carga en el nodo 4 es de 3.3 MVA o sea de 0.033 pu trifásicos y en el nodo 5 la carga es de 2.4 MVA, o sea de 0.024 pu trifásicos.

A continuación se presenta en las Tabla 5.4 a 5.6 el caso base para el sistema trifásico de 5 nodos mostrándose los cambios de potencia aparente, las pérdidas de potencia real y los requerimientos de potencia reactiva.

Tabla 5.4 Pérdidas de potencia aparente para el sistema trifásico de 5 nodos; caso base.

Pérdidas(S) PU	Fase A	Fase B	Fase C	PU*e-5
Línea 1	0.4661	0.3419	0.5798	1.3878
Línea 2	0.0312	0.0229	0.0389	0.0930
Línea 3	0.0165	0.0121	0.0206	0.0492
Pot Apar(S)=	1.43235481	Suma=====		1.53

Tabla 5.5 Pérdidas de potencia real para el sistema trifásico de 5 nodos; caso base.

Pérdidas(P) PU	Fase A	Fase B	Fase C	PU*e-5
Línea 1	0.3605	0.2184	0.579	1.1579
Línea 2	0.0242	0.0146	0.0388	0.0776
Línea 3	0.0128	0.0077	0.0205	0.0410
				1.2765

Tabla 5.6 Requerimientos en potencia reactiva para el sistema trifásico de 5 nodos; caso base.

Pérdidas(Q) PU	Fase A	Fase B	Fase C	PU*e-5
Línea 1	0.2955	0.2631	0.03081	0.58941
Línea 2	0.0198	0.0176	0.00206	0.03946
Línea 3	0.0105	0.0093	0.00109	0.02089
				0.64976

En las Tablas 5.7, 5.8 y 5.9 se muestran los resultados para un cambio de potencia neta (carga), en el nodo 5 con un valor de 0.001 pu en el sistema trifásico de cinco nodos.

Tabla 5.7 Pérdidas de potencia aparente para el sistema trifásico de 5 nodos, para una perturbación de P_{neta} en el nodo 5 de un valor de 0.001 pu.

Pérdidas(S) PU	Fase A	Fase B	Fase C	PU*e-5
Línea 1	0.5165	0.3788	0.6425	1.5378
Línea 2	0.0312	0.0229	0.0389	0.093
Línea 3	0.0209	0.0153	0.026	0.0622
Pot Apar(S)=	1.58496442	Suma=====		1.693

Tabla 5.8 Pérdidas de potencia real para el sistema trifásico de 5 nodos, para una perturbación de P_{neta} en el nodo 5 de un valor de 0.001 pu.

Pérdidas(P) PU	Fase A	Fase B	Fase C	PU*e-5
Línea 1	0.3995	0.2419	0.6416	1.283
Línea 2	0.0242	0.0146	0.0388	0.0776
Línea 3	0.0162	0.0098	0.026	0.052
				1.4126

Tabla 5.9 Requerimientos de potencia reactiva del sistema trifásico de 5 nodos, para una perturbación de P_{neta} en el nodo 5 de un valor de 0.001 pu.

Pérdidas(Q) PU	Fase A	Fase B	Fase C	PU*e-5
Línea 1	0.3274	0.2915	0.03397	0.65287
Línea 2	0.0198	0.0176	0.00205	0.03945
Línea 3	0.0133	0.0118	0.00138	0.02648
				0.7188

En las Tablas 5.10, 5.11 y 5.12 muestran los resultados para el sistema trifásico de 5 nodos para una perturbación de potencia neta (carga) en el nodo 4 con un valor de 0.001 pu.

Tabla 5.10 Pérdidas de potencia aparente para el sistema trifásico de 5 nodos, para una perturbación de P_{neta} en el nodo 4 de un valor de 0.001 pu

Pérdidas(S) PU	Fase A	Fase B	Fase C	PU*e-5
Línea 1	0.5165	0.3788	0.6425	1.5378
Línea 2	0.0372	0.0273	0.0463	0.1108
Línea 3	0.0165	0.0121	0.0206	0.0492
Pot Apar(S)=	1.58925366	Suma=====		1.6978

Tabla 5.11 Pérdidas de potencia real para el sistema trifásico de 5 nodos, para una perturbación de P_{neta} en el nodo 4 de un valor de 0.001 pu.

Pérdidas(P) PU	Fase A	Fase B	Fase C	PU*e-5
Línea 1	0.3995	0.2419	0.6416	1.283
Línea 2	0.0288	0.0174	0.0462	0.0924
Línea 3	0.0128	0.0077	0.0205	0.041
				1.4164

Tabla 5.12 Pérdidas de potencia aparente para el sistema trifásico de 5 nodos, para una perturbación de P_{neta} en el nodo 4 de un valor de 0.001 pu.

Pérdidas(Q) PU	Fase A	Fase B	Fase C	PU*e-5
Línea 1	0.3274	0.2915	0.03396	0.65286
Línea 2	0.0236	0.021	0.00244	0.04704
Línea 3	0.0105	0.0093	0.00109	0.02089
				0.72079

Con las Tablas 5.4, 5.5 y 5.6 para el caso base del sistema trifásico de 5 nodos, y para el caso de la perturbación de la potencia neta en el nodo 5 las Tablas 5.7, 5.8 y 5.9; y para la perturbación de la potencia en el nodo 4 las Tablas 5.10, 5.11 y 5.11, se presenta un resumen de valores de sensibilidad en la Tabla 5.13.

Tabla 5.13 Coeficientes de sensibilidad del sistema trifásico de 5 nodos para una perturbación de potencia real neta de 0.001 pu.

Modelo de 5 nodos.	Nodo 5	Nodo 4
$\Delta S^{perd}/\Delta P$	5.0867×10^{-4}	5.2297×10^{-4}
$\Delta P^{perd}/\Delta P$	4.5367×10^{-4}	4.6633×10^{-4}
$\Delta Q^{perdidas}/\Delta P$	2.0113×10^{-4}	2.3677×10^{-4}

5.3 Coeficientes de sensibilidad para el sistema trifásico de 5 nodos perturbando la posición del tap del transformador.

Para este estudio se cambiará el valor nominal del tap de 1.00 a 0.99, es decir en un 0.01 del valor de la relación nominal. En la Tabla 5.14 se muestra los voltajes nodales para un valor de tap de 0.99.

Tabla 5.14 Voltaje nodal del modelo de 5 nodos tap de 0.99.

Voltaje PU	Fase A	Fase B	Fase C
N1	0.9997	0.9997	0.9997
N2	1.0098	1.0098	1.0098
N3	1.0091	1.0097	1.0094
N4	1.0090	1.0097	1.0094
N5	1.0090	1.0097	1.0094

A continuación se presenta en las Tablas 5.15, 5.16 y 5.17 el caso para perturbación de tap de 0.01 para el sistema trifásico de 5 nodos mostrando las pérdidas de potencia aparente, pérdidas de potencia real y los requerimientos de potencia reactiva.

Tabla 5.15 Pérdidas de potencia aparente para el sistema trifásico de 5 nodos, tap en 0.99.

Pérdidas(S) PU	Fase A	Fase B	Fase C	PU*e-5
Línea 1	0.4568	0.3351	0.5683	1.3602
Línea 2	0.0306	0.0225	0.0381	0.0912
Línea 3	0.0162	0.0119	0.0201	0.0482
Pot Apar(S)=	1.56308036	Suma=====		1.4996

Tabla 5.16 Pérdidas de potencia real para el sistema trifásico de 5 nodos, tap en 0.99.

Pérdidas(P) PU	Fase A	Fase B	Fase C	PU*e-5
Línea 1	0.3533	0.2141	0.5675	1.1349
Línea 2	0.0237	0.0143	0.0380	0.0760
Línea 3	0.0125	0.0076	0.0201	0.0402
				1.2511

Tabla 5.17 Pérdidas de potencia reactiva para el sistema trifásico de 5 nodos, tap en 0.99.

Pérdidas(Q) PU	Fase A	Fase B	Fase C	PU*e-5
Línea 1	0.2896	0.2578	0.3025	0.8499
Línea 2	0.0194	0.0173	0.0203	0.0570
Línea 3	0.0103	0.0091	0.0107	0.0301
				0.9370

Enseguida se presenta el resumen de los coeficientes de sensibilidad para una perturbación del tap de un valor de 0.01 pu. Obteniéndose la información para la perturbación de las Tablas 5.14, 5.15, 5.16 y 5.17. Para el caso base se utiliza las Tablas 5.1, 5.4, 5.5 y 5.6.

Tabla 5.18 Coeficientes de sensibilidad para el sistema trifásico de 5 nodos para una perturbación de tap de -0.01 pu.

$\Delta V_2/\Delta \text{tap}$	9.82
$\Delta V_3/\Delta \text{tap}$	10.1
$\Delta V_4/\Delta \text{tap}$	1.01
$\Delta V_5/\Delta \text{tap}$	1.01
$\Delta S^{\text{perd}}/\Delta \text{tap}$	-1.3073×10^{-4}
$\Delta P^{\text{perd}}/\Delta \text{tap}$	2.5400×10^{-5}
$\Delta Q^{\text{perd}}/\Delta \text{tap}$	2.87240×10^{-4}

5.4 Coeficientes de sensibilidad para el sistema trifásico de 10 nodos perturbando la carga en diferentes nodos.

A continuación se presenta el caso base para el sistema trifásico de 10 nodos, en la Tabla 5.19 se muestra los voltajes nodales.

Tabla 5.19 Voltaje nodal del sistema trifásico de 10 nodos caso base.

Voltaje PU	Fase A	Fase B	Fase C
N1	0.9982	0.9982	0.9982
N2	0.9979	0.9979	0.9979
N3	0.9933	0.9954	0.9939
N4	0.9889	0.993	0.9901
N5	0.9848	0.9908	0.9865
N6	0.9809	0.9888	0.9832
N7	0.9774	0.9869	0.9801
N8	0.9742	0.9852	0.9773
N9	0.9713	0.9836	0.9748
N10	0.9686	0.9822	0.9725

A continuación se presenta en las Tabla 5.20, 5.21 y 5.22 el caso base para el modelo de 10 nodos mostrando los cambios de potencia aparente, las pérdidas de potencia real y los requerimientos de potencia reactiva.

Tabla 5.20 Pérdidas de potencia aparente para el sistema trifásico de 10 nodos; caso base.

Pérdidas(S) PU	Fase A	Fase B	Fase C	PU*e-3
Línea 1	0.1984	0.1452	0.1957	0.5393
Línea 2	0.1748	0.1276	0.1725	0.4749
Línea 3	0.1526	0.1112	0.1506	0.4144
Línea 4	0.1318	0.0959	0.1302	0.3579
Línea 5	0.1125	0.0817	0.1111	0.3053
Línea 6	0.0947	0.0686	0.0935	0.2568
Línea 7	0.0783	0.0567	0.0774	0.2124
Línea 8	0.0635	0.0460	0.0627	0.1722
Pot Apar(S)=	2.50700564	Suma=====		2.7332

Tabla 5.21 Pérdidas de potencia real para el sistema trifásico de 10 nodos; caso base.

Pérdidas(P) PU	Fase A	Fase B	Fase C	PU*e-3
Línea 1	0.1591	0.1442	0.07871	0.38201
Línea 2	0.1402	0.1267	0.06905	0.33595
Línea 3	0.1223	0.1104	0.06005	0.29275
Línea 4	0.1057	0.0952	0.05170	0.2526
Línea 5	0.0902	0.0811	0.04399	0.21529
Línea 6	0.0758	0.0682	0.03693	0.18093
Línea 7	0.0627	0.0564	0.03050	0.1496
Línea 8	0.0508	0.0456	0.02469	0.12109
				1.93022

Tabla 5.22 Requerimientos de potencia reactiva, sistema trifásico de 10 nodos caso base.

Pérdidas(Q) PU	Fase A	Fase B	Fase C	PU*e-3
Línea 1	0.1186	0.01753	0.1792	0.31533
Línea 2	0.1045	0.01524	0.1580	0.27774
Línea 3	0.0913	0.01314	0.1381	0.24254
Línea 4	0.0789	0.01123	0.1194	0.20953
Línea 5	0.0673	0.00950	0.1020	0.1788
Línea 6	0.0566	0.00794	0.0859	0.15044
Línea 7	0.0469	0.00653	0.0711	0.12453
Línea 8	0.0380	0.00528	0.0576	0.10088
				1.59979

En la Tabla 5.23 se muestran los resultados del sistema trifásico de 10 nodos para una perturbación de potencia neta (carga) en el nodo 4 con un valor de 0.001 pu.

Tabla 5.23 Voltaje nodal del sistema trifásico de 10 nodos para una perturbación P_{neta} en nodo 4.

Voltaje PU	Fase A	Fase B	Fase C
N1	0.9982	0.9982	0.9982
N2	0.9979	0.9979	0.9979
N3	0.9932	0.9954	0.9938
N4	0.9887	0.9930	0.9900
N5	0.9846	0.9908	0.9864
N6	0.9808	0.9888	0.9831
N7	0.9773	0.9869	0.9800
N8	0.9740	0.9852	0.9772
N9	0.9711	0.9836	0.9747
N10	0.9685	0.9822	0.9724

Para el nodo 2 se tiene de la Tabla 5.23 un voltaje base de 0.9979, el cual es para una perturbación de potencia real de un valor de 0.001. De la Tabla 5.19 se tiene un voltaje nodal de 0.9979 para el caso base. Comparando estos valores se concluye que prácticamente no hay cambio en los voltajes nodales al incrementar la potencia.

En las Tablas 5.24, 5.25 y 5.26 se muestran los resultados de pérdidas para el sistema trifásico de 10 nodos para una perturbación de potencia neta (carga) en el nodo 4 con un valor de 0.001 pu.

Tabla 5.24 Pérdidas de potencia aparente para el sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación de P_{neta} en el nodo 4 de un valor de 0.001 pu.

Pérdidas(S) PU	Fase A	Fase B	Fase C	PU*e-3
Línea 1	0.2065	0.1511	0.2035	0.5611
Línea 2	0.1824	0.1331	0.1798	0.4953
Línea 3	0.1527	0.1112	0.1506	0.4145
Línea 4	0.1319	0.0959	0.1302	0.3580
Línea 5	0.1126	0.0817	0.1111	0.3054
Línea 6	0.0947	0.0686	0.0935	0.2568
Línea 7	0.0783	0.0567	0.0774	0.2124
Línea 8	0.0635	0.0459	0.0627	0.1721
Pot Apar(S)=	2.55574355	Suma=====		2.7756

Tabla 5.25 Pérdidas de potencia real para el sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación de P_{neta} en el nodo 4 de un valor de 0.001 pu.

Pérdidas(P) PU	Fase A	Fase B	Fase C	PU*e-3
Linea 1	0.1620	0.1494	0.08717	0.39857
Linea 2	0.1428	0.1316	0.07700	0.35140
Linea 3	0.1224	0.1104	0.05997	0.29277
Linea 4	0.1057	0.0952	0.05163	0.25253
Linea 5	0.0902	0.0811	0.04393	0.21523
Linea 6	0.0759	0.0682	0.03688	0.18098
Linea 7	0.0628	0.0563	0.03045	0.14955
Linea 8	0.0509	0.0456	0.02466	0.12116
				1.96219

Tabla 5.26 Requerimientos por potencia reactiva para el sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación de P_{neta} en el nodo 4 de un valor de 0.001 pu.

Pérdidas(Q) PU	Fase A	Fase B	Fase C	PU*e-3
Linea 1	0.1281	0.02264	0.1839	0.33464
Linea 2	0.1134	0.02004	0.1625	0.29594
Linea 3	0.0913	0.01311	0.1382	0.24261
Linea 4	0.0789	0.01121	0.1195	0.20961
Linea 5	0.0673	0.00948	0.1021	0.17888
Linea 6	0.0566	0.00792	0.0859	0.15042
Linea 7	0.0469	0.00651	0.0711	0.12451
Linea 8	0.0380	0.00526	0.0577	0.10096
				1.63757

Enseguida las Tablas 5.27, 5.28 y 5.29 muestran los resultados de pérdidas del sistema trifásico de 10 nodos para una perturbación de potencia neta (carga) en el nodo 6 con un valor de 0.001 pu.

Tabla 5.27 Pérdidas en potencia aparente del sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación de P_{neto} en el nodo 6 de un valor de 0.001 pu.

Pérdidas(S) PU	Fase A	Fase B	Fase C	PU*e-3
Línea 1	0.2066	0.1511	0.2036	0.5613
Línea 2	0.1825	0.1331	0.1799	0.4955
Línea 3	0.1598	0.1163	0.1576	0.4337
Línea 4	0.1385	0.1006	0.1366	0.3757
Línea 5	0.1126	0.0817	0.1112	0.3055
Línea 6	0.0947	0.0686	0.0935	0.2568
Línea 7	0.0784	0.0567	0.0774	0.2125
Línea 8	0.0635	0.0459	0.0627	0.1721
Pot Apar(S)=	2.5988563	Suma=====		2.8131

Tabla 5.28 Pérdidas de potencia real del sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación de P_{neto} en el nodo 6 de un valor de 0.001 pu.

Pérdidas(P) PU	Fase A	Fase B	Fase C	PU*e-3
Línea 1	0.1621	0.1494	0.08713	0.39863
Línea 2	0.1429	0.1316	0.07696	0.35146
Línea 3	0.1249	0.1150	0.06745	0.30735
Línea 4	0.1080	0.0995	0.05859	0.26609
Línea 5	0.0903	0.0811	0.04388	0.21528
Línea 6	0.0759	0.0682	0.03683	0.18093
Línea 7	0.0628	0.0563	0.03041	0.14951
Línea 8	0.0509	0.0456	0.02463	0.12113
				1.99038

Tabla 5.29 Requerimientos de potencia reactiva del sistema trifásico 10 nodos, para una perturbación de P_{neto} en el nodo 6 de un valor de 0.001 pu.

Pérdidas(Q) PU	Fase A	Fase B	Fase C	PU*e-3
Línea 1	0.1282	0.02259	0.1840	0.33479
Línea 2	0.1135	0.01999	0.1626	0.29609
Línea 3	0.0997	0.01759	0.1424	0.25969
Línea 4	0.0867	0.01537	0.1234	0.22547
Línea 5	0.0673	0.00946	0.1021	0.17886
Línea 6	0.0567	0.00790	0.0860	0.15060
Línea 7	0.0469	0.00650	0.0712	0.12460
Línea 8	0.0380	0.00526	0.0577	0.10096
				1.67106

Tabla 5.30 Voltaje nodal del sistema trifásico de 10 nodos para una perturbación P_{neto} en nodo 6.

Voltaje PU	Fase A	Fase B	Fase C
N1	0.9982	0.9982	0.9982
N2	0.9979	0.9979	0.9979
N3	0.9932	0.9954	0.9938
N4	0.9887	0.9930	0.9900
N5	0.9845	0.9908	0.9864
N6	0.9806	0.9888	0.9830
N7	0.9771	0.9869	0.9800
N8	0.9739	0.9852	0.9772
N9	0.9709	0.9836	0.9746
N10	0.9683	0.9822	0.9723

De la Tabla 5.30 se toma el voltaje para una perturbación de potencia real de un valor de 0.001 y de la Tabla 5.19 tenemos el voltaje nodal para el caso base; al comparar estos valores se concluye que para el sistema trifásico de 10 nodos prácticamente no hay cambio en los voltajes nodales al incrementarse la potencia.

Enseguida las Tablas 5.31, 5.32 y 5.33 muestran los resultados de pérdidas del sistema trifásico de 10 nodos para una perturbación de potencia neta (carga) en el nodo 8 con un valor de 0.001 pu.

Tabla 5.31 Pérdidas de potencia aparente del sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación de P_{neto} en el nodo 8 de un valor de 0.001 pu.

Pérdidas(S) PU	Fase A	Fase B	Fase C	PU*e-3
Línea 1	0.2067	0.1511	0.2037	0.5615
Línea 2	0.1826	0.1331	0.1800	0.4957
Línea 3	0.1599	0.1163	0.1577	0.4339
Línea 4	0.1386	0.1006	0.1367	0.3759
Línea 5	0.1188	0.0861	0.1172	0.3221
Línea 6	0.1004	0.0727	0.0991	0.2722
Línea 7	0.0784	0.0567	0.0774	0.2125
Línea 8	0.0635	0.0459	0.0627	0.1721
Pot Apar(S)=	2.63605686	Suma=====		2.8459

Tabla 5.32 Pérdidas de potencia real del sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación de P_{neta} en el nodo 8 de un valor de 0.001 pu.

Pérdidas(P) PU	Fase A	Fase B	Fase C	PU*e-3
Línea 1	0.1621	0.1494	0.08710	0.3986
Línea 2	0.1430	0.1316	0.07693	0.35153
Línea 3	0.1250	0.1150	0.06742	0.30742
Línea 4	0.1081	0.0995	0.05857	0.26617
Línea 5	0.0924	0.0851	0.05035	0.22785
Línea 6	0.0779	0.0718	0.04278	0.19248
Línea 7	0.0628	0.0563	0.03038	0.14948
Línea 8	0.0509	0.0456	0.02459	0.12109
				2.01462

Tabla 5.33 Requerimientos de potencia reactiva del sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación de P_{neta} en el nodo 8 de un valor de 0.001 pu.

Pérdidas(Q) PU	Fase A	Fase B	Fase C	PU*e-3
Línea 1	0.1282	0.02255	0.1842	0.33495
Línea 2	0.1136	0.01995	0.1628	0.29635
Línea 3	0.0997	0.01755	0.1425	0.25975
Línea 4	0.0867	0.01533	0.1235	0.22553
Línea 5	0.0746	0.01329	0.1058	0.19369
Línea 6	0.0634	0.01142	0.0894	0.16422
Línea 7	0.0469	0.00649	0.0712	0.12459
Línea 8	0.0380	0.00525	0.0577	0.10095
				1.70003

Enseguida la Tabla 5.34 muestra los resultados del sistema trifásico de 10 nodos para una perturbación de potencia neta (carga) en el nodo 8 con un valor de 0.001 pu.

Tabla 5.34 Voltaje nodal del sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación P_{neta} en nodo 8.

Voltaje PU	Fase A	Fase B	Fase C
N1	0.9982	0.9982	0.9982
N2	0.9979	0.9979	0.9979
N3	0.9932	0.9954	0.9938
N4	0.9887	0.9930	0.9900
N5	0.9845	0.9908	0.9864
N6	0.9806	0.9888	0.9830
N7	0.9770	0.9869	0.9799
N8	0.9737	0.9851	0.9771
N9	0.9708	0.9836	0.9745
N10	0.9681	0.9822	0.9722

Enseguida las Tablas 5.35, 5.36 y 5.37 muestran los resultados de pérdidas del sistema trifásico de 10 nodos para una perturbación de potencia neta (carga) en el nodo 10 con valor de 0.001 pu.

Tabla 5.35 Pérdidas de potencia aparente del sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación de P_{neta} en el nodo 10 de un valor de 0.001 pu.

Pérdidas(S) PU	Fase A	Fase B	Fase C	PU*e-3
Linea 1	0.2068	0.1511	0.2038	0.5617
Linea 2	0.1827	0.1331	0.1801	0.4959
Linea 3	0.16	0.1163	0.1578	0.4341
Linea 4	0.1387	0.1006	0.1368	0.3761
Linea 5	0.1188	0.0861	0.1173	0.3222
Linea 6	0.1005	0.0727	0.0992	0.2724
Linea 7	0.0836	0.0604	0.0825	0.2265
Linea 8	0.0682	0.0493	0.0673	0.1848
Pot Apar(S)=	2.66724803 Suma=====			2.8737

Tabla 5.36 Pérdidas de potencia real del sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación de P_{neta} en el nodo 10 de un valor de 0.001 pu.

Pérdidas(P) PU	Fase A	Fase B	Fase C	PU*e-3
Línea 1	0.1622	0.1494	0.08707	0.39867
Línea 2	0.1430	0.1316	0.07691	0.35151
Línea 3	0.1250	0.1150	0.0674	0.30740
Línea 4	0.1081	0.0995	0.05854	0.26614
Línea 5	0.0924	0.0851	0.05033	0.22783
Línea 6	0.0779	0.0718	0.04276	0.19246
Línea 7	0.0646	0.0596	0.03582	0.16002
Línea 8	0.0525	0.0486	0.02951	0.13061
				2.03464

Tabla 5.37 Requerimientos de potencia reactiva del sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación de P_{neta} en el nodo 10 de un valor de 0.001 pu.

Pérdidas(Q) PU	Fase A	Fase B	Fase C	PU*e-3
Línea 1	0.1283	0.02252	0.1843	0.33512
Línea 2	0.1136	0.01992	0.1629	0.29642
Línea 3	0.0998	0.01752	0.1427	0.26002
Línea 4	0.0868	0.01531	0.1237	0.22581
Línea 5	0.0747	0.01327	0.1059	0.19387
Línea 6	0.0634	0.01140	0.0895	0.1643
Línea 7	0.0530	0.00969	0.0743	0.13699
Línea 8	0.0435	0.00813	0.0605	0.11213
				1.72466

Tabla 5.38 Voltaje nodal del sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación P_{neta} en nodo 10.

Voltaje PU	Fase A	Fase B	Fase C
N1	0.9982	0.9982	0.9982
N2	0.9979	0.9979	0.9979
N3	0.9932	0.9954	0.9938
N4	0.9887	0.9930	0.9900
N5	0.9845	0.9908	0.9864
N6	0.9806	0.9888	0.9830
N7	0.9770	0.9869	0.9799
N8	0.9737	0.9851	0.9770
N9	0.9707	0.9836	0.9745
N10	0.9680	0.9822	0.9721

A continuación se presenta la Tabla 5.39, donde se muestra un resumen de coeficientes de sensibilidad del sistema trifásico de 10 nodos cuando la perturbación de potencia real neta es de 0.001 pu. Se usa información de las Tablas 5.24; 5.25, 5.26, 5.27, 5.28, 5.29, 5.30, 5.31, 5.32 y 5.33; para los valores que se obtuvieron dada la perturbación. Las Tablas 5.20, 5.21, 5.22 se usan para el caso base.

Tabla 5.39 Coeficientes de sensibilidad para pérdidas del sistema trifásico de 10 nodos para una perturbación de potencia real neta de 0.001 pu.

	Nodo 4	Nodo 6	Nodo 8	Nodo 10
$\Delta S^{\text{perd}} / \Delta P_{\text{neta}}$	0.0162	3.0613×10^{-2}	0.0430	0.0534
$\Delta P^{\text{perd}} / \Delta P_{\text{neta}}$	1.0657×10^{-2}	2.0053×10^{-2}	0.0281	0.0348
$\Delta Q^{\text{perd}} / \Delta P_{\text{neta}}$	0.0126	0.0238	0.0334	0.0416

A continuación se presenta un resumen de coeficientes de sensibilidad de voltajes nodales para el sistema trifásico de 10 nodos, cuando la perturbación de potencia real neta es de 0.001 pu. Se usó para la perturbación la información de las Tablas 5.34; 5.38 y para los datos del caso base se usó la Tabla 5.19.

Tabla 5.40 Coeficientes de sensibilidad de voltajes nodales para el sistema trifásico de 10 nodos para una perturbación de potencia real neta de 0.001 pu.

	Nodo 8	Nodo 10
$\Delta V_5 / \Delta P_{\text{neta}}$	-0.1	-0.1
$\Delta V_9 / \Delta P_{\text{neta}}$	-0.1667	-0.1333

En el caso de la perturbación en el nodo 8 para el sistema trifásico de 10 nodos, el nodo 5, el nodo 4 y el nodo 6 tienen un comportamiento similar en la caída de tensión. El nodo 9, el nodo 8 y el nodo 10 tienen un comportamiento similar en la caída de tensión.

En el caso de la perturbación en el nodo 10 para el sistema trifásico de 10 nodos, el nodo 5, el nodo 4 y el nodo 6 tienen un comportamiento similar en la caída de tensión. El nodo 9, el nodo 8 y el nodo 10 tienen un comportamiento similar en la caída de voltaje.

5.5 Coeficientes de sensibilidad para el sistema trifásico de 10 nodos, perturbando el tap del transformador.

Enseguida las Tablas 5.41, 5.42 y 5.43 muestran los resultados de pérdidas del sistema trifásico de 10 nodos para un cambio pequeño en la posición del tap del transformador con un valor de 0.01 pu.

Tabla 5.41 Pérdidas de potencia aparente del sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación de tap de un valor de 0.01 pu.

Cambios(S) PU	Fase A	Fase B	Fase C	PU*e-3
Linea 1	0.1943	0.1423	0.1916	0.5282
Linea 2	0.1712	0.1251	0.1688	0.4651
Linea 3	0.1494	0.1090	0.1474	0.4058
Linea 4	0.1291	0.0940	0.1274	0.3505
Linea 5	0.1102	0.0801	0.1088	0.2991
Linea 6	0.0927	0.0673	0.0915	0.2515
Linea 7	0.0767	0.0556	0.0757	0.2080
Linea 8	0.0621	0.0450	0.0614	0.1685
Pot Apar(S)= 2.45572844 Suma=====				2.6767

Tabla 5.42 Pérdidas de potencia real del sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación del tap de un valor de 0.01 pu.

Pérdidas(P) PU	Fase A	Fase B	Fase C	PU*e-3
Linea 1	0.1558	0.1413	0.07721	0.37431
Linea 2	0.1372	0.1242	0.06774	0.32914
Linea 3	0.1198	0.1082	0.05891	0.28691
Linea 4	0.1035	0.0933	0.05072	0.24752
Linea 5	0.0883	0.0795	0.04316	0.21096
Linea 6	0.0743	0.0668	0.03623	0.17733
Linea 7	0.0614	0.0552	0.02992	0.14652
Linea 8	0.0498	0.0447	0.02422	0.11872
				1.89141

Tabla 5.43 Requerimientos de potencia reactiva del sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación del tap de un valor de 0.001 pu.

Pérdidas(Q) PU	Fase A	Fase B	Fase C	PU*e-3
Línea 1	0.1161	0.01725	0.1753	0.30865
Línea 2	0.1023	0.01500	0.1547	0.2720
Línea 3	0.0893	0.01294	0.1352	0.23744
Línea 4	0.0772	0.01106	0.1169	0.20516
Línea 5	0.0659	0.00936	0.0998	0.17506
Línea 6	0.0554	0.00782	0.0840	0.14722
Línea 7	0.0459	0.00643	0.0696	0.12193
Línea 8	0.0372	0.0052	0.0564	0.0988
				1.56626

Enseguida la Tabla 5.44 muestra los resultados del voltaje nodal para el sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación del tap con un valor de 0.01 pu.

Tabla 5.44 Voltaje nodal del sistema trifásico de 10 nodos, perturbación del tap de 0.01 pu.

Voltaje PU	Fase A	Fase B	Fase C
N1	0.9982	0.9982	0.9982
N2	1.008	1.008	1.008
N3	1.0034	1.0055	1.004
N4	0.999	1.0032	1.0002
N5	0.995	1.001	0.9967
N6	0.9912	0.999	0.9934
N7	0.9877	0.9971	0.9904
N8	0.9845	0.9954	0.9876
N9	0.9816	0.9939	0.9851
N10	0.979	0.9925	0.9829

A continuación la Tabla 5.45 presenta un resumen de coeficientes de sensibilidad para el sistema trifásico de 10 nodos cuando la perturbación del tap es de -0.01 pu. Se usan las Tablas 5.41; 5.42, 5.43,5.44 para obtener los valores correspondientes para la perturbación del tap. Para el caso base se usaron las Tablas 5.20, 5.21, 5.22.

Tabla 5.45 Coeficientes de sensibilidad para las pérdidas del sistema trifásico de 10 nodos para una perturbación de tap de -0.01 pu.

$\Delta S^{\text{perd}}/\Delta \text{tap}$	0.0051
$\Delta P^{\text{perd}}/\Delta \text{tap}$	0.0039
$\Delta Q^{\text{perd}}/\Delta \text{tap}$	0.0034
$\Delta V_2/\Delta \text{tap}$	-1.01
$\Delta V_5/\Delta \text{tap}$	-1.02
$\Delta V_8/\Delta \text{tap}$	-1.03
$\Delta V_{10}/\Delta \text{tap}$	-1.4

5.6 Coeficientes de sensibilidad para el sistema trifásico de 10 nodos, perturbando la potencia reactiva.

Enseguida las Tablas 5.46, 5.47 y 5.48 muestra los resultados de pérdidas para el sistema trifásico de 10 nodos para una perturbación de potencia reactiva neta (carga) en el nodo 5 con un valor de 0.001 pu (capacitiva).

Tabla 5.46 Pérdidas de potencia aparente para el sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación de Q_{neta} en el nodo 5 de un valor de 0.001 pu.

Pérdidas(S) PU	Fase A	Fase B	Fase C	PU*e-3
Línea 1	0.2065	0.1511	0.2035	0.5611
Línea 2	0.1824	0.1331	0.1799	0.4954
Línea 3	0.1597	0.1163	0.1575	0.4335
Línea 4	0.1319	0.0959	0.1302	0.358
Línea 5	0.1126	0.0817	0.1111	0.3054
Línea 6	0.0947	0.0686	0.0935	0.2568
Línea 7	0.0784	0.0567	0.0774	0.2125
Línea 8	0.0635	0.0459	0.0627	0.1721
Pot Apar(S)=	2.57781488	Suma=====		2.7948

Tabla 5.47 Pérdidas de potencia real para el sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación de Q_{neta} en el nodo 5 de un valor de 0.001 pu.

Pérdidas(P) PU	Fase A	Fase B	Fase C	PU*e-3
Línea 1	0.1620	0.1494	0.08715	0.39855
Línea 2	0.1429	0.1316	0.07698	0.35148
Línea 3	0.1248	0.1150	0.06747	0.30727
Línea 4	0.1058	0.0952	0.05160	0.25260
Línea 5	0.0902	0.0811	0.04391	0.21521
Línea 6	0.0759	0.0682	0.03685	0.18095
Línea 7	0.0628	0.0563	0.03043	0.14953
Línea 8	0.0509	0.0456	0.02464	0.12114
				1.97673

Tabla 5.48 Requerimientos de potencia reactiva para el sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación de Q_{neta} en el nodo 5 de un valor de 0.001 pu.

Pérdidas(Q) PU	Fase A	Fase B	Fase C	PU*e-3
Línea 1	0.1281	0.02262	0.1839	0.33462
Línea 2	0.1135	0.02001	0.1625	0.29601
Línea 3	0.0996	0.01761	0.1423	0.25951
Línea 4	0.0789	0.01120	0.1195	0.20960
Línea 5	0.0673	0.00947	0.1021	0.17887
Línea 6	0.0566	0.00791	0.0860	0.15051
Línea 7	0.0469	0.00651	0.0711	0.12451
Línea 8	0.0380	0.00526	0.0577	0.10096
				1.65459

Enseguida la Tabla 5.49 muestra los resultados del voltaje nodal para una perturbación de potencia reactiva neta (carga) en el nodo 5 con un valor de 0.001 pu.

Tabla 5.49 Voltaje nodal del sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación Q_{neta} en nodo 5.

Voltaje PU	Fase A	Fase B	Fase C
N1	0.9982	0.9982	0.9982
N2	0.9979	0.9979	0.9979
N3	0.9932	0.9954	0.9938
N4	0.9887	0.9930	0.9900
N5	0.9845	0.9908	0.9864
N6	0.9807	0.9888	0.9831
N7	0.9772	0.9869	0.9800
N8	0.9740	0.9852	0.9772
N9	0.9710	0.9836	0.9747
N10	0.9684	0.9822	0.9724

Enseguida las Tablas 5.50, 5.51 y 5.52 muestran los resultados de pérdidas para el sistema trifásico de 10 nodos para una perturbación de potencia reactiva neta (carga) en el nodo 8 con un valor de 0.001 pu.

Tabla 5.50 Pérdidas de potencia aparente para el sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación de Q_{neta} en el nodo 8 de un valor de 0.001 pu.

Pérdidas(S) PU	Fase A	Fase B	Fase C	PU*e-3
Linea 1	0.2067	0.1511	0.2037	0.5615
Linea 2	0.1826	0.1331	0.1800	0.4957
Linea 3	0.1599	0.1163	0.1577	0.4339
Linea 4	0.1386	0.1006	0.1367	0.3759
Linea 5	0.1188	0.0861	0.1172	0.3221
Linea 6	0.1004	0.0727	0.0991	0.2722
Linea 7	0.0784	0.0567	0.0774	0.2125
Linea 8	0.0635	0.0459	0.0627	0.1721
Pot Apar(S)=		2.63605686	Suma=====	2.8459

Tabla 5.51 Pérdidas de potencia real para el sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación de Q_{neta} en el nodo 8 de un valor de 0.001 pu.

Pérdidas(P) PU	Fase A	Fase B	Fase C	PU*e-3
Línea 1	0.1621	0.1494	0.08710	0.39860
Línea 2	0.1430	0.1316	0.07693	0.35153
Línea 3	0.1250	0.1150	0.06742	0.30742
Línea 4	0.1081	0.0995	0.05857	0.26617
Línea 5	0.0924	0.0851	0.05035	0.22785
Línea 6	0.0779	0.0718	0.04278	0.19248
Línea 7	0.0628	0.0563	0.03038	0.14948
Línea 8	0.0509	0.0456	0.02459	0.12109
				2.01462

Tabla 5.52 Pérdidas de potencia reactiva del sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación de Q_{neta} en el nodo 8 de un valor de 0.001 pu.

Pérdidas(Q) PU	Fase A	Fase B	Fase C	PU*e-3
Línea 1	0.1282	0.02255	0.1842	0.33495
Línea 2	0.1136	0.01995	0.1628	0.29635
Línea 3	0.0997	0.01755	0.1425	0.25975
Línea 4	0.0867	0.01533	0.1235	0.22553
Línea 5	0.0746	0.01329	0.1058	0.19369
Línea 6	0.0634	0.01142	0.0894	0.16422
Línea 7	0.0469	0.00649	0.0712	0.12459
Línea 8	0.0380	0.00525	0.0577	0.10095
				1.70003

Enseguida la Tabla 5.53 muestra los resultados del voltaje nodal en el sistema trifásico de 10 nodos para una perturbación de potencia reactiva neta (carga) en el nodo 8 con un valor de 0.001 pu.

Tabla 5.53 Voltaje nodal del sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación Q_{neta} en nodo 8.

Voltaje PU	Fase A	Fase B	Fase C
N1	0.9982	0.9982	0.9982
N2	0.9979	0.9979	0.9979
N3	0.9932	0.9954	0.9938
N4	0.9887	0.9930	0.9900
N5	0.9845	0.9908	0.9864
N6	0.9806	0.9888	0.9830
N7	0.9770	0.9869	0.9799
N8	0.9737	0.9851	0.9771
N9	0.9708	0.9836	0.9745
N10	0.9681	0.9822	0.9722

A continuación se presenta un resumen de coeficientes de sensibilidad para el sistema trifásico de 10 nodos para una perturbación de potencia reactiva de 0.001 pu. Se usan información de las Tablas 5.46; 5.47, 5.48, 5.49, 5.50, 5.51, 5.52, 5.53, 5.32 y 5.33 para obtener valores correspondientes para la perturbación. Para los datos del caso base se usaron las Tablas 5.19, 5.20, 5.21, 5.22.

Tabla 5.54 Coeficientes de sensibilidad para pérdidas del sistema trifásico de 10 nodos para una perturbación de potencia reactiva neta de 0.001 pu (capacitiva).

	Nodo 5	Nodo 8
$\Delta S^{perd}/\Delta Q_{neta}$	0.0236	0.0412
$\Delta P^{perd}/\Delta Q_{neta}$	0.0155	0.0281
$\Delta Q^{perd}/\Delta Q_{neta}$	0.0183	0.0334
$\Delta V_s/\Delta Q_{neta}$	-0.1	-0.1
$\Delta V_g/\Delta Q_{neta}$	-0.1	-- -0.1666

5.7 Resumen.

En el presente capítulo, se mostraron los efectos al modificarse variables como la carga, la posición del tap del transformador y los reactivos en los sistemas de distribución. Utilizando para estos estudios el sistema trifásico de cinco nodos y el sistema trifásico de diez nodos. Obteniendo en forma individual los diferentes coeficientes de sensibilidad para el voltaje nodal y pérdidas en los diferentes sistemas para la condición de operación presentada en los casos bases.

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Logros y Aportaciones

El objetivo presentado en esta tesis es el estudiar y el analizar diferentes estrategias para la reducción de pérdidas en un sistema trifásico de distribución, manteniendo dentro de un valor preestablecido las variables de control y el perfil del voltaje en el circuito de distribución, el control del voltaje en el bus de la subestación; sujeto a cumplir con la demanda requerida.

El análisis del comportamiento de la red de distribución se realiza usando un modelo de carga de potencia constante, se calculan las pérdidas en los conductores en media tensión que forman la red trifásica del circuito de distribución. Se usa la impedancia de la red de distribución considerando los acoplamientos mutuos y el retorno por tierra. Con las consideraciones citadas se presenta una metodología para cálculo de pérdidas en redes eléctricas de distribución.

La reducción de pérdidas se sujeta a mantener el voltaje en la subestación dentro de un rango establecido de 0.9 a 1.05 en pu en cada una de las fases. Para la red de distribución se establece un voltaje mínimo de 0.9 por unidad en el extremo más alejado del ramal [12]. El método utilizado para la reducción de pérdidas, presentado en este trabajo, es primeramente determinar el valor de las pérdidas de potencia para el sistema trifásico de distribución y posteriormente aplicar la estrategia más conveniente para la reducción de pérdidas en el sistema de distribución.

El efecto de mantener el voltaje de la barra de la subestación dentro de un rango especificado, es estudiado para determinar las pérdidas que se presentan en la red y su efecto en el perfil del voltaje en el circuito. En la tesis se presentó un estudio para cambio de taps en transformadores de potencia, analizando su condición operativa en temporada de alta demanda y temporada de baja demanda. También se estudió la reducción de pérdidas mediante el movimiento de taps como variable de control, para este problema se analizaron los sistemas trifásicos de diez y de veintidós nodos. Se comprueba que al operar el circuito de distribución con voltajes cercanos al máximo superior presentan un valor mínimo de pérdidas en los conductores de media tensión.

El determinar la longitud del circuito, de acuerdo con sus condiciones operativas, se obtiene al establecer la re-configuración de los circuitos de distribución con una metodología de análisis a fin de reducir las pérdidas eléctricas. La operación en malla de dos circuitos en paralelo, es analizada para determinar el punto de terminación del circuito. La re-configuración de alimentadores es útil para la reducción de pérdidas, siendo éste es un problema de optimización y la solución del problema involucra una búsqueda sobre la configuración del circuito de distribución. El sistema trifásico de veintidós nodos se usa para analizar dos circuitos mallados, y como resultado se sugiere el nodo donde conviene separar los circuitos. Se comprueba que al tener la carga balanceada y uniformemente distribuida aquel nodo en que se separan los circuitos es el nodo que resulta en dos circuitos idénticos.

Después de determinar el comportamiento actual del sistema trifásico se busca reducir los reactivos en la red de distribución, recomendándose la ubicación y dimensionamiento de los bancos de capacitores. El procedimiento utilizado fue el calcular el factor de potencia del sistema de distribución para determinar los reactivos a compensar y operar la red de distribución con un factor de potencia dentro de un rango de 0.95 atrasado y un factor unitario. Posteriormente se procede a ubicar bancos de capacitores de acuerdo con los requerimientos de reactivos en diferentes nodos, para finalmente analizar los valores de pérdidas que se presentan, bajo esta condición, en el sistema trifásico de distribución.

En este trabajo se estudiaron "variables de control" como la carga, la modificación de la posición del tap en el transformador de potencia y la conexión-desconexión de capacitores en la red de distribución. Las variables o efectos a analizar fueron el voltaje nodal y las pérdidas en el sistema trifásico de distribución. Finalmente se analizaron los coeficientes de sensibilidad para cambios de potencia aparente, en los requerimientos de potencia reactiva y pérdidas de potencia real en los sistemas de cinco, diez y veintidós nodos.

El criterio aplicado para encontrar el valor mínimo de pérdidas, en los casos presentados en esta tesis, fue por medio de una enumeración exhaustiva, dado que las redes de distribución son trifásicas desbalanceadas y no son de gran dimensión.

6.2 Recomendaciones para Desarrollos Futuros

Los sistemas eléctricos usados en este trabajo se consideraron trifásicos en toda la configuración, pero se pueden incluir elementos monofásicos en el un análisis del sistema de distribución, o configuraciones de dos fases. La carga se considero balanceada y de potencia constante, pero bien puede incluirse elementos desbalanceados.

La reducción de pérdidas por medio de instalación de capacitores se planteo solamente para carga balanceada, pero bien se puede obtener para un modelo con carga desbalanceada. En el cálculo de las pérdidas solamente se consideraron las que se presentan en los conductores de media tensión, pero puede incluirse un modelado más detallado para los transformadores de distribución y así obtener valores que combinen las pérdidas, tanto en conductores como en transformadores.

6.3 Aplicaciones prácticas

Al obtener las pérdidas por sección del circuito de distribución, se determina la sección que presenta las mayores pérdidas. Este resultado puede sugerir una modificación del calibre y del tipo del conductor para que presente menores pérdidas. Este trabajo de esta

tesis da lugar a una herramienta para efectuar el análisis de necesidades de capacitores en un circuito, a fin de reducir las pérdidas que se presentan en los conductores y para determinar la mejor ubicación de los bancos de capacitores.

Con la herramienta desarrollada y la experiencia obtenida se puede determinar el valor de carga en el cual es más conveniente operar, en un valor determinado del tap del transformador. Como aplicación importante se tiene la posibilidad del análisis de circuitos mallados, y los procedimientos desarrollados pueden servir como herramienta para determinar el punto más conveniente en dónde terminar un circuito.

REFERENCIAS

- [1] S. Acha Daza, R. R. Shoultz, Mo-Shing Chen, "Estudio de Flujos para Sistemas de Distribución en Bajo Voltaje," *IEEE Sección México, Reunión de Verano, Acapulco 90*, 22 al 27 de Julio de 1990, pag. 140-146.
- [2] *MATLAB*[®] Edición de Estudiante, Versión 4, Guía de Usuario, 1996, Prentice-Hall.
- [3] Florencio Aboytes Editor, *Análisis de Sistemas de Potencia*, Monterrey, N. L., México, Febrero 1990, Centro Nacional de Control de la Energía, CFE.
- [4] John J. Grainger, William D. Stevenson Jr., *Análisis de Sistemas de Potencia*, 1996, McGraw-Hill/Interamericana de México, S. A. de C. V.
- [5] Salvador Acha D., José Izquierdo Franco, "Métodos de solución Aplicada al Problema de Flujos de Potencia en Sistemas de Distribución," Reporte de Investigación UANL-FIME-DIE, Agosto 2001.
- [6] Salvador Acha Daza, "Análisis Nodal para Sistemas Desbalanceados, Estudio de Flujos para Sistemas de Distribución y Corrientes de Falla," UANL-FIME-DIE, Seminario de Investigación, Abril, 2001.
- [7] Turan Gönen, *Electric Power Distribution System Engineering*, 1986, McGraw-Hill, Inc.
- [8] J. Arrillaga, C. P. Arnold, *Computer Analysis of Power Systems*, 1990, John Wiley & Sons Ltd.
- [9] M. H. Haquei, "Capacitor placement in radial distribution systems for loss reduction," *IEE Proc-Gener, Transm, Distrib.*, Vol. 146, no. 5, September 1999, pp. 501-505.
- [10] M. A. Kashem, G. B. Jasmon, V. Ganapathy, "A new approach of distribution system reconfiguration for loss minimization" *M. A. Kashem et al. / Electrical Power and Energy Systems* 22, 2000, 269-276.
- [11] H. Lee Willis, "Power Distribution Planning Reference Book," Marcel Dekker.
- [12] "Curso para Ingenieros de Planeación", CFE, Lerma, Campeche, Campeche, 1999.

- [13] Yebra Morón, "Compensación de Potencia Reactiva en Sistemas Eléctricos," Mc-Graw Hill.
- [14] Instructivo de operación del Omnipotenciometro OPH-03/C junio 1997

APENDICE A

INFORMACIÓN DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS EN ALIMENTADORES DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN.

APENDICE A

INFORMACIÓN DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS EN ALIMENTADORES DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN

La Tabla A.1 muestra los parámetros del alimentador de la red de distribución denominado IMSS y con interruptor FUG4130 perteneciente a la subestación Félix U. Gómez. La Tabla A.2 muestra los parámetros del alimentador de la red de distribución denominada Cervecería y con interruptor UNI4215 perteneciente a la subestación Universidad.

Tabla A.1 Resumen de parámetros relevantes, interruptor FUG4130 del circuito de distribución IMSS.

	KVA	KVC	IA	IC
Maximo	14.59	14.55	83.80	81.20
Fecha	2001/02/18	2001/02/18	2001/04/04	2001/04/04
Hora	07:30:00	07:30:00	12:00:00	12:00:00
Minimo	13.69	13.67	30.20	30.10
Fecha	2001/04/04	2001/04/04	2001/03/22	2001/03/22
Hora	16:15:00	16:15:00	04:15:00	04:30:00
Promedio	14.15	14.12	48.64	47.57
%SobreVoltaje	5.72%	5.44%		
%CaidaVoltaje	-0.81%	-0.98%		
Factor de Carga	60.47%			
Tiempo Estimado Fuera de Servicio		0	minutos	
Energía Dejada de Vender		0.00	MWH	

KVA Kilovolts de la fase A.
 KVC Kilovolts de la fase C.
 IA Corriente de la fase A.
 IC Corriente de la fase C.

Tabla A.1 (Continuación)

	MW_3F	MVAR_3F	MVA_3F	FP_3F
Máximo	1.86	0.56	1.94	1.00
Fecha	2001/04/04	2001/04/03	2001/04/04	2001/02/12
Hora	11:30:00	20:15:00	11:30:00	06:30:00
Mínimo	1.02	0.00	1.02	0.94
Fecha	2001/02/12	2001/02/12	2001/02/12	2001/04/14
Hora	17:00:00	06:15:00	17:00:00	07:00:00
Promedio	1.12	0.20	1.15	0.98

MW_3F Megawatts trifásicos del circuito.
 MVAR_3F Megavoltamperes-reactivos trifásicos del circuito.
 MVA_3F Megavoltamperes trifásicos del circuito.
 FP_3F Factor de potencia trifásico del circuito

Tabla A.2 Resumen de parámetros relevantes interruptor UNI4215 para circuito de distribución Cervecería.

	KVA	KVC	IA	IC
Máximo	14.18	14.24	299.10	303.30
Fecha	2001/02/05	2001/02/05	2001/02/03	2001/02/03
Hora	11:00:00	11:00:00	00:00:00	00:30:00
Mínimo	13.21	13.32	19.50	20.10
Fecha	2001/02/28	2001/02/28	2001/02/05	2001/02/05
Hora	19:15:00	19:15:00	12:15:00	12:15:00
Promedio	13.69	13.79	152.07	154.86
%SobreVoltaje	2.74%	3.18%		
%CaidaVoltaje	-4.28%	-3.50%		
Factor de Carga	51.75%			
Tiempo Estimado Fuera de Servicio		0	minutos	
Energía Dejada de Vender		0.00	MWH	

KVA Kilovolts de la fase A.
 KVC Kilovolts de la fase C.
 IA Corriente de la fase A.
 IC Corriente de la fase C.

Tabla A.2 (Continuación)

	MW_3F	MVAR_3F	MVA_3F	FP_3F
Máximo	6.46	2.90	7.08	1.00
Fecha	2001/02/03	2001/02/03	2001/02/03	2001/03/21
Hora	00:00:00	00:00:00	00:00:00	14:30:00
Mínimo	1.02	1.02	1.02	0.74
Fecha	2001/02/05	2001/02/04	2001/03/21	2001/02/05
Hora	11:15:00	03:30:00	08:45:00	11:30:00
Promedio	3.34	1.36	3.62	0.93

MW_3F Megawatts trifásicos del circuito.
 MVAR_3F Megavoltamperes-reactivos trifásicos del circuito.
 MVA_3F Megavoltamperes trifásicos del circuito.
 FP_3F Factor de potencia trifásico del circuito

En la Tabla A.3 se muestra la forma de la información obtenida en medidor Kitrón, instalado en la medición del interruptor 4130, subestación Félix U. Gómez (FUG4130).

Tabla A.3 Información proporcionada por un medidor Kitrón.

FECHA	KVA	KVC	IA	IC	FPA	FPC
2001/03/18 03:30:00	14.34400	14.30200	36.40000	35.40000	0.77280	0.91020
2001/03/18 03:45:00	14.37100	14.32900	36.40000	35.60000	0.76880	0.91360
2001/03/18 04:00:00	14.34700	14.30800	36.10000	35.40000	0.77660	0.91020
2001/03/18 04:15:00	14.33200	14.29200	35.90000	35.30000	0.77940	0.90900
2001/03/18 04:30:00	14.36200	14.32100	36.70000	35.80000	0.77040	0.91520
2001/03/18 04:45:00	14.34600	14.31000	36.60000	35.70000	0.76820	0.91620
2001/03/18 05:00:00	14.35700	14.31700	36.20000	35.40000	0.77860	0.91080
2001/03/18 05:15:00	14.33100	14.29000	36.00000	35.10000	0.78580	0.90440
2001/03/18 05:30:00	14.33300	14.29400	36.70000	35.80000	0.76900	0.91540
2001/03/18 05:45:00	14.34900	14.30800	37.10000	36.20000	0.76120	0.92220

2001/03/18 06:00:00	14.38500	14.34300	37.20000	36.20000	0.75900	0.92380
2001/03/18 06:15:00	14.37400	14.33500	36.90000	36.00000	0.76580	0.91620
2001/03/18 06:30:00	14.38600	14.35000	37.80000	37.10000	0.74760	0.93060
2001/03/18 06:45:00	14.38300	14.34600	38.80000	38.10000	0.74400	0.92900
2001/03/18 07:00:00	14.40300	14.37300	38.10000	37.20000	0.74740	0.92420

Tabla A.3. 2 de 3 (Continuación)

FECHA	MW 3F	MVAR 3F	MVA 3F	FP 3F	FRECUENCIA
2001/03/18 03:30:00	0.86000	0.10000	0.86000	0.98980	59.96800
2001/03/18 03:45:00	0.86000	0.12000	0.86000	0.98920	60.00500
2001/03/18 04:00:00	0.86000	0.10000	0.86000	0.99080	59.97700
2001/03/18 04:15:00	0.84000	0.10000	0.86000	0.99100	59.89800
2001/03/18 04:30:00	0.86000	0.12000	0.88000	0.98860	59.99500
2001/03/18 04:45:00	0.86000	0.12000	0.88000	0.98839	59.97500
2001/03/18 05:00:00	0.86000	0.10000	0.86000	0.99060	60.03500
2001/03/18 05:15:00	0.84000	0.10000	0.86000	0.99220	59.98900
2001/03/18 05:30:00	0.86000	0.12000	0.88000	0.98860	59.94900
2001/03/18 05:45:00	0.88000	0.14000	0.88000	0.98620	59.97700
2001/03/18 06:00:00	0.88000	0.14000	0.88000	0.98560	60.00900
2001/03/18 06:15:00	0.86000	0.12000	0.88000	0.98800	59.96400
2001/03/18 06:30:00	0.90000	0.16000	0.90000	0.98300	59.92900
2001/03/18 06:45:00	0.92000	0.16000	0.92000	0.98280	60.02400
2001/03/18 07:00:00	0.90000	0.14000	0.90000	0.98420	60.08200

Tabla A.3 (Continuación)

FECHA	THDVA	THDVC	THDIA	THDIC	
2001/03/18 03:30:00	0.04300	0.04140	0.04260	0.06500	
2001/03/18 03:45:00	0.04400	0.04240	0.04300	0.06560	
2001/03/18 04:00:00	0.04260	0.04120	0.04180	0.06380	
2001/03/18 04:15:00	0.04340	0.04180	0.04260	0.06480	
2001/03/18 04:30:00	0.04300	0.04160	0.03920	0.06180	
2001/03/18 04:45:00	0.04280	0.04160	0.03740	0.06000	
2001/03/18 05:00:00	0.04380	0.04180	0.03900	0.06160	
2001/03/18 05:15:00	0.04240	0.04060	0.03980	0.06220	
2001/03/18 05:30:00	0.04280	0.04100	0.03700	0.05920	
2001/03/18 05:45:00	0.04180	0.04000	0.03440	0.05660	
2001/03/18 06:00:00	0.04300	0.04080	0.03340	0.05680	
2001/03/18 06:15:00	0.04320	0.04100	0.03400	0.05740	
2001/03/18 06:30:00	0.04500	0.04220	0.03420	0.05660	
2001/03/18 06:45:00	0.04320	0.04040	0.03160	0.05320	
2001/03/18 07:00:00	0.04320	0.04080	0.03340	0.05580	

APENDICE B

GRÁFICAS DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS EN ALIMENTADORES DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN

Gráfico del día de Demanda Máxima 2001/05/09 Demanda Máxima = 8.32 MW
interruptor FUG4130

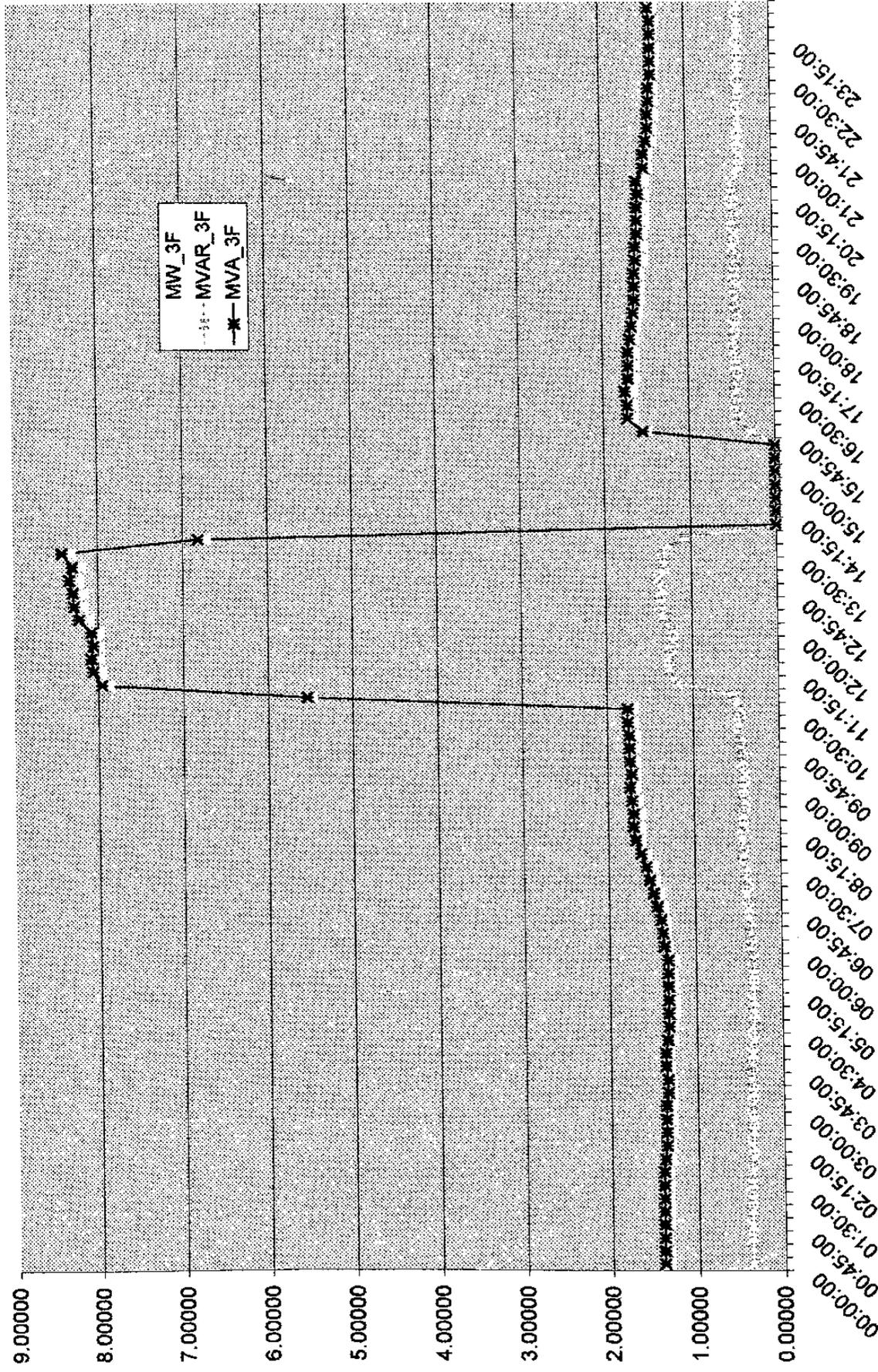


Figura B.1 Gráfico del día de demanda máxima, interruptor FUG4130.

Grafico del dia de Mínima Demanda 2001/03/19 Demanda Mínima = 1.02 MW
 interruptor FUG4130

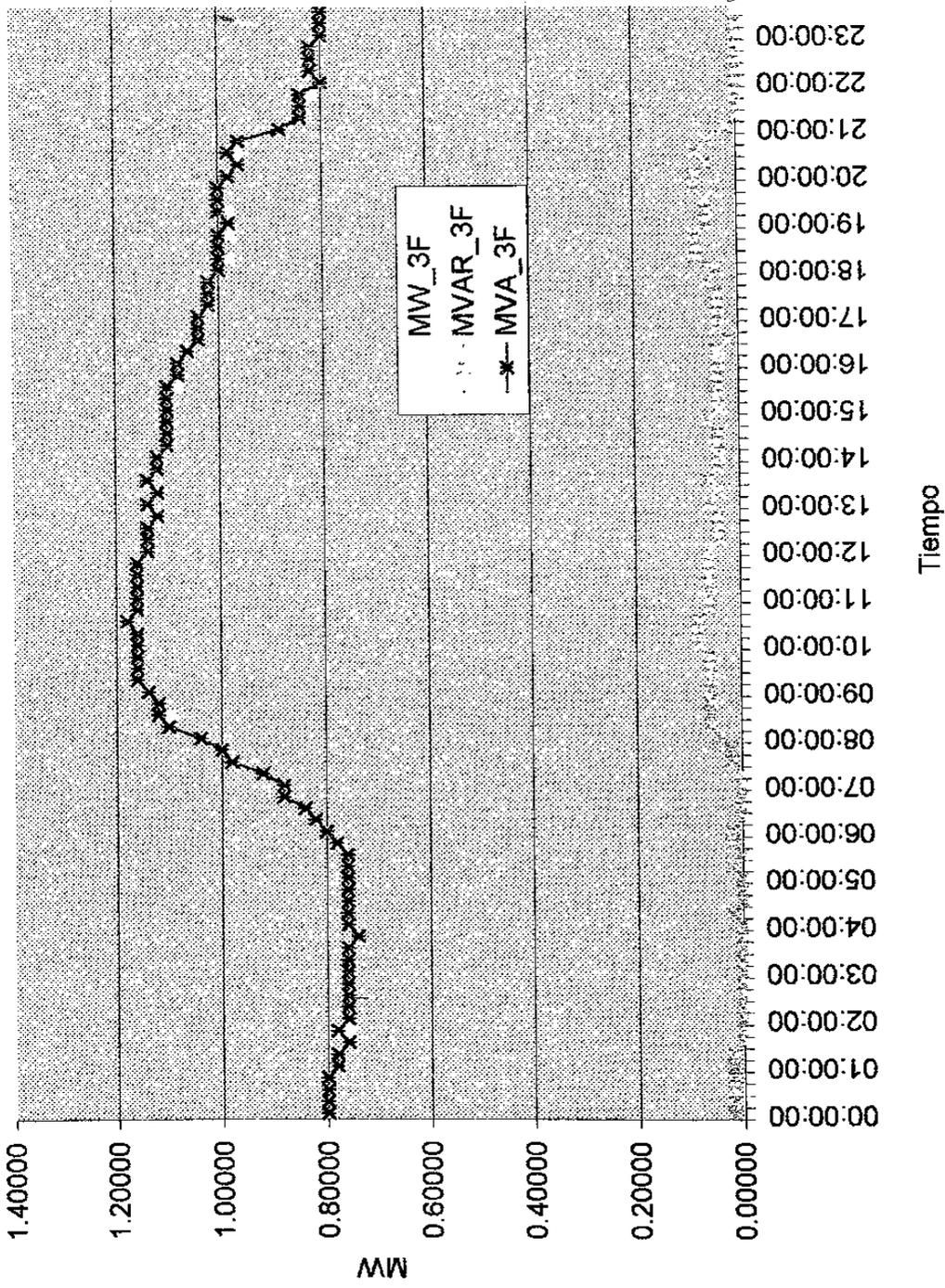


Figura B.2 Gráfico del día de demanda mínima del alimentador FUG4130 IMSS.

Gráfico del día de Máximo Voltaje 2001/03/21 Voltaje Máximo = 14.46 kV interruptor FUG4130

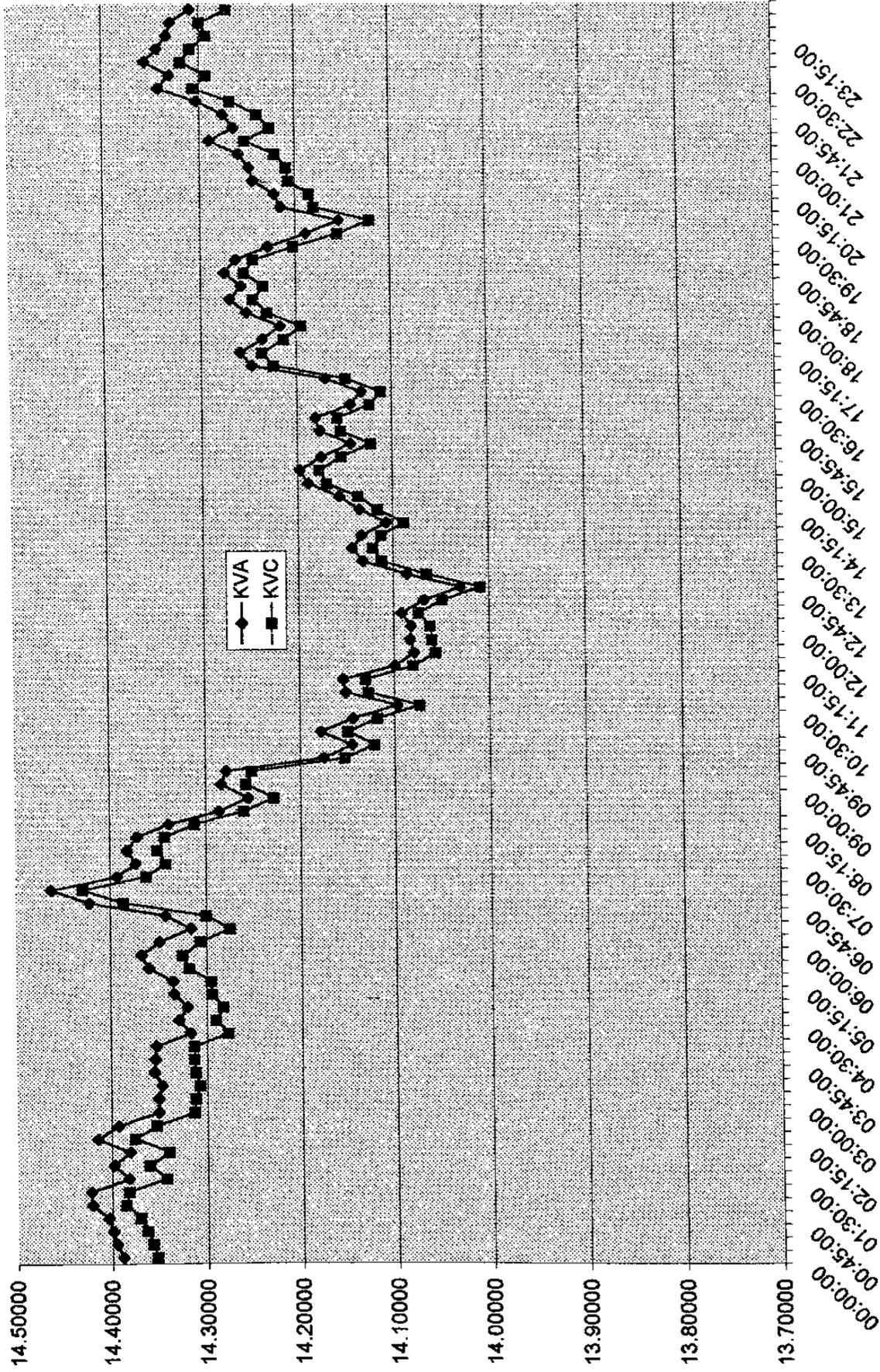


Figura B.3 Gráfico del día de máximo voltaje del interruptor FUG4130.

Gráfico del día de Mínimo Voltaje 2001/05/21 Mínimo Voltaje = 13.55 kV
interruptor FUG4130

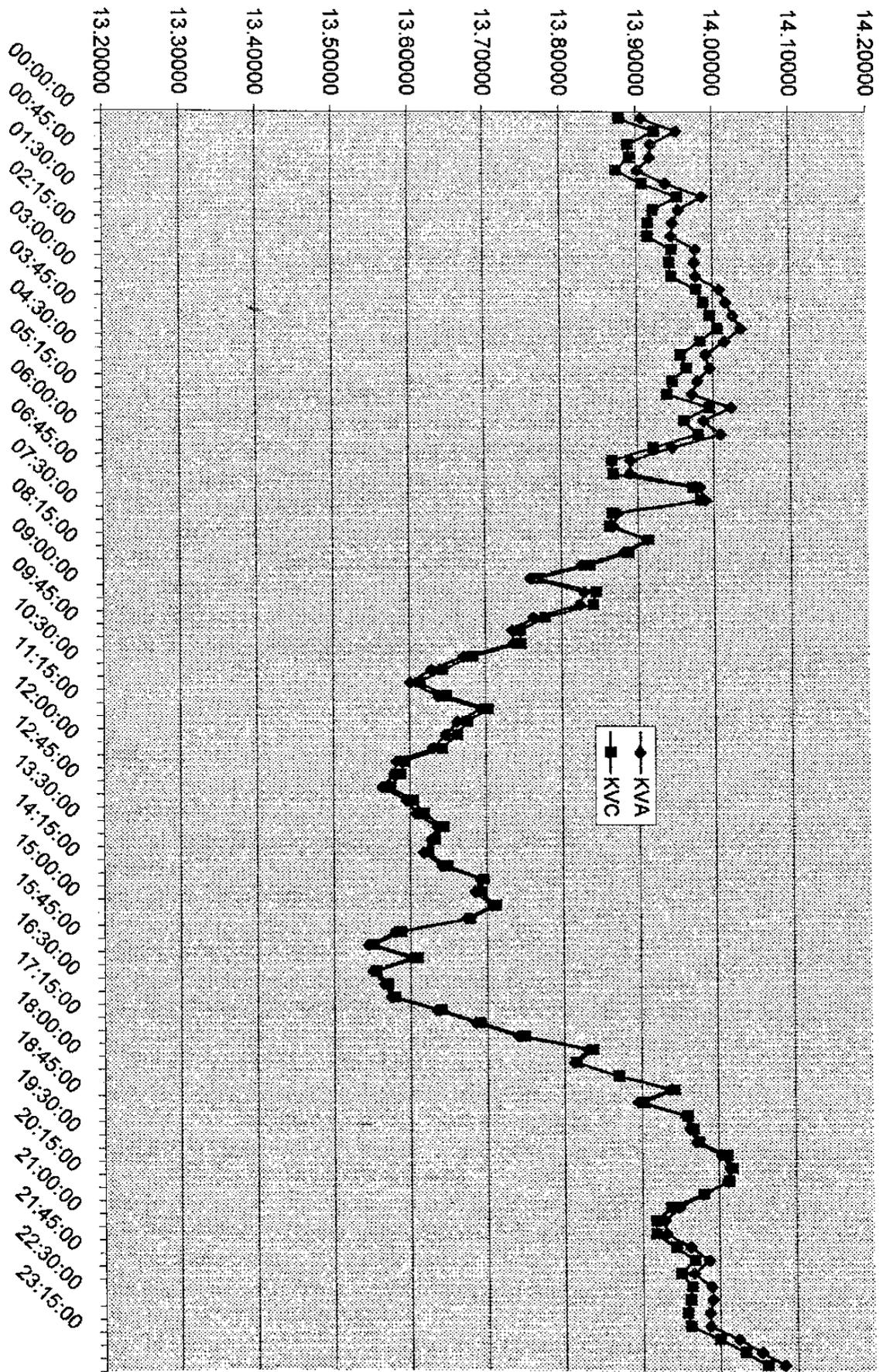


Figura B.4 Gráfico del día de mínimo voltaje del interruptor FUG4130.

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO 2

2.1	Curva de demanda obtenida por el equipo de medición No 1.	29
2.2	Curva de demanda obtenida por el equipo de medición No 2.	30
2.3	Curva de demanda obtenida por el equipo de medición No 3.	30
2.4	Curva de demanda obtenida por el equipo de medición No 4.	31
2.5	Curva de demanda obtenida por el equipo de medición No 5.	31
2.6	Curva de demanda obtenida por el equipo de medición No 6.	32
2.7	Curva de demanda obtenida por el equipo de medición No 7.	32
2.8	Curva de demanda obtenida por el equipo de medición No 8.	33
2.9	Curva de demanda obtenida por el equipo de medición No 9.	33
2.10	Curva de demanda obtenida por el equipo de medición No 10.	34

CAPITULO 3

3.1	Equivalente del sistema o equivalente Thévenin.	38
3.2	Equivalente serie de la línea de distribución.	41
3.3	Representación de un sistema eléctrico simple	44
3.4	Representación trifásica de sistema eléctrico simple.	44
3.5	Diagrama trifilar de 3 nodos.	46
3.6a	Vector de voltajes iniciales.	47
3.6 b	Corrientes nodales para el proceso iterativo.	47
3.7	Diagrama trifilar de 5 nodos.	51
3.8	Perfil del Voltaje Nodal en un circuito balanceado de 5 nodos.	52
3.9	Ángulo del Voltaje Nodal en un circuito balanceado de 5 nodos.	53
3.10	Pérdidas en las líneas de un circuito balanceado de 5 nodos.	53
3.11	Perfil del Voltaje Nodal en un circuito de 10 nodos.	60
3.12	Ángulo del Voltaje Nodal de la fase A en un circuito de 10 nodos.	61
3.13	Ángulo del Voltaje Nodal de la fase B en un circuito de 10 nodos.	61
3.14	Ángulo del Voltaje Nodal de la fase C en un circuito balanceado de 10 nodos.	62
3.15	Voltaje Nodal de un circuito balanceado de 10 nodos, con 12 MVA y fp 0.9.	65
3.16	Voltaje Nodal de un circuito balanceado de 10 nodos, con 12 MVA y fp 0.9.	66
3.17	Voltaje Nodal de un circuito balanceado de 10 nodos, con carga uniformemente distribuida; tap en 1.05.	67
3.18	Voltaje Nodal de un circuito balanceado de 10 nodos, con carga uniformemente distribuida; tap en 0.95.	68
3.19	Voltaje Nodal de un circuito balanceado de 10 nodos, con carga de 4 MVA uniformemente distribuida; tap en 1.0.	69

INDICE DE FIGURAS (continuación)

3.20	Voltaje Nodal de un circuito balanceado de 10 nodos, con carga de 6 MVA uniformemente distribuida; tap en 1.0.	70
3.21	Voltaje Nodal de un circuito balanceado de 10 nodos, con carga de 4 MVA uniformemente distribuida; tap en 1.05.	71
3.22	Voltaje Nodal de un circuito balanceado de 10 nodos, con carga de 4 MVA uniformemente distribuida; tap en 0.95.	72
3.23.1	Voltaje Nodal de dos circuitos de 22 nodos, con carga balanceada y uniformemente distribuida; tap en 1.00.	75
3.24	Diferencia del Voltaje Nodal, fase A de dos circuitos de 22 nodos, con carga balanceada y uniformemente distribuida; tap en 1.00.	75
3.25	Diferencia del Voltaje Nodal fase B de dos circuitos de 22 nodos, con carga balanceada y uniformemente distribuida; tap en 1.00.	76
3.26	Diferencia del Voltaje Nodal fase C de dos circuitos de 22 nodos, con carga balanceada y uniformemente distribuida; tap en 1.00.	76
3.27	Voltaje Nodal de dos circuitos balanceados de 22 nodos, con carga uniformemente distribuida; tap 1 en 1.05 y tap 2 en 0.95.	77
3.28	Diferencia del Voltaje Nodal fase A de dos circuitos balanceados de 22 nodos, con carga uniformemente distribuida; tap 1 en 1.05 y tap 2 en 0.95.	78

CAPITULO 4

4.1	Circuito trifásico de cinco nodos.	81
4.2	Pérdidas de potencia real en las líneas de un circuito balanceado de 5 nodos.	82
4.3	Pérdidas de potencia reactiva en las líneas de un circuito de 5 nodos con carga balanceada.	83
4.4	Circuito de diez nodos trifásicos.	84
4.5	Pérdidas de potencia real en las líneas de un circuito balanceado de 10 nodos, carga uniformemente distribuida.	85
4.6	Potencia reactiva en las líneas de circuito de 10 nodos, carga balanceada y uniformemente distribuida.	86
4.7	Circuito de veintidós nodos trifásicos.	87
4.8	Pérdidas de potencia real en las líneas de un circuito de 10 nodos carga balanceada y uniformemente distribuida y tap en un valor de 0.95.	91
4.9	Comparativo de pérdidas de potencia real en las líneas de un circuito 10 nodos, con carga balanceada y uniformemente distribuida al cambiar tap.	93
4.10	Circuito de 10 nodos carga balanceada y uniformemente distribuida en nodos 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 con un valor de 6 MVA, factor de potencia de 0.8 atrasado. En el nodo 10 se presenta una carga de 6 MVA con un factor de potencia de 0.8 atrasado.	96

INDICE DE FIGURAS (continuación)

4.11	Circuito de 10 nodos carga balanceada y uniformemente distribuida en nodos 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 con un valor de 6 MVA, factor de potencia de 0.8 atrasado. En el nodo 10 se presenta una carga de 6 MVA con un factor de potencia de 0.8 atrasado. Capacitor de 600 KVAR en nodo 5.	98
4.12	Circuito de 10 nodos carga balanceada y uniformemente distribuida en nodos 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 con un valor de 6 MVA, factor de potencia de 0.8 atrasado. En el nodo 10 se presenta una carga de 6 MVA con un factor de potencia de 0.8 atrasado. Capacitor de 600 KVAR en nodos 5 y 8.	100
4.13	Circuito de 10 nodos carga balanceada y uniformemente distribuida en nodos 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 con un valor de 6 MVA, factor de potencia de 0.8 atrasado. En el nodo 10 se presenta una carga de 6 MVA con un factor de potencia de 0.8 atrasado. Capacitor de 600 KVAR en nodos 5,8 y 10.	103
4.14	Circuito de 10 nodos carga balanceada y uniformemente distribuida en nodos 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 con un valor de 6 MVA, factor de potencia de 0.8 atrasado. En el nodo 10 se presenta una carga de 6 MVA con un factor de potencia de 0.8 atrasado. Capacitor de 600 KVAR en nodos 3,4,5,6,7 y 8. Capacitor de 3600 KVAR en nodo 10.	105
4.15	Gráfica del voltaje nodal de la fase A para el sistema trifásico de 10 nodos; donde se exponen los diferentes casos.	110
4.16	Voltaje nodal para el modelo de 10 nodos, utilizando cambiador de taps en un valor de 0.95.	112
4.17	Voltaje nodal para el modelo de 10 nodos, utilizando cambiador de taps en un valor de 1.0.	113

APÉNDICE B

B.1	Gráfico del día de demanda máxima del alimentador FUG4130 IMSS.	151
B.2	Gráfico del día de mínima demanda del alimentador FUG4130 IMSS.	152
B.3	Gráfico del día de máximo voltaje del alimentador FUG4130 IMSS.	153
B.4	Gráfico del día de mínimo voltaje del alimentador FUG4130.	154

INDICE DE TABLAS

CAPITULO 2

2.1	Clasificación por tipo de usuarios según nivel de demanda.	27
2.2	Localidades base donde esta instalado equipo d medición.	28

CAPITULO 3

3.1	Efecto en los voltajes nodales por corriente en el nodo 1.	54
3.2	Efecto en la potencia por corriente en el nodo 1.	55
3.3	Efecto en los voltajes nodales por corriente en el nodo 2.	56
3.4	Efecto en la potencia por corriente en el nodo 2.	56
3.5	Efecto en los voltajes nodales por corriente en el nodo 5.	57
3.6	Efecto en la potencia por corriente en el nodo 5.	58
3.7	Efecto en los voltajes nodales por corriente en el nodo 4.	59
3.8	Efecto en la potencia por corriente en el nodo 4.	59
3.9	Ángulo Nodal en circuito de diez nodos.	62
3.10	Voltaje Nodal en circuito de diez nodos, con 12 MVA en el nodo 2.	63
3.11	Ángulo Nodal en circuito de diez nodos, con 12 MVA en el nodo 2.	64
3.12	Voltaje Nodal en circuito de diez nodos, con 6 MVA en el nodo 10 y 2 MVA en los 5, 7 y 9.	64
3.13	Voltaje Nodal en circuito de diez nodos, con 6 MVA en el nodo 10 y 1.333 MVA en los 5, 7 y 9.	65
3.14	Voltaje Nodal en circuito de diez nodos, tap de 1.05.	67
3.15	Voltaje Nodal en circuito de diez nodos, tap de 0.95.	68
3.16	Voltaje Nodal en circuito de diez nodos balanceado, con tap de 1.0 con carga 4 MVA uniformemente distribuida.	69
3.17	Voltaje Nodal en circuito de diez nodos balanceado, con tap de 1.0 con carga 6 MVA uniformemente distribuida.	70
3.18	Voltaje Nodal en circuito de diez nodos balanceado, con tap de 1.05 con carga 4 MVA uniformemente distribuida.	71
3.19	Voltaje Nodal en circuito de diez nodos balanceado, con tap de 0.95 con carga 4 MVA uniformemente distribuida.	72
3.20	Voltaje Nodal de dos circuitos de veintidós nodos balanceados, con tap de 1.0, carga uniformemente distribuida.	74
3.21	Voltaje Nodal de dos circuitos de veintidós nodos balanceados, con tap 1 de 1.05 y tap 2 de 0.95 con carga uniformemente distribuida.	77

INDICE DE TABLAS (continuación)

CAPITULO 4

4.1	Pérdidas de potencia real por fase en las líneas y total por línea de un circuito con carga balanceado de 5 nodos.	83
4.2	Pérdidas de potencia real por fase en las líneas y total por línea de un circuito balanceado de 5 nodos.	84
4.3	Pérdidas de potencia real por fase en las líneas y total por línea de un circuito de 10 nodos, con carga balanceada y uniformemente distribuida.	86
4.4	Potencia reactiva por fase y total por línea circuito de 10 nodos, carga balanceada y uniformemente distribuida.	87
4.5	Pérdidas de potencia real por fase en las líneas y total por línea de un circuito de 22 nodos, con carga balanceada y uniformemente distribuida; y dos fuentes de alimentación	88
4.6	Potencia reactiva por fase en las líneas y total por línea de un circuito de 22 nodos, con carga balanceada y uniformemente distribuida; y dos fuentes de alimentación.	90
4.7	Pérdidas de potencia real por fase en las líneas y total por línea de un circuito de 10 nodos, carga balanceada y uniformemente distribuida; y tap en un valor de 0.95.	92
4.8	Comparativo de pérdidas de potencia real por línea de un circuito de 10 nodos, carga balanceada y uniformemente distribuida; al modificar la posición del tap.	93
4.9	Pérdidas de potencia real por fase en las líneas y total por línea de un circuito de 22 nodos, carga balanceada y uniformemente distribuida; tap1 y tap2 en un valor de 0.95.	94
4.10	Comparativo de pérdidas de potencia real por línea de un circuito de 22 nodos, carga balanceada y uniformemente distribuida; al modificar el tap.	95
4.11	Voltaje Nodal, factor de potencia de modelo de 10 nodos sin capacitores en la red de distribución	97
4.12	Pérdidas de potencia del modelo de 10 nodos sin capacitores en la red de distribución.	97
4.13	Voltaje Nodal, factor de potencia de modelo de 10 nodos con capacitor de 600 KVAR en el nodo 5 de la red de distribución.	99
4.14	Pérdidas de potencia del modelo de 10 nodos con capacitor de 600 KVAR en el nodo 5 de la red de distribución.	99
4.15	Voltaje Nodal, factor de potencia de modelo de 10 nodos con capacitores de 600 KVAR en el nodo 5 y el nodo 8 de la red de distribución.	101
4.16	Pérdidas de potencia del modelo de 10 nodos con capacitores de 600 KVAR en el nodo 5 y nodo 8 de la red de distribución.	101
4.17	Voltaje Nodal, factor de potencia de modelo de 10 nodos.	103
4.18	Pérdidas de potencia del modelo de 10 nodos con capacitores de 600 KVAR en el nodo 5, nodo 8 y nodo 10 de la red de distribución.	104

INDICE DE TABLAS (continuación)

4.19	Voltaje Nodal, factor de potencia de modelo de 10 nodos con capacitores de 600 KVAR en el nodo 3, 4, 5, 6, 7, y 8; capacitor de 3600 KVAR en el nodo 10 de la red de distribución.	106
4.20	Pérdidas de potencia del modelo de 10 nodos con capacitores de 600 KVAR en el nodo 3, 4, 5,6, y 8;en nodo 10 se encuentra un capacitor de 3,600 KVAR.	106
4.21	Incremento del factor de potencia del circuito al instalar capacitores., en la red de distribución.	108
4.22	Pérdidas del sistema trifásico de 10 nodos para diferentes casos en que se instalan bancos de capacitores en diferentes nodos.	110
4.23	Voltaje nodal del modelo de 10 nodos con tap en valor de 0.95.	112
4.24	Voltaje nodal del modelo de 10 nodos con tap en valor 1.0.	113

CAPITULO 5

5.1	Voltaje nodal del sistema trifásico de 5 nodos caso base.	115
5.2	Voltaje nodal del sistema trifásico de 5 nodos para una perturbación P_{neta} en nodo 5.	115
5.3	Voltaje nodal del sistema trifásico de 5 nodos para una perturbación P_{neta} en nodo 4.	115
5.4	Pérdidas de potencia aparente para el sistema trifásico de 5 nodos, caso base.	116
5.5	Pérdidas de potencia real para el sistema trifásico de 5 nodos, caso base.	116
5.6	Pérdidas por potencia reactiva para el sistema triásico de 5 nodos, caso base.	116
5.7	Pérdidas de potencia aparente para el sistema trifásico de 5 nodos, para una perturbación de P_{neta} en el nodo 5 de un valor de 0.001 pu.	116
5.8	Pérdidas de potencia real para el sistema trifásico de 5 nodos, para una perturbación de P_{neta} en el nodo 5 de un valor de 0.001 pu.	117
5.9	Pérdidas por potencia reactiva del sistema trifásico de 5 nodos, para una perturbación de P_{neta} en el nodo 5 de un valor de 0.001 pu.	117
5.10	Pérdidas de potencia aparente para el sistema trifásico de 5 nodos, para una perturbación de P_{neta} en el nodo 4 de un valor de 0.001 pu.	117
5.11	Pérdidas de potencia real para el sistema trifásico de 5 nodos, para una perturbación de P_{neta} en el nodo 4 de un valor de 0.001 pu.	117
5.12	Pérdidas de potencia aparente para el sistema trifásico de 5 nodos, para una perturbación de P_{neta} en el nodo 4 de un valor de 0.001 pu.	118
5.13	Coeficientes de sensibilidad del sistema trifásico de 5 nodos para una perturbación de potencia real neta de 0.001 pu.	118
5.14	Voltaje nodal del modelo de 5 nodos tap de 0.99.	118
5.15	Pérdidas de potencia aparente para el sistema trifásico de 5 nodos tap en valor 0.99.	119
5.16	Pérdidas de potencia real para el sistema trifásico de 5 nodos tap en valor de 0.99.	119

INDICE DE TABLAS (continuación)

5.17	Pérdidas de potencia reactiva para el sistema trifásico de 5 nodos tap en valor de 0.99.	119
5.18	Coefficientes de sensibilidad para el sistema trifásico de 5 nodos para una perturbación de tap de -0.01 pu.	120
5.19	Voltaje nodal del sistema trifásico de 10 nodos caso base.	120
5.20	Pérdidas de potencia aparente para el sistema trifásico de 10 nodos caso base.	121
5.21	Pérdidas de potencia real para el sistema trifásico de 10 nodos caso base.	121
5.22	Pérdidas por potencia reactiva para el sistema trifásico de 10 nodos caso base.	121
5.23	Voltaje nodal del sistema trifásico de 10 nodos para una perturbación $P_{\text{net}a}$ en nodo 4.	122
5.24	Pérdidas de potencia aparente para el sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación de $P_{\text{net}a}$ en el nodo 4 de un valor de 0.001 pu.	122
5.25	Pérdidas de potencia real para el sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación de $P_{\text{net}a}$ en el nodo 4 de un valor de 0.001 pu.	123
5.26	Pérdidas por potencia reactiva para el sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación de $P_{\text{net}a}$ en el nodo 4 de un valor de 0.001 pu.	123
5.27	Potencia aparente del sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación de $P_{\text{net}a}$ en el nodo 6 de un valor de 0.001 pu.	124
5.28	Pérdidas de potencia real del sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación de $P_{\text{net}a}$ en el nodo 6 de un valor de 0.001 pu.	124
5.29	Pérdidas por potencia reactiva del sistema trifásico 10 nodos, para una perturbación de $P_{\text{net}a}$ en el nodo 6 de un valor de 0.001 pu.	124
5.30	Voltaje nodal del sistema trifásico de 10 nodos para una perturbación $P_{\text{net}a}$ en nodo 6.	125
5.31	Pérdidas de potencia aparente del sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación de $P_{\text{net}a}$ en el nodo 8 de un valor de 0.001 pu.	125
5.32	Pérdidas de potencia real del sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación de $P_{\text{net}a}$ en el nodo 8 de un valor de 0.001 pu.	126
5.33	Pérdidas por potencia reactiva del sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación de $P_{\text{net}a}$ en el nodo 8 de un valor de 0.001 pu.	126
5.34	Voltaje nodal del sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación $P_{\text{net}a}$ en nodo 8.	127
5.35	Pérdidas de potencia aparente del sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación de $P_{\text{net}a}$ en el nodo 10 de un valor de 0.001 pu.	127
5.36	Pérdidas de potencia real del sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación de $P_{\text{net}a}$ en el nodo 10 de un valor de 0.001 pu.	128
5.37	Pérdidas por potencia reactiva del sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación de $P_{\text{net}a}$ en el nodo 10 de un valor de 0.001 pu.	128
5.38	Voltaje nodal del sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación $P_{\text{net}a}$ en nodo 10.	128

INDICE DE TABLAS (continuación)

5.39	Coeficientes de sensibilidad para pérdidas del sistema trifásico de 10 nodos para una perturbación de potencia real neta de 0.001 pu.	129
5.40	Coeficientes de sensibilidad de voltajes nodales para el sistema trifásico de 10 nodos para una perturbación de potencia real neta de 0.001 pu.	129
5.41	Pérdidas de potencia aparente del sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación de tap de un valor de 0.01 pu.	130
5.42	Pérdidas de potencia real del sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación del tap de un valor de 0.01 pu.	130
5.43	Pérdidas de potencia reactiva del sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación del tap de un valor de 0.001 pu.	131
5.44	Voltaje nodal del sistema trifásico de 10 nodos con perturbación del tap de 0.01 pu.	131
5.45	Coeficientes de sensibilidad para las pérdidas del sistema trifásico de 10 nodos para una perturbación de tap de -0.01 pu.	132
5.46	Pérdidas de potencia aparente para el sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación de Q_{neta} en el nodo 5 de un valor de 0.001 pu.	132
5.47	Pérdidas de potencia real para el sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación de Q_{neta} en el nodo 5 de un valor de 0.001 pu.	133
5.48	Pérdidas de potencia reactiva para el sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación de Q_{neta} en el nodo 5 de un valor de 0.001 pu.	133
5.49	Voltaje nodal del sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación Q_{neta} en nodo 5.	134
5.50	Pérdidas de potencia aparente para el sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación de Q_{neta} en el nodo 8 de un valor de 0.001 pu.	134
5.51	Pérdidas de potencia real para el sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación de Q_{neta} en el nodo 8 de un valor de 0.001 pu.	135
5.52	Pérdidas de potencia reactiva del sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación de Q_{neta} en el nodo 8 de un valor de 0.001 pu.	135
5.53	Voltaje nodal del sistema trifásico de 10 nodos, para una perturbación Q_{neta} en nodo 8.	136
5.54	Coeficientes de sensibilidad para pérdidas del sistema trifásico de 10 nodos para una perturbación de potencia reactiva neta de 0.001 pu (capacitiva).	136

APÉNDICE A

A.1	Resumen de parámetros relevantes, interruptor FUG4130 del circuito de distribución IMSS.	145
A.2	Resumen de parámetros relevantes interruptor UNI4215 para circuito de distribución Cervecería.	146
A.3	Información proporcionada por un medidor Kitrón.	147

TM
Z5853
.M2
FIME
2002
.C4

ALFONSINA BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

FT

1020149010

CERDA JUAREZ, José Luis.

Título

Estrategia de optimización y -
sensitividad en redes ...

Vencimiento Nombre del Lector



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
CAPILLA ALFONSINA
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

 Educación
PARA LA VIDA

